

Analoge Verfahren I

Elektronische Audiovisuelle Medien

Physikalische Grundlagen:
Akustik und Signaltechnik
Akustisch-mechanische
Schallaufnahme- und Wiedergabe

Nadja Wallaszkovits

abk—
Staatliche Akademie
der Bildenden Künste
Stuttgart

Teil 1

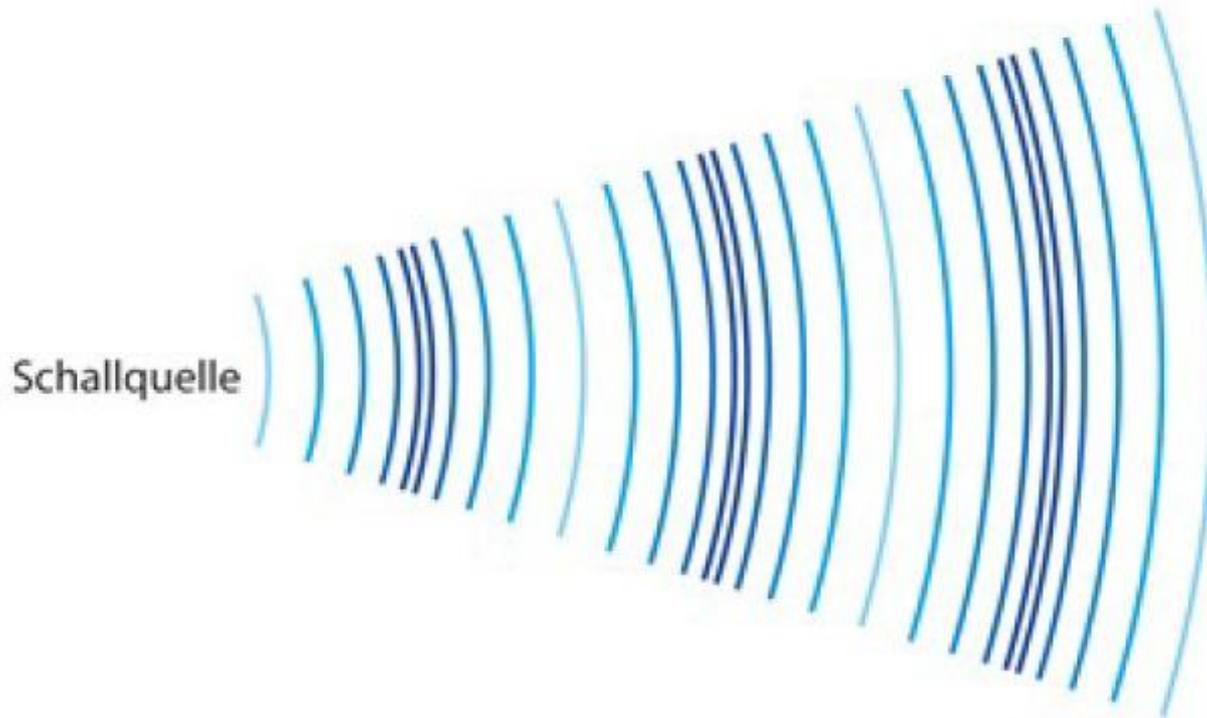
Physikalische Grundlagen: Akustik und Signaltechnik

Was ist Schall?

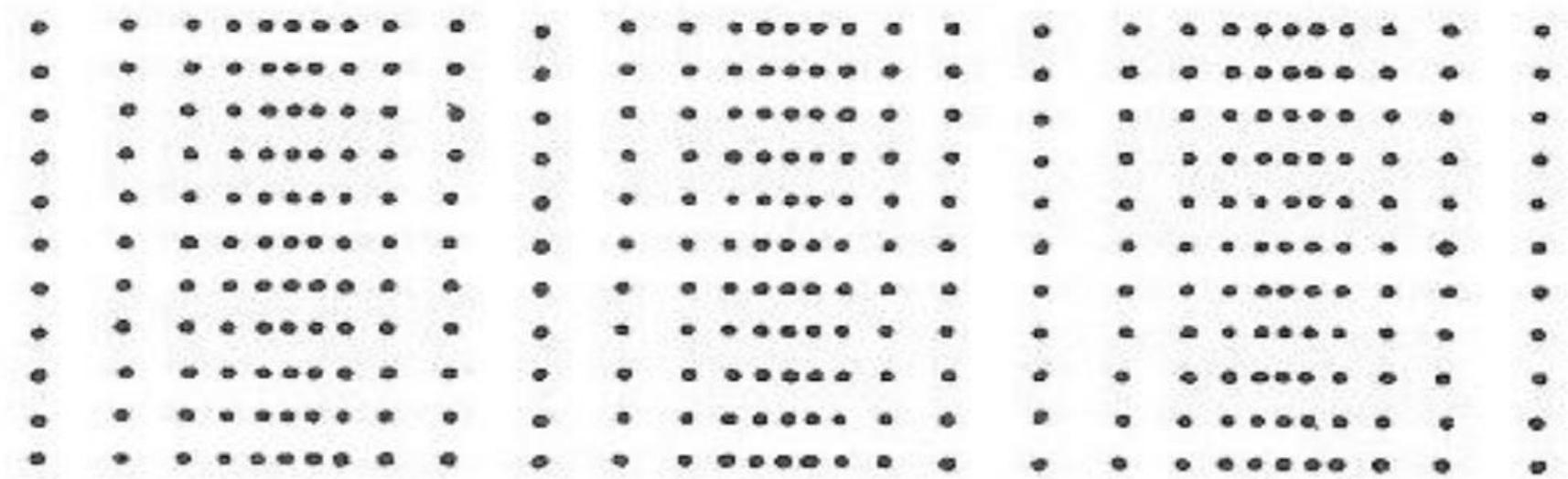
- Schall ist ein mechanisches Phänomen, das eines Mediums bedarf, im Allgemeinen der Luft.
- Schall breitet sich aber auch in Festkörpern oder Flüssigkeiten aus (z.B. Schallübertragung über Gebäudeteile, im Wasser).
- In der Folge betrachten wir den Schall in der Luft und zwar in jenem Bereich, der von Menschen gehört werden kann (ca. 20Hz -20.000Hz)

Was ist Schall?

- Mehr oder minder periodische Luftdruckschwankungen, Zonen der Verdichtung bzw. Verdünnung von Luft, die sich von einer Schallquelle mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten



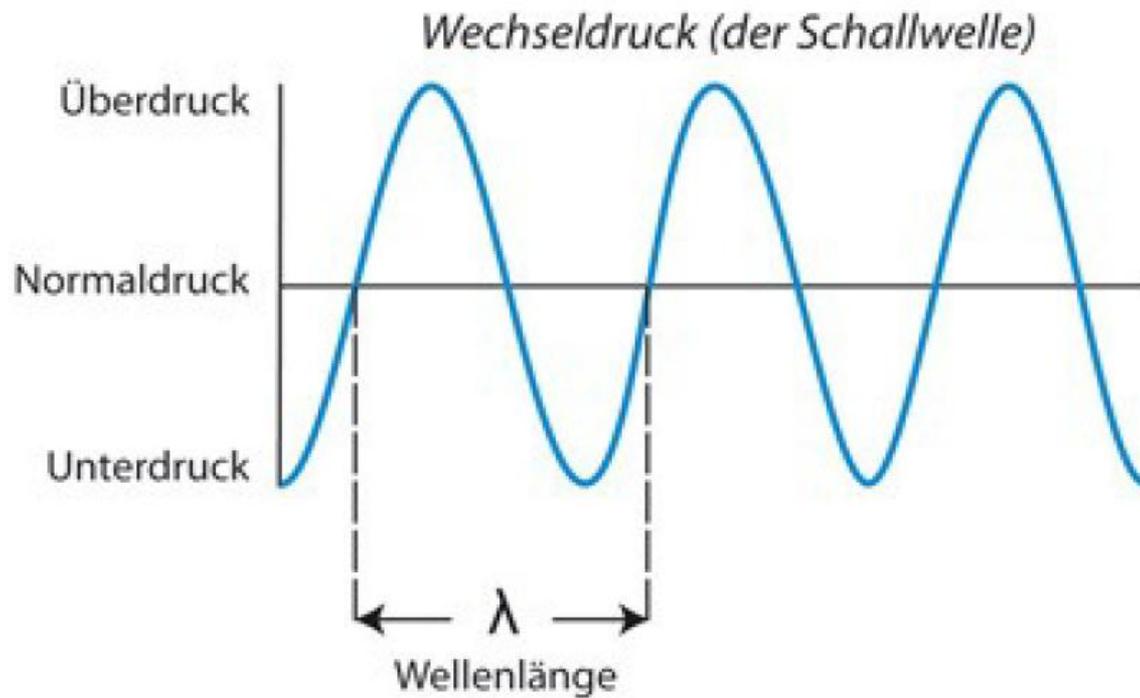
Schallausbreitung



Schallwellen

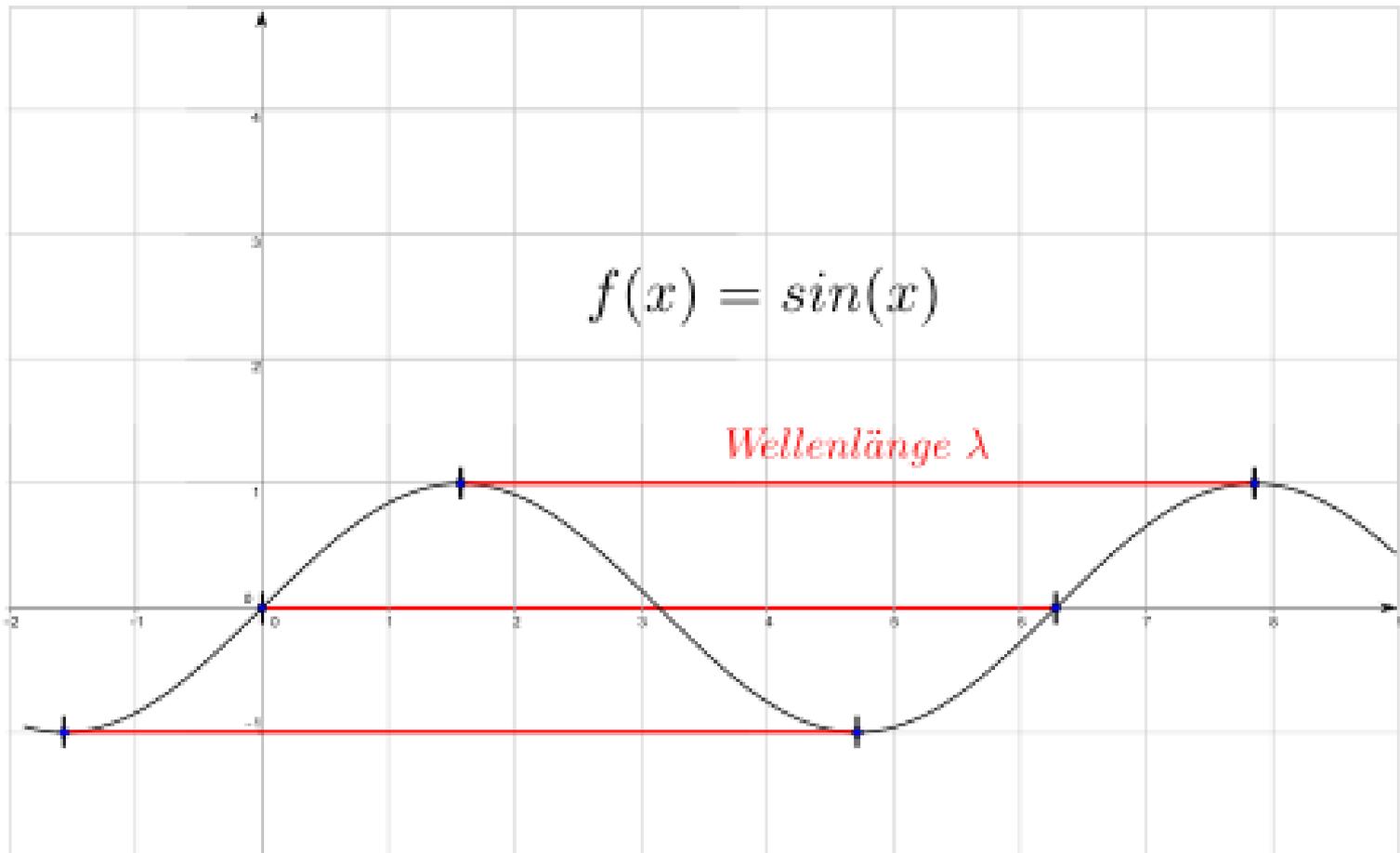
- Schall breitet sich also als longitudinale Welle in einem Medium aus. Die Teilchen des Mediums bewegen sich durch die Schallwelle um ihre Ruhelage, sie werden jedoch nicht mit der Welle transportiert. **Schallwellen transportieren Energie und Information, aber keine Materie!**
- Einfach gesagt, führt die Verschiebung der Teilchen, die durch die Schallquelle ausgelenkt werden, lokal zu einem erhöhten Luftdruck, der sodann die nächsten benachbarten Teilchen auslenkt
- Daher wird diese Wellenart auch Kompressionswelle genannt

Schallausbreitung



Wellenlänge (Schwingungsdauer, Periode)

- Wellenlänge λ : Abstand zweier Punkte gleichen Schwingungszustandes im Schallfeld



Schallgeschwindigkeit

- Geschwindigkeit, mit der sich die Schalldruckwellen in einem Medium ausbreiten
- Abhängig von der Dichte des Mediums (z.B. Luft, Festkörper, Gase):
- je dichter das Medium, desto höher die Schallgeschwindigkeit; je geringer die Dichte, desto langsamer die Schallgeschwindigkeit
- physikal. Einheit ist Meter pro Sekunde (m/s oder $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- Schallgeschwindigkeit (c) in Luft bei 20°C auf Meereshöhe: **ca. 343m/s**

Frequenz

- Anzahl der Schwingungen pro Sekunde
- 1 Hz (Hertz) = 1 Schwingung pro Sekunde = 1 s^{-1}
- 1kHz (Kilohertz) = 1000 Schwingungen pro Sekunde

- **Verhältnis Wellenlänge λ und Frequenz f :**
- Die Frequenz f ist über die Schallgeschwindigkeit c mit ihrer Wellenlänge λ verknüpft:

$$\lambda = c/f$$

$$f = c/\lambda$$

$$\lambda * f = c$$

Amplitude

- Die Auslenkung in die y – Richtung wird auch **Elongation** genannt. Sie zeigt den momentanen Abstand von der Ruhelage an.
- Dabei kann die Auslenkung in die positive oder negative Richtung angegeben werden
- **Amplitude: Maximale Auslenkung in die y – Richtung**
- Bei der harmonischen ungedämpften Schwingung ist die Amplitude konstant, d.h. der Abstand von der Ruhelage ist für beide Umkehrpunkte (positiv und negativ) gleich groß

Schallschnelle

- Die Schallschnelle v ist die Geschwindigkeit, mit der sich die einzelnen Teilchen des Mediums (z.B. Luft, Wasser, Gase) um die Ruheposition bewegen, um die zur Schallwelle gehörige Druckänderung herzustellen
- Momentangeschwindigkeit (Schwinggeschwindigkeit) der einzelnen Teilchen des Mediums (Luft, Wasser, etc)

Luftdruck - Schalldruck

- Luftdruck: (auf Meereshöhe) ca. 1 bar (= "1 Atmosphäre", "1 kg/cm²") bzw. ca. 1000 hPa (= Hektopascal)
- Schalldruck $p = \text{Amplitude} \pm \text{Abweichung vom herrschenden Luftdruck}$

Schalldruckpegel (SPL)

- **Dezibel:**
- Ursprünglich ein Maß für Leistungen, wird Dezibel im Allgemeinen für den Vergleich von Schalldrücken oder den ihnen analogen Spannungen verwendet.
- Beim linearen Vergleich würde sich stets ein Vielfaches oder ein Bruchteil ergeben (z.B. „das 68-fache“, oder; „ein 53-stel“), was lästig zu rechnen wäre. Daher wird statt dieser Faktoren eine logarithmische Skala verwendet, die das Vielfache durch Addition, den Bruchteil durch Subtraktion ausdrückt. Die logarithmische Skala hat überdies den Vorzug, (innerhalb von Grenzen) dem Lautstärkeempfinden zu entsprechen.
- Achtung: Dezibel ist ein **logarithmisches Verhältnismaß**, das heißt, es drückt zunächst nur ein Verhältnis aus (wie etwa einen Prozentsatz)

Verzehnfachung



Verdopplung

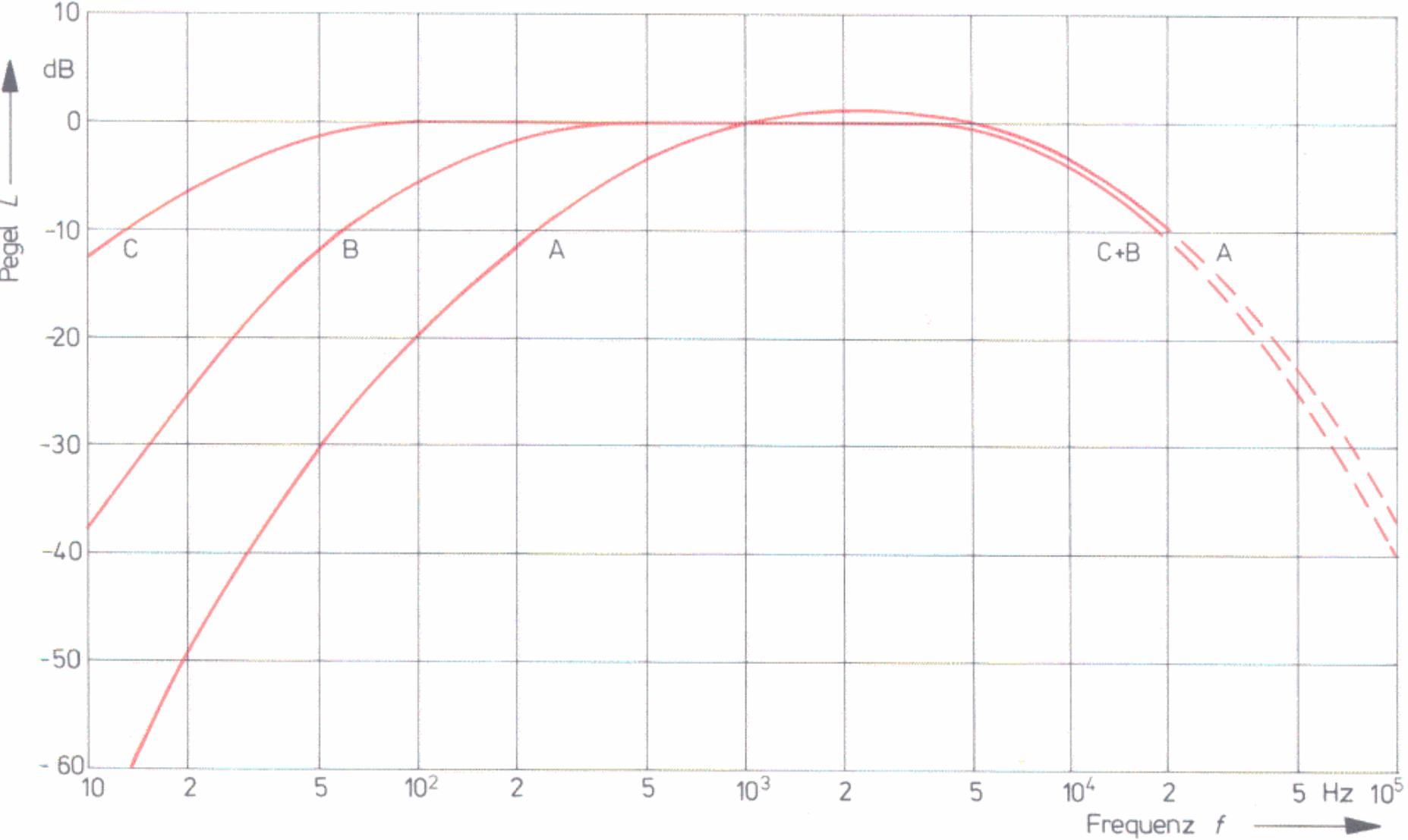
Schalldruckpegel

- Logarithmische Verhältnisse zwischen Empfindungen und physikalischen Werten:
- Schalldruck: 6dB = Verdoppelung des physikalischen Wertes
- ca. 10 dB (= ca. 3-facher Schalldruck) = Verdoppelung der Lautheit
- Die (untere) Hörschwelle ist frequenzabhängig, ebenso die subjektive Empfindung gleicher Lautstärke
- Tiefe und höhere Frequenzen werden bei gleichen objektiven Schallpegeln subjektiv leiser empfunden als mittlere. Daher werden Schallpegelmessungen im Allgemeinen „gehör richtig“ bewertet, zumeist nach der Kurve A (Abb.4). Solche Messungen werden zumeist in dBA , auch dB(A), ausgedrückt.

	Verstärkung
+6dB	doppelt
+10dB	ca. dreifach
+12dB	vierfach
+20dB	10-fach
+30dB	ca. 30-fach
+40dB	100-fach
+60dB	1000-fach
+80dB	10.000-fach
+100dB	100.000-fach
+120dB	1.000.000-fach

	Dämpfung
-6dB	Hälfte, 50%
-10dB	ca. Drittel 31.6%
-12dB	Viertel. 25%
-20dB	Zehntel 10%
-30dB	ca. Dreißigstel 3.16%
-40dB	Hundertstel 1%
-60dB	Tausendstel 0.1%
-80dB	10Tausendstel 0.01%
-100dB	100Tausendstel 0.001%
-120dB	Millionstel 0.0001%

Kurven für die gehörrichtige Bewertung von Schallpegeln und Rauschen, bevorzugt "A"



Tonhöhe und Frequenz

- Tonhöhe und Frequenz:
- Frequenzverhältnisse (z.B. Verdoppelungen) werden als gleiche Intervalle (z.B. Oktaven) empfunden.
- Hörumfang beträgt etwas mehr als 10 Oktaven

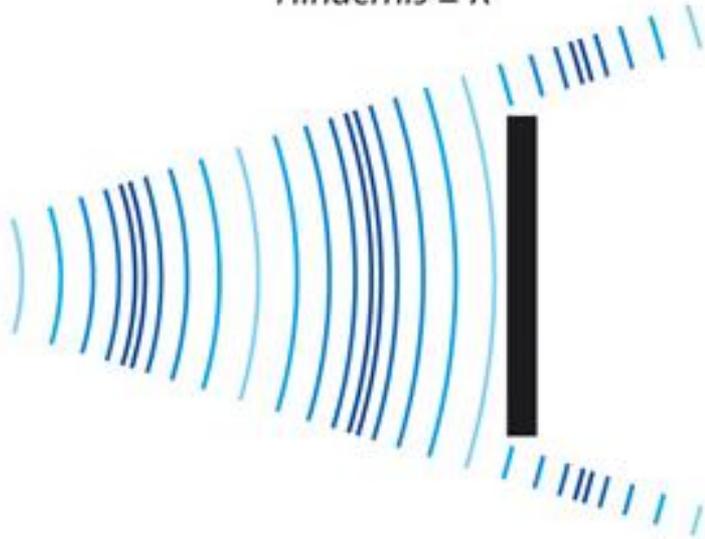
Schwellenwerte der Gehörsempfindung

- Hörbereich junger gesunder Menschen:

Schwellenwert	unterer	oberer
Frequenz	16 Hz	20.000 Hz (20 kHz)
Empfindung	tief	hoch
Amplitude	2×10^{-5} Pa (2×10^{-4} μ bar)	60 Pa (6×10^2 μ bar)
Empfindung	leise	laut

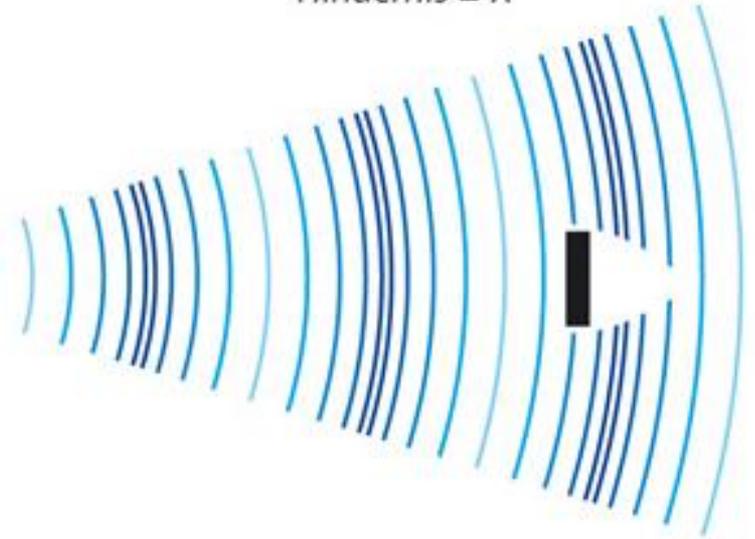
Schallbeugung

Hindernis $\geq \lambda$



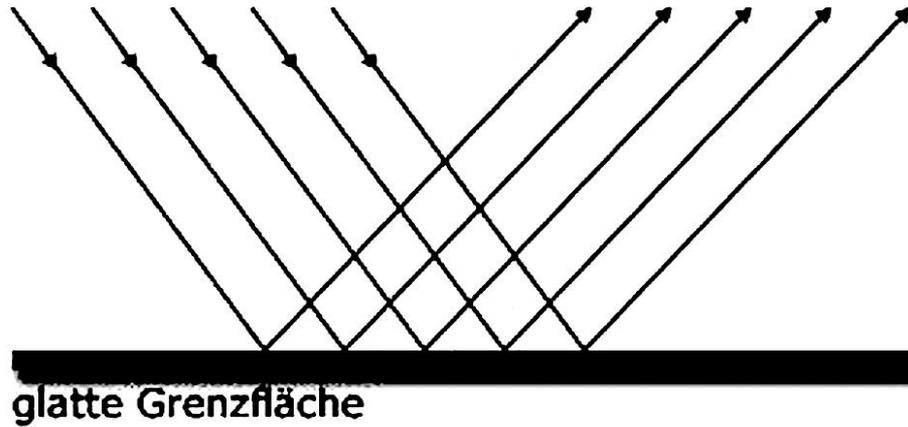
hinter dem Hindernis
entsteht ein Schallschatten

Hindernis $\leq \lambda$

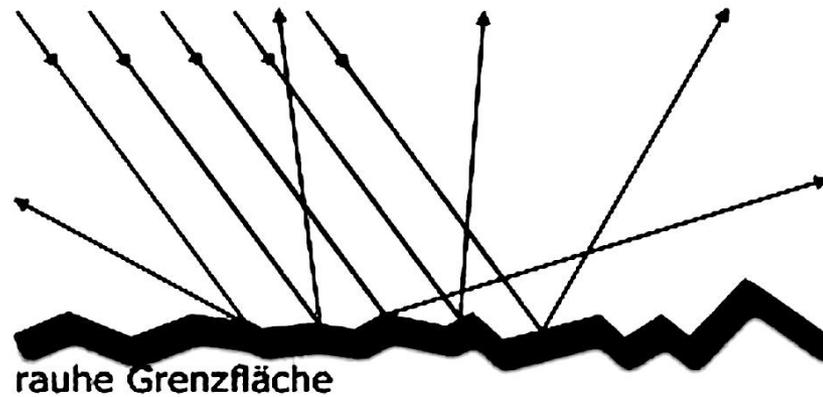


Schall „rinnt“ um
Hindernis herum

Schallreflexion

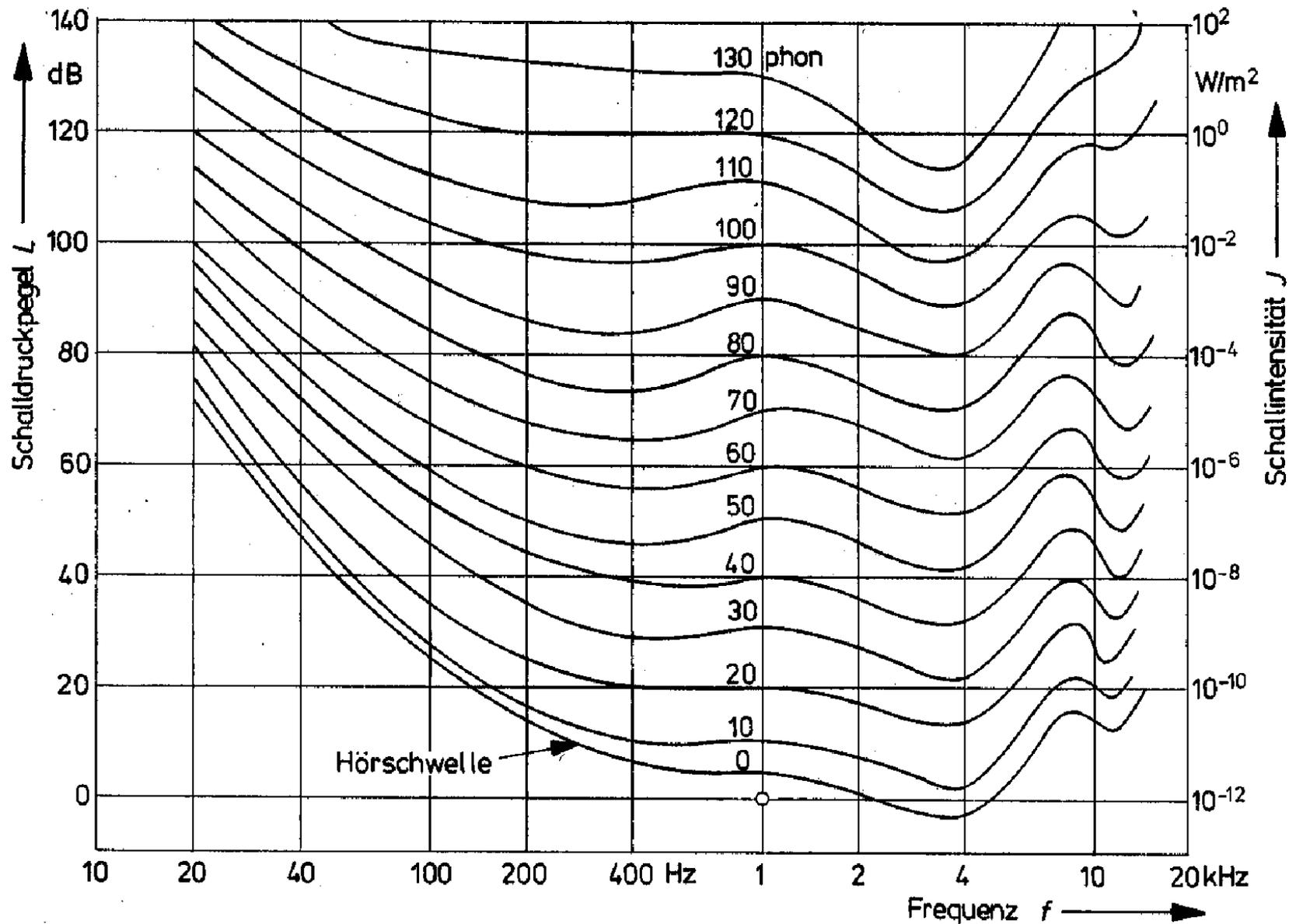


Einfallswinkel gleich Reflexionswinkel (auch für gekrümmte Flächen)

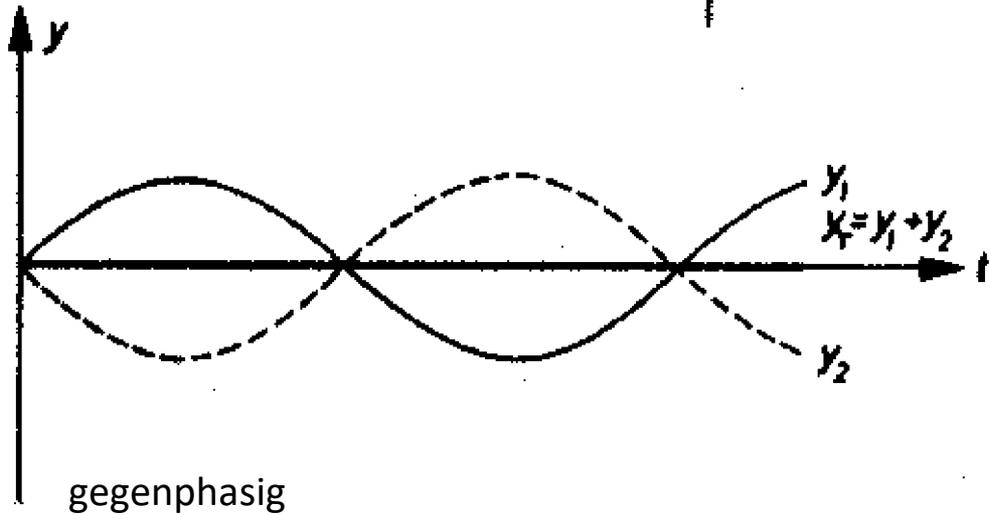
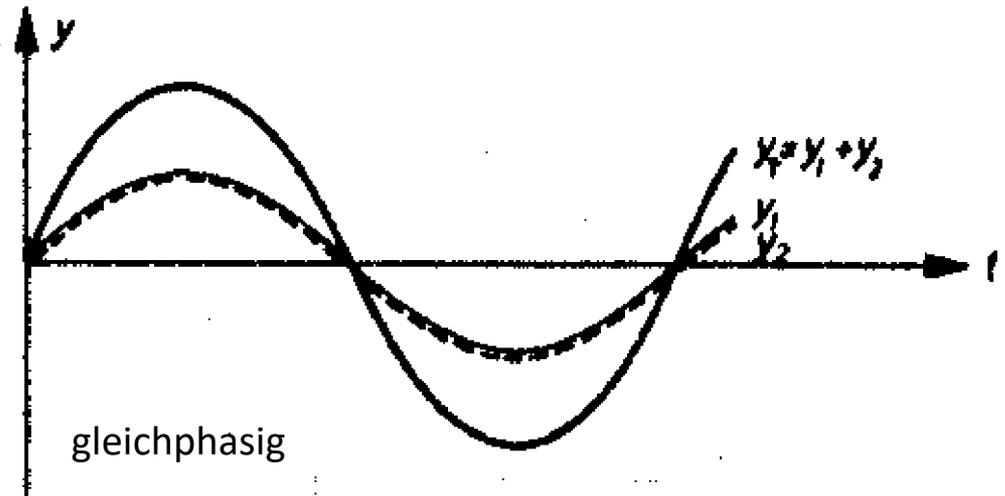


Raue Grenzfläche: diffuse Schallreflexion

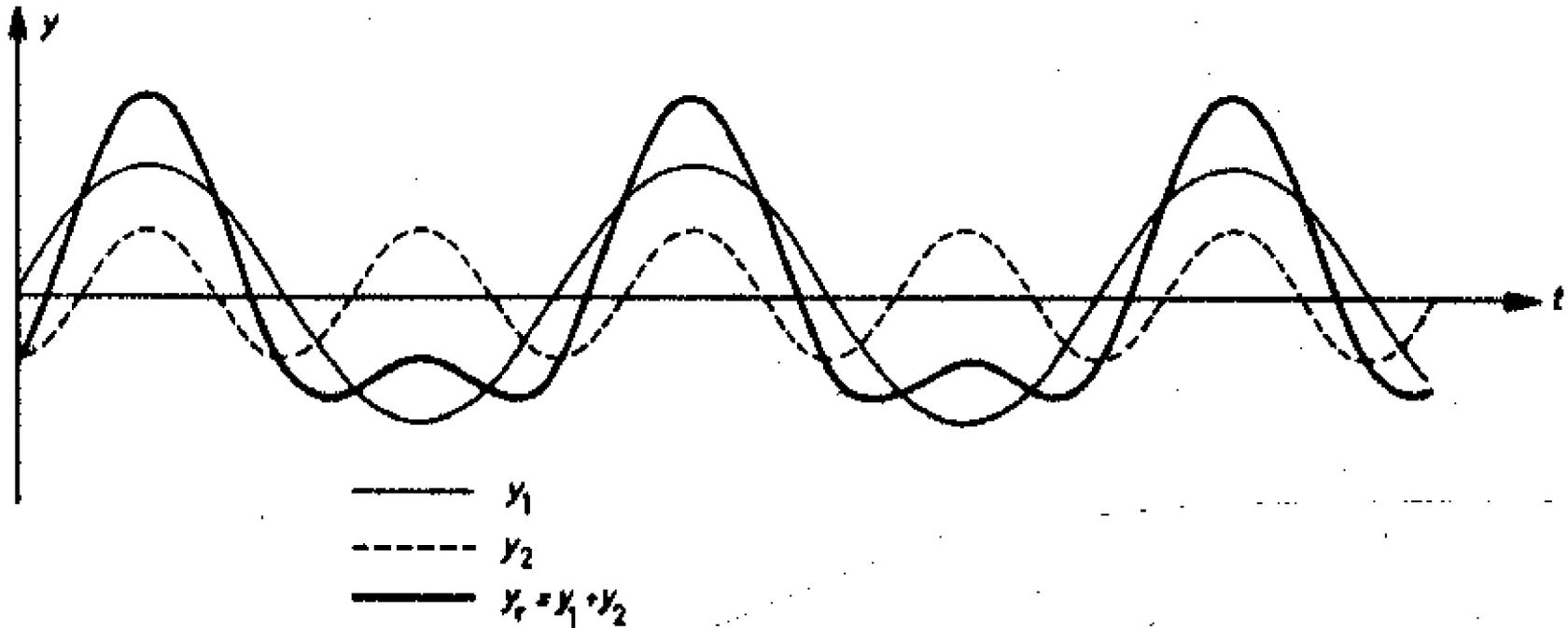
Empfindung gleicher Lautstärke in Anhängigkeit von Schalldruck und Frequenz



Überlagerung zweier Schwingungen gleicher Frequenz und Amplitude



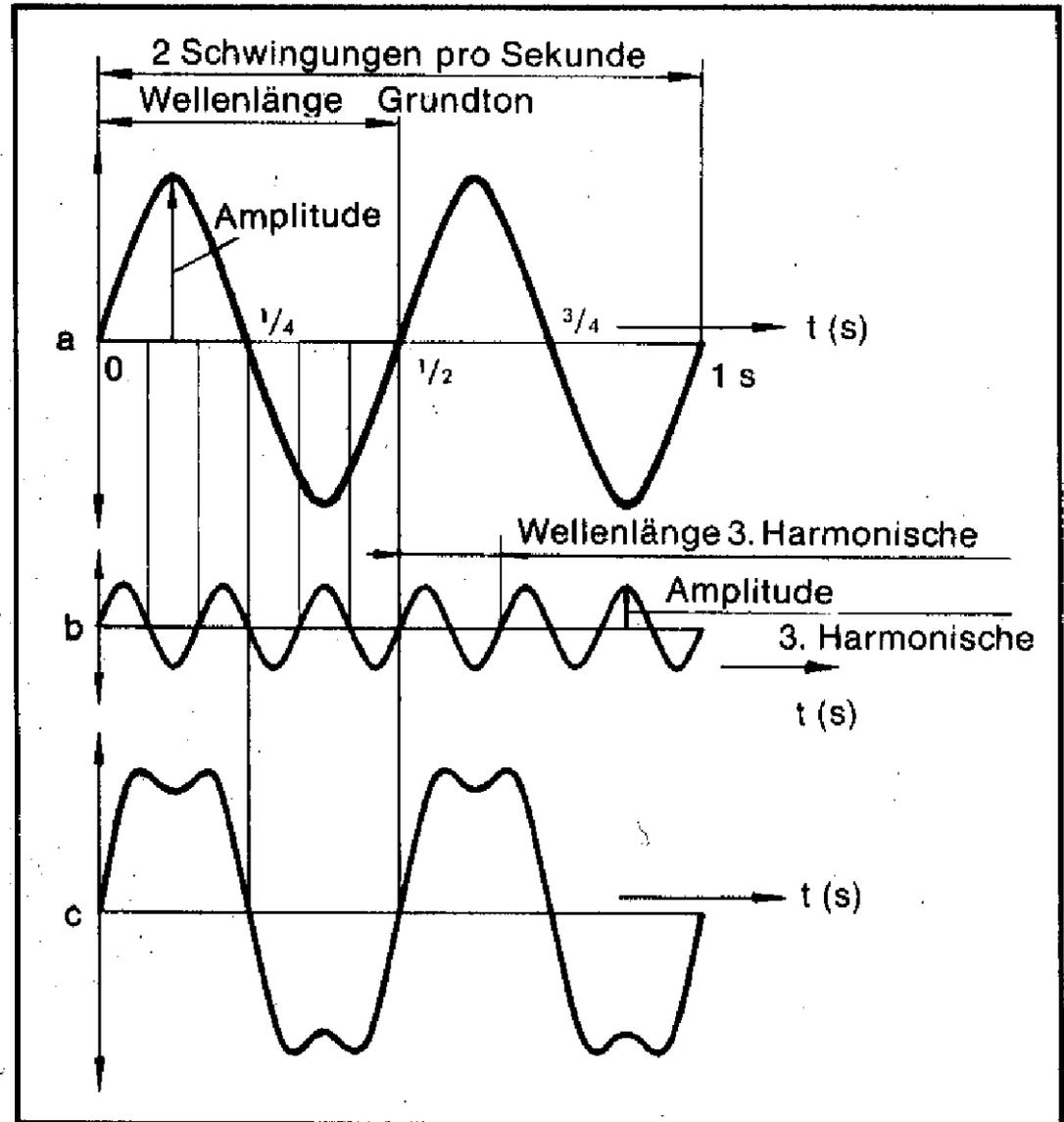
Überlagerung zweier Schwingungen im Verhältnis 1:2 mit unterschiedlicher Amplitude



Überlagerung zweier Schwingungen
im Verhältnis 1:3

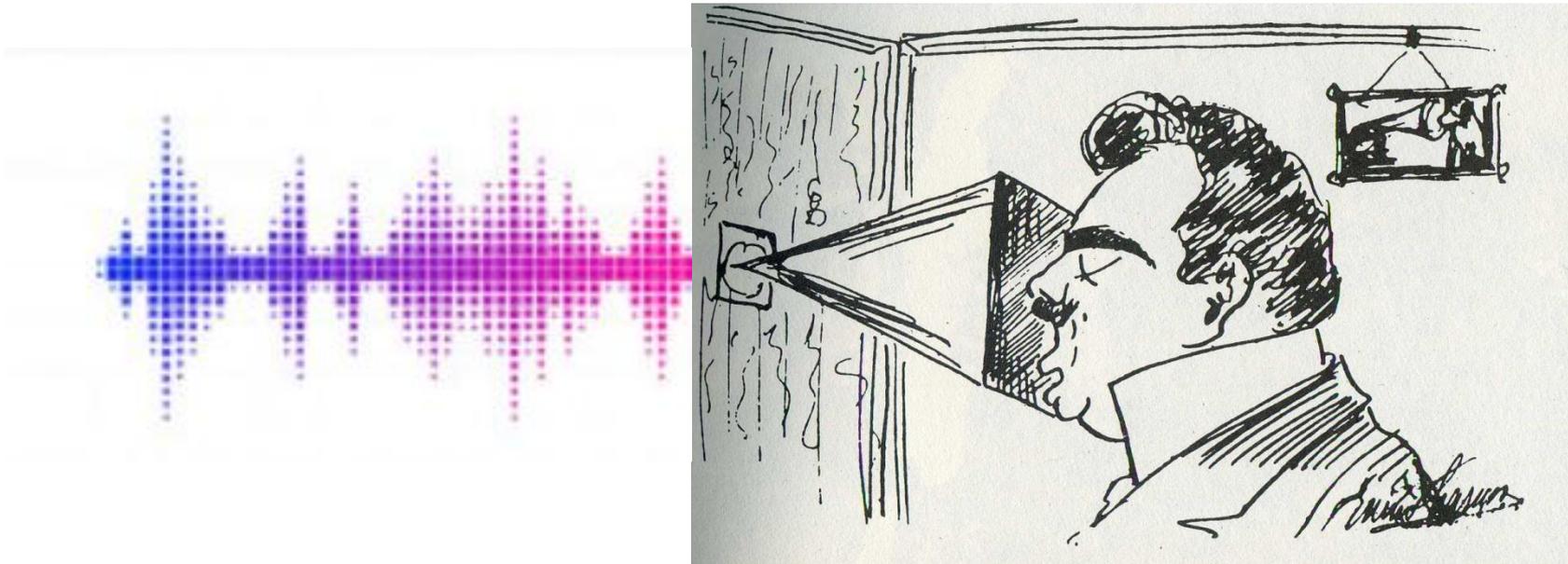
Je mehr ungerade Teiltöne
hinzutreten, desto rechteckiger wird
die resultierende Schwingung.

Nicht-lineare Systeme (Verstärker,
Tonbänder) fügen u.a. derartige
Teiltöne ein = harmonische
Verzerrung, Klirrfaktor



Teil 2

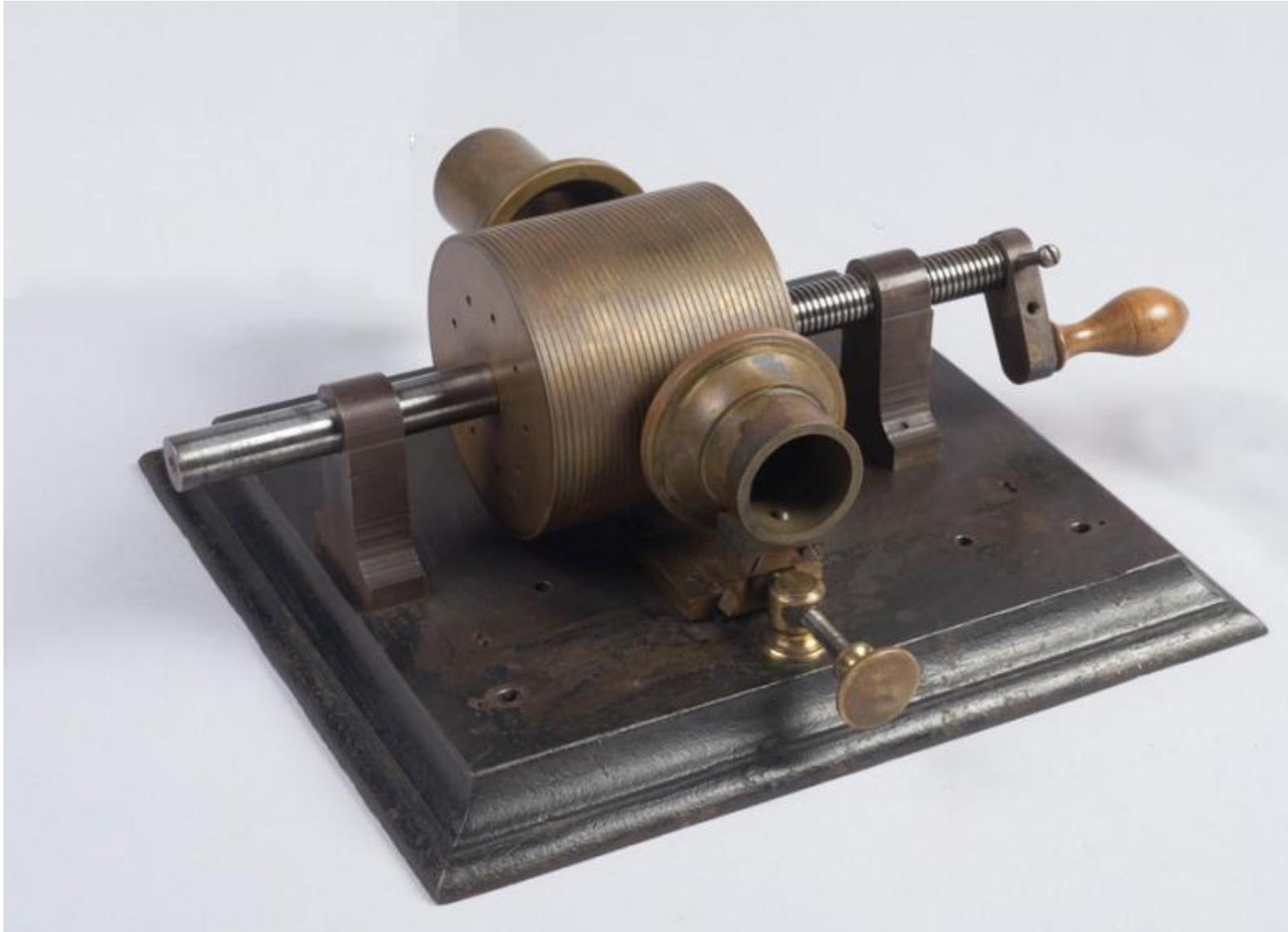
Akustisch-mechanische Schallaufnahme- und Wiedergabe

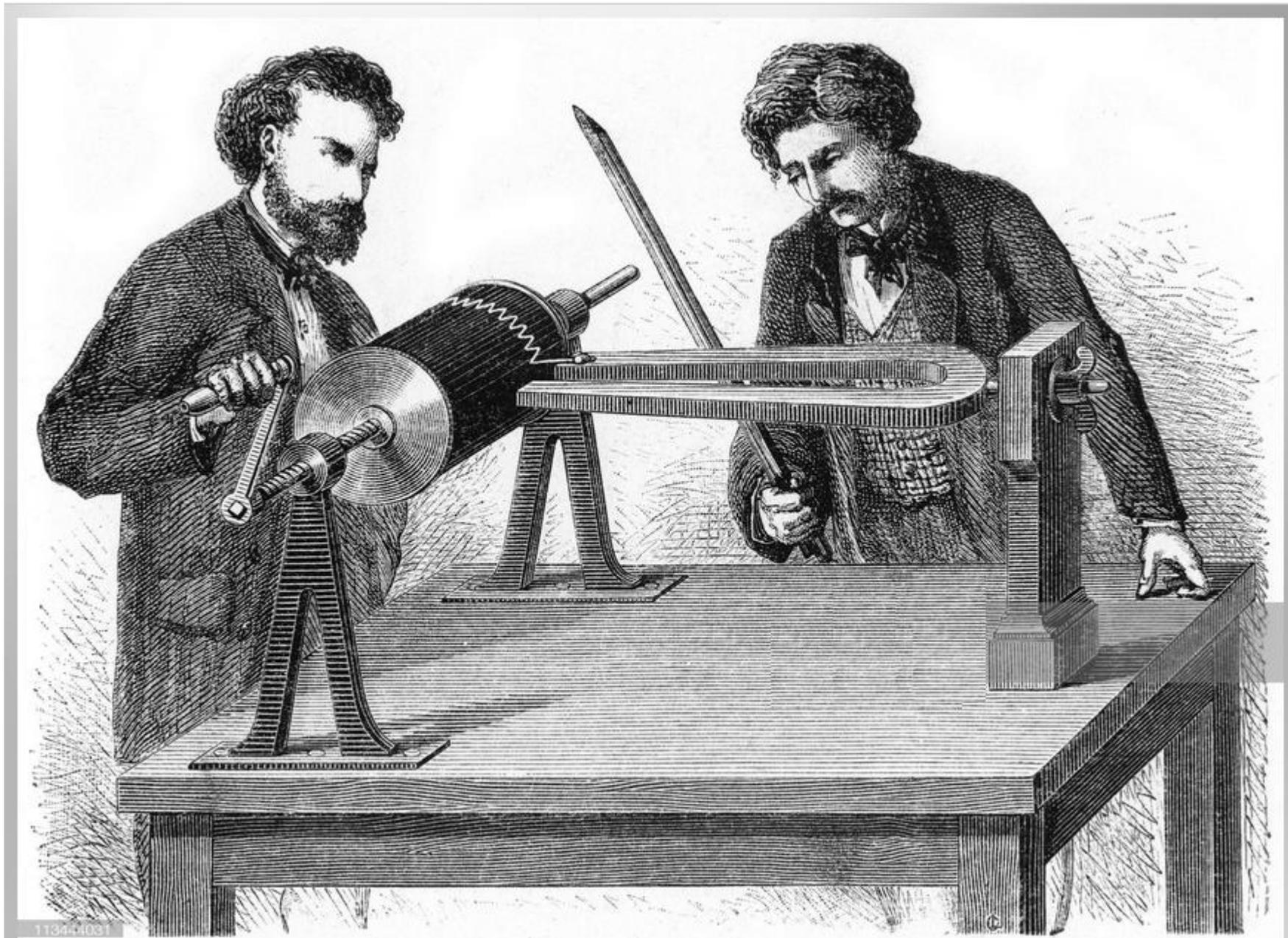


Mechanische Tonträger

- Zylinder
- Makrorillen-Platten (Schellacks)
- Aufnahmeplatten (Selbstschnittfolien)
- Mikrorillen-Platten (“Vinyl“-Platten, LPs)

November 1877: Wie alles begann...





4 : 5

2 : 5

1 : 2

5 : 6

5 : 8

5 : 4

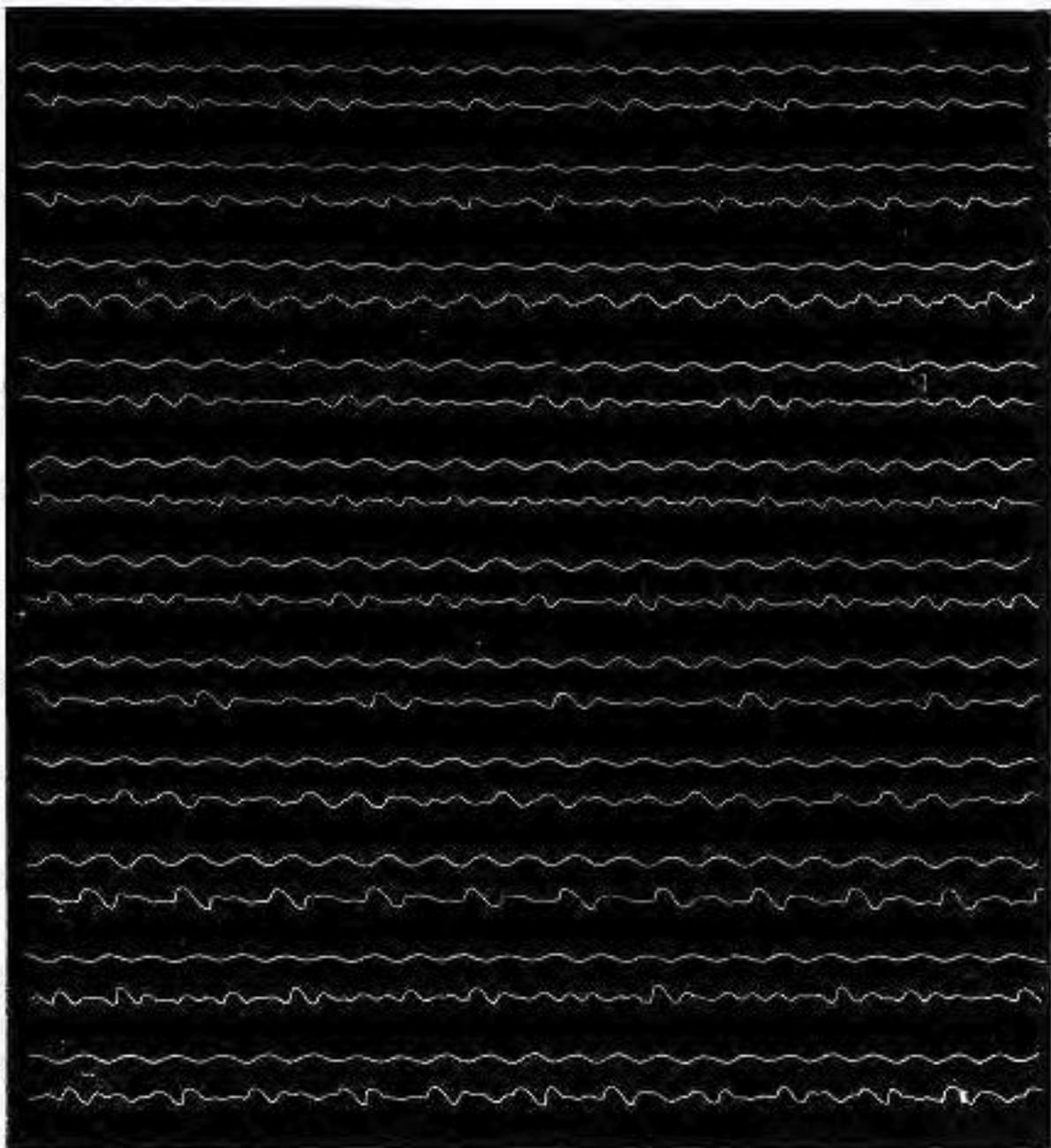
4 : 5 : 6

4 : 5 : 8

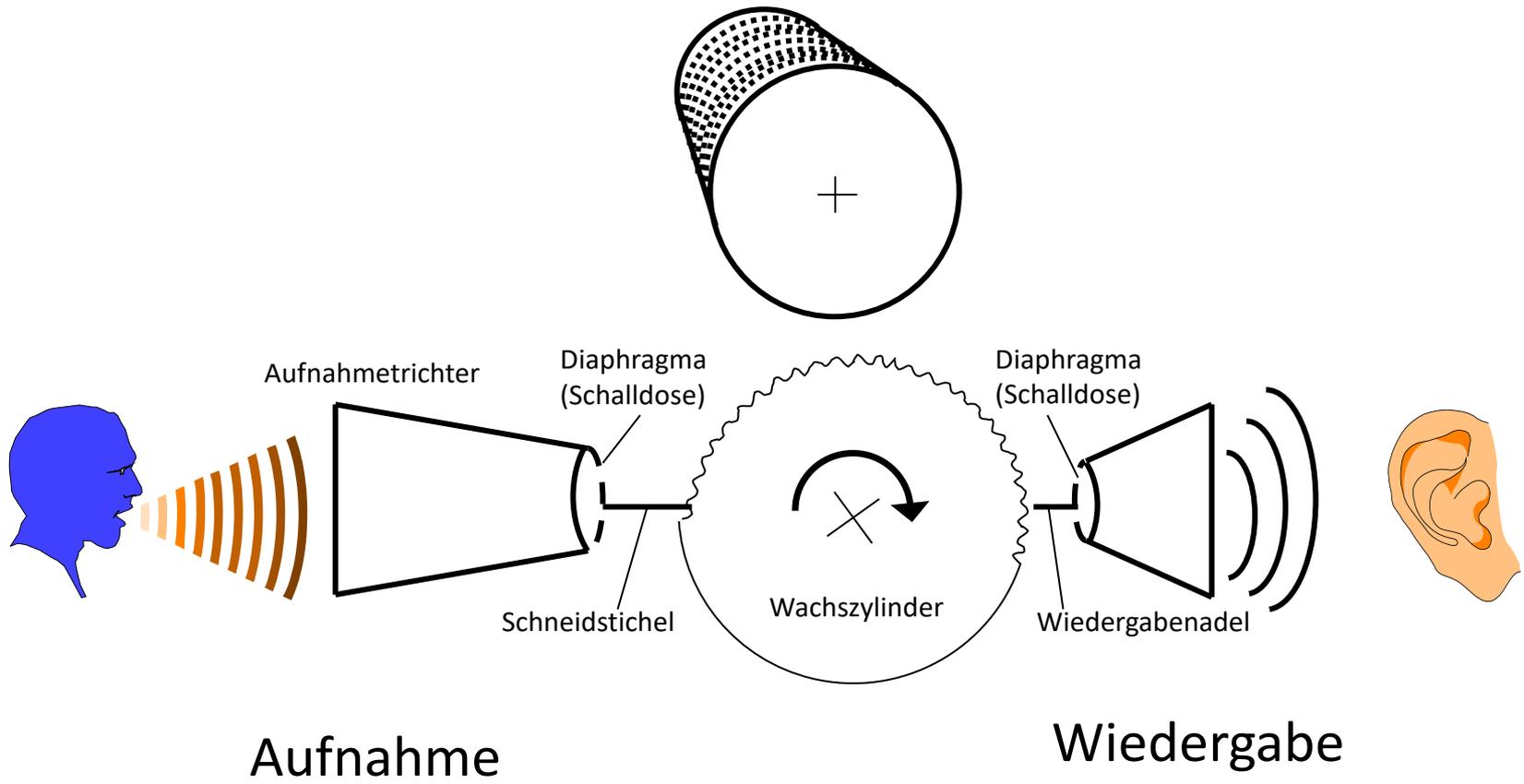
2 : 5 : 4

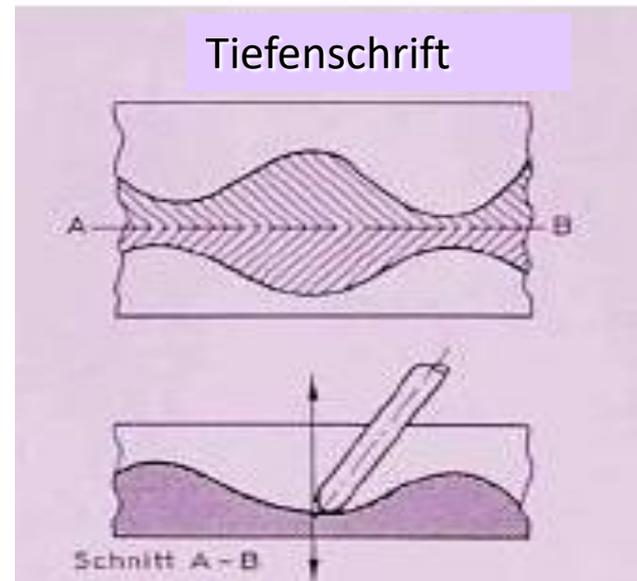
5 : 6 : 8

4 : 5 : 6 : 8





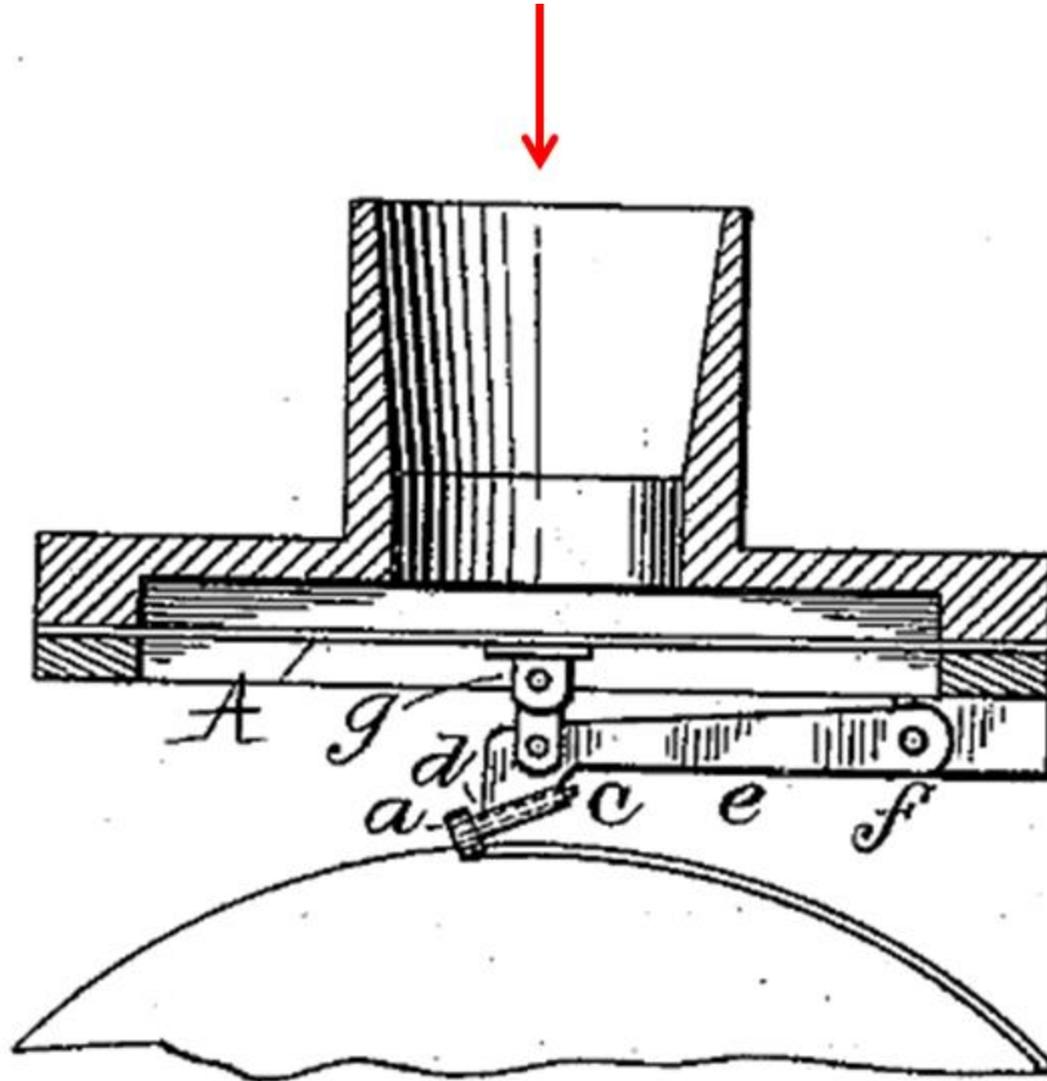




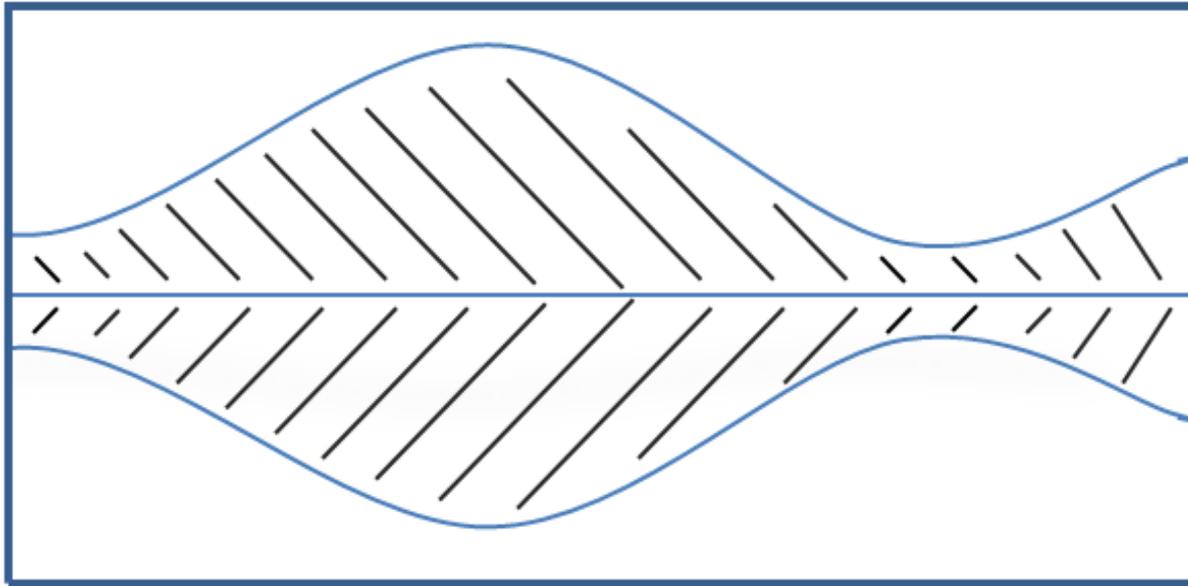
Phonograph:

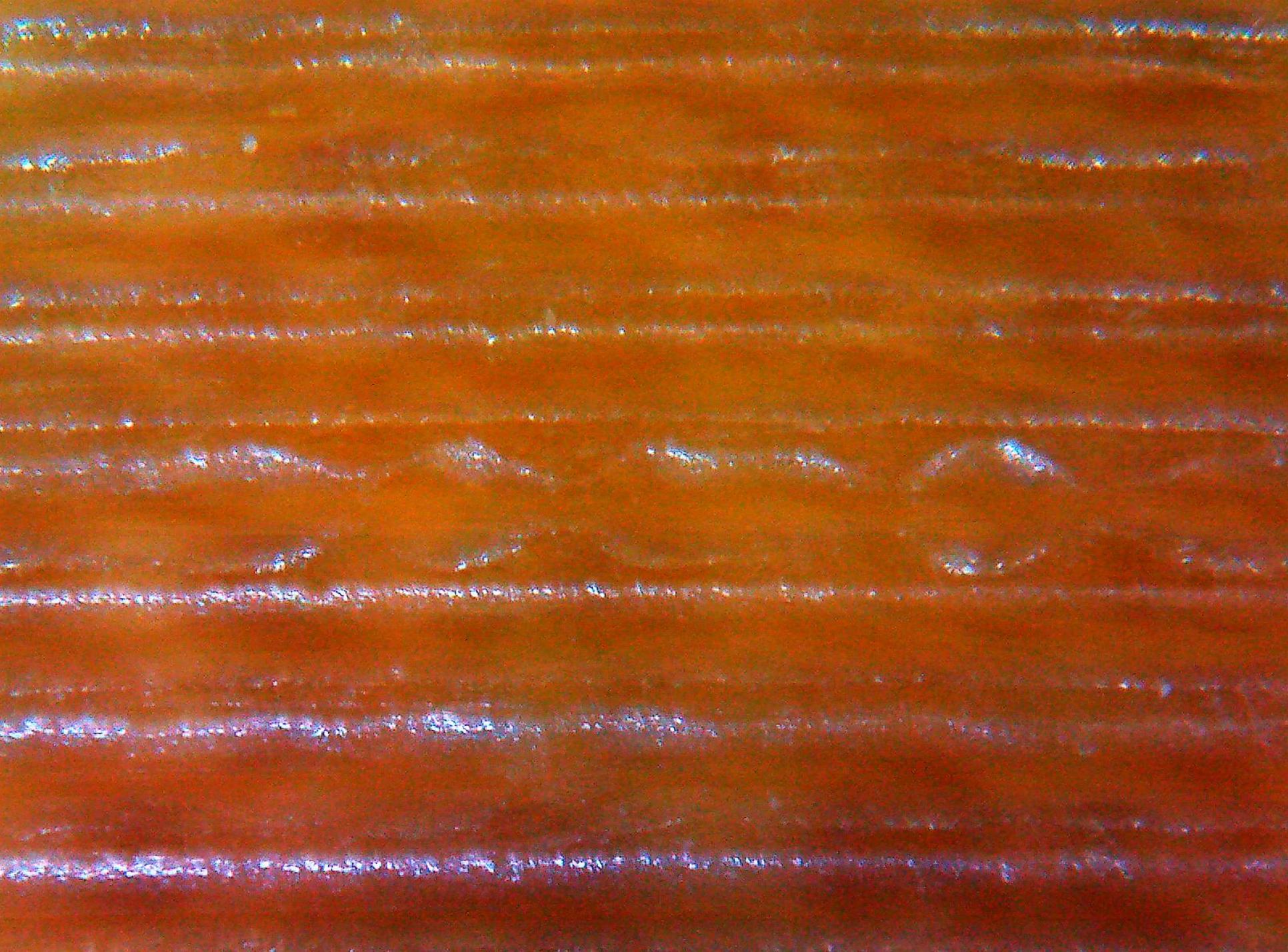
Tiefenschrift auf Zylinder (=Walze)

Schalldruck

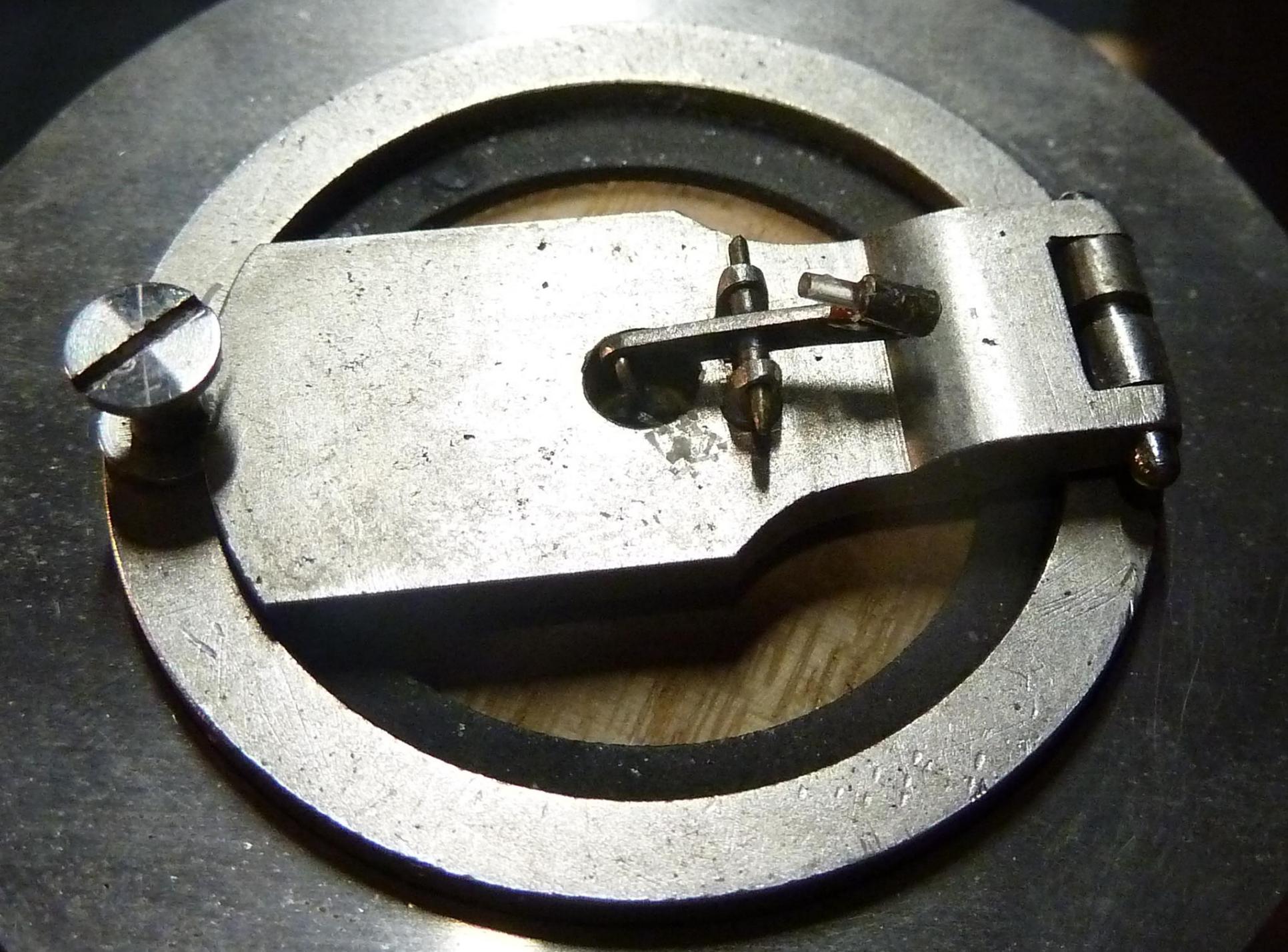


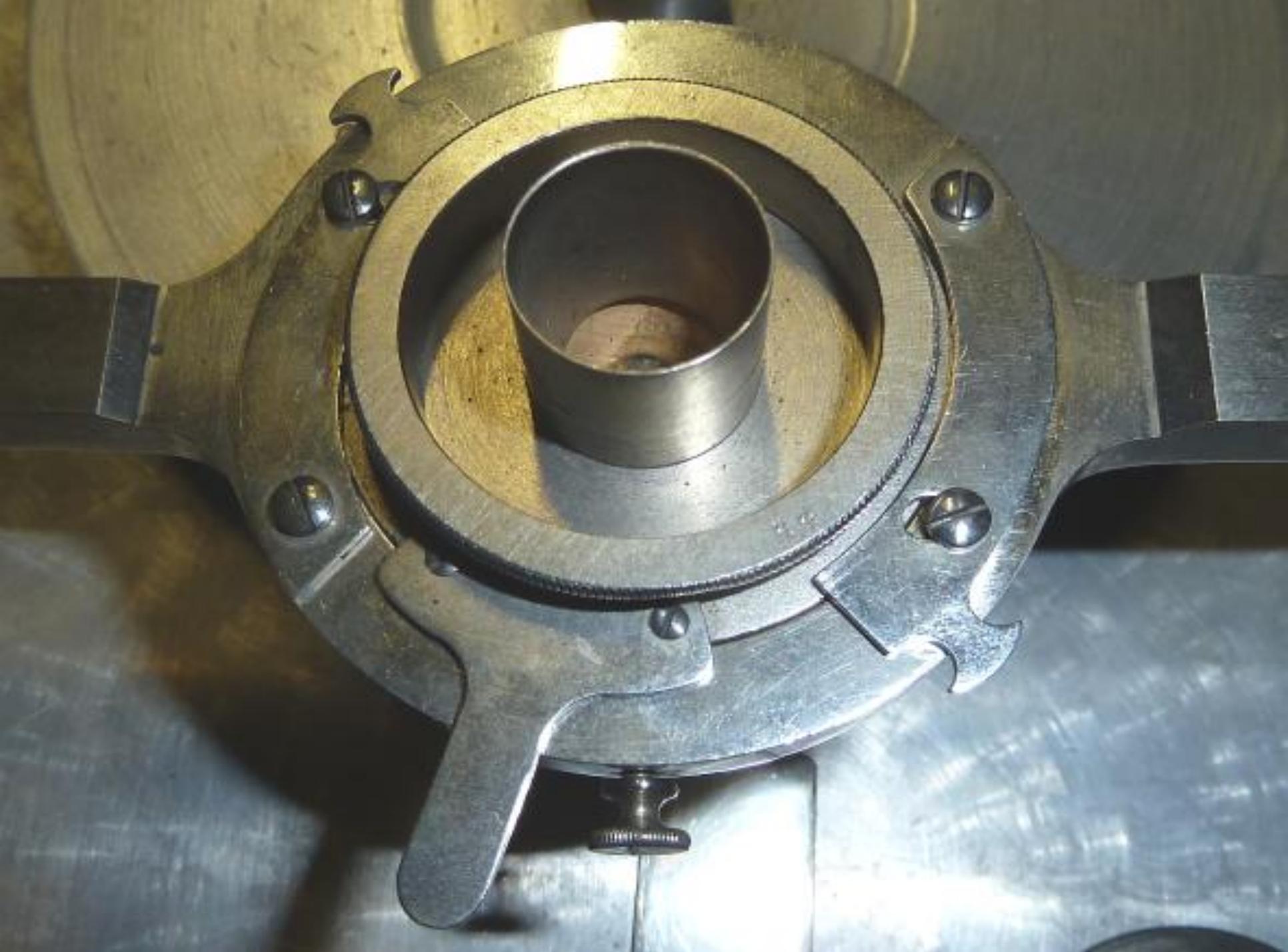
Schematische Darstellung der Tiefenschrift











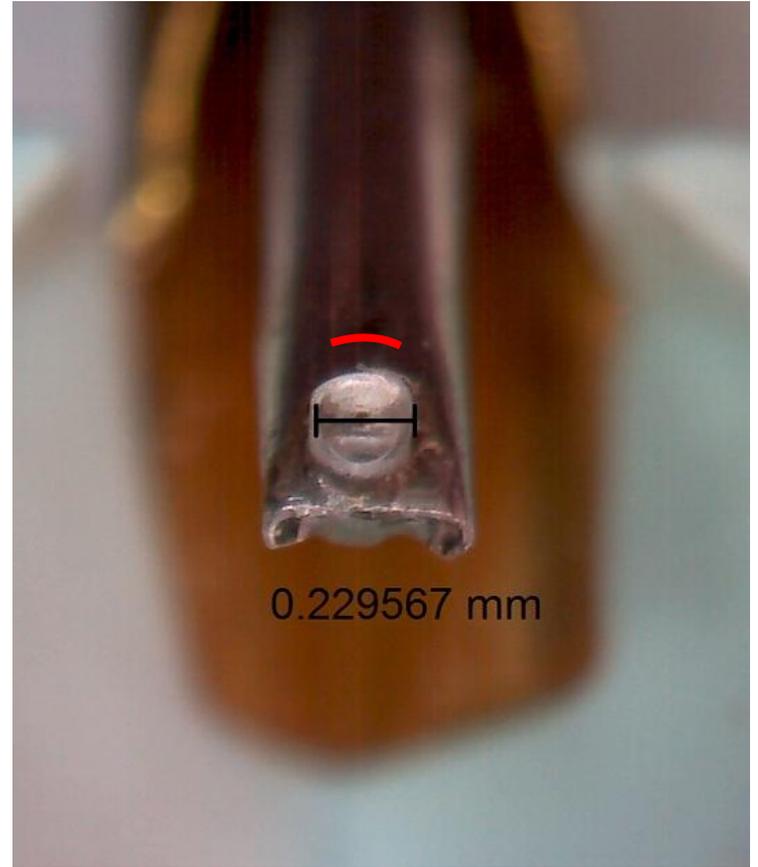
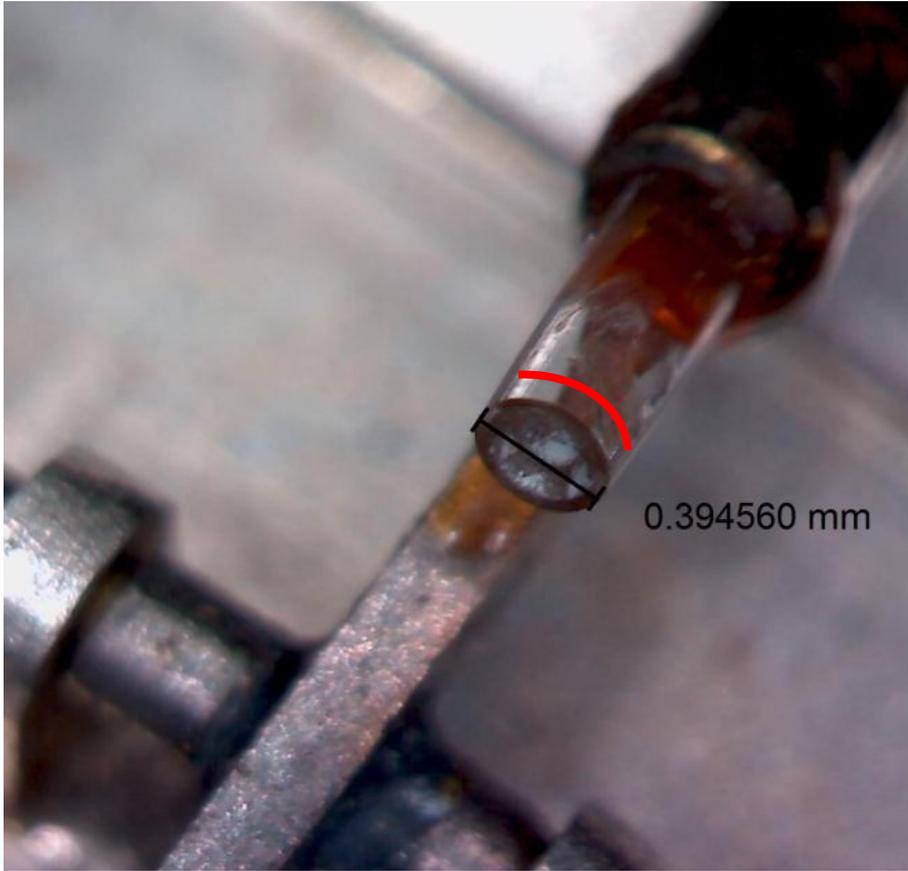


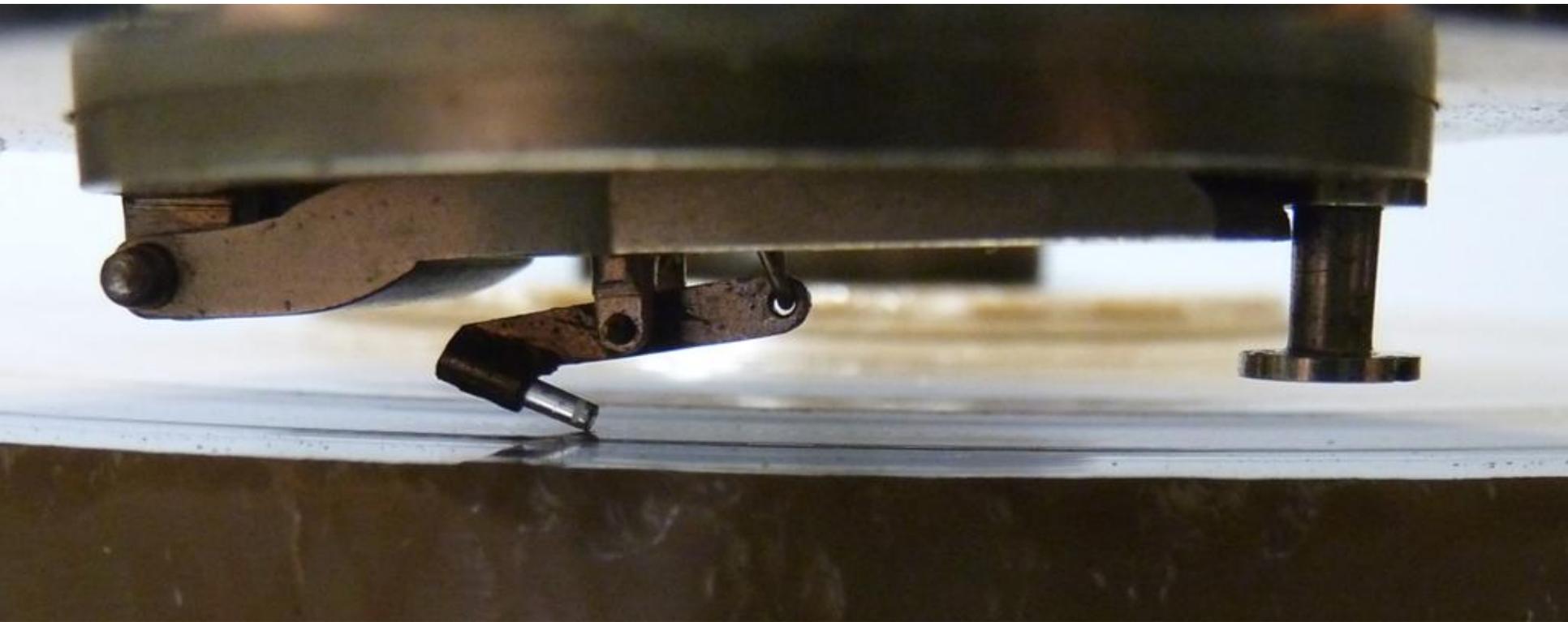
0.394560 mm



0.284000 mm







Jesse Walter Fewkes: Feldaufnahme der Passamaquoddy Indianer (März 1890)



Foto: Passamaquoddy Cultural Heritage Museum

Frances Densmore bei der Aufnahme von Mountain Chief, 1916

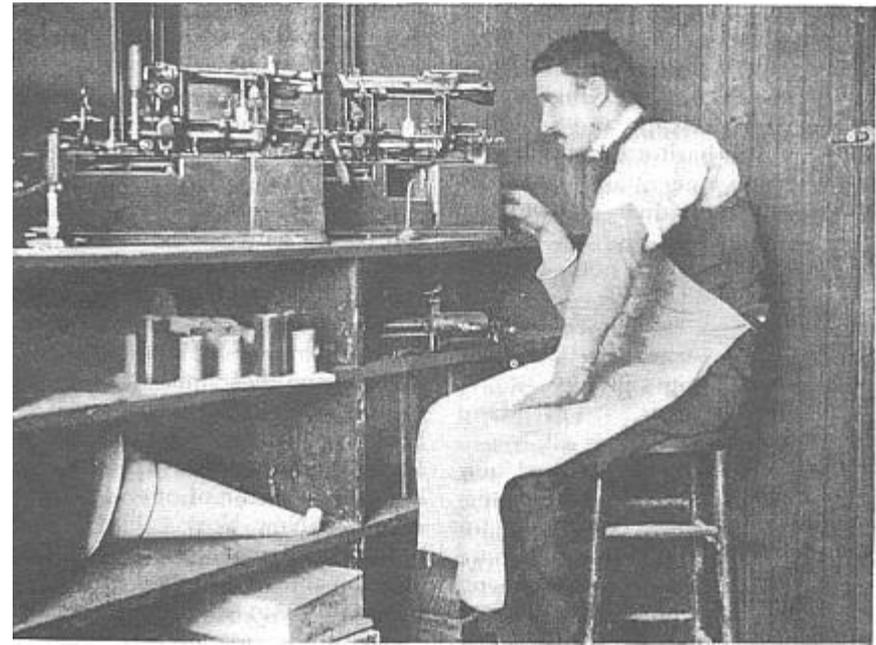


Zylinderaufnahmen

- Nachteil: Bei jeder Wiedergabe kommt es durch den Abrieb der Nadel zu einem Qualitätsverlust
- In der Frühzeit gab es noch keine Möglichkeit, zylinderförmige Tonträger mit hoher Qualität zu kopieren
- Gianni Bettini: Panograph
- Qualitätsverlust beim Original, schlechte Kopienqualität



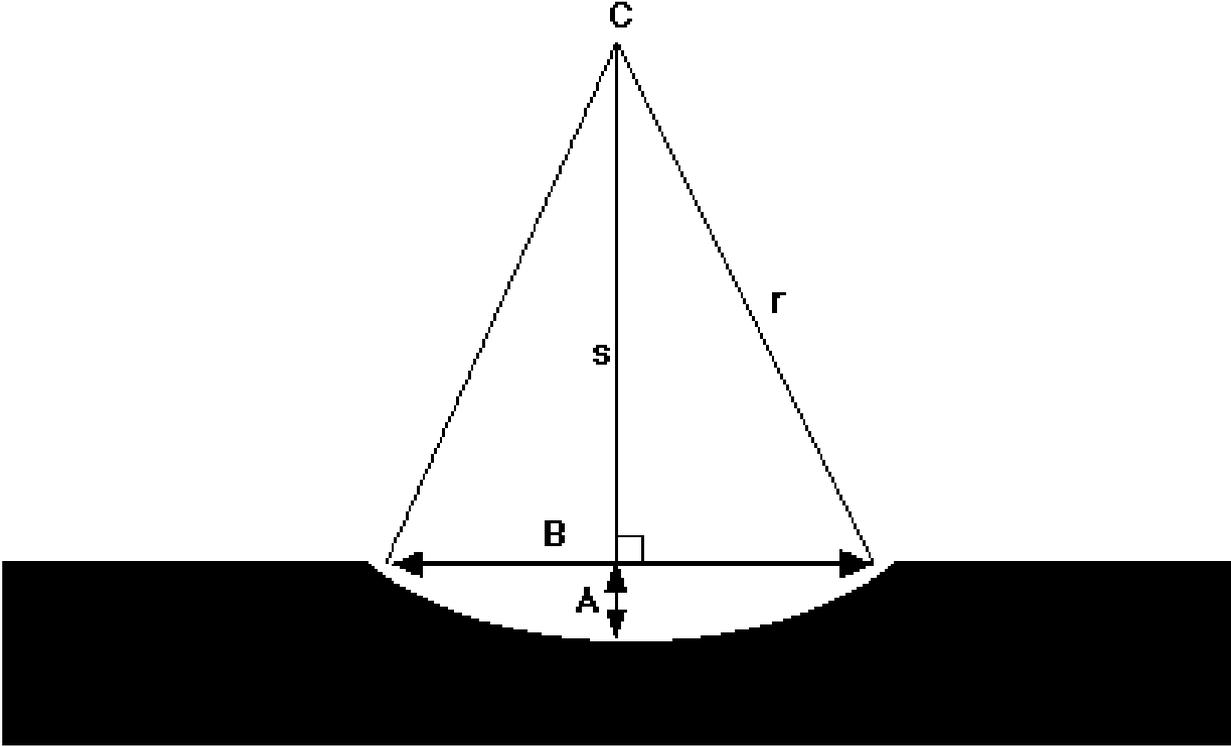
Gianni Bettini



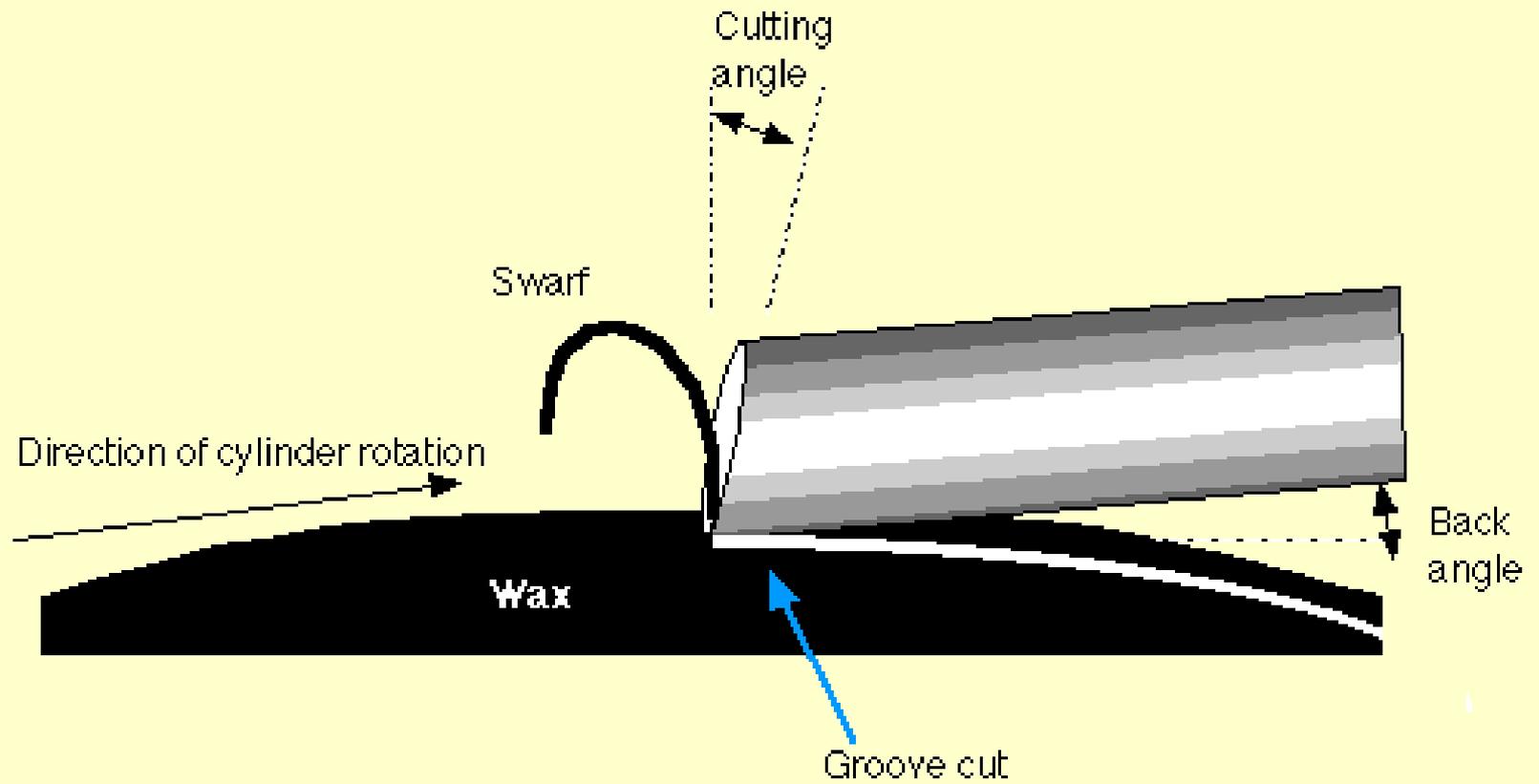


Technische Systemeinschränkungen

Rillengeometrie



CUTTING TIP ANGLES



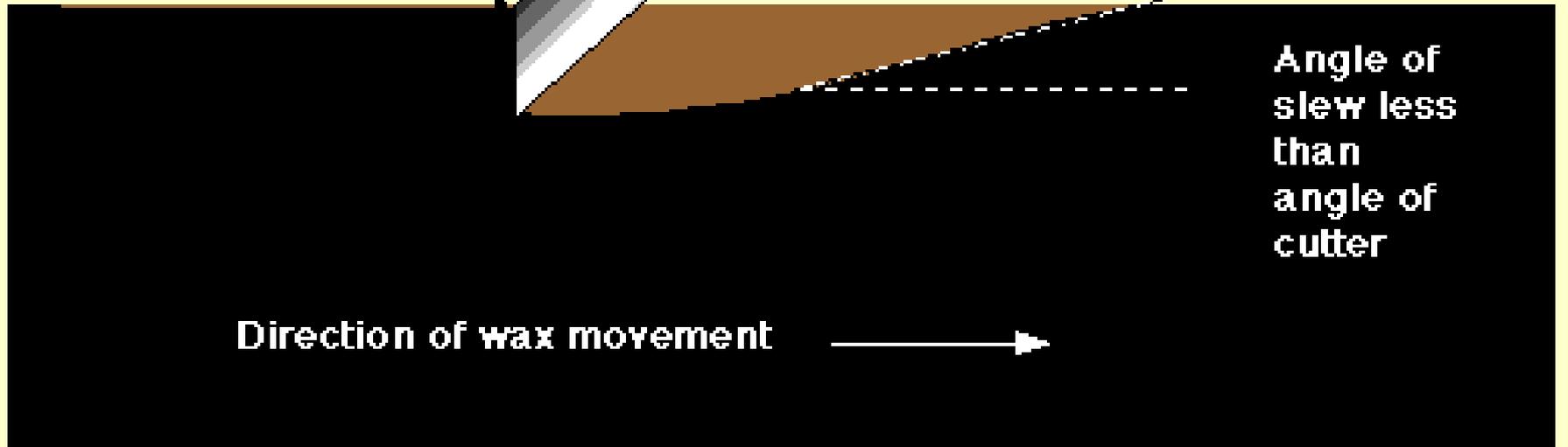
LOW SLEW RATE

Slow
cutter
movement

Angle of
cutter

Angle of
slew less
than
angle of
cutter

Direction of wax movement



HIGH SLEW RATE

Fast
cutter
movement

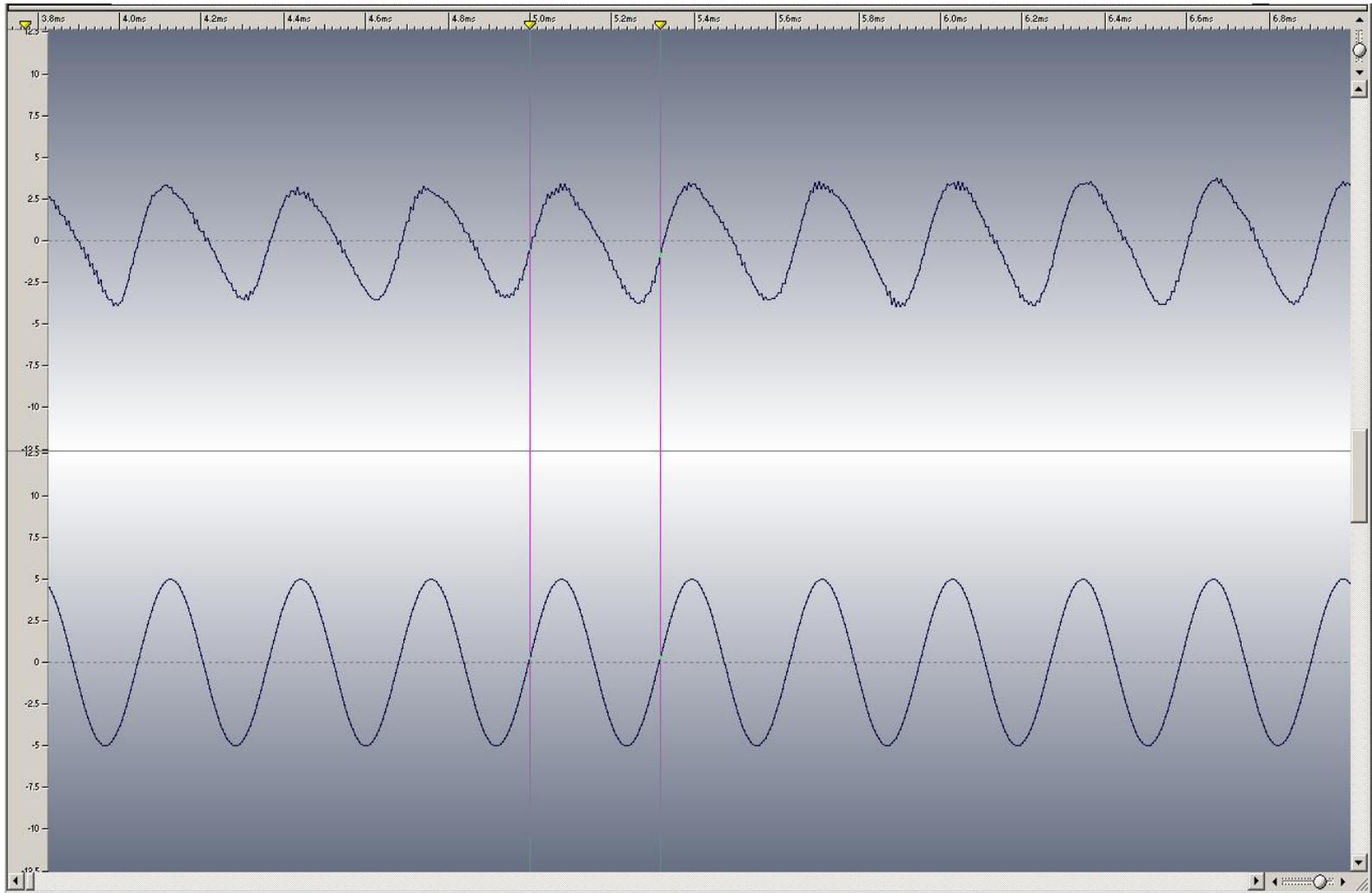
Angle of
cutter

Angle of
slew

Cutter contacts
groove here

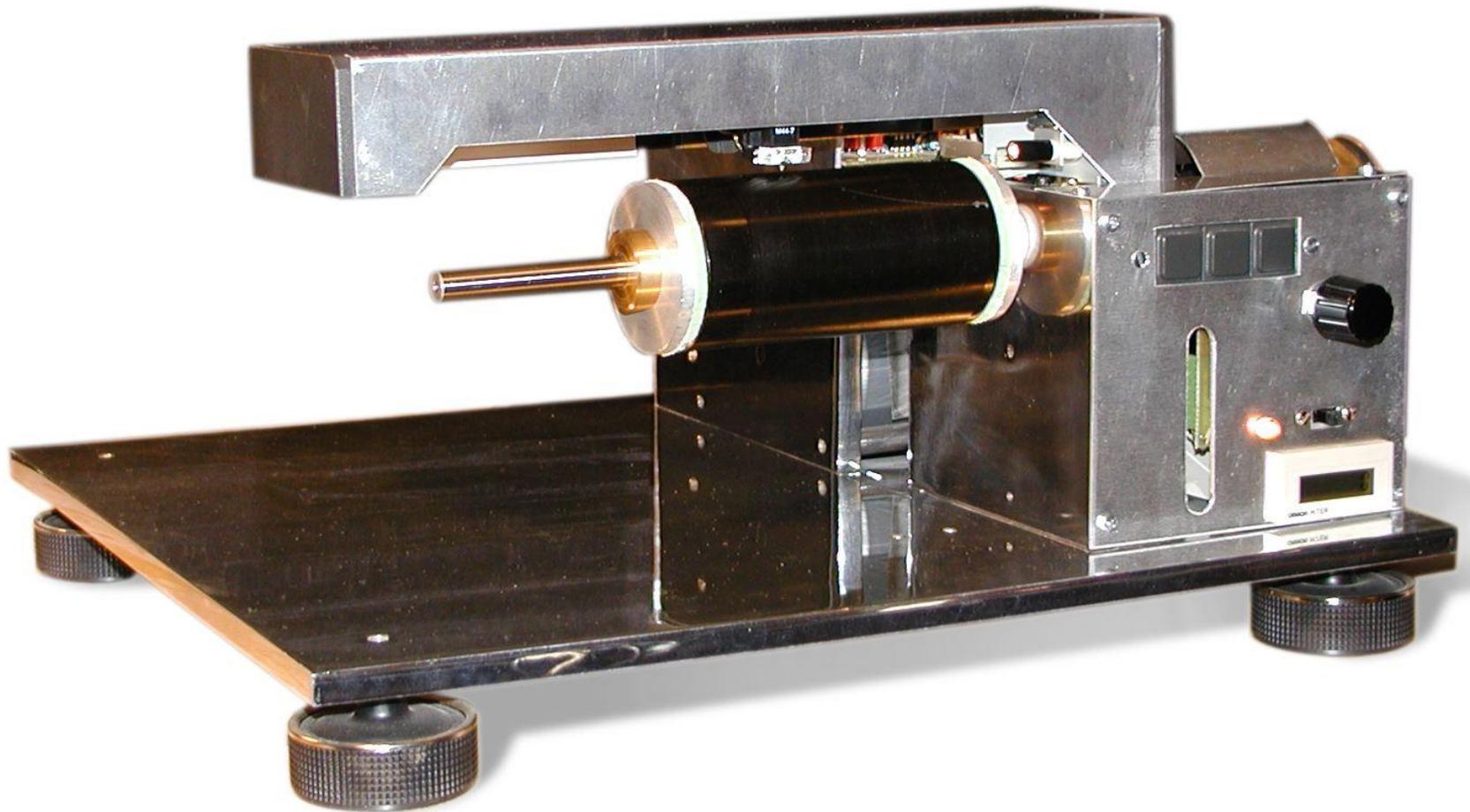
Direction of wax movement



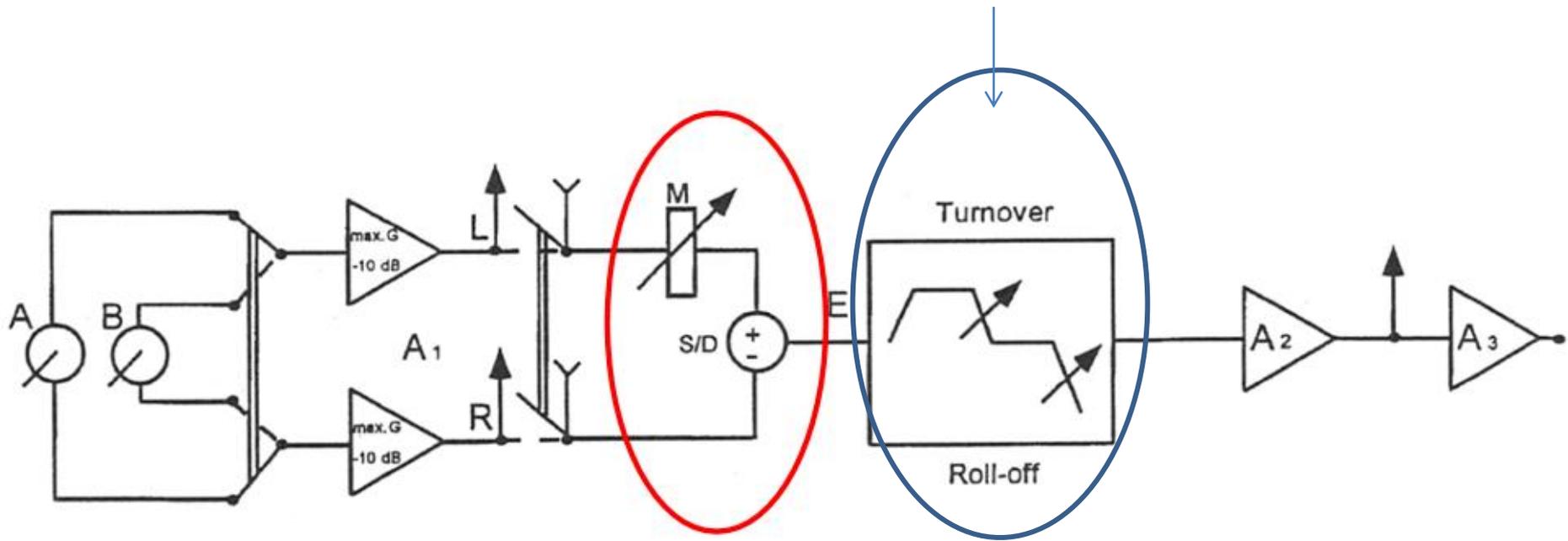


Wiedergabetechnologie

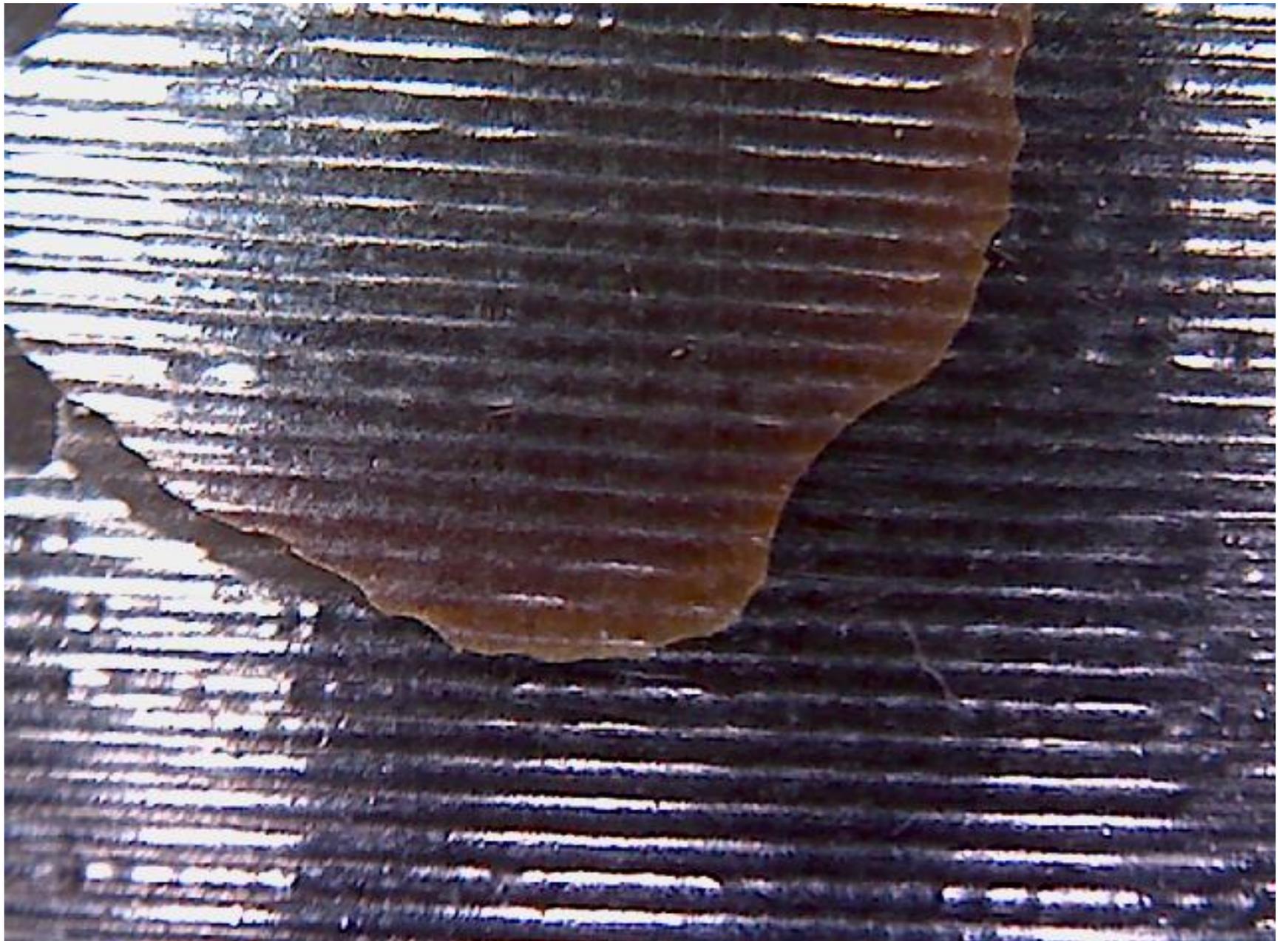
Mechanische Wiedergabe

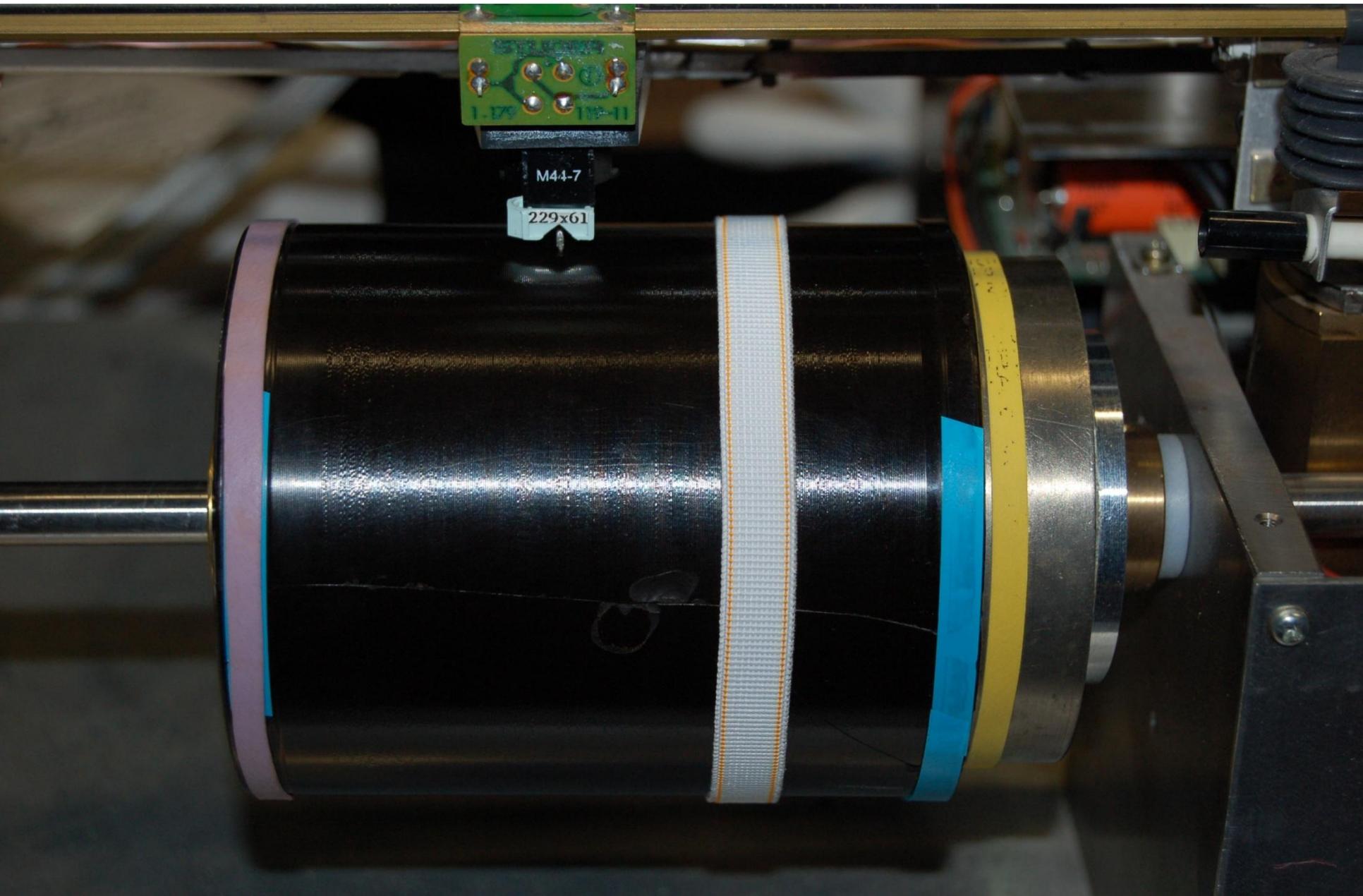


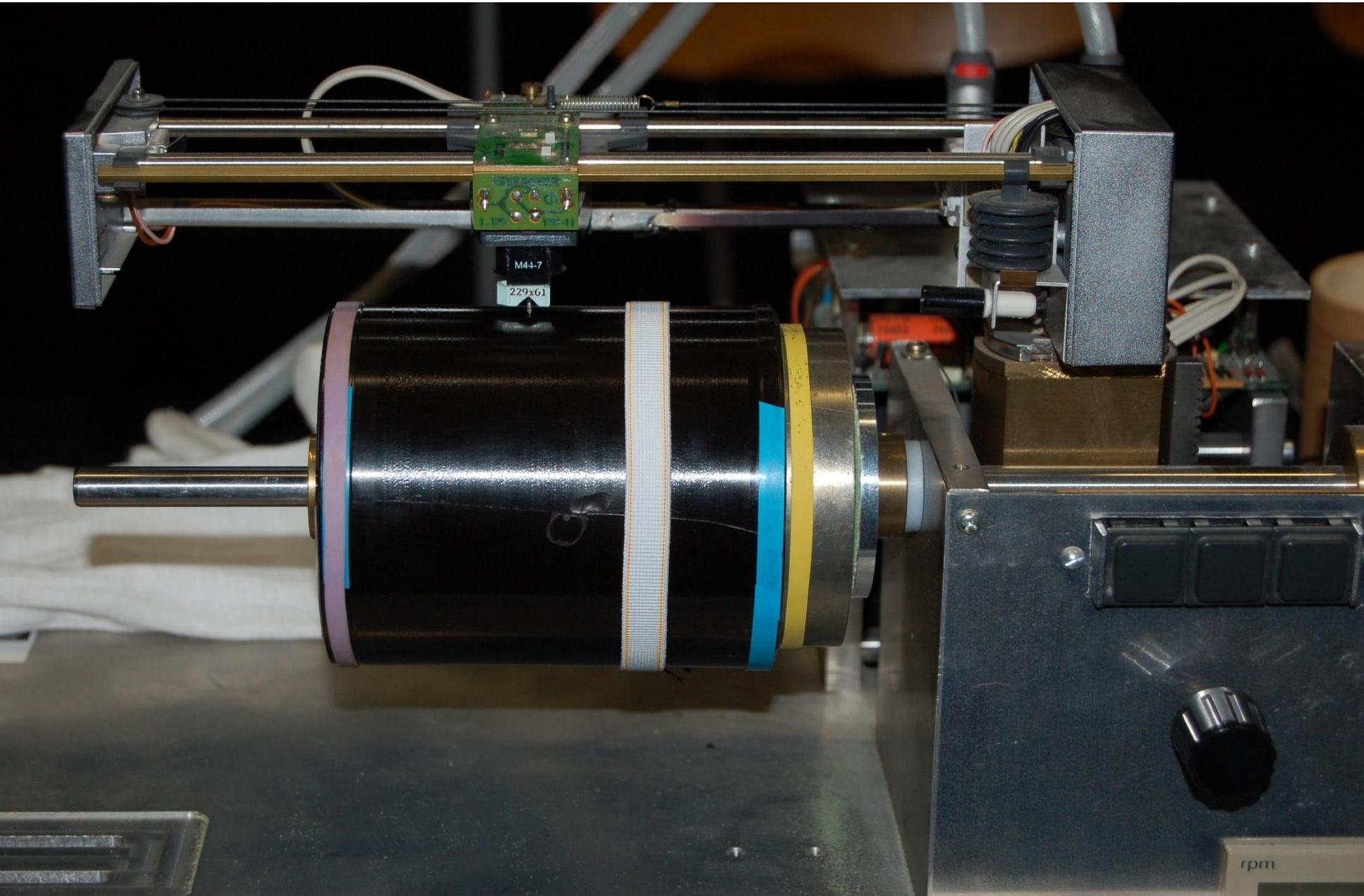
EQ: Linear!

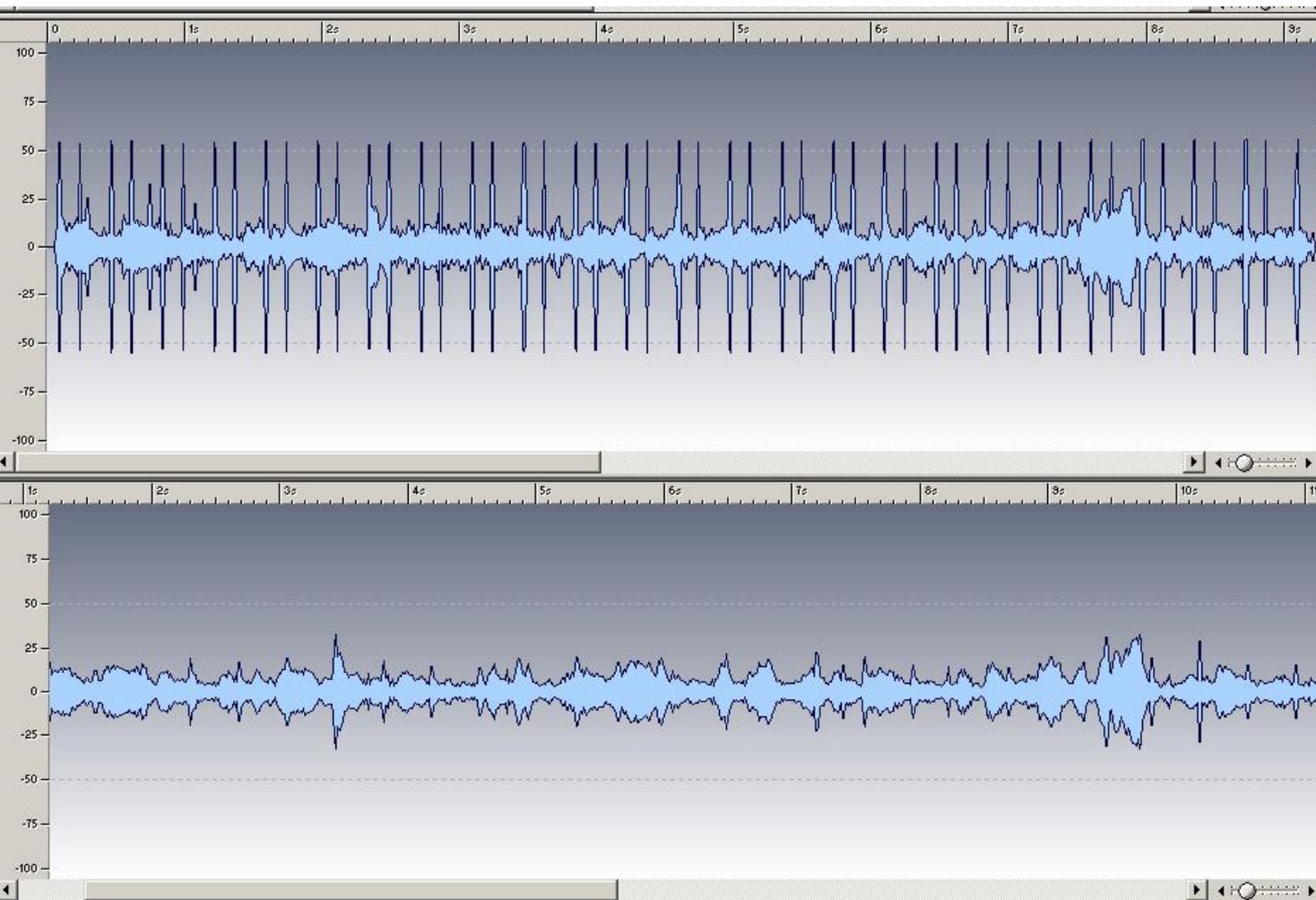






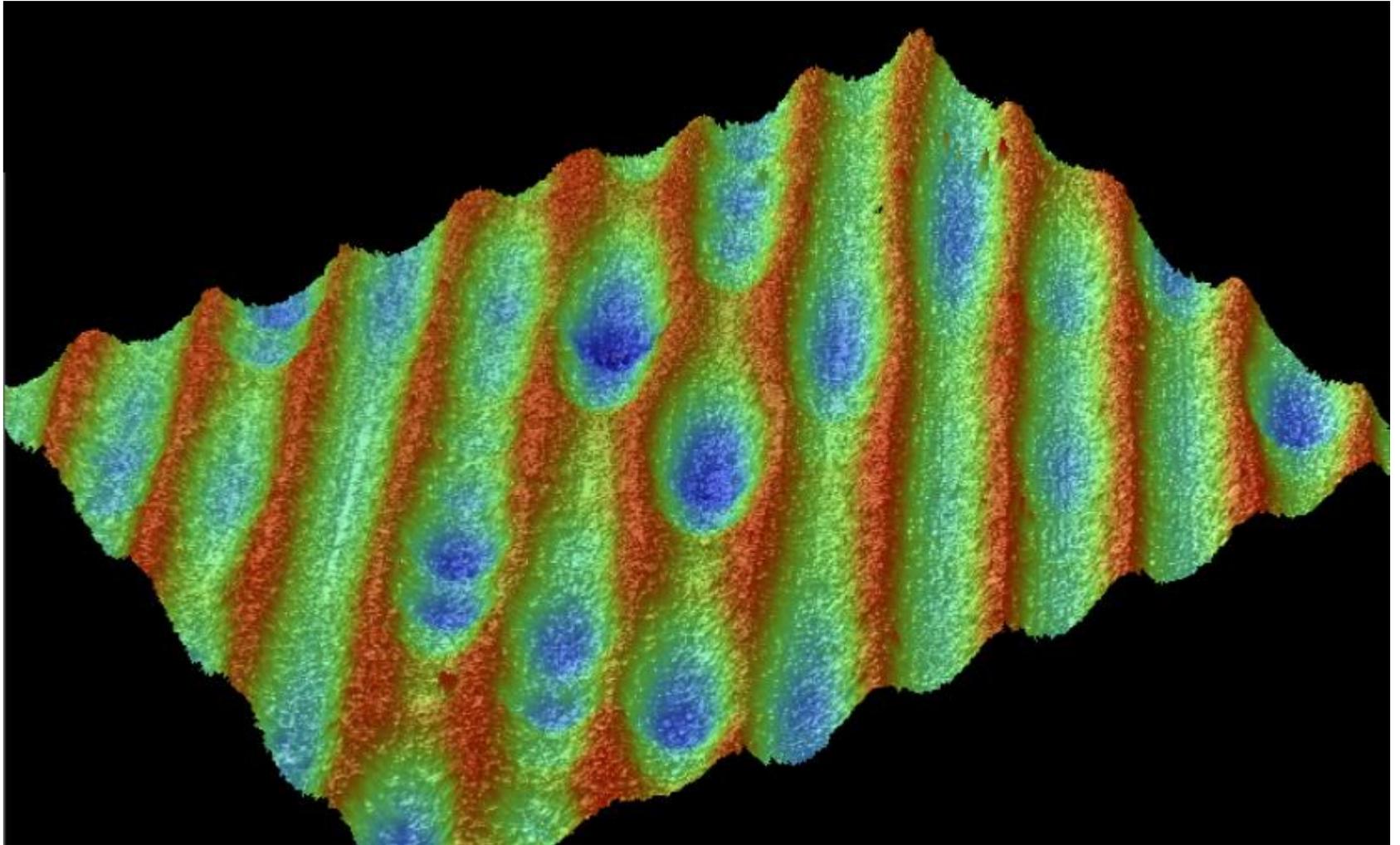






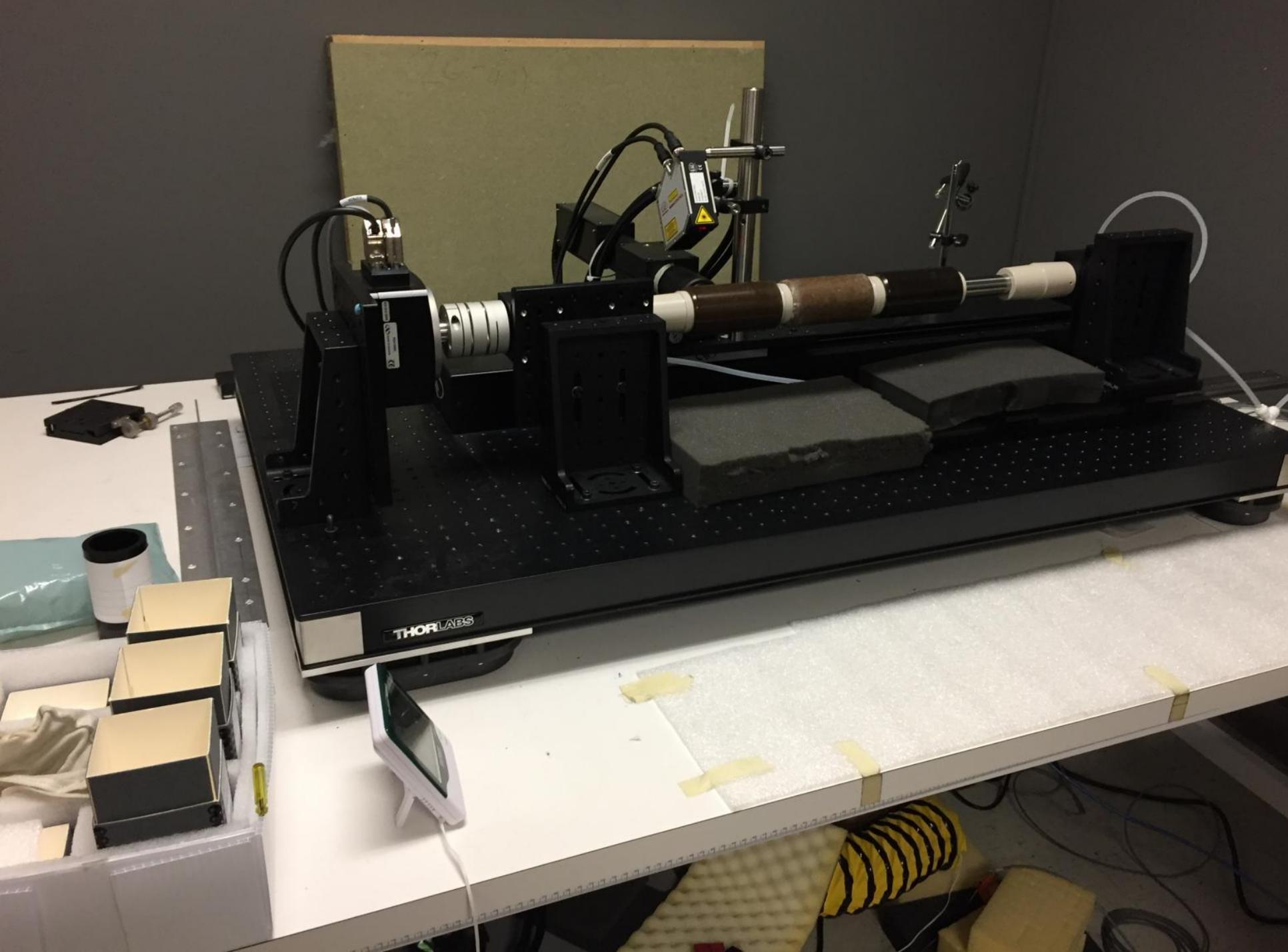
Tiroler Holzhackerbuab'n Marsch, interpreted by Mirzl Hofer, Jodlerin, Cylindres Pathé Concert-Walze, N° 19301, ca. 1906

Optische Wiedergabe



- Optisches Scannen von Zylindern und Schallplatten: IRENE
[https://www.wikiwand.com/en/IRENE_\(technology\)](https://www.wikiwand.com/en/IRENE_(technology))
- Basierend auf dem Prinzip der konfokalen Laser Mikroskopie
- Spezielles Lichtmikroskop, das immer nur einen Teil des Objektes abtastet
- Vorteil: berührungslos, mögliche Rekonstruktion der Rille mittels Software

- Herausforderung:
- Signalauflösung, Datendichte, Prozessdauer



THORLABS



uncontrolled wobble



my Record
APPS

