

# AUDIO DEMO 3

## Spass am Hören

Begleitdokumentation zur CD

suvaPro

# AUDIO DEMO 3

## Einleitung

- 1 Trailer
- 2 Nach dem Konzert
- 3 Böses Erwachen

## Akustische Grundlagen

### Frequenz

- 4 Sweep 50-20'000 Hz, konstante Amplitude
- 5 wie Nr. 4, jedoch konstanter dB(A)-Pegel
- 6 Sinus 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8k, 16 kHz
- 7 Kirchenorgel: tiefster bis höchster Ton
- 8 Frequenzmodulationen
- 9 Schwebungen
- 10 Frequenzdifferenzen: 750 / 750...765 Hz
- 11 Ton-Intervalle: Oktave bis kl. Sekunde
- 12 Dopplereffekt

### Schallpegel

- 13 Amplitudenmodulation
- 14 Pegeldifferenzen (0,+1,0,+3,0,+6,0,+10,0 dB)
- 15 Pegeldifferenzen (Mittelteil des Sinustones abgesenkt um 0,0,5,1,2,3,6,10,20,40,60 dB)
- 16 Schallpegeladdition (1,2,4 Webmaschinen)
- 17 Schallpegeladdition: 80+85 dB = 86 dB
- 18 Schallpegel im Alltag
- 19 Vom Tropfen zum Rheinfluss
- 20 Vom Flüstern zum Schreien \*

### Spektrum

- 23 Vom Sinus zum Rechteck
- 24 Vom Sinus zum obertonreichen Klang
- 25 Orgelton weich
- 26 Orgelton scharf
- 27 Melodie auf Orgel, ein Register
- 28 Melodie auf Orgel, alle Register
- 29 Ziehen der Register während einem Ton

### Hüllkurve und Klangfarbe

- 30 Cello: gestrichen und gezipft
- 31 Synthesizer: Dreiklänge mit versch. Instr.
- 32 Panflöte: Klang mit Geräusch

## Schallwahrnehmung

### Hörtests (nur linker Kanal)

- 33 Pegelgeräusch 75 dB(A) für Nr. 34/35
- 34 Audiogramm
- 35 Hochtönhörtest

### Psychoakustik

- 36 Sinuspulse im Rauschen
- 37 Ortung aufgrund Zeitdifferenz
- 38 scharfes Geräusch / harmonischer Klang \*
- 39 breitbandiges / schmalbandiges Geräusch \*
- 40 tieffrequentes / mittelfrequentes Geräusch \*
- \* alle Geräusche mit demselben dB(A)-Pegel
- 41 2. Klang scheint lauter trotz 3 dB(A) weniger
- 42 7 Geräusche mit gleichem dB(A) - Pegel

## Gehörschutz (GS)

- 43 Helikopter und Kreissäge: 1. ohne GS, 2. Schaumstoffpfropfen 3. Ultrafit
- 44 Musik: 1. ohne GS, 2. mit Schaumstoff-pfropfen, 3. Ultrafit, 4. Musiker-GS
- 45 Dieselbär und Sprache: 1. ohne GS, 2/3. aktiver GS aus/ ein, 4. älteres Modell ein
- 46 Helikopter und Dieselbär: geschlossener Antischall-GS ein-/ausgeschaltet

## Gehörschadensimulationen \*

- 47 im Restaurant <sup>1</sup>
- 48 Gespräch im Schulzimmer <sup>2</sup>
- 49 Gespräch auf dem Pausenplatz <sup>2</sup>
- 50 Wetterprognose <sup>1</sup>
- 51 Verkehrsinfo DRS/TCS <sup>1</sup>
- 60 Wetterprognose (rätoromanisch) <sup>1</sup>
- 61 The Warm-up <sup>3</sup>
- 62 Blues <sup>3</sup>
- 63 Blasmusik: Im Zigeunerlager <sup>3</sup>
- 64 Alte Musik <sup>3</sup>
- 65 Orgelspiel <sup>3</sup>
- 66 Guggemusig <sup>1</sup>

<sup>1</sup> mittelschwerer Gehörschaden (-35%) - normal

<sup>2</sup> schwerer - leichter - kein Gehörschaden

<sup>3</sup> alternierend kein / mittelschwerer Gehörschaden

## Hörbilder

- 67 Alarmsirenen
- 68 Ein Tag im Skigebiet (Lenzerheide)
- 69 Gewitter
- 70 Auf dem Flughafen Zürich
- 71 Morgen im Eigenthal
- 72 Sonntagmorgen am Stadtrand von Zürich
- 73 Spaziergang vom Land in den Wald (Horw)
- 74 Nacht: Weideland und Moor (Hausen a. A.)
- 75 Raumakustik-Rundgang \*

## Lärmbekämpfung

- 78 Wirkung einer Kapselung (Deckel auf / zu)
- 79 Laute / leise Blasdüse mit gleicher Leistung
- 80 Auto bei 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 km/h
- 81 Autobahn: vor / hinter Lärmschutzwand

## Lärm am Arbeitsplatz

- 82 Übersicht über alle Branchen
- 83 Baugewerbe
- 84 Gleisbau
- 85 Metallindustrie
- 86 Forst- und Landwirtschaft
- 87 Holzbearbeitung
- 88 Textilindustrie
- 89 Verkehr
- 90 Büro

## Fundgrueb

- 91 Schritte
- 92 Sportarten
- 93 Schienenfahrzeuge
- 94 Feuerprasseln
- 95 Übermütiger Hund

## Mess- und Testsignale

- 96 Pink Noise unkorreliert (stereo)
- 97 Pink Noise korreliert (Mono)
- 98 Sinus 1 kHz Vollaussteuerung
- 99 Kanaltest (links / rechts)

\* Französische und italienische Version in den nachfolgenden Tracks.

CD "AUDIO DEMO 3": © Suva 1997, No. 99051  
Diese Dokumentation : © Suva 1997, No. 86905.d

Suva, Gesundheitsschutz  
Bereich Physik, Postfach, 6002 Luzern  
Tel. 041 419 54 22, Fax 041 419 62 13

## AUDIO DEMO 3 - Spass am Hören!

### Vorwort

Ist es nicht beeindruckend, welche Vielfalt an Geräuschen, Klängen, Melodien und Tönen wir wahrnehmen können? Vom sprichwörtlichen Klirren einer zu Boden fallenden Nadel bis hin zum Düsenjäger, vom Wassertröpfchen zum Rheinfall? Wussten Sie, dass das Gehör mit seinem enormen Dynamikumfang und seiner raschen Analysefähigkeit technisch kaum zu imitieren ist? Falls es uns gelingt, Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler zu faszinieren für die vielfältige Dimension des Hörens, haben wir bereits ein wichtiges Ziel erreicht: Wer den Wert seines Gehörs kennt, wird es entsprechend sorgfältig behandeln und schützen. Und nun wünschen wir Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern viel Vergnügen und spannende Aha-Erlebnisse!

### Vorbeugen statt nicht mehr heilen können...

Wer einen Gehörschaden erlitt, leidet. Nicht nur der Hörgenuss schwindet: Durch die verminderte Hörfähigkeit fällt die Kommunikation schwer oder wird am Ende gar verunmöglicht. Warnsignale aus unserer täglichen Umwelt verstummen ebenso wie das morgendliche Vogelgezwitscher. Die Welt wird taub und leer, höchstens ein Tinnitus (Pfeifen oder Rauschen) sorgt für eine dauernde Lärmkulisse.

Leider können Hörschäden am Innenohr nicht behoben werden. Ein solcher Schaden bedeutet nicht nur dumpf zu hören - dies könnte technisch allenfalls noch ausgebügelt werden - zusätzlich entfallen wichtige Regulationsmechanismen. Bei starken Hörschäden ist die Spanne zwischen Hörschwelle und Schmerz nur noch klein. Gespräche, Lärm und Musik werden zur Tortur.

Im Gegensatz zur Heilung sind Vorbeugemassnahmen erhaltlich und erschwinglich.

### Über die AUDIO DEMO 3 und dieses Begleitheft

Die CD ist in zehn Themenbereiche gegliedert. Einige Themenbereiche enthalten Unterkapitel. So wissen Sie bereits bei jedem Track (Nummer auf der CD), zu welchem Wissensgebiet er gehört.

In jeder Hierarchiestufe finden Sie mögliche **Ziele**, anhand derer Sie beurteilen können, welche Absichten unsererseits hinter einer Aufnahme stecken. Fühlen Sie sich jedoch frei, die Aufnahmen auch in anderen Zusammenhängen zu verwenden.

Unter **"Info"** finden Sie übersichtsmässige Erklärungen zu den jeweiligen Themen und Tracks. Im **"Hintergrund"** finden Sie detaillierte Informationen, meist auch zur Aufnahmesituation.

Hinter => Pfeilen finden Sie Querverweise zu anderen Tracks mit ähnlichem Lernziel oder Inhalt.

Weiter finden Sie Verweise auf die Suva-Schriften **"Musik und Hörschäden"** {1}, **"Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz"** {2}, **"Belästigender Lärm am Arbeitsplatz"** {3} sowie auf das Buch **"Klang, Musik mit den Ohren der Physik"** {4} aus dem Spektrum-Verlag.

# Einleitung

## Ziel:

- Einstimmung zum Thema Hören und Gehör

{1} Seite 3 / {2}: Seiten 28-30

## 1 Trailer "Welt des Hörens"

### Inhalt:

Rhythmische Musik, mit Geräuschen aus allen Sparten dieser CD garniert

### Info:

Die Geräusche sind (ungefähre Reihenfolge des Ertönens):

Pendeluhr - Fingerschnippen- Stoppuhr - Demo - Sinus - Test - Presslufthammer - Demo - Frequenzmodulation - Test - Dieselbär - Auto mit Hupe - schmalbandiger Rauschweep - Stanzmaschine - vorbeifahrender Schnellzug - Webmaschine - Pfau - Hund - Stanzmaschine - Telefonklingeln - Motorkettensäge - Hupe - Kreissäge - Kuckucksuhr

## 2 Nach dem Konzert

### Ziel:

- Sensibilisierung auf die Problematik von lauten Konzerten
- Kennen der Warnsignale des Gehörs nach einer Überlastung

### Inhalt:

Simulation einer vorübergehenden Vertäubung des Gehörs: Fröhlich plaudernde Menschenmenge, dann Übergang zu Verkehrsgeräuschen.

### Info:

Bei einer vorübergehenden Vertäubung (TTS) sind die Haarzellen in der Hörschnecke in einen akuten Energiemangel geraten. Sie erfüllen ihre Funktion nur noch ungenügend, so dass die Hörschwelle für die betroffenen Frequenzen steigt. Wird das Gehör in dieser Situation weiterhin belastet, können die Harzellen gänzlich absterben, was zu einem bleibenden Hörschaden führt => Gehörschadensimulationen [47-66]. Gönnst man ihm jedoch genügend Ruhe (Stunden bis Tage), kann sich das Gehör oft vollständig erholen.

### Hintergrund:

Für diese Simulation wurde der mittlere Frequenzbereich um 40 dB abgesenkt. Der Schwerpunkt der Beeinträchtigung liegt bei 4 kHz. Die höchsten Frequenzen bleiben praktisch unbeeinflusst. Es ist ein Tinnitus beigemischt, allerdings fällt dieser in der lauten Umgebung noch nicht auf.

## 3 Böses Erwachen

### Ziel:

- Wissen, was mit "Tinnitus" gemeint ist
- Tragweite eines solchen Schaden erkennen

### Inhalt:

Der Wecker läutet. Der Konzertbesucher erwacht und stellt einen äusserst unangenehmen Pfeifton in den Ohren fest.

### Info:

Bei einem Tinnitus (Ohrgeräusch) senden Haarzellen Nervenimpulse ohne einen entsprechenden akustischen Reiz. So hört die betroffene Person Geräusche wie Pfeifen, Rauschen, Klingeln, Zwitschern usw. Schwache Ohrgeräusche sind recht häufig. Diese können nach einem Händeklatschen, nach lauter Musik oder bei Stress und Erschöpfung auftreten. Die Geräusche werden oft mit dem Fernseh-Pfeifton oder mit Kühlschranksgeräuschen verglichen. Ein Tinnitus kann aber durchaus eine solche Stärke annehmen, dass er dauernd gehört wird und die betroffene Person fast in den Wahnsinn treibt. Ohrgeräusche sind zur Zeit nicht heilbar.

### Hintergrund:

Der verwendete Tinnitus ist eine Mischung von fünf Sinustönen mit Frequenzen um 6 kHz und einem schmalbandigen Rauschen. Wir haben versucht, eine Simulation zu erzeugen, die sich am ehesten mit Schilderungen von Betroffenen deckt.

# Akustische Grundlagen

## Ziel:

- Die physikalischen Parameter des Schalls kennen

## Info:

Dieses Kapitel führt sie sukzessive in die Welt der Klänge ein. Jedes Unterkapitel behandelt einen physikalischen Parameter, welcher zum Aufbau eines Klangs nötig ist. Beginnend bei der Frequenz über den Schallpegel gelangen Sie zum Spektrum und zu zeitlichen Verläufen von Klängen. Eine ganz eigene Kombination all dieser Parameter gibt jedem Instrument und jeder Stimme den eigenen Charakter.

Zum Teil überschneidet sich der Inhalt dieses Kapitels (vor allem im Bereich Schallpegel) mit dem Unterkapitel => Psychoakustik (Schallwahrnehmung) [38-42]. Suchen Sie also auch dort, falls Sie hier das Gewünschte nicht finden.

*Musik und Hörschäden: Seiten 5-7*

## Frequenz

### Ziel:

- Zusammenhang zwischen Frequenz und Tonhöhenempfindung erlernen.

### Inhalt:

Sinustöne und Klänge. Breitbandige Geräusche: siehe Spektrum

### Info:

Wird Luft z.B. durch ein Instrument oder eine Maschine in regelmässige Schwingungen versetzt, breiten sich diese Schwingungen als Schallwellen aus. Die Zeit, die verstreicht, bis sich die Schwingung wiederholt, wird Periode genannt.

Die Frequenz gibt an, wieviele Perioden in einer Sekunde auftreten und wird in **Hertz** angegeben. Hertz ist die Einheit  $s^{-1}$  ("pro Sekunde") und entspricht dem Kehrwert der Periodendauer:  $f = 1/T$ .

Unser Gehör kann Schwingungen mit Frequenzen von 20 - 20'000 Hz wahrnehmen. Schwingungen mit grosser Frequenz empfinden wir als hohe Töne, solche mit tiefer Frequenz als tiefe Töne. Schall mit Frequenzen über 20 kHz wird als Ultraschall bezeichnet, solcher mit Frequenzen unter 20 Hz als Infraschall.

## 4 Sweep 50-20'000 Hz, konstante Amplitude

### Ziele:

- (Fast) den ganzen hörbaren Frequenzbereich wahrnehmen
- Erfahren der Lautstärkenwahrnehmung in Abhängigkeit von der Frequenz

### Inhalt:

Sinuston, dessen Frequenz von 50 bis 20'000 Hz kontinuierlich ansteigt. Die Amplitude bleibt konstant. Die hörbaren Unterbrüche markieren die Frequenzen 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz

### Info:

Der Sweep wurde auf einem Computer elektronisch erzeugt (=> Erklärung des Vorgehens bei "Frequenzmodulation"[8]). Die Frequenz steigt logarithmisch mit der Zeit an. Dies ist der Arbeitsweise unseres Ohres angepasst: Wir empfinden einen Ton als gleichmässig ansteigend, wenn das Durchlaufen einer Oktave immer gleich lange dauert.

Die Lautstärkenempfindung bei gleicher Amplitude ist von der Frequenz des Tones abhängig. Im Tieftonbereich bis 250 Hertz ist das Gehör relativ unempfindlich. Bei 4kHz erreicht es auf Grund der Resonanz im Gehörgang die maximale Empfindlichkeit - dort wird der Sinuston beinahe lästig. Die Empfindlichkeit sinkt bei 5 kHz wieder ein wenig. Im Bereich zwischen 6-8 kHz besteht nochmals eine Gehörgangresonanz, nachher nimmt die Empfindlichkeit stetig ab, und der Ton verschwindet vollständig. Kinder können zum Teil bis 22 kHz hören, im Erwachsenenalter sinkt die obere Grenzfrequenz.

*Bild 4, S.9 {1}; Bild 31, S.26 {2}; Bild 7, S.12 {3}*

=> Hochtonhörtest [35]

=> Schallwahrnehmung [33-42]

## 5 Sweep 50-20'000 Hz, konstanter dB(A)-Pegel

### Ziele:

- wie oben
- herausfinden, ob die empfundene Lautstärke gleichbleibt, und wenn nein, wo nicht

### Inhalt:

Sinuston, dessen Frequenz von 50 bis 20'000 Hz kontinuierlich ansteigt. Der dB(A)-Pegel bleibt konstant. Die hörbaren Unterbrüche markieren die Frequenzen 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz

### Info:

Das sogenannte A-Filter gewichtet die unterschiedlichen Frequenzen derart, dass Töne bei gleichem dB(A)-Pegel als gleich laut empfunden werden sollten. Das dB(A)-Filter stammt noch aus den 50er Jahren und ist deshalb eine starke Vereinfachung der Kurve für gleiche Lautheitswahrnehmung (Phon-Kurve). Am ehesten stimmt der Eindruck, wenn Sie den Sweep leise abspielen (knapp über der Hörschwelle). Andernfalls wirken die tiefen Töne zu laut, da das A-Filter dort sehr stark abschwächt. Wenn es um das Risiko von Gehörschäden geht (diese hängen nicht von der Empfindung ab) ist das A-Filter auch bei hohen Schallpegeln gerechtfertigt.

=> Schallpegel [13-20]

=> Geräusche mit gleichem dB(A)-Pegel [38-42]

## 6 Sinustöne im Oktavabstand: 63 - 16 kHz

### Ziel:

- Frequenz (= physikalisches Mass) und Tonhöhe (= Empfindung) einander zuordnen können
- andere Verwendungszwecke, wie Messen, Testen, auf dem Oszilloskop anzeigen usw.

### Inhalt:

Sinustöne von jeweils ca. 3 Sekunden Dauer: 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4k, 8k, 16kHz

### Hintergrund:

Die Töne wurden auf einem Brüel&Kjær-Tongenerator erzeugt. Sie sind sanft ein- und ausgeblendet, um Knackgeräusche zu vermeiden.

## 7 Kirchenorgel: vom tiefsten zum höchsten Ton

### Ziel:

- Das Instrument mit dem grössten Frequenzumfang kennenlernen
- Zusammenhang zwischen Pfeifengrösse und ihrer Frequenz verstehen

### Inhalt:

Vom tiefsten zum höchsten Ton in Terzabständen

### Info:

Bei der Kirchenorgel der katholischen Kirche Mettmenstetten handelt es sich eher um eine kleine Orgel. Trotzdem bringt sie es auf einen beachtlichen Tonumfang: Das tiefste C liegt drei Oktaven und fünf Ganztöne unter dem Kammerton a und weist eine Frequenz von 32,7 Hz auf. Der höchste Ton - das viergestrichene g - liegt bei 6280 Hz.

### Hintergrund:

Bei einer Orgelpfeife wird die Luftsäule im Innern der Pfeife in Schwingungen versetzt. Je länger die Pfeife, desto tiefer der Ton. Meist handelt es sich um gedackte Pfeifen, d.h. um solche, die am einen Ende geschlossen sind. An diesem Ende steht die Luft still, während sie am offenen Ende am meisten schwingt. Die Länge einer solchen Pfeife entspricht näherungsweise einem Viertel der Wellenlänge der Schwingung. (Näheres siehe {4})

Mit der Formel  $Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit / Frequenz$  kann die Länge der Pfeifen berechnet werden. Die tiefste Orgelpfeife misst ca. 2,6 Meter, die höchsttönende einige Zentimeter.

Beachten Sie, wie lange der erste (der tiefste) Ton braucht, bis er stabil tönt. Im Moment des Anblasens werden einige Obertöne angeregt, die sich aber auf Grund schlechter Resonanzbedingungen mit der Zeit verlieren. Je höher die Töne werden, umso schneller schwingen sie ein.

=> Sweeps [4/5]

## 8 Frequenzmodulationen

### Ziel:

- Änderungen der Frequenz mit der entsprechenden Hörempfindung verbinden
- Modulationsstärke begreifen

### Inhalt:

1. Ton ohne Modulation 440 Hz
2. schwach frequenzmodulierter Sinuston (+/- 1 Halbton, Modulationsfrequenz: 1Hz)
3. stark frequenzmodulierter Sinuston (+/- 1 Oktave, Modulationsfrequenz: 1 Hz)
4. langsame Modulation (+/- 2 Halbtöne, Modulationsfrequenz: 0.25 Hz)
5. schnelle Modulation (Mod.bereich: +/- 2 Halbtöne, Modulationsfrequenz: 4Hz)

### Info:

Die Töne wurden elektronisch erzeugt. Die modulierten Töne ändern ihre Frequenz periodisch im angegebenen Bereich. Diese Steuerung eines Parameters einer Schwingung durch einen anderen nennt man Modulation (in diesem Beispiel handelt es sich um Sinusschwingungen zwischen 0.25 und 4 Hz).

### Hintergrund:

Auf dem Computer wird diese Modulation derart erzeugt, dass sehr kleine Ausschnitte der Schwingung um einen bestimmten Faktor schneller oder langsamer abgespielt werden. Um z.B. eine kontinuierlich ansteigende Frequenz zu erhalten, werden sehr viele solcher kleiner Ausschnitte aneinandergereiht, bei denen die Abspielgeschwindigkeit stetig ansteigt. Beim Wobbeln wird abwechselnd die Frequenz angehoben, abgesenkt, angehoben, abgesenkt usw.

Derselbe Effekt könnte auch erzielt werden, indem bei einem (analogen!) Plattenspieler die Drehgeschwindigkeit abwechselnd erhöht und erniedrigt würde.

Modulationen werden in der Technik sehr vielseitig verwendet. In der Rundfunktechnik werden elektromagnetische Wellen (zwischen einigen 100 Kilohertz bei Langwellen bis in den Gigahertzbereich bei Satellitenanwendungen) amplituden- resp. frequenzmoduliert. In der Videotechnik findet sogar Phasenmodulation Anwendung. Für die Übermittlung der Farbe in einem Videobild wird die Phasenlage einer Schwingung gegenüber einer Referenzschwingung verschoben.

=> Amplitudenmodulation [13]

## 9 Schwebungen

### Ziel:

- Schwebungen kennen und erkennen

### Inhalt:

Paare von Sinustönen auf dem linken und dem rechten Tonkanal. Die Frequenzen der beiden Töne weichen immer mehr voneinander ab.

### Info:

Liegen zwei Sinustöne frequenzmässig nahe beisammen, hören wir eine Schwebung.

### Hintergrund:

Wenn zwei reine Töne mit unterschiedlichen Frequenzen gleichzeitig abgespielt werden, gibt es drei Möglichkeiten, diese wahrzunehmen:

- als Schwebung (Interferenz). Dies passiert dann, wenn die beiden Frequenzen in dasselbe "kritische Band" des Gehörs fallen.
- als "rauen" Ton; die Frequenzen sind noch immer recht nahe beisammen;
- als zwei verschiedene Töne. Dies ist der Fall, wenn die Frequenzen relativ weit auseinanderliegen.

Eine Schwebung schwingt mit der Differenz der Frequenzen der beiden Töne.

Schwebungen kommen dadurch zustande, dass sich die Lage der Phasen ("Wellenberg, Knoten, Wellental") der beiden Töne laufend ändert. In Momenten, in denen die beiden Schwingungen gleichphasig sind, addieren sich deren Amplituden (Schalldrücke). Sind die Phasen genau um 180 Grad gedreht, löschen sich die beiden Schallwellen bei gleicher Amplitude aus. Im Endeffekt hören wir einen Ton, dessen Lautstärke an- und abschwilt, ähnlich dem Track => "Amplitudenmodulation" [13].

## 10 Frequenzdifferenzen

### Ziel:

- Feststellen, ab welchem Frequenzverhältnis zwei Töne als unterschiedlich hoch empfunden werden.

### Inhalt:

16 Paare von Sinustönen. Der erste Ton eines Paares hat immer eine Frequenz von 750 Hz. Die Frequenz des zweiten Tones steigt mit jedem Durchgang um ein Hertz. Startfrequenz des zweiten Tones: 750 Hz, Ende: 765 Hz

### Info:

Das frequenzmässige Auflösungsvermögen des Gehörs ist zwar ausserordentlich gut, jedoch nicht unbegrenzt. Reine Töne, deren Frequenzen genug nahe zusammenliegen, werden als ein-und derselbe Ton empfunden. Lassen Sie die Zuhörer herausfinden, ob der zweite Ton steigt oder sinkt und ab welchem Tonpaar die Differenz bemerkt wurde.

### Hintergrund:

Um auch mit kleineren Einheiten als Halbtönen zu arbeiten (1 Oktave = 12 Halbtöne), wurde die Einheit *Cent* eingeführt. Cent ist ein Hundertstel eines Halbtons. Analog zu den halbtönenbasierten Intervallen (Oktave, Quinte, Quarte etc.) beschreibt auch Cent das Verhältnis zweier Frequenzen und nicht ihre Differenz.

Um einen Ton um einen Halbton zu erhöhen, wird seine Frequenz mit  $^{12}\sqrt{2} = 1,059$  multipliziert. Nach 12 solchen Multiplikationsschritten erhält man eine Oktave, also die doppelte Frequenz.

Um einen Ton um ein Cent zu erhöhen, wird seine Frequenz mit  $^{100}\sqrt{1,059} = 1,000577789507$  multipliziert. Nach 100 solchen Schritten liegt der Ton um einen Halbton höher als zu Beginn; nach insgesamt 1200 solcher Schritte ist man wieder bei einer Oktave angelangt.

Unser Ohr vermag im besten Fall Differenzen von rund 3 Cent noch wahrzunehmen. Diese enorme Genauigkeit erreicht es bei 2000 Hz ab Hörpegeln > 30 dB(A) {4}. Bei 750 Hz sollten 6-7 Cent, also 3 Hz unterscheidbar sein (wenn nicht, seien Sie bitte nicht enttäuscht!). Das vierte Tonpaar weist diese Tonhöhendifferenz auf.

Einen ähnlichen Track finden Sie für die Amplitude: "Pegeldifferenzen" [14/15]

## 11 Tonintervalle

### Ziel:

- Zusammenhang zwischen dem Tonverhältnis und dem Harmonieempfinden erkennen.
- Merken, dass Frequenzverhältnisse entscheidend sind, nicht absolute Frequenzen.

### Inhalt:

Sinuston 440 Hz, Oktave (1:2), Quinte (2:3), Quarte (3:4), grosse Terz (4:5), kleine Terz (5:6), grosse Sekunde (8:9), kleine Sekunde (15:16)

### Info:

Pythagoras hat erkannt, dass Wohlklänge entstehen, wenn man Saiten anschlägt, deren Längen in ganzzahligen Verhältnissen zueinander stehen. Je komplizierter das Verhältnis der Saitenlängen, desto dissonanter klingt das Intervall.

### Hintergrund:

Auch diese Sinustöne wurden per Computer erzeugt. Die Grundfrequenz beträgt 440 Hz. Ein um eine Oktave höher liegender Ton hat also eine Frequenz von 880 Hz. Die weiteren Frequenzen des jeweils zweiten Tons im Intervall betragen: 600 Hz, 587.2 Hz, 550 Hz, 528 Hz, 495 Hz, 469 Hz.

Falls Sie sich für die verschiedenen Stimmungen von Instrumenten interessieren, empfehlen wir Ihnen das Buch {4} "Klang, Musik mit den Ohren der Physik" aus dem Spektrum-Verlag.

## 12 Dopplereffekt

### Ziel:

- Den Dopplereffekt kennen und im täglichen Leben wiedererkennen

### Inhalt:

Schnell vorbeifahrendes, hupendes Auto

### Info:

Durch den Dopplereffekt wird die wahrgenommene Frequenz erhöht, wenn sich z.B. eine Hupe auf das Ohr zubewegt (oder das Ohr auf den Ton zu). Analog dazu sinkt die Frequenz, wenn sich die Hupe vom Ohr entfernt (oder wenn sich das Ohr von der Hupe entfernt). Je schneller sich die Schallquelle bewegt, umso ausgeprägter wird der Effekt.

### Hintergrund:

Für die bildliche Vorstellung des Dopplereffekts ist folgende Überlegung sinnvoll: Stellen Sie sich vor, dass die wahrgenommene Frequenz der Anzahl Schallwellen entspricht, die pro Sekunde an Ihr Ohr gelangen. Unsere Hupe hat eine Frequenz von ca. 1000 Hz, sendet also pro Sekunde 1000 Schallwellen aus. Diese sausen nun mit einer Geschwindigkeit von 340 m/s durch die Luft und erreichen nach kurzer Zeit Ihr Ohr. Falls sich nun die Hupe auf Sie zubewegt, erreichen Sie also mehr Schallwellen pro Sekunde: Die Frequenz steigt, in unserem Fall auf 1115 Hz. Umgekehrt sinkt die Frequenz, wenn sich die Hupe von Ihnen wegbewegt (auf 951 Hz).

Nun lassen Sie sich noch verwirren: Für die Berechnung der Frequenz kommt es darauf an, ob sich der Sender oder der Empfänger bewegt. Dies widerspricht vermutlich Ihren Vorstellungen über die Relativität, es ist jedoch zu beachten, dass die Luft als stationär angesehen wird, also einen Bezugspunkt bildet. Wenn Sie sich mit Schallgeschwindigkeit von der Schallquelle entfernen, hören Sie von der Schallquelle gar nichts mehr. Wenn sich die Schallquelle mit Schallgeschwindigkeit von Ihnen entfernt, hören Sie den Ton nach wie vor, jedoch nur noch mit halber Frequenz.

## Schallpegel

### Ziel:

- verschiedene Schallpegel hören und grob einordnen können
- Mit Schallmessungen und der Grösse dB(A) vertraut werden
- Unterschied dB und dB(A) kennen

### Schalldruck

Als hörbaren Schall bezeichnet man Luftdruckschwankungen mit Frequenzen zwischen 20 und 20 kHz => Frequenz. Der **Schalldruck** gibt das Ausmass dieser Schwankungen an und wird in Pa (Pascal) gemessen. Schalldrücke sind im Vergleich zum Luftdruck enorm klein. Bei einem normalen Gespräch gelangen Spitzenschalldrücke von rund einem Pascal an Ihr Ohr. Im Vergleich dazu liegt der normale (statische) Luftdruck bei ca. 100'000 Pa. Da der (statische) Luftdruck auf der Trommelfellaussen- sowie auf der Innenseite gleichermassen wirkt (Ausgleich über Eustach'sche Röhre), hat er keinen Einfluss auf das Hören.

### Schalldruckpegel

Unser Gehör kann einen riesigen Schalldruckbereich verarbeiten, nämlich von 20  $\mu$ Pa (Hörschwelle) bis 20 Pa (Schmerzgrenze). Dies entspricht einem Verhältnis von 1:1'000'000 - eine imposante Leistung! Andererseits sind solche Angaben ziemlich unübersichtlich und entsprechen auch in keiner Weise dem Lautstärkeindruck. Durch die Einführung des Schalldruckpegels (kurz Schallpegel) in Dezibel (dB) lässt sich dieser Wertebereich verkürzen. Der Schallpegel ist ein logarithmisches Mass für das Verhältnis zwischen dem gemessenen Schalldruck und dem Bezugsschalldruck. Dieser wurde auf 20  $\mu$ Pa festgelegt, was ungefähr der Hörschwelle bei 1 kHz entspricht. Der Schallpegel berechnet sich wie folgt: **Schallpegel L = 20 log (Schalldruck / Bezugsschalldruck)**

Dies bedeutet, dass unser Gehör Schallpegel zwischen 0 und 120 dB verarbeiten kann - eine handliche Skala! Da unser Gehör annähernd logarithmisch arbeitet (wie andere Sinnesorgane), ergibt sich nun auch eine bessere Übereinstimmung mit dem Lautstärkeindruck: Eine Erhöhung des Pegels um 10 dB nehmen wir immer etwa als Verdoppelung der Lautstärke wahr.

Allerdings haben Schallpegel auch den Nachteil, dass sie nicht einfach addiert werden dürfen. Was sich von zwei (unabhängigen) Schallquellen addiert, ist nämlich ihre Schalleistung, die zum Quadrat des Schalldrucks proportional ist. Für eine Verdoppelung der Schalleistung muss der Schalldruck nur um den Faktor  $\sqrt{2}$  grösser werden.

Folgende Beziehungen sollten Sie kennen:

- **Verdoppelung der Schalleistung:** + 3 dB (weil  $20 \cdot \log [\sqrt{2}] = 3.01$ )
- **Verdoppelung des Schalldruckes:** + 6 dB (weil  $20 \cdot \log [2] = 6.02$ )
- **Verzehnfachung der Schalleistung:** + 10 dB (weil  $20 \cdot \log [\sqrt{10}] = 10$ )
- **Verzehnfachung des Schalldruckes:** + 20 dB (weil  $20 \cdot \log [10] = 20$ )

Daraus lässt sich fast jedes Verhältnis berechnen. Zum Beispiel entspricht eine Verzwanzigfachung der Schalleistung ( $2 \times 10$ ) einem Pegelanstieg von  $10 + 3 = 13$  dB.

Die Formeln für Schalleistungen werden benutzt, wenn es sich um mehrere Schallquellen handelt, oder wenn die Leistung einer Musikanlage vergrößert wird. Die Formeln für den Schalldruck benutzen Sie, wenn z.B. eine Lautsprechermembran doppelt so stark ausgelenkt wird, also wenn Sie zum Beispiel die Wechsellspannung am Lautsprecher verdoppeln.

### Die dB(A)-Bewertung

Unser Gehör ist nicht bei allen Frequenzen gleich empfindlich. Um die Messungen von Schall unserem Gehör anzupassen, wurde das A-Filter entwickelt. Es schwächt Bässe und Höhen vor der Messung ab, entsprechend der Empfindlichkeit des Ohrs. So stimmt der angegebene Messwert eher mit unseren Empfindungen überein.

dB(A)-Werte können wie normale dB-Werte gehandhabt und addiert werden.

=> "Sweep mit konstantem dB(A)-Pegel" [5]

=> Psychoakustik [38-42]

## 13 Amplitudenmodulationen

**Ziel:**

- Änderung der Amplitude mit dem entsprechenden Höreindruck verbinden

**Inhalt:**

1. Sinuston 750 Hz, konstante Amplitude
2. Sinuston 750 Hz, schwach moduliert: +0, -6 dB, Modulationsfrequenz: 1 Hz
3. Sinuston 750 Hz, stark moduliert: +0, -30 dB, Modulationsfrequenz: 1 Hz
4. Sinuston 750 Hz, langsam moduliert: +0, -20 dB, Modulationsfrequenz: 0.25 Hz
5. Sinuston 750 Hz, schnell moduliert: 0+, - 20 dB, Modulationsfrequenz: 4 Hz

**Info:**

Die Töne werden periodisch gegenüber dem Referenzton (1.) um den angegebenen dB-Wert abgesenkt. Diese Absenkungen erfolgen linear in Bezug auf die dB-Werte.

**Hintergrund:**

Vergleichen Sie diesen Track mit => "Frequenzmodulationen" [8]. Anhand dieser Modulationen hören Sie sofort, was die Amplitude und was die Frequenz ist. Auf Frequenzänderungen reagiert unser Gehör viel empfindlicher als auf Lautstärkenänderungen. Die Frequenzmodulation von +/- einem Halbton ist bereits deutlich hörbar. Dies entspricht einer Änderung der Frequenz von 12%. Die Amplitudenmodulation von 6 dB entspricht einer Änderung der Schalleistung um das Vierfache (also einer Änderung der Amplitude um einen Faktor zwei) und wird nicht als speziell stark empfunden.

Dies ist auch sinnvoll, denn ein Geräusch oder eine Stimme muss unabhängig von der Entfernung zum Ohr und somit unabhängig vom Pegel bestimmt werden können.

## 14 Pegeldifferenzen, 0 bis +10 dB, mit Pausen zwischen den Tönen

**Ziel:**

- Eine Vorstellung für Pegeldifferenzen erhalten

**Inhalt:**

Wiederholter elektronischer Orgelklang, dessen Pegel relativ zum ersten Pegel folgende Werte hat: 0, +1, 0, +3, 0, +6, 0, +10, 0 dB

**Info:**

Unser Gehör passt sich schnell an den vorhandenen Schallpegel an. Die Differenzen der Pegel treten am stärksten in Erscheinung, wenn wir die beiden Pegel unmittelbar nacheinander hören.

**Hintergrund:**

Die obigen Pegelangaben dürfen nicht mit Absolutschallpegeln verwechselt werden. Es handelt sich um Angaben eines Pegels *relativ* zum ersten!

## 15 Pegeldifferenzen, 0 bis -60 dB, ohne Pausen zwischen den Tönen

### Ziel:

- Die Empfindlichkeit des eigenen Gehörs auf Lautstärkenunterschiede kennenlernen

### Inhalt:

Sinustöne mit einer Frequenz von 750 Hz und Abschwächungen der Amplitude von: -0.5 dB, -1 dB, -2 dB, -3 dB, -6 dB, -10 dB, -20 dB, -40 dB, -60 dB

### Info:

Der erste Sinuston weist keine Abschwächung auf. Vom zweiten Ton an bestehen alle Töne aus drei Teilen: Der erste Teil ist nicht abgeschwächt, der zweite Teil ist um den oben angegebenen Wert abgeschwächt, der dritte Teil wiederum ist nicht abgeschwächt. Dies ermöglicht den direkten Vergleich zwischen dem vollen und dem abgeschwächten Signal.

### Hintergrund:

Was über die Pegelangaben bei Track 14 gesagt wurde, gilt auch hier (keine Absolutpegel!) Wie gross der Unterschied in der Lautstärke sein muss, damit wir ihn auch bemerken, hängt sowohl von der Frequenz als auch vom Lautstärkeniveau ab, auf dem wir den Versuch machen. Gemäss {4} sind Unterschiede von 0,25 dB hörbar bei einer Frequenz von 4 kHz und sehr hohen Pegeln ab 80 dB. Bei 750 Hz (unser Ton) und Pegeln um 70 dB sollte eine Differenz von 0,4 dB gerade noch bemerkt werden.

## 16 Schallpegeladdition A

### Ziel:

- Erfahrungswert definieren für die Verdoppelung und die Vervierfachung der Schalleistung
- Schallpegeladdition mit dem Schallpegelmessgerät überprüfen

### Inhalt:

1, 2, 4 Webmaschinen gleichzeitig

### Info:

Bei jeder Verdoppelung der Anzahl gleicher Schallquellen verdoppelt sich die abgestrahlte Schalleistung. Dabei steigt der Schallpegel um 3 dB.

### Hintergrund:

Es handelt sich um die Aufnahme einer Stanzmaschine. Die Verdoppelung der Anzahl in Betrieb stehender Maschinen wurde simuliert, indem dasselbe Geräusch zeitlich versetzt abgespielt und überlagert wurde.

## 17 Schallpegeladdition B

### Ziel:

- Gefühl für den Umgang mit dB erwerben
- Mit dem Schallpegelmessgerät die mathematische Addition verifizieren

### Inhalt:

1. Stanzmaschine mit 80 dB
2. Stanzmaschine mit 85 dB
3. beide Maschinen gleichzeitig

### Info:

Wählen Sie den Track "Pegelgeräusch..." [33] und stellen sie die Lautstärke auf 85 dB(A) ein. Überprüfen Sie die einzelnen Schallpegel.

Müssen unterschiedliche dB-Werte zusammenaddiert werden, berechnet sich dies wie folgt:

$$\text{Gesamtpegel } L_{\text{TOTAL}} = \log_{10} (10^{L_{\text{SCHALLQUELLE1}}/10} + 10^{L_{\text{SCHALLQUELLE2}}/10}) \text{ [dB]}$$

Diese Formel wandelt die Schallpegel zuerst in Schalleistungen um, addiert diese und geht dann zurück auf die dB-Ebene. Der Gesamtschallpegel der beiden Maschinen liegt bei ca. 86 dB.

### Hintergrund:

Vermutlich werden Sie die beiden Maschinen als ungefähr gleich laut empfinden, obwohl die zweite 5 dB mehr aufweist. Dies hat mit den unterschiedlichen Spektren der beiden Maschinen zu tun. Beachten Sie diesbezüglich die Tracks zur => Psychoakustik [38-42].

## 18 Schallpegel im Alltag

### Ziel:

- Lautstärken, die selbst leicht zu reproduzieren sind, als Referenz kennenlernen

### Inhalt:

Ticken einer Uhr, Malen mit 2 cm breiten Pinsel, Papier schneiden, Hände waschen, WC-Spülung, Staubsaugen auf rauhem Steinboden, Schlagbohrmaschine

### Info:

Die realen Schallpegel der Geräusche liegen etwa bei folgenden Werten:

Uhr: 30 dB(A), Pinseln: 40 dB(A), Papier schneiden: 50 dB(A), Hände waschen: 60 dB(A), WC: 70 dB(A), Staubsaugen: 80 dB(A), Schlagbohrmaschine: 100 dB(A)

### Hintergrund:

Ein Dynamikumfang von 70 dB ist unter üblichen Wiedergabebedingungen kaum zu realisieren. Deshalb ist das Tickern der Uhr im Vergleich zu den anderen Geräuschen zu laut aufgenommen, während der Staubsauger und die Schlagbohrmaschine einen zu kleinen Pegel aufweisen.

Moderne Staubsauger sind wesentlich leiser als das verwendete Modell und verursachen zwischen 65 und 75 dB(A). Der Pegel bei unserer Aufnahme wurde auch deshalb so hoch, weil es sich um einen rauhen Betonboden im Keller gehandelt hat.

Um bei der Schlagbohrmaschine den Eindruck hoher Lautstärke zu vermitteln, haben wir die Aufnahme übersteuert. Dies führt zu Verzerrungen ähnlich denen im Ohr bei hohen Pegeln.

## 19 Vom Wassertropfen zum Rheinfluss

### Ziel:

- Lautstärken erfahren
- 85 dB erfahren
- Merken, dass der Anteil tiefer Frequenzen zunimmt

### Inhalt:

Aus einem Tropfen wird ein Rinnsal, aus dem Rinnsal ein Bach, ein Wildbach. Bei der zweitletzten Aufnahme handelt es sich um ein Wehr der Areuse (NE), bei der letzten um den Rheinfluss (SH) aus nächster Nähe.

### Info:

Was für Track 18 gesagt wurde, gilt auch hier: Der Dynamikumfang der Aufnahme entspricht nicht dem Original, sondern ist komprimiert. Die Originalpegel lagen zwischen ca. 25 dB(A) und 85 dB(A).

### Hintergrund:

Für die Aufnahme des Tropfens verwendeten wir eine Plastikschaale, gefüllt mit Wasser. Das Mikrofon befand sich sehr nahe an der Wasseroberfläche. Wegen dieser Nähe des Richtmikrofons zum aufschlagenden Tropfen mussten in der Nachbearbeitung die tiefen Frequenzen unter 200 Hz abgeschwächt werden, um einen realistischen Höreindruck zu erhalten. Achten Sie sich darauf, wie das erste Aufschlagen des Tropfens nur eine Art Klickgeräusch erzeugt. Erst das Einschlagen des "Nachtröpfchens" erzeugt das typische "Plipp"-Geräusch.

## 20 Vom Flüstern zum Schreien

### Ziele:

- Referenzlautstärken kennen
- Fähigkeiten und Grenzen der Stimme erkennen

### Inhalt:

Textpassage: "Flüstern 35 dB, Sprechen 60-65 dB, laut sprechen 80 dB, brüllen >100 dB"

### Info:

Der Dynamikumfang der menschlichen Stimme ist beachtlich. Allerdings verfärbt sich der Klang der Stimme mit zunehmender Lautstärke, so dass auch bei einer leise abgespielten Aufnahme festgestellt werden kann, ob der Sprecher laut oder leise gesprochen hat.

### Hintergrund:

Der Dynamikumfang der Aufnahme entspricht auch bei dieser Aufnahme nicht dem Original.

## 21 französische Version "Flüstern bis Schreien"

## 22 italienische Version "Flüstern bis Schreien"

# Spektrum

## Ziele:

- Verstehen, was ein Spektrum ist
- Das Aussehen eines Spektrums mit einer Klangvorstellung verknüpfen können

## Info:

Als Spektrum bezeichnet man in der Akustik eine Darstellung des Schallpegels in Abhängigkeit der Frequenz. Ein Spektrum gibt Aufschluss über die Frequenzzusammensetzung eines Geräuschs oder Klangs. In einem flachen Spektrum sind alle Frequenzen mehr oder weniger gleich stark vertreten. Ein Klang besteht aus einem Grundton und Oberwellen, deren Frequenzen ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz sind. Ein Klang mit vielen Oberwellen tönt scharf, einer mit wenigen weich.

Bei einem Rauschen treten die verschiedenen Frequenzen chaotisch und ohne einen Bezug zueinander auf. Ist in jedem Terzband genau gleich viel Schalleistung vorhanden, spricht man von einem => "rosa Rauschen" [96 oder 97]. Beim "weissem Rauschen" ist die Leistung pro Hertz gleichmässig über den gesamten Frequenzbereich verteilt.

Ist der Hauptteil der Schalleistung auf einen kleinen Frequenzbereich konzentriert, spricht man von einem schmalbandigen Rauschen.

## Hintergrund:

Es gibt zwei Arten von Frequenzanalysen: Terz- oder Oktavbandanalysen und Fourier-Analysen. Bei Terzbandanalysen wird der Schallpegel innerhalb eines Frequenzbereichs, der einer Terz entspricht, energetisch gemittelt und angezeigt. Dadurch wird die Skala logarithmisch und entspricht in etwa der Funktionsweise der Hörschnecke (Cochlea) und somit unserem Höreindruck.

Bei einer Fouriertransformation ist die Frequenzskala linear. Die einzelnen Frequenzbänder sind extrem schmal und werden als Linien angezeigt. So lassen sich Harmonische (Oberwellen) eines Klangs bestimmen.

Im Unterkapitel => Psychoakustik [38-42] erfahren Sie, wie die Lautstärkenwahrnehmung vom Spektrum abhängt.

## 23 Vom Sinus zum Rechteck

### Ziel:

- hören, wie die Klangfarbe ändert
- differentielle Wahrnehmung des Gehörs erleben (siehe Hintergrund, 2.Abschnitt)

### Inhalt:

Sinusschwingung 440 Hz, die durch Addition von Oberwellen in eine Rechteckschwingung verformt wird. Die Spektren und Oszillogramme liegen im Anhang bei.

### Info:

Eine Rechteckschwingung kann aus Sinustönen erzeugt werden. Die Sinustöne müssen die Frequenz  $3 \cdot f_0$ ,  $5 \cdot f_0$ ,  $7 \cdot f_0$  usw. haben mit  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{7}$ , ... der Amplitude des Grundtones. Die Phasen dürfen nicht verschoben sein.

### Hintergrund:

Der französische Mathematiker Joseph Jean Baptiste Fourier (1768-1830) fand heraus, dass sich jede beliebige periodische Schwingung als Überlagerung von Sinusschwingungen darstellen lässt. Bei periodischen Schwingungen haben die dazuaddierten Wellen ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz, bei Geräuschen (nicht periodische Schwingungen) können alle Sinustöne vorkommen.

Hier ist deutlich zu hören, wie der Klang mit zunehmenden Oberwellen schärfer wird.

Ein weiteres Phänomen lässt sich beobachten: Jeder neu dazuaddierte Oberton wird ganz deutlich als einzelner Ton wahrgenommen. Die Töne verschmelzen erst allmählich und die Klangfarbe ändert sich. Nach einer Pause wird die fertige Rechteckschwingung noch einmal dargeboten. Sie wirkt als Gesamtklang, die Einzelbestandteile sind nicht mehr auszumachen. Dies hat damit zu tun, dass unser Gehirn differentieLL arbeitet. Jede Änderung wird genau wahrgenommen, im Bewerten von Absolutwerten dagegen sind wir der Technik weit unterlegen, da wir uns auf das Erinnerungsvermögen abstützen müssen. (Diese Feststellung gilt übrigens auch für das Auge: Versuchen sie einmal, zweimal hintereinander exakt denselben Farbton zu mischen. Legen sie die Farben nebeneinander...)

## 24 Vom Sinus zum obertonreichen Klang

### Ziel:

- Merken, wie die Klangfarbe mit zunehmenden Obertönen schärfer wird
- Feine Differenzen zwischen den einzelnen Klängen hören
- Merken, dass die Lautstärkenempfindung nicht immer mit dem A-bewerteten Schallpegel übereinstimmt

### Inhalt:

Vom Sinuston bis zum Nadelimpuls. Oszillogramme und Spektren dieser Klänge finden Sie im Anhang.

### Hintergrund:

Die Klänge stammen von einem älteren Synthesizer Kawai K1. Mit diesem Track wollten wir noch etwas anderes zeigen, das eigentlich ins Gebiet der Psychoakustik gehört: Alle Töne haben denselben A-bewerteten Schallpegel, obwohl uns mit zunehmender Schärfe die Klänge lauter erscheinen. Mehr zu diesen Phänomenen entnehmen Sie bitte dem Unterkapitel => "Psychoakustik" [38-42].

## 25 Orgelton weich

### Inhalt:

Orgelton und -dreiklang mit weich klingender Orgelpfeife. Ein Spektrum finden Sie im Anhang.

### Info:

Dieser Track sollte zusammen mit dem nachfolgenden angehört werden. Beide Male wurde derselbe Ton und derselbe Dreiklang gespielt. Achten Sie auf die unterschiedlichen Klangfarben.

### Hintergrund:

Bei der ersten Pfeife handelt es sich um eine runde, gedackte (an einem Ende geschlossene) Orgelpfeife, die durch ihre Form vor allem Resonanzkörper einer einzigen Wellenlänge ist. Die Pfeife aus Track 26 besteht aus Holz und hat einen rechteckigen Querschnitt. Dies dehnt den Resonanzbereich aus, wodurch die Obertöne stärker ausgeprägt sind.

## 26 Orgelton scharf

siehe Track 25

## 27 Melodie auf einer Orgel, ein Register

### Inhalt:

Orgelmelodie mit einem Register

### Info:

Dieser Track sollte zusammen mit dem nachfolgenden angehört werden. Beide Male wurde die gleiche Melodie gespielt. Achten Sie auf die unterschiedlichen Klangfarben.

### Hintergrund:

Die Form einer Orgelpfeife ("Orgelton weich/scharf" [25/26]) lässt nur beschränkt Variationen zu. Um den Klang einer Orgel voller und kräftiger zu machen, können Register gezogen werden. Dabei ertönen beim Drücken einer Taste mehrere Pfeifen gleichzeitig. Die zusätzlichen Pfeifen fügen dem Klang Obertöne (meist eine oder mehrere Oktaven über der Grundfrequenz) zu. Es gibt sogar Register, die dem Grundton Quinten zufügen. => "Ton-Intervalle" [11]

## 28 Melodie auf einer Orgel, alle Register

Siehe Track 27

## 29 Ziehen der Register während einem Orgelton

### Ziel:

- Hören, wie der Klang voller und brillanter wird

### Inhalt:

Der Dreiklang wird anfänglich nur auf einem Register gespielt. Bei gedrückt gehaltenen Tasten wurden immer mehr Register gezogen

### Info:

Vgl. Tracks [25] bis [28].

## Hüllkurve und Klangcharakter

### Ziel:

- Kennen der einzelnen Phasen einer Hüllkurve

### Info:

Neben Frequenz, Amplitude und Spektrum kommt es für die Wirkung eines Klangs sehr darauf an, wie sich die Amplitude mit der Zeit ändert.

### Hintergrund:

In der elektronische Klangerzeugung ist immer wieder von einer ADSR-Hüllkurve die Rede. Als Hüllkurve bezeichnet man hier die Kurve, die sich ergibt, wenn man die Amplitude eines Tones im Zeitverlauf darstellt. Die ADSR-Hüllkurve ist eine Vereinfachung natürlicher Hüllkurven und teilt diese in vier Phasen ein: Anschlag (Attack), Lautstärkenabfall kurz nach dem Anschlag (Decay) auf das Halteniveau (Sustain) und Ausklingen (Release). Der Anschlag gibt an, wie lange ein Ton braucht, bis er die volle Amplitude erreicht. Bei geschlagenen und gezupften Instrumenten geschieht dies sehr rasch, geblasene Instrumente brauchen länger (z.B. 200 ms) => Orgel, vom tiefsten zum höchsten Ton. Die Decay-Phase ist nicht so ausgeprägt und wird deshalb nicht behandelt. Instrumente, die angeschlagen oder gezupft werden, lassen ihren Ton exponentiell ausklingen. Die Sustain-Phase existiert also nicht. Gestrichene und geblasene dagegen halten den Ton so lange, bis die Anregung aufhört. In der Ausklingphase wird diejenige Energie noch abgegeben, die noch von der Anregung (Anschlagen/Streichen usw.) herrührt. Weist das Instrument eine hohe Dämpfung auf, verstummt der Ton sehr rasch, z.B. bei einem Bongo. Ist die Dämpfung gering, klingt der Ton langsam aus, wie z.B. bei einer Kesselpauke oder bei den Röhrenglocken.

## 30 gehaltener Ton: Cello gestrichen; ausklingender Ton: Cello gezupft

### Ziel:

- Merken, dass die Wellenform ähnlich bleibt, wogegen die Hüllkurve völlig anders aussieht. Dieses Beispiel dient der Illustration der Theorie. Anhang: Oszillogramm

### Hintergrund:

Das Spektrum des gestrichenen Tons weist wesentlich mehr Oberwellen auf als dasjenige des gezupften. Beim Streichen werden die Oberwellen immer wieder von neuem angeregt, während sie beim gezupften Ton rasch abklingen.

## 31 Dreiklänge auf Synthesizer gespielt mit verschiedenen Klängen

### Ziel:

- Hören, wie verschiedenartig Klänge sein können
- bewusst auf die verschiedenen im Laufe dieses Kapitels gezeigten Parameter achten

### Inhalt:

Ein C-Dur Dreiklang wird mit verschiedenen Synthesizer-Klängen gespielt.

### Info:

Wir haben versucht, möglichst verschiedene Klänge in bezug auf Hüllkurve und Klangfarbe zu verwenden. Achten Sie auf den Anschlag, das Halten und das Ausklingen.

### Hintergrund:

Die Klänge wurden auf einem Synthesizer Kawai K1 erzeugt.

## 32 Erzeugung eines Panflötenklangs aus Klang und Geräusch

### Ziel:

- Erkennen, dass die Mischung zweier Klangkomponenten zu einem völlig neuen Klangbild führen kann

### Inhalt/Info:

Der Klang einer Panflöte wurde in die Komponenten Anblasgeräusch und Blasen, sowie in einen periodischen Klang aufgeteilt. Erst die Synthese dieser beiden Elemente führt zu einem panflötenähnlichen Klang.

### Hintergrund:

Die Klänge wurden auf einem Synthesizer Kawai K1 erzeugt.

# Schallwahrnehmung

## Ziel:

- Die Funktion des eigenen Gehörs testen und kennenlernen

## Info / Hintergrund:

Über den Gehörgang gelangt der Schall zum Trommelfell, welches durch die Druckschwankungen in Schwingungen versetzt wird. Auf der Innenseite des Trommelfells sitzen die Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel), welche die Schwingungen des Trommelfells auf das ovale Fenster der flüssigkeitsgefüllten Hörschnecke (Cochlea) übertragen. Die Anpassung des Überganges Luft/Flüssigkeit durch die Knöchelchen entstand im Laufe der Evolution und brachte einen Gewinn von 20 dB gegenüber der Variante, wo das ovale Fenster direkt der Luft zugewendet ist (bei Fröschen). Die Cochlea ist eine zweikammrige Schnecke, wobei die Schallwellen zuerst ins Zentrum und von dort durch die andere Kammer wieder nach aussen geleitet werden. Am Ende der zweiten Kammer dient das runde Fenster dem Druckausgleich. Die beiden Kammern sind durch die Basilarmembran getrennt. Diese enthält Haarzellen, welche durch die Schallwellen angeregt werden und Nervenimpulse ans Gehirn senden. Die Basilarmembran wird durch Regelmechanismen beeinflusst, die erst den grossen Dynamikumfang und die erstaunliche Selektivität des Gehörs ermöglichen => "Gehörschadensimulationen" [47-66]. Tiefe Frequenzen gelangen am weitesten in die Schnecke, während die hohen nahe beim ovalen Fenster detektiert werden. In seiner Funktionsweise ähnelt die Cochlea einem Spektrum-Analysator. => Spektrum [23-29]

{1} Seiten 8-10; {3} Seiten 11-15;

Suva-Video "Gehör in Gefahr - Schutz vor Lärm am Arbeitsplatz" (Bestell-Nr. V309.d)

## Hörtests

### Info:

Diese Hörtests werden nur über den linken Kanal abgespielt, weil sonst die Gefahr von Auslöschungen durch Interferenzen der Sinustöne bestünde.

### Warnung!

**Die Hörtests enthalten Töne, die Ihre Lautsprecher und Ihr Gehör gefährden können, wenn Sie nicht vor den Tests den Pegel abgleichen!**

## 33 Pegelgeräusch 75 dB(A) für die Hörtests

### Ziel:

- richtigen Wiedergabepegel für Hörtests einstellen

### Inhalt:

Oktavbandrauschen 1kHz

### Info:

Spielen Sie diesen Track ab und pegeln Sie die Lautstärke auf 75 dB(A) ein, bevor Sie die Hörtests durchführen. Halten Sie dazu ein Schallpegelmessgerät an den Ort, wo sich die Testperson befinden wird, und drehen Sie so lange am Lautstärkeknopf ihres Verstärkers, bis das Messgerät 75 dB anzeigt. Stehen sie während der Messung neben und nicht hinter das Messgerät.

## 34 Audiogramm

### Ziel:

- Ein eigenes Audiogramm erstellen

### Inhalt:

Testtöne mit Frequenzen zwischen 500 Hz und 12 kHz

### Info:

Nach dem Wort "Demo" wird der Testton mit einem für alle hörbaren Schallpegel vorgeführt. Nach "Test" gilt es, die Anzahl dieser Testtöne zu zählen. Es kann sein, dass sich vor und nach jedem Ton ein Knackgeräusch bemerkbar macht. Dies hängt vom CD-Spieler ab. Zählen Sie diese Knackgeräusche nicht!

Der erste Testton hat jeweils einen Schallpegel von 10 dB(A), der zweite 20 dB(A) usw. Je nach Frequenz werden zwischen drei und fünf Tönen abgespielt. Schreiben Sie für jede Frequenz auf, wieviele Testtöne Sie gehört haben, und kreuzen Sie auf dem Blatt im Anhang die entsprechende Anzahl an. Kinder sollten in etwa alle Töne hören können, bei Erwachsenen dürfen die höchsten Frequenzen schwächer sein. Falls Sie bei vier oder sechs kHz einen starken Einbruch haben, ist Vorsicht geboten. Dies könnte der Anfang einer Gehörschädigung sein. **Aber: Die Resultate dieses Hörtest sind auf keinen Fall verbindlich! Falls Sie einen Gehörschaden befürchten, lassen Sie das Gehör audiometrisch überprüfen.**

**Hintergrund:**

Folgende Frequenzen werden geprüft	Anzahl Testtöne	Zählerstand CD-Player
500 Hz	3	0:00
1000 Hz	4	0:13
2000 Hz	5	0:27
3000 Hz	4	0:43
4000 Hz	4	0:58
6000 Hz	5	1:11
8000 Hz	5	1:27
12000 Hz	5	1:44
		Ende: 1:58

**Tips:**

- Voraussetzung für diesen Test ist ein ruhiger Raum
- Falls Sie beide Ohren testen möchten, setzen Sie sich in ca. 50 cm Abstand vor den Lautsprecher und wenden Sie im einen Durchgang das linke, im andern das rechte Ohr dem Lautsprecher zu.
- Dieser Test kann auch mit mehreren Personen gleichzeitig gemacht werden. Achten Sie darauf, dass für alle der Abstand zum Lautsprecher gleich bleibt und dass niemand eine zu grosse Abweichung von der Achse des Lautsprechers aufweist.
- Es ist allenfalls nötig, von Hand eine kleine Pause zwischen die einzelnen Frequenzen einzuschieben. Tun Sie dies mit der Pause-Taste des CD-Players.

**35 Hochtonhörtest**

**Ziel:**

- Die obere Hörgrenze feststellen
- Für Schülerinnen und Schüler: Besser sein als der Lehrer

**Inhalt:**

22 Sinustöne mit Frequenzen zwischen 10 kHz und 20 kHz

**Warnung: Diese Töne können Ihre Lautsprecher oder gar Ihr Gehör schädigen, wenn Sie keinen Pegelabgleich vornehmen. Lesen Sie die Hinweise bei Track 33. Auch wenn Sie nur wenige oder keine Töne hören, drehen Sie während dem Test nicht an der Lautstärke herum!**

**Info:**

Nach dem Wort "Demo" ertönen drei Sinustöne in der Art, wie sie für den Test verwendet werden. Dies hilft, sich darauf einzustellen. Nach dem Wort "Test" beginnen Sie, die Töne zu zählen, die Sie hören. Es kann vorkommen, dass vor und nach jedem gespielten Ton (also auch nach denen, die Sie nicht hören) ein leises Knackgeräusch zu hören ist. Dies hängt vom Wiedergabegerät ab. Zählen Sie diese Knackgeräusche nicht! Anhand der Anzahl gehörter Töne können Sie die obere Hörgrenze feststellen:

Kinder können durchaus in der Lage sein, alle Töne zu hören. Jugendliche (17 J.) erreichen meist etwa 16-17 kHz. Bei Erwachsenen liegt die obere Hörgrenze oft weit tiefer. Es kann vorkommen, dass Erwachsene gar keinen Ton hören und trotzdem ein gesundes Gehör haben. Die Ergebnisse sollten nicht überinterpretiert werden. **Falls Sie einen Gehörschaden befürchten, lassen Sie das Gehör audiometrisch überprüfen.**

Anzahl Töne	Frequenz	Anzahl Töne	Frequenz	Anzahl Töne	Frequenz
0	< 10 kHz	7- 8	13 kHz	15-16	17 kHz
1- 2	10 kHz	9-10	14 kHz	17-18	18 kHz
3- 4	11 kHz	11-12	15 kHz	19-20	19 kHz
5- 6	12 kHz	13-14	16 kHz	21-22	20 kHz

## Psychoakustik

### Ziel:

- Beobachten, wie das Gehör akustische Reize verarbeitet

### Inhalt:

Ein Beispiel, wie das Gehirn Informationen filtern kann. Versuch zur Ortung von Geräuschen. Beispiele, in denen die Wahrnehmung nicht mit dem physikalischen Messwert in dB(A) übereinstimmt.

## 36 Rauschen mit intermittierendem (gepulstem) Sinus

### Ziel:

- Zeigen, dass das Gehirn Informationen filtern kann

### Inhalt:

Sie hören kurze Sinusimpulse. Dann wird ein Rauschen dazugemischt. Die Impulse werden zur Kontrolle während dem Rauschen aus- und wieder eingeschaltet.

### Info:

Obwohl die Pulse im Rauschen mit professionellen Analysatoren kaum mehr nachgewiesen werden können, bleiben sie für uns hörbar. Das Gehirn reagiert sehr präzise auf Veränderungen. Jeder Puls stellt eine kurze Veränderung dar. Im sehr raschen Analysieren solcher Ereignisse sind Gehör und Gehirn unschlagbar. Dies gilt zum Beispiel auch für das Auge, wo die kleinste Störung eines regelmässigen Musters sofort auffällt.

## 37 Ortungseindruck aufgrund einer zeitlichen Verzögerung

### Ziel:

- Die binaurale Ortung verstehen

### Inhalt:

Fingerschnippgeräusch, das immer weiter nach links zu rücken scheint.

### Info/Hintergrund:

Das Geräusch kommt immer mit demselben Pegel aus beiden Lautsprechern. Allerdings wird der rechte Kanal mit jedem Schnippen ein bisschen verzögert. In der Natur entsteht eine Verzögerung zwischen den beiden Ohren immer dann, wenn eine Schallquelle seitlich steht: Die Wellenfront erreicht dann das eine Ohr einen Sekundenbruchteil früher als das andere. Dies, weil die Schallgeschwindigkeit nicht unbegrenzt hoch ist. Es ist deshalb naheliegend, dass das Gehirn eine minimale Zeitverzögerung als Hinweis auf die seitliche Position interpretiert.

Die natürlicherweise maximal vorkommende Zeitverzögerung ist durch den Ohrabstand von ca. 16 cm. gegeben. Steht die Schallquelle genau senkrecht zum Ohr, erreicht die Welle das andere Ohr mit einer Verzögerung von  $\frac{0,16 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0,47 \text{ ms}$ . Verzögerungen über diesem Wert werden aber nach wie vor als Positions- und Rauminformation ausgewertet bis zu einem Wert von ca. 30 ms. Ab dieser Verzögerung hören wir zwei separierte Töne.

Wenn man davon ausgeht, dass das Gehör Schallquellen mit Winkeldifferenzen von drei Grad unterscheiden kann, bedeutet dies, dass Verzögerungen von 25µs (!) noch unterschieden werden können. Eine beeindruckende Leistung!

Zur Ortung auf Grund der Zeitdifferenz kommt die Ortung auf Grund von spektralen Unterschieden (Abschattung des entfernten Ohres durch den Kopf) und auf Grund von schmalbandigen Löschungen durch die richtungsabhängige Reflexion an der Ohrmuschel. Die Richtungswahrnehmung lässt sich auch austricksen (Intensitätsstereofonie).

Alle nachfolgenden Tracks 38-40 haben auch untereinander denselben Pegel. Die dB(A)-Pegel wurden elektrisch gemessen. Es kann sein, dass bei einer akustischen Messung im Schallfeld Abweichungen entstehen. Zum Thema gleicher Pegel beachten Sie auch =>"Vom Sinus zum obertonreichen Klang" [24]

Stellen Sie den Pegel dieser Demos auf 70 dB(A) ein, da die Abweichung zwischen Empfindung und A-Filter erst ab diesem Pegel markant ist.

### **38 scharfes Geräusch / harmonischer Klang (gleicher dB(A)-Pegel)**

**Ziel:**

- unterschiedliche Wahrnehmung trotz beinahe gleichem Aufbau der Töne und gleichem Pegel

**Inhalt:**

Das Geräusch einer Kreissäge wechselt ab mit einem Klang. Beide haben denselben dB(A)-Pegel.

**Info:**

Beachten Sie die beiden Spektren: Wir haben versucht, die Tonhöhe des Klangs der des Geräuschs anzupassen. Trotzdem wirkt die Kreissäge viel lästiger. Die Kreissäge ist im Gegensatz zum Klang rau, das heisst, dass die Frequenz nicht stabil ist, sondern schwankt. Dies und die Tatsache, dass das Frequenzband um 4 kHz stärker gewichtet ist, lässt das Geräusch unangenehm wirken.

### **39 breitbandiges / schmalbandiges Geräusch (gleicher dB(A)-Pegel)**

**Ziel:**

- unterschiedliche Lautstärkenempfindung trotz gleichem dB(A)-Pegel

**Inhalt:**

Geräusch eines Websaals wechselt ab mit dem Geräusch einer tonhaltigen Lüftung.

**Info:**

Das Geräusch des Websaals scheint wesentlich lauter zu sein.

**Hintergrund:**

Da die Schallpegelmessung ein energiemässiges Mittel über den gesamten Frequenzbereich darstellt, geht vor allem der lauteste Frequenzbereich in den Messwert ein. Liegt also bei einem Geräusch ein Ton dominant vor, bestimmt dieser den gemessenen Pegel. Dies ist beim Haarfön der Fall. Beachten Sie das Spektrum. Im Gegensatz dazu hat das Geräusch des Websaals ein ziemlich ausgeglichenes Spektrum. Unser Gehör empfindet breitbandige Geräusche lauter als schmalbandige.

### **40 tieffrequentes / mittelfrequentes Geräusch (gleicher dB(A)-Pegel)**

**Ziel:**

Unterschiedliche Lautstärkenempfindung trotz gleichem dB(A)-Pegel

**Inhalt:**

Geräusch eines Saab-Turboprop-Flugzeugs abwechselnd mit einem Haarfön

**Info:**

Das Geräusch der Propellermaschine scheint lauter zu sein als der Haarfön, obwohl die A-Pegel einander angeglichen wurden.

**Hintergrund:**

Wie bereits beim => "Sweep mit konstantem dB(A)-Pegel" [5] erklärt wurde, werden die tiefen Frequenzen im dB(A)-Filter stark abgeschwächt. Da das Saab-Geräusch fast ausschliesslich aus tiefen Frequenzen besteht, musste es in der Amplitude angehoben werden, um denselben A-Pegel zu erhalten wie beim Haarfön. Bei leisen Abhörpegeln stimmt die A-Kurve recht gut mit dem Gehör überein. Bei hohen Pegeln ab ca. 70 dB weicht die A-Kurve von den Kurven gleicher Lautstärke ab, was bei tieffrequenten Geräuschen dazu führt, dass diese lauter wahrgenommen werden, als ein hochfrequentes Geräusch mit gleichem dB(A)-Pegel. Abgesehen davon werden die tiefen Frequenzen auch über den Körper und nicht nur über das Gehör wahrgenommen. Dies verstärkt den Eindruck höherer Lautstärke zusätzlich.

Aber Achtung: Wenn es um das Risiko von Gehörschäden geht (diese hängen nicht von der Empfindung ab) ist das A-Filter auch bei hohen Schallpegeln gerechtfertigt.

#### **41 Klang mit 3 dB(A) weniger trotz lauterem Eindruck**

**Ziel:**

Die Krönung der Täuschung in der Lautstärkenwahrnehmung

**Inhalt:**

Abwechslungsweise zwei elektronisch erzeugte Klänge (konzipiert von Prof. Zwicker).

**Info:**

Der zweite Klang wirkt lauter, obwohl er drei dB(A) weniger aufweist.

**Hintergrund:**

Der zweite Klang weist wesentlich mehr Tonanteile bei 4 kHz auf. Dort ist das Gehör am empfindlichsten. Diese Gehörgangresonanz wird im A-Filter zuwenig berücksichtigt.

#### **42 7 Geräusche mit gleichem dB(A)-Pegel**

**Ziel:**

- beobachten, wie die sieben Geräusche wirken

**Inhalt:**

rosa. Rauschen, Oktavbandrauschen, Sinuston, Presslufthammer, Orgelklang, Warnsignal, Zahnarztbohrer

**Info:**

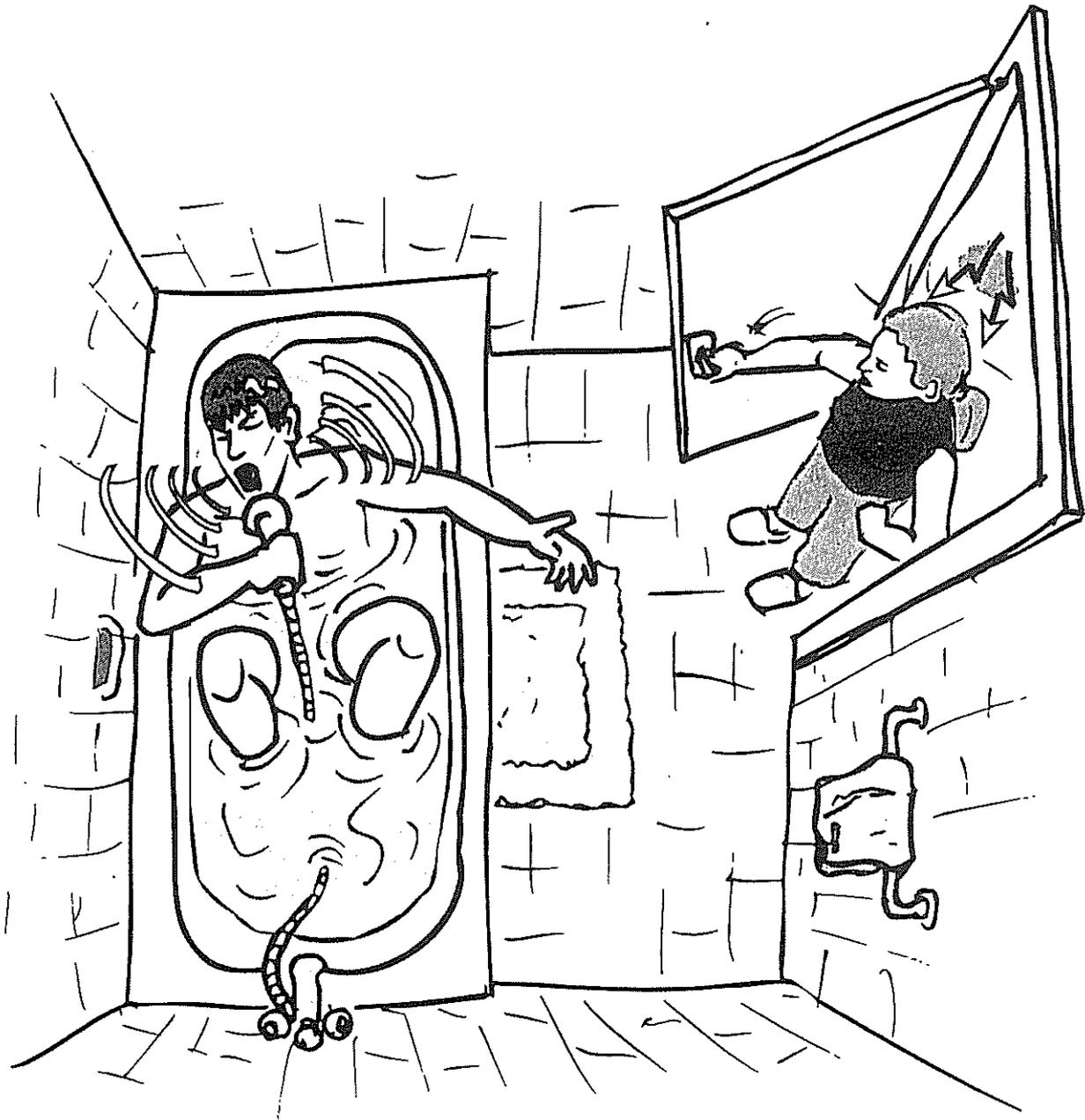
Obwohl alle sieben Geräusche untereinander denselben dB(A)-Pegel aufweisen, wirken sie nicht gleich laut. Die dB(A)-Pegel wurden elektrisch gemessen. Es kann sein, dass bei der Wiedergabe über Lautsprecher Abweichungen entstehen.

**Hintergrund:**

Neben den akustischen Parametern, die die Lautheitsempfindung beeinflussen, gibt es auch psychologische: Für den nächtlichen Sänger im Badezimmer ist Musik Ausdruck eines positiven Lebensgefühls. Gelangt dieser Schall jedoch ans Ohr des Nachbarn, verwandelt er sich blitzschnell in Lärm.

Im Gegensatz dazu ist es bei Warnsignalen wichtig, dass sie aufdringlich sind und sicher auffallen.

Falls Sie die CD vor Zuhörern vorführen: sagen Sie beim ersten Durchgang noch nicht, dass es sich beim letzten Geräusch um einen Zahnarztbohrer handelt. Erst die Assoziation mit der Situation macht dieses Geräusch so unerträglich.



«Die Nachbarn haben angerufen und gefragt, ob bei uns ein gewisser Caruso in der Badewanne ertrinkt.»

# Gehörschutz

## **Ziel:**

- Technische Möglichkeiten und Grenzen von Gehörschützen selber beurteilen können

## **Inhalt:**

Aufnahmen, bei denen einem Kunstkopf mit Mikrofonen in den Ohren die verschiedenen Gehörschutzmittel aufgesetzt wurden.

## **Info:**

Neben den allgemein üblichen Gehörschützen, die Sie bei Grossverteilern und in Drogerien oder Apotheken kaufen können, gibt es speziellere Ausführungen z.B. für Musiker (erhältlich z.B. bei der Suva). Wir zeigen hier eine Auswahl verschiedener Gehörschutzmittel.

## **Hintergrund:**

Die Gehörschutzmittel dämmen in der Regel sehr stark (35-40 dB). Wir haben diese starke Dämmung nicht in die Aufnahmen miteinbezogen, da es kaum möglich wäre, den ursprünglichen Schallpegel der Lärmquellen wiederzugeben, und die Aufnahme somit unrealistisch wirken würde. Der Klangeindruck der Gehörschutzmittel wird aber korrekt wiedergegeben.

*Musik und Gehörschäden: Seiten 13-15*

## **43 Pfropfen: Helikopter und Kreissäge**

### **Ziel:**

- Merken, wie stark ein passiver Gehörschutz tiefe und hohe Töne bedämpft.

### **Inhalt:**

Geräusche je ohne Gehörschutz, mit Schaumstoffpfropfen EAR, mit Lamellenpfropfen Ultrafit

### **Info:**

Die Dämmung eines passiven Gehörschutzes ist stärker für hohe Töne als für tiefe. Deshalb scheint die kreischende Kreissäge beinahe zu verschwinden.

## **44 Musik, gehört mit verschiedenen Gehörschutzmitteln**

### **Ziel:**

- Zeigen, dass Musik mit Gehörschutz nicht unbedingt zum wummernden Brei werden muss

### **Inhalt:**

Musik ohne Gehörschutz, mit Schaumstoffpfropfen EAR, mit Lamellenpfropfen Ultrafit, mit Musikergehörschutz Ultratech

### **Info:**

Die meisten Gehörschutzmittel sind nicht für klangliche Treue gebaut worden, sondern sollen das Gehör optimal schützen. Für Musiker sind solche aber unbrauchbar, da sie die hohen Töne zu stark bedämpfen und somit dem Klang die Brillanz nehmen. Der Musikergehörschutz Ultratech hat einen annähernd linearen Frequenzverlauf. Deshalb wirkt die Dämmung fast wie ein blosses Zurückdrehen des Lautstärkereglers.

#### 45 aktiver pegelabhängiger Gehörschutz: Dieselbär und Sprache

**Ziel:**

- Zeigen, dass ein Gehörschutz die Sprachverständlichkeit sogar verbessern kann

**Inhalt:**

Ein Dieselbär (Rammgerät) und Sprache wurden gleichzeitig abgespielt. Aufnahmen: 1. ohne Gehörschutz, 2. mit passiver Gehörschutzkapsel, 3. mit pegelabhängiger Gehörschutzkapsel (Peltor Sound Trap) 4. mit älterer pegelabhängiger Gehörschutzkapsel (Peltor Tactical)

**Info:**

Eine pegelabhängige Gehörschutzkapsel besteht aus einer normalen Kapsel, in die Lautsprecher und Mikrofone eingebaut wurden. Die Mikrofone sind aussen an der Kapsel angebracht. Solange der Schallpegel klein ist, wird der von aussen aufgenommene Schall über einen Verstärker und die Lautsprecher ins Innere der Kapsel geleitet. Bei Lärmpegeln >80 dB schaltet der Verstärker zurück oder sogar ganz ab. Auf diese Art und Weise kann der Schallpegel innerhalb der Kapsel auf maximal 83 dB begrenzt werden.

**Hintergrund:**

Beim Peltor Tactical handelt es sich um das ältere Modell, welches nach einem lauten Knall relativ lange braucht, bis die Verstärkung wieder voll wirkt. Das neuere Modell NoiseTrap reagiert viel schneller. Dadurch wirkt der Verstärker bereits kurze Zeit nach dem Knall und verstärkt deutlich den Nachhall des Knalls, aber auch das unmittelbar folgende Sprachsignal.

Besonders sinnvoll ist ein pegelabhängiger Gehörschutz bei kurzzeitigen Lärmspitzen wie Schiessen, Hämmern usw. Bei Dauerlärm (z.B. Websaal) bringt er keinen Vorteil.

#### 46 Antischall-Gehörschutz: Helikopter und Dieselbär

**Ziel:**

- Wirkungsweise von Antischall erfahren

**Inhalt:**

Der Antischallkopfhörer wird bei einem Helikoptergeräusch und dem Geräusch eines Dieselbärs ein- und ausgeschaltet.

**Info:**

Ähnlich wie der pegelabhängige Gehörschutz nimmt dieser Gehörschutz (ProActive) den Schall aus der Umgebung auf und gibt ihn über Lautsprecher wieder. Allerdings wird beim aufgenommenen Schall die Phase gedreht, in der Absicht, den direkten durch den phaseninvertierten Schall auszulöschen (Antischall oder Active Noise Control, ANC).

**Hintergrund:**

Leider funktioniert dieses Verfahren nur für tiefe Frequenzen, da die Wellenlängen bei höheren Frequenzen so kurz werden, dass sich der Abstand zwischen dem Aufnahmemikrofon und dem Wiedergabelautsprecher bemerkbar macht. Im schlimmsten Fall würde der Schall dann sogar verstärkt statt gelöscht!

# Gehörschadensimulationen

## Ziel:

- Erkennen, wie schwerwiegend ein Hörschaden ist
- Verständnis haben für Gehörgeschädigte

## Inhalt:

Simulationen des Höreindrucks mit einem Gehörschaden.

Folgende Audiogramme wurden elektronisch nachgebildet:

- Für alle Tracks, ausser den Schulzenen (48/49, 53/54, 57/58): Mittelschwerer Hörverlust von 31%. Bei 35% liegt die Grenze für einen "erheblichen Gehörschaden".
- Für die Schulzenen: 1. starker (53%), 2. schwacher (11%) , 3. kein Hörschaden

## Info:

Bei einem lärmbedingten Hörschaden erleidet zuerst die Hörfähigkeit bei Frequenzen zwischen 4 und 6 kHz starke Einbussen. Zischlaute befinden sich in diesem Frequenzbereich. Wird der Schaden stärker, so werden auch Frequenzen um 1-3 kHz in Mitleidenschaft gezogen. Dies tangiert ganz empfindlich den Hauptsprachbereich. Zusätzlich zur Höreinbusse werden Regelkreise im Innenohr gestört. Dies führt einerseits dazu, dass die zeitliche Auflösung des Gehörs vermindert wird und Geräusche dadurch "wummerig" und verschwommen werden. Andererseits wird der Dynamikumfang des Ohrs kleiner: Bei einer ohnehin schon verschlechterten Hörschwelle sinkt auch noch die Schmerzschwelle, so dass laute Geräusche bei geringeren Schallpegeln bereits als unerträglich empfunden werden (dies nennt man Recruitment).

## Hintergrund:

Die Gehörschadensimulationen wurden mit einem Effektgerät Alesis Quadraverb 2 erzeugt, indem anhand eines Audiogramms Frequenzbereiche abgeschwächt wurden. Die erforderlichen bis zu 60 dB Abschwächung konnten nur erreicht werden, indem zahlreiche Filter hintereinandergeschaltet wurden. Die verminderte zeitliche Auflösung wurde mit einer "gated Reverberation" simuliert. Dies ist ein Hall, der sofort abbricht, sobald das Originalgeräusch verschwindet.

Bei den folgenden Beschreibungen wird die Abkürzung "Hv." für "Hörverlust" verwendet.

### 47 Im Restaurant (deutsch)

#### Inhalt:

kurze Textpassage mit Restaurant-Hintergrundgeräuschen: 1. Hv. 35%, 2. kein Hv.

### 48 Gespräch im Schulzimmer (deutsch)

#### Inhalt:

Gespräch zwischen zwei Schulkindern in ruhiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.

### 49 Gespräch auf dem Pausenplatz (deutsch)

#### Inhalt:

Gespräch zwischen zwei Schulkindern in lärmiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.

### 50 Wetterprognosen (deutsch)

#### Inhalt:

Wetterprognosen von Schweizer Radio DRS: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.

### 51 Verkehrsinfo DRS/TCS (deutsch)

#### Inhalt:

Verkehrsmeldungen von Schweizer Radio DRS: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.

### 52 Im Restaurant (französisch)

#### Inhalt:

kurze Textpassage mit Restaurant-Hintergrundgeräuschen: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.

- 53 Gespräch im Schulzimmer (französisch)**  
**Inhalt:**  
 Gespräch zwischen zwei Schulkindern in ruhiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.
- 54 Gespräch auf dem Pausenplatz (französisch)**  
**Inhalt:**  
 Gespräch zwischen zwei Schulkindern in lärmiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.
- 55 Wetterprognosen (französisch)**  
**Inhalt:**  
 Wetterprognosen von Radio Suisse Romande: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.
- 56 Im Restaurant (italienisch)**  
**Inhalt:**  
 kurze Textpassage mit Restaurant-Hintergrundgeräuschen: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.
- 57 Gespräch im Schulzimmer (italienisch)**  
**Inhalt:**  
 Gespräch zwischen zwei Schulkindern in ruhiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.
- 58 Gespräch auf dem Pausenplatz (italienisch)**  
**Inhalt:**  
 Gespräch zwischen zwei Schulkindern in lärmiger Umgebung: 1. Hv. 53%, 2. Hv. 11%, 3. kein Hv.
- 59 Wetterprognosen (italienisch)**  
**Inhalt:**  
 Wetterprognosen von Radio Svizzera Italiana: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.
- 60 Wetterprognosen (rätoromanisch)**  
**Inhalt:**  
 Wetterprognosen von Radio Rumantsch: 1. Hv. 35%, 2. ohne Hv.
- 61 The Warm-up**  
**Inhalt:**  
 Musik der Suva-Kampagne "Dance the Warm-up": alternierend mit Hv. 35% / ohne Hv.
- 62 Blues**  
**Inhalt:**  
 Pop-Musik: alternierend mit Hv. 35% / ohne Hv.
- 63 Blasmusik: Im Zigeunerlager**  
**Inhalt:**  
 Live-Aufnahme der Jugendmusik Emmen: alternierend mit Hv. 35% / ohne Hv.
- 64 Alte Musik**  
**Inhalt:**  
 klassische Musik mit Cembalo, Barockcello, Blockflöten: alternierend mit Hv. 35% / ohne Hv.
- 65 Orgelspiel**  
**Inhalt:**  
 Musik auf Kirchenorgel: alternierend mit Hv. 35% / ohne Hv.
- 66 Guggemusig**  
**Inhalt:**  
 Musik der Luzerner Guggenmusik "Kakaphoniker": Zuerst mit Hv. 35%, dann ohne Hv.

# Hörbilder

## Ziele:

- Freude am Hören
- Neugierde für akustische Eindrücke wecken
- Erkennen, dass akustische Eindrücke die Gefühlswelt sehr stark beeinflussen
- bewusstes, differenziertes Hören erlernen
- Wiedererkennen der Geräusche

## Inhalt:

Zuschnitt von charakteristischen Geräuschen des entsprechenden Ortes und der entsprechenden Zeit.

## Info:

Die Schönheit eines Ortes hängt nicht nur von seinem Aussehen, sondern auch von seiner Geräuschkulisse ab. So genießen wir in den Bergen ganz besonders auch die Ruhe, und nicht nur die schöne Landschaft oder die gute Luft. Oder was wäre der Rheinfluss ohne sein Getöse? Alle Hörbilder sind (aus Zeitgründen) Zuschnitt der charakteristischen Vordergrund- und Hintergrundgeräusche. Übrigens: Hier besticht das Gehör wieder einmal durch seinen enormen Dynamikumfang. Selbst leiseste Autogeräusche oder das weit entfernte Bimmeln von Kuhglocken beeinflussen unsere Empfindung.

## Hintergrund:

Damit die Hörbilder weich und abgerundet klingen, durften die einzelnen Aufnahmen nicht einfach aneinandergeschnitten werden. Mit dem Computer ist es möglich, sanfte Übergänge zwischen zwei Aufnahmen (sog. Kreuzblenden) zu gestalten. Es ist zudem möglich, mehrere Geräusche gleichzeitig abzuspielen. Dadurch kann das Hörerlebnis auf kürzere Zeit verdichtet werden.

Wird die akustische Umgebung wissenschaftlich erfasst, z.B. im Rahmen der "akustischen Geografie", so hat sich der Begriff "Soundscape / Klanglandschaft" eingebürgert.

## 67 Alarmsirenen

### zusätzliches Ziel:

- Kennen des "Allgemeinen Alarms"

### Inhalt:

Probealarm vom Februar 1997

### Info:

Zeitpunkt: 5. Februar 1997, 13 Uhr 30. Ort: Horw (LU). Damit der Alarm flächendeckend hörbar ist (auch in Innenräumen!), mussten viele einzelne Sirenen installiert werden. Im Hörbild sind deutlich die verschiedenen Sirenen zu erkennen. Eine einzelne Sirene wurde verspätet abgestellt.

### Hintergrund:

Es handelt sich um Lochsirenen, welche den Ton erzeugen, indem Pressluft durch eine Scheibe mit Löchern gepresst wird, welche sich dreht. Der Luftstrom wird dabei abwechselnd durchgelassen und unterbrochen. Die so entstehende Luftdruckschwankung wird, da sie in den für uns hörbaren Frequenzbereich gelegt wurde, als Ton wahrgenommen.

### Tip:

Achten Sie sich beim Abspielen dieses Tracks auf die Gesichter der Zuhörer! Unsere erwachsenen Testpersonen wirkten meist sehr nachdenklich.

## 68 Ein Tag im Skigebiet (Parpaner Rothorn)

### Inhalt:

- Karte in das Lesegerät stecken, durch das Drehkreuz gehen, in der kleinen Gondel, Türe der vorderen Gondel schliesst sich, eigene Türe schliesst sich, Abfahrt, schweben
- Skischuhe, Skis hinwerfen, mit den Stöcken klappern, am Skilift unten (Leute werden weggezogen), am Skilift unterwegs (vorbeifahren)
- Skifahrer und Snowboarder
- Skirennen
- Schanzenspringen

**Info:**

Zeitpunkt: 9. März 1997, später morgen bis nachmittag. Ort: Skigebiet Parpaner Rothorn (GR), sonniges Wetter. Neben den offensichtlichen Geräuschen sind noch folgende zu erkennen:

- das Pfeifen eines Bildschirms ganz am Anfang
- das Sirren der Laufräder in der Halle und in der Gondel
- die Vorbeifahrt an einem Masten während der Gondelfahrt
- die vorbeifahrende Person am Skilift lässt ihren Skistock im Schnee schleifen
- Schanzenspringen: die Musik vom Skilift und das Rennen sind nach wie vor zu hören

**69 Gewitter****zusätzliches Ziel:**

- Gewitterstimmung wirken lassen und geniessen (oder mögen Sie Gewitter nicht?)

**Inhalt:**

- leichter Regen bereits zu Beginn, ferne Donnerschläge, ein naher und lauter Donnerschlag, Einsetzen des starken Regens

**Info:**

Zeitpunkt: Sommer 1975, Aufnahme mit Sennheiser MKH 405 auf Revox A77HS. Ort: Uitikon (ZH)  
Am Schluss ist weit entfernt ein Verkehrsflugzeug zu hören.

**Hintergrund:**

Donnerschläge entstehen, wenn sich elektrische Ladungen aus Wolken oder Boden über die Luft als Blitz ausleichen. Die Luft wird in einem Kanal von wenigen Zentimetern Durchmesser ionisiert (d.h. elektrisch leitfähig) und wirkt dann wie ein Kabel als Stromleiter. Es fließen sofort hohe Ströme, die die Luft sehr rasch erhitzen, wodurch sich diese explosionsartig ausdehnt. Ein Donnerknall ist geboren. Nahe Donnerschläge tönen spitzig und scharf, während entfernte nur als dumpfes Grollen hörbar sind. Dies hängt damit zusammen, dass hohe Frequenzen in der Luft schneller absorbiert werden als tiefe.

Falls Sie wissen wollen, wie weit ein Blitz entfernt ist, den Sie sehen, zählen Sie die Sekunden, die vergehen, bis sein Donner hörbar wird. Da Schall in der Luft pro Sekunde rund 340 Meter zurücklegt, benötigt er also pro Kilometer ca. drei Sekunden.

Noch etwas zum Donner: Obwohl der Blitz selbst nur sehr kurz dauert, ist sein Donner lange zu hören. Dafür gibt es zwei Gründe: Der Blitz selbst hat eine Ausdehnung in der Grössenordnung von Kilometern. Wir hören zuerst den Schall, der von den uns nächstgelegenen Abschnitten des Blitzes herührt und dann nach und nach denjenigen der weiter weg liegenden Abschnitte. Zusätzlich folgen Echos aus der Umgebung. Die zackige Form eines Blitzes überträgt sich auch auf seinen Klang: liegt ein Abschnitt konzentrisch zum Hörer, wird der Ton als Knall gehört, radial zum Hörer stehende Abschnitte tönen eher wie ein Zischen. All diese Effekte können Sie beim lautesten Donnerschlag in der Mitte der Aufnahme nachvollziehen.

**70 Auf dem Flughafen Zürich Kloten****Inhalt:**

- Koffer mit Rollen wird über den Noppenboden (vor dem Durchgang zur Eisenbahn) gezogen, Stöckelschuhe, Ansage deutsch: auf der Rolltreppe, nachher: In der Check-in Halle Terminal A, Klappern der Anzeigetafel beim Check-in Terminal B, fremdsprachige Kinder, Schritte, deutsche Ankündigung (im typischen Flughafen-Sound)
- Flugzeugstart von hinten, seitlicher Vorbeiflug (Boeing 737)

**Info:**

Zeitpunkt: 18. März 1997, nachmittags

Die Ansagen am Anfang lauten: "Eine Mitteilung der Polizei: Wir warnen Sie vor Gepäckdieben. Lassen Sie Ihr Gepäck nie unbeaufsichtigt stehen. Un avis de la police: Attention aux voleurs! Ne laissez jamais de bagage sans surveillance. Un avis di polizia: Vi pregiamo di fare attenzione ai ladri!"

**Hintergrund:**

Der Flugzeugstart als Inbegriff von Lautstärke ist ein zweifelhaftes Mass. Obwohl ich bei den Aufnahmen nur 50 Meter von den Düsen entfernt war, lag der Schallpegel "nur" bei ca. 90 dB(A). Wesentlich höher liegt er ohne das A-Filter, da die Düsen beim Start vor allem sehr tiefe Frequenzen aussenden (es rüttelt und rumpelt beachtlich). Beim Beschleunigen allerdings produzieren die Düsen ein höherfrequentes Geräusch, das durchaus als sehr laut empfunden werden kann. Beachten Sie das vorbeifliegende Flugzeug.

## 71 Morgen im Eigenthal (LU)

### Inhalt:

Erwachen der Vögel, im Hintergrund: Plätschern eines Baches, Kühe werden munter, Kuhherde

### Info:

Zeitpunkt: Anfangs Mai 1997, zwischen 4 und 7 Uhr

Das Gelände liegt am Fusse des Pilatus, auf ca. 1200 Metern Höhe.

## 72 Sonntagmorgen am Stadtrand von Zürich

### Inhalt:

Vogelgezwitscher, Einsetzen der Sonntagsglocken, Kuhglockengebimmel, vorbeifliegende Insekten, ganz im Hintergrund: Verkehrslärm

## 73 Spaziergang vom Land in den Wald (Horw)

### Inhalt:

Zwitschern einer Amsel, Hintergrund: andere Vögel und Verkehrsgeräusche  
Waldrand, im Wald: Krähen und diverse Vögel

## 74 Nacht: Weideland und Moor (Hausen am Albis)

### Inhalt:

- Grillenzirpen und Kuhglocken, kaum Verkehrslärm und keine Vögel  
- Froschkonzert am Tümpel, am Schluss springt ein Frosch ins Wasser.  
Hintergrund: Heugebläse eines entfernten Bauernhofs

### Info:

Zeitpunkt: 17. Mai 1997, Mitternacht. Ort: Nähe Seleger-Moor, Hausen am Albis

## 75 Raumakustik-Rundgang deutsch (Nr. 76 französisch, Nr. 77 italienisch)

### Ziel:

- Wichtigkeit des Ohrs für die Einschätzung der Grösse und Ausstattung eines Raums erkennen

### Inhalt:

Kommentierte Führung durch folgende Räume: schalltoter Raum ETH Zürich, leeres kleines Büro, Treppenhaus, Tiefgarage, Hallraum Technikum Luzern, Wald, elektronischer Hall.

Die Einleitung und der Schluss stammen aus einem akustisch guten Besprechungsraum.

### Info:

Harte Oberflächen, z.B. Stein, reflektieren den Schall, weiche und poröse schlucken ihn. Je rauher die Oberfläche, desto mehr wird der Schall zusätzlich gestreut. Vergleichen Sie mit Licht: Bei einem Spiegel ist der Einfallswinkel eines Lichtstrahls gleich dem Ausfallswinkel, während eine matte Oberfläche (z.B. eine Projektionsleinwand) den Lichtstrahl in alle Richtungen streut. Oberflächenbeschaffenheit der Wände, Form und Grösse eines Raumes bestimmen seine Raumakustik. Der schalltote Raum wurde mit schallabsorbierenden Schaumstoffkeilen ausgestattet, um alle Schallreflexionen sofort zu schlucken. Sein Gegenstück ist der Hallraum mit Wänden aus blankem Beton. Die Schallwellen bleiben quasi darin gefangen. Beim Hallraum stehen die Wände schief zueinander. So wird erreicht, dass der Raum für alle Frequenzen etwa den gleichen Nachhall aufweist sich kein Flatterecho ausbilden kann. Konzertsäle mit guter Akustik weisen oft unregelmässige geometrische Formen auf.

### Hintergrund:

Diese Aufnahmen wurden mit extrem rauscharmen Mikrofonen Sennheiser MKH 20 aufgenommen. Um die Raumakustik zu betonen, wurden die beiden Mikrofone gegenüberliegend in eine Kugel von 20 cm Durchmesser eingebaut (Mikrofonmembran bündig zur Kugeloberfläche, "Kugelflächenmikrofon"). Bei diesen Aufnahmen ist die Wirkung über Kopfhörer besonders beeindruckend.

Da die Aufnahmen in allen drei Sprachen vorliegen müssen, haben wir uns eines Tricks bedient: Sämtliche Aufnahmen wurden im schalltoten Raum aufgenommen und dann über einen Lautsprecher der Marke Tannoy in den verschiedenen Räumen wiedergegeben. So mussten die Sprecher nicht an allen Orten anwesend sein. Sprecher deutsche Version: Markus Leutwyler

## 76 Raumakustik-Rundgang französisch

## 77 Raumakustik-Rundgang italienisch

# Lärmbekämpfung

## Ziel:

- Möglichkeiten der Lärmbekämpfung kennen
- Phantasie anregen im Zusammenhang mit der Lärmbekämpfung

## Info:

Lärm kann auf verschiedene Arten bekämpft werden: Das Gründlichste ist, ihn an der Quelle zu vermindern oder ganz zu verhindern. Hören Sie dazu die Tracks [79] / [80]. Ist die Verhinderung an der Quelle nicht möglich, kann der Lärm abgeschirmt werden (Tracks [78] / [81]). Falls dies ebenfalls nicht möglich ist, bleibt nur noch, das Gehör direkt zu schützen => Gehörschutz [43-46].

## 78 Wirkung einer Kapselung

### Ziel:

- Zeigen, wie stark eine Abschirmung wirken kann
- Motivation erlangen, die installierten Schallschutzmassnahmen zu benutzen

### Inhalt:

Der Deckel der Kapselung einer Stanzmaschine wird abwechselnd geschlossen und geöffnet.

### Info:

Besonders die gehörgefährdenden und unangenehmen Geräusche im hohen Frequenzbereich (> 2 kHz) werden sehr wirksam verringert.

## 79 Laute / leise Blasdüse mit gleicher Blasleistung

### Ziel:

- Merken, dass dasselbe Ziel auf die laute oder auf die leise Tour erreicht werden kann

### Inhalt:

1. Eine alte Blasdüse (Venturidüse / Injektordüse)
2. Eine moderne Mehrlochdüse, welche zwar gleich stark bläst, aber weniger lärmt.

### Info:

Bei der alten Blasdüse treten starke Verwirbelungen im Luftstrom auf, welche zu einem hohen Geräuschpegel (ca. 100 dB(A)) führen. Lärmarme Mehrlochdüsen sind bei gleicher Blasleistung bis 20 dB(A) leiser als Venturidüsen.

## 80 Auto bei 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100 km/h

### Ziel:

- Erkennen, auf welche Art und wie stark sich der Schallpegel eines Fahrzeugs mit zunehmender Geschwindigkeit ändert.

### Inhalt:

Ein Lieferwagen Citroën C15 ist zuerst im Leerlauf, dann im Vorbeifahren mit zunehmender Geschwindigkeit zu hören.

### Info:

Im Stillstand hören Sie lediglich das Geräusch des Motors. Je schneller das Auto fährt, umso stärker werden Luft- und Rollgeräusche. Mit 100 km/h stellen diese Geräusche den grössten Anteil am Lärm dar. Folgende Möglichkeiten stehen zur Lärmreduktion im Stassenverkehr zur Verfügung: An allen Orten: Reduktion der Geschwindigkeit bringt immer eine Verringerung des Lärms. Bei niedrigen Geschwindigkeiten, z.B. in der Stadt: Leisere Motoren wirken sich hier besonders positiv aus. Bei hohen Geschwindigkeiten, z.B. auf der Autobahn: Lärmarmere Bodenbelag und eine bessere Aerodynamik. Hochgeschwindigkeitszüge haben nicht umsonst ein stromlinienförmiges Aussehen. Da der Luftwiderstand (und mit ihm Energieverbrauch und Geräusche) mindestens quadratisch oder gar mit der dritten Potenz zur Geschwindigkeit zunimmt, wirkt sich ein falsches Design bei diesem Tempo besonders gravierend aus.

## **81 Autobahn: vor / hinter der Lärmschutzwand**

### **Ziel:**

- Möglichkeiten und Grenzen einer Schallschutzwand erfahren

### **Inhalt:**

Autobahngeräusche vor und hinter einer ca. 4 Meter hohen Lärmschutzwand. Gleicher Abstand zur Strasse.

### **Info:**

Auch hier gilt: Die hohen Frequenzen werden stark, die tiefen kaum abgeschwächt. Deshalb tönt ein vollbeladener Lastwagen annähernd gleich laut, während ein leichtes Auto mit leisem Motor kaum mehr zu hören ist.

### **Hintergrund:**

Die Schallschutzwand befindet sich hinter dem Bahnhof Stansstad. Sie ist auf einen Erdwall gebaut (2 Meter hoch) und misst selbst noch einmal 3 m. Die Strassen waren bei der Aufnahme trocken. Der Abstand des Mikrofons zum Mittelstreifen betrug in beiden Fällen 50 Meter.

Um den bestmöglichen Eindruck zu erzielen, wurden beide Aufnahmen in gleicher Art verdichtet. Dabei wurden vier Aufnahmen desselben Ortes, aber von leicht abweichenden Zeitabschnitten zusammengemischt. Alle Aufnahmen entstanden innerhalb derselben halben Stunde.

## **Lärm am Arbeitsplatz**

### **Ziel:**

- Einstimmung mit den Geräuschen aus der Branche
- Sensibilisierung auf das Lärmproblem

### **Inhalt:**

Zuschnitt von Lärm aus der jeweiligen Branche

### **Hintergrund:**

Ein Teil dieser Aufnahmen entstand bei einer Lärmmessung und liegt deshalb nur mono vor.

## **82 Aus allen Branchen**

Kreissäge, Websaal, Winkelschleifer, Dieselbär, Traktor, Presslufthammer, Motorkettensäge

## **83 Baugewerbe**

Hammer und Meissel, Presslufthammer, Mauerschlitzzfräse, Steinfräse (Benzin), Spitzhammer, Dieselbär (Rammgerät)

## **84 Gleisbau**

Bohrhammer, Warnsignal, vorbeibrausender Schnellzug

## **85 Metallindustrie**

Schleifen und Richten, Nager, Elektrodenschweissen, Stanzmaschinen: langsam, mittel, schnell

## **86 Forst- und Landwirtschaft**

Motorkettensäge, Schweinefütterung, Kuhweide, landwirtschaftlicher Traktor: Start und Vorbeifahrt

## **87 Holzbearbeitung**

3 Aufnahmen Sägerei, Kreissäge, Hobelmaschine

## **88 Textilindustrie**

Websaal, Greiferwebmaschine, Schützenwebautomat

## **89 Verkehr**

Schritte, Velo, Tram, Auto, Schnellzug, Flugzeug

## **90 Büro**

mechanische Schreibmaschine, elektrische Schreibmaschine, PC aufstarten, Mausclicks, Nadeldrucker, Laserdrucker, Schnarchen und das Telefon läutet weiter...

# Fundgrueb

## 91 Schritte

### Inhalt:

Schritte auf Asphalt, Asphalt mit Kies, dann mit Schneematsch, Schritte im Schnee und auf einer Holzbrücke

## 92 Sportarten

### Inhalt:

Badminton, Skateboarder auf unebenem Boden, Street-Basketball, Billard, Jogging

## 93 Schienenfahrzeuge

### Inhalt:

Dampflokomotive, Abfahrt eines Schnellzugs im Bahnhof Luzern (italienische Ansage), S-Bahn im Zürcher Hauptbahnhof, Zürcher Tram (Nr. 6 bei der ETH)

### Hintergrund:

Nachdem der Zug in Luzern abgefahren ist, hören Sie, wie eine Lokomotive aus dem Bahnhof wegfährt. Da es sich um einen Sackbahnhof handelt, muss jeweils zwischen Ankunft und Abfahrt die Lokomotive ausgewechselt werden.

Kurz vor der Abfahrt einer Zürcher S-Bahn mit neuen Wagen werden die Passagiere von Blitzlichtern oberhalb der Türen gewarnt. Falls Sie sehr hohe Frequenzen wahrnehmen können, hören Sie, wie sich die Kondensatoren in den Blitzgeräten nach jedem Blitz neu aufladen.

Besonders alte Trams quietschen enorm in den Kurven. Die Aufnahme stammt von einem alten Tram, das bei der ETH Zürich in die Kurve fährt. Im Hintergrund ist zum selben Zeitpunkt ein modernes Tram durchgefahren.

## 94 Feuerprasseln im Eisenofen

### Hintergrund:

Beachten Sie den metallenen Klang des Eisenofens.

## 95 Übermütiger Hund

### Hintergrund:

Auch Tiere äussern sich akustisch. "Gini" hat offenbar genug gehört.

## Mess- und Testsignale

### 96 Rosa Rauschen unkorreliert

**Ziel:**

- Unterschied des Höreindrucks zum korrelierten Rauschen feststellen.
- Gehörmässig prüfen, ob die Wiedergabe in Ordnung ist.

**Info:**

Unkorreliertes Rauschen bedeutet, dass auf beiden Stereokanälen ein voneinander völlig unabhängiges rosa Rauschen aufgenommen wurde. Bei 100%ig korreliertem Rauschen ist auf beiden Kanälen genau dasselbe Rauschen. Würde es sich nicht um Rauschen, sondern um Musik handeln, spräche man von einer Monoaufnahme.

**Hintergrund:**

Unkorreliertes und korreliertes Rauschen tönen nicht gleich. Beim korrelierten Rauschen hat man den Eindruck, dass es genau aus der Mitte der beiden Lautsprecher kommt. Unkorreliertes Rauschen scheint gut verteilt von links, recht und der Mitte zu kommen.

Obwohl es im Rauschen keinerlei Periodizität oder andere Orientierungshilfen gibt, schafft es das Gehirn, gleiche von ungleichen Signalen zu unterscheiden. Dies ist ein Indiz für die enorm schnelle Verarbeitung.

### 97 Rosa Rauschen korreliert

**Ziel:**

- Siehe Track 96
- Gehörmässig prüfen, ob die Lautsprecher gleichphasig angeschlossen sind.

### 98 Sinus 1 kHz Vollaussteuerung

**Ziel:**

- ganze Wiedergabekette auf Übersteuerung prüfen

**Achtung: Diesen Track sollten Sie nicht mit Kopfhörern abspielen. Dies kann Ihr Gehör schädigen! Falls Sie die Lautstärke am Verstärker zu sehr aufdrehen haben, könnte dies Ihre Lautsprecher überlasten!**

### 99 Kanaltest

**Ziel:**

- Die Tonsignale dieser CD seitenrichtig wiedergeben.

**Inhalt:**

Abwechselnd die Worte "linker Kanal", "rechter Kanal" nur auf dem linken resp. rechten Kanal.

**Info:**

Falls es nicht stimmt, überprüfen und vertauschen Sie gegebenenfalls die Audio-Stecker am CD-Player, am Verstärker oder am Lautsprecherausgang des Verstärkers.

## Literaturhinweise

{1}	Musik und Hörschäden	Suva	Bestell-Nr. 84001
{2}	Gehörgefährdender Lärm am Arbeitsplatz	Suva	Bestell-Nr. 44057
{3}	Belästigender Lärm am Arbeitsplatz	Suva	Bestell-Nr. 66058
{4}	Klang, Musik mit den Ohren der Physik (1985)	John R. Pierce;	Spektrum-Verlag

# Glossar

Mit ~> wird auf Einträge des Glossars hingewiesen, mit => auf Tracks der CD.

## A-Pegel / A-Bewertung:

- Filter, welches bei einer Schallpegelmessung zugeschaltet werden kann und welches dem ~> Frequenzgang des Gehörs angenähert ist.

## Akustik:

- Lehre vom Schall
- klangliche Verhältnisse, Wirkung des Klangs, Schalls (innerhalb eines [geschlossenen] Raumes)

## Amplitude:

- grösster Ausschlag einer Schwingung; Schall: Spitzenwert des Schalldrucks einer Schwingung; elektrisch: maximale Spannung

## Audiogramm:

- Graphische Darstellung der (normalisierten) Hörschwelle als Funktion der Frequenz

## Aussenohr:

- Ohrmuschel und Gehörgang bis zu Trommelfell (~> Gehör)

## Bleibender Hörschaden (PTS):

- Irreversible Erhöhung (=Verschlechterung) der Hörschwelle. Es ist keine Heilung möglich.

## Cochlea:

- Mit Flüssigkeit gefüllte Hörschnecke, in der sich die ~> Haarzellen als Schallwandler befinden
- von lärmbedingten Gehörschäden betroffenes Organ
- ~> Gehör

## Dezibel (dB):

- Einheit des ~> Schalldruckpegels (Schallpegels)
- dB(A): siehe ~> A-Bewertung
- Mass für Verstärkungen und Abschwächungen

## Dissonanz:

- Missklang. Gegenteil: ~> Konsonanz

## Eustachische Röhre:

- Verbindung zwischen Mittelohr und Rachen gleicht Luftdruckschwankungen aus (~> Gehör)

## Frequenz:

- Anzahl Schwingungsperioden pro Sekunde

## Frequenzgang:

- des Gehörs oder eines Mikrofons: Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Frequenz
- eines Lautsprechers: Wiedergabepegel in Abhängigkeit von der Frequenz
- linearer: je flacher ein Frequenzgang eines Gerätes, desto natürlicher klingt die Wiedergabe

## Gehör:

- Organ zum Wahrnehmen von Schall
- Lesen Sie den Hintergrund zum Kapitel Schallwahrnehmung
- Zum Aufbau des Gehörs beachten Sie bitte: Seite 8 in {1}, Seite 24 ff. in {2}, S.11 in {3}

## Geräusch:

- Schall, der sich aus chaotischen Schwingungen zusammensetzt (im Gegensatz zum Klang)

## Haarzellen:

- Härchen in der ~> Cochlea, welche mit Nerven verbunden sind und Schall in elektrische Impulse umwandeln (~> Gehör)
- Durch Überbeanspruchung (zu hohe Dauerschallpegel ~>  $L_{eq}$ ) können die Haarzellen absterben, was zu einem Hörschaden führt.

## Hörpegel:

- Pegel, bei dem eine Aufnahme angehört wird. Dieser entspricht meist nicht dem Aufnahmepegel.

## Hörschaden:

- ~> bleibender Hörschaden
- ~> temporärer Hörverlust

**Hörschnecke:**

- ~> Cochlea

**Hörschwelle:**

- ~> Schalldruck in Abhängigkeit der ~> Frequenz, bei welchem ein Ton gerade noch wahrgenommen wird

**Kapsel/Kapselung:**

- Gehörschutz, der wie ein Kopfhörer auf die Ohren gesetzt wird (Gehörschutzkapsel)
- Abdichtung einer Schallquelle gegen den Lärm (Kapselung)

**Klang:**

- Schall, der sich aus periodischen Schwingungen zusammensetzt (im Gegensatz zum Geräusch)

**Konsonanz:**

- Wohlklang. Gegenteil: ~> Dissonanz

 **$L_{eq}$ :**

- Äquivalenter Dauerschallpegel. Energetisch gemittelter Schallpegel, mit dem Lärm beurteilt wird.

**Luftdruck:**

- Druck, den die Luft durch ihre Masse und die Erdgravitation aufweist (Schweredruck)
- Der Luftdruck ist höhenabhängig und beträgt auf Meereshöhe ca. 1000 Hektopascal (hPa = mBar)
- Der Luftdruck ist um Zehnerpotenzen grösser als natürlicherweise vorkommende Schalldrücke, da er jedoch vor und hinter dem Trommelfell gleichermassen wirkt, spielt er für das Hören keine Rolle.
- Änderungen des Luftdrucks werden über die ~> eustachische Röhre ausgeglichen

**Innenohr:**

- ~> Cochlea (Hörschnecke); (~> Gehör)

**Mittelohr:**

- umfasst die Innenseite des Trommelfells und die Gehörknöchelchen
- (~> Gehör)

**PTS:**

- Permanent Threshold Shift, ~> bleibender Hörschaden

**reiner Ton:**

- Ton, welcher nur aus seiner Grundfrequenz und ohne Obertöne aufgebaut ist (Sinuston)

**Schall:**

- wellenförmig sich ausbreitende Schwingungen, die vom menschlichen Gehör wahrgenommen werden können

**Schalldruck:**

- Ausmass für die Schwankungen des Luftdrucks, welche von einer Schallquelle ausgehen. Eine Verdoppelung des Schalldrucks führt zur Vervielfachung der Schalleistung. Einheit: Pascal [Pa]

**Schalleistung:**

- Schallenergie, die pro Sekunde abgestrahlt wird. Eine Verdoppelung der Schalleistung erhöht den Schalldruck um den Faktor  $\sqrt{2}$ . Einheit: Watt [W]

**Schallpegel:**

- Logarithmisches Mass aus dem Schalldruck. Einheit: Dezibel [dB]

**Schall- und Laserverordnung:**

- Eidgenössische Verordnung, welche die maximal zulässigen Schallpegel von elektronisch verstärkter Musik festlegt. Weiter regelt sie die Verwendung von Laserstrahlen an Veranstaltungen.  
Inkrafttreten: 1. April 1996

**Schmerzgrenze:**

- Schalldruck, über welchem Schall als schmerzhaft empfunden wird (ca. 120 dB)

**Sinuston:**

- Ton, welcher nur aus seiner Grundfrequenz und ohne Obertöne aufgebaut ist (= reiner Ton)

**Spektrum:**

- Intensitätsverteilung in Abhängigkeit der Frequenz.

**Temporärer Hörverlust (TTS):**

- Hörschweleneinbusse nach zu starken Schalleinwirkungen, die sich innerhalb von Tagen, Wochen oder Monaten wieder erholen kann

**Tinnitus:**

- Ohrgeräusch (Pfeifen oder Rauschen, etc.) z.B. als Folge einer Überlastung

**TTS:**

- Temporary Threshold Shift, ~> Temporärer Hörverlust

**Übersteuerung:**

- Jedes Gerät hat einen definierten maximalen Eingangspegel. Wird dieser überschritten, wird die Aufnahme übersteuert, d.h, verzerrt.

**Verzerrung:**

- lineare Verzerrung = Abweichung von einem idealen Frequenzgang (Betonung gewisser Frequenzen).  
Nichtlineare Verzerrungen: Neue Obertöne werden erzeugt, z.B. auf Grund einer Übersteuerung. Bei der Übersteuerung werden die oberen und/oder unteren "Kuppen" einer Schwingung angeschnitten.  
Harmonische Verzerrungen fügen einem Klang Vielfache der Grundfrequenz zu. Auch das Gehör kann sehr hohe Schallpegel nicht mehr korrekt aufnehmen und verzerrt den Klang.



## AUDIO DEMO 3

### **Konzept / Conception / Concetto**

Beat W. Hohmann, Suva

### **Realisation / Réalisation / Realizzazione**

Markus Leutwyler, ETH/Suva

### **Tonaufnahmen / Enregistrements / Registrazioni**

Suva Akustik, M. Leutwyler, B. Hohmann, Auris [48/49/53/54/57/58], RiffRaff Studio [61], W. Lips [63]

### **Tontechnik / Prise et traitement de son / Tecnica del suono**

Sennheiser MKH 20/40/60/80, Microtech Gefell MT71S/M300, Revox M3500, Brüel&Kjær 4165; Brüel&Kjær 1027; Tascam DA-P1, Sony DTC A8, Sony PCM-F1, Stellavox SP7, Revox A77 HS; Alesis Quadraverb 2, Creamware tripleDAT 2.3.

### **Titelbild / Couverture / Copertina**

Peter Fahrni, Markus Leutwyler (Foto Heiligenschwendi / Thunersee)

### **Wir danken / Nous remercions / Ringraziamo [Track No.]**

Bruno Rusconi, Flughafendirektion Zürich [70]; Rolf Bischof, Kakaphoniker Luzern [66]; Tobias Herger, Orgel [27-29, 65]; Käthi Leutwyler [30], Karl Leutwyler [80]; Rosmarie Hubmann [12], Valérie Parrat [76], Sara Spadaro [77], Jugendmusik Emmen [63]; Jürg Stettbacher, ETH [75-77]; Andreas Odermatt, ZTL [75-77]; Tennis-Center Würzenbach Luzern [92]; SBB Luzern [93]; Gini [95]; Tennis-&Squash-Center Cham; Beat Fritschi; Kuno Matzinger; Vlasta Mercier, Bundesamt für Gesundheit; Beat Roggen, Informationszentrum für gutes Hören.

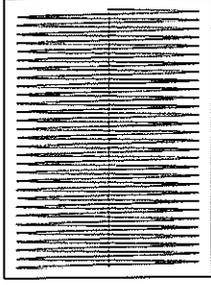
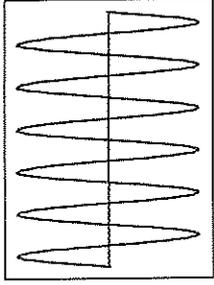
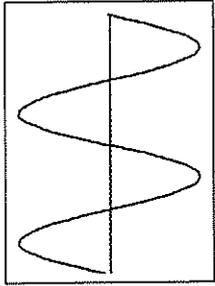
CD-Bestell-Nummer: 99051

CD made in Switzerland by OMD, Diessenhofen

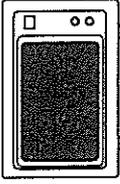
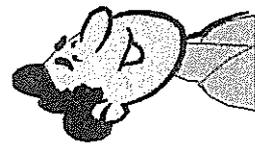
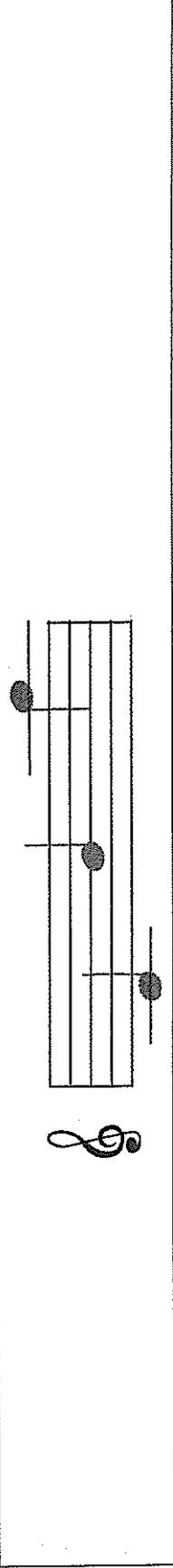
Total playing time 73'50"

**Abbildungen  
und  
Kopiervorlagen**

# FREQUENZ in Hertz [Hz]

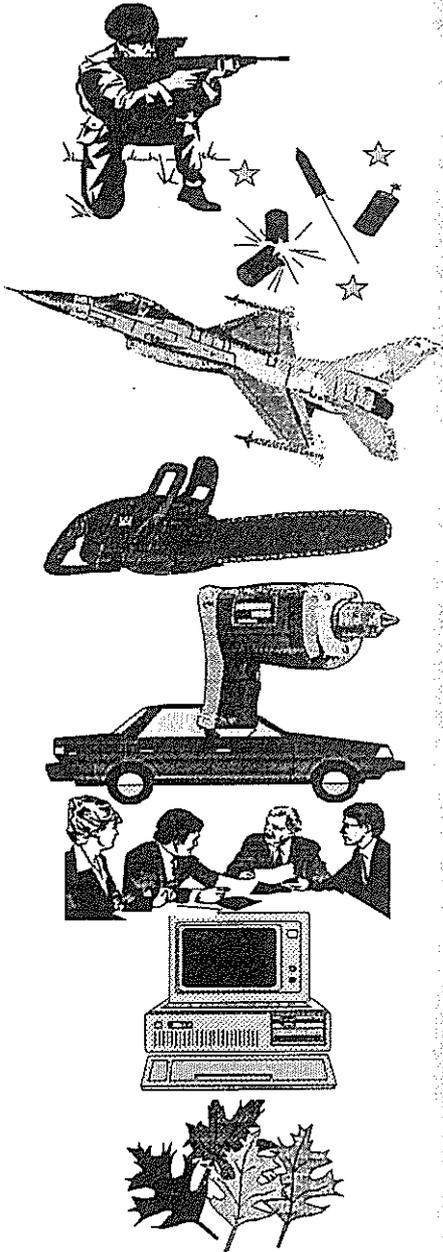


31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	16 k
------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------



**suva**

### Schallpegel



160

*akute  
Gehörschädigung*

140

*Schmerzschwelle*

120

100

*Gehörgefährdung*

80

*Kommunikation  
beeinträchtigt*

60

40

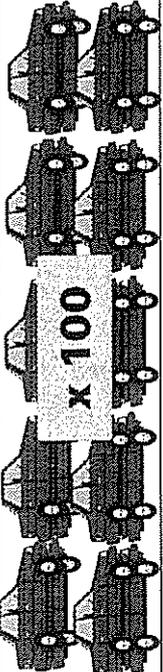
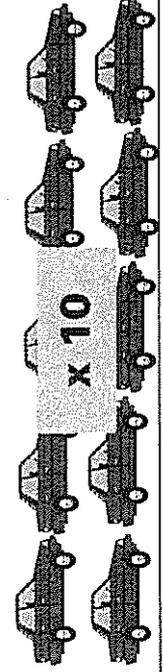
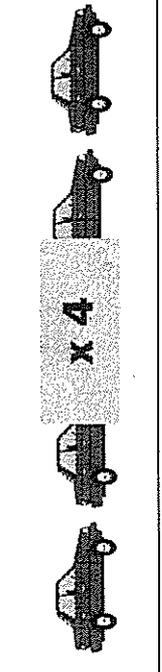
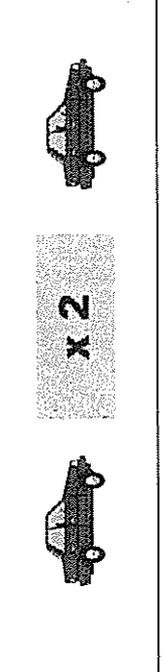
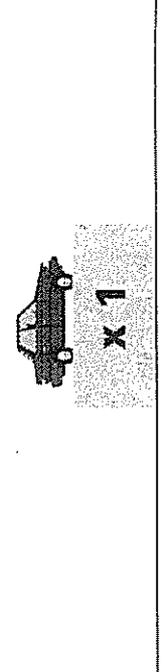
*Hörschwelle*

20

0

**dB (A)**

**Schallpegeldifferenzen**

Empfindung (im Mittel)	Schallpegel	Schalleistung oder Anzahl gleicher Schallquellen	Schall- druck
viermal so laut	+ 20 dB	 <p>x 100</p>	x 10
doppelt so laut	+ 10 dB	 <p>x 10</p>	x 3,0
deutlich lauter	+ 6 dB	 <p>x 4</p>	x 2,0
hörbar lauter	+ 3 dB	 <p>x 2</p>	x 1,4
knapp hörbar	+ 1 dB	 <p>x 1,25</p>	x 1,1
-	0 dB	 <p>x 1</p>	x 1,0

## Hörtest [34]

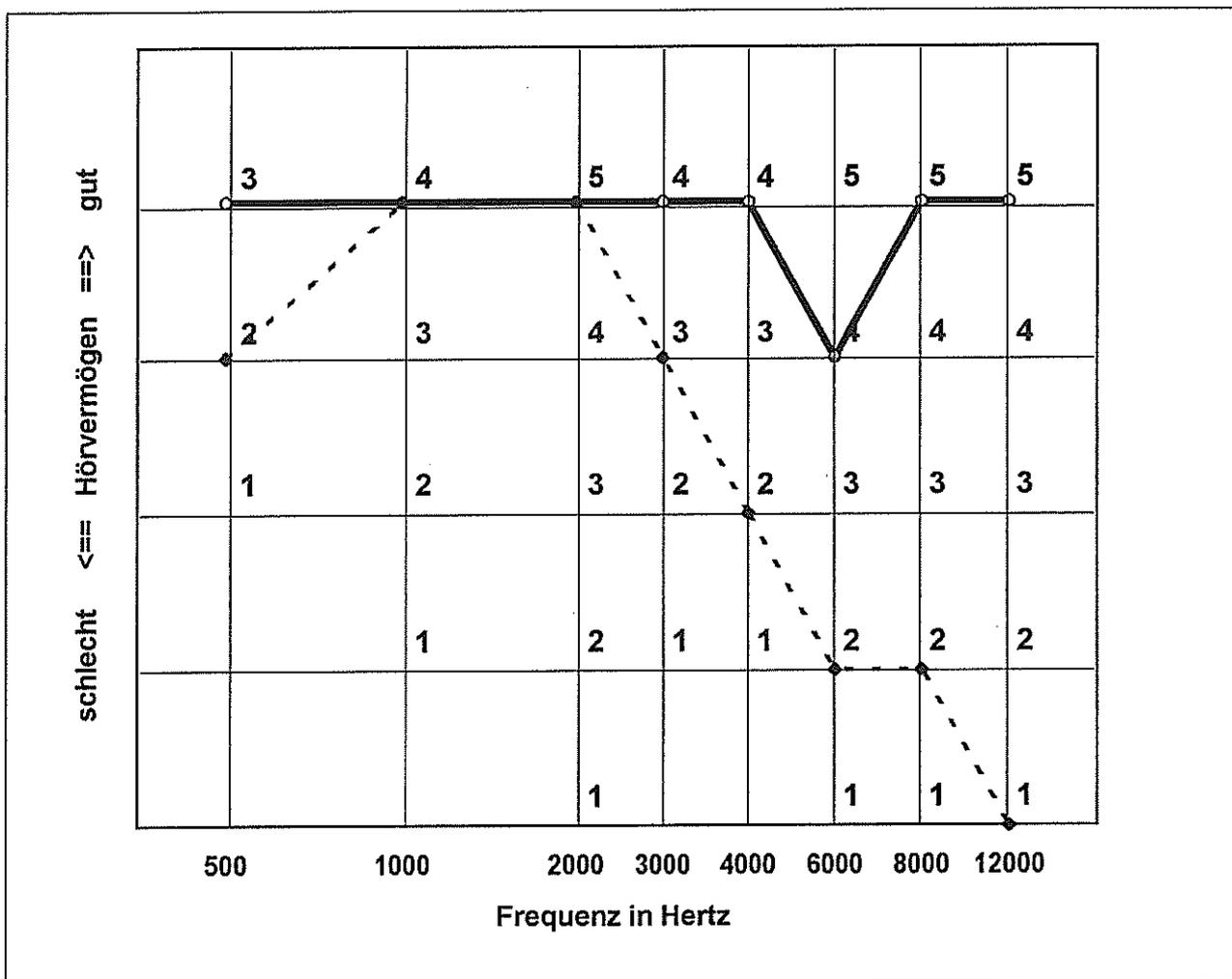
Notieren Sie für jede Frequenz die Anzahl der (nach dem Demo-Ton) gehörten Testtöne:

Frequenz [Hz]	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000	12000
linkes Ohr								
rechtes Ohr								

Markieren Sie nun für jede Frequenz den Kreuzungspunkt bei der betreffenden Anzahl:  
linkes Ohr = X, rechtes Ohr = O

Die durchgezogene Kurve zeigt einen typischen Verlauf bei Kindern und Jugendlichen.

Die gestrichelte Kurve ist typisch für Männer von ca. 55 Jahren; Frauen hören oft besser.

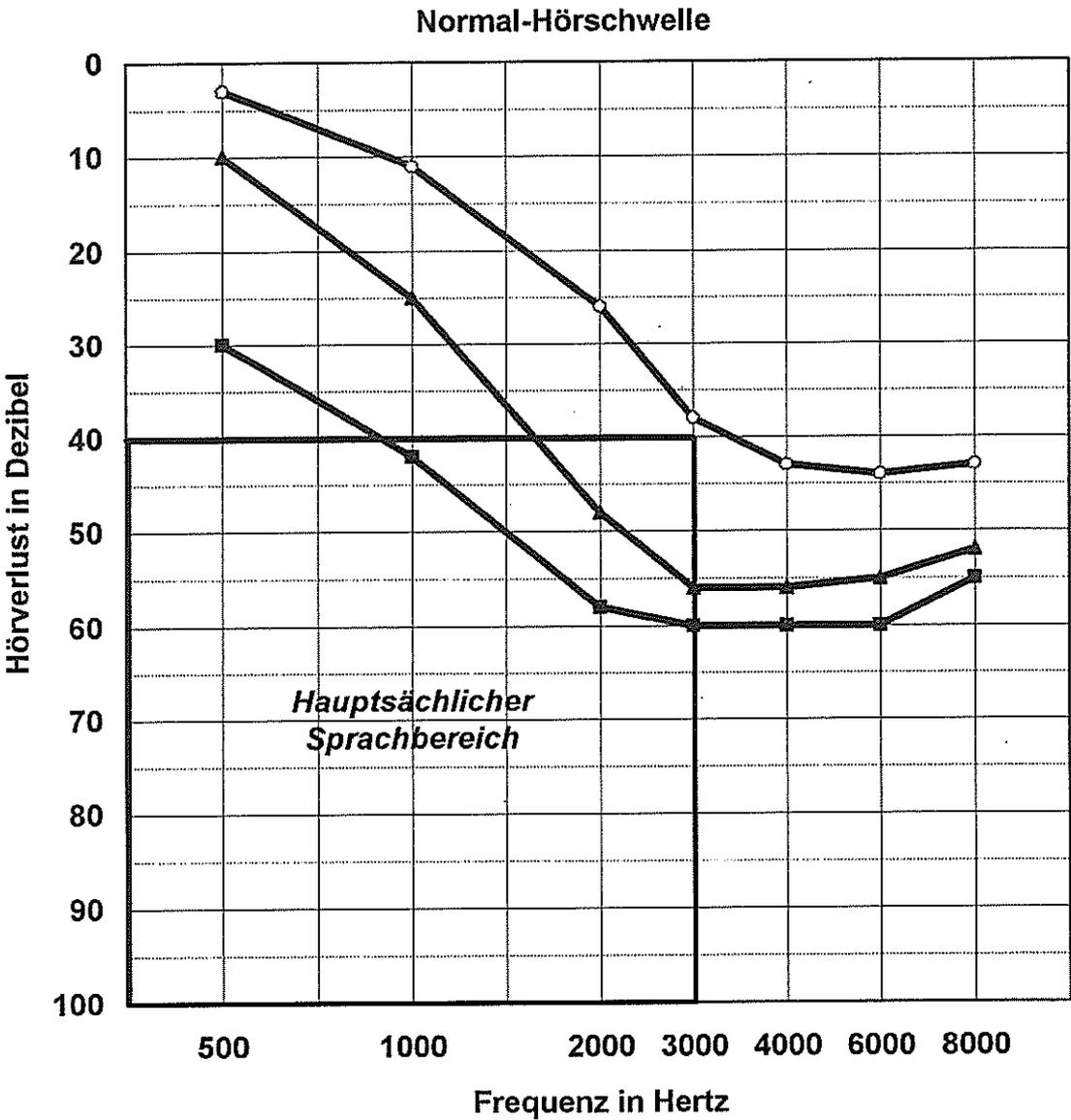


## Hochton-Hörtest [35]

Aus der Anzahl gehörter Testtöne ergibt sich die obere Grenzfrequenz Ihres Gehörs:

Anzahl gehörte Testtöne	0	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
obere Grenzfrequenz	<10 kHz	10 kHz	11 kHz	12 kHz	13 kHz	14 kHz
Anzahl gehörte Testtöne	11 - 12	13 - 14	15 - 16	17 - 18	19 - 20	21 - 22
obere Grenzfrequenz	15 kHz	16 kHz	17 kHz	18 kHz	19 kHz	20 kHz

# Audiogramme der Gehörschaden-Simulationen



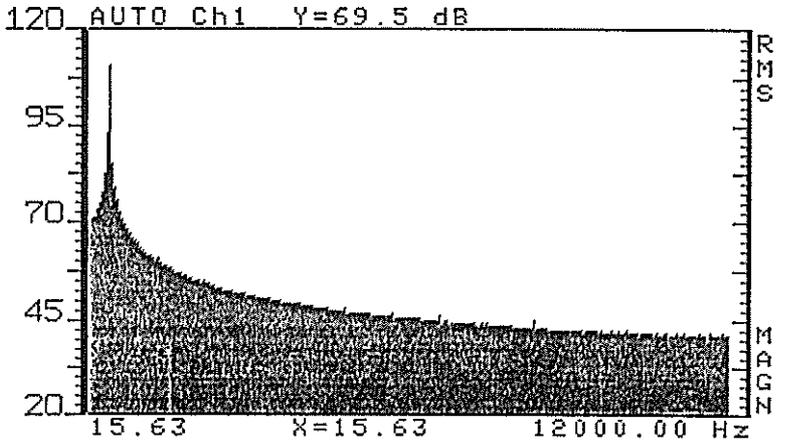
- leichte Höreinbusse (CPT-Verlust = ca. 12 %)
- ▲ mittlere Höreinbusse (CPT-Verlust = ca. 35 %)
- schwere Höreinbusse (CPT-Verlust = ca. 50 %)

"Vom Sinus zum Rechteck" [23]

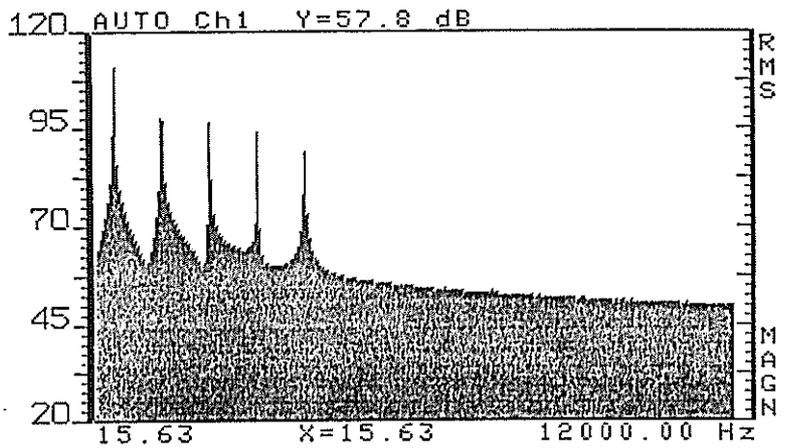
Oszillogramm

FFT-Spektrum

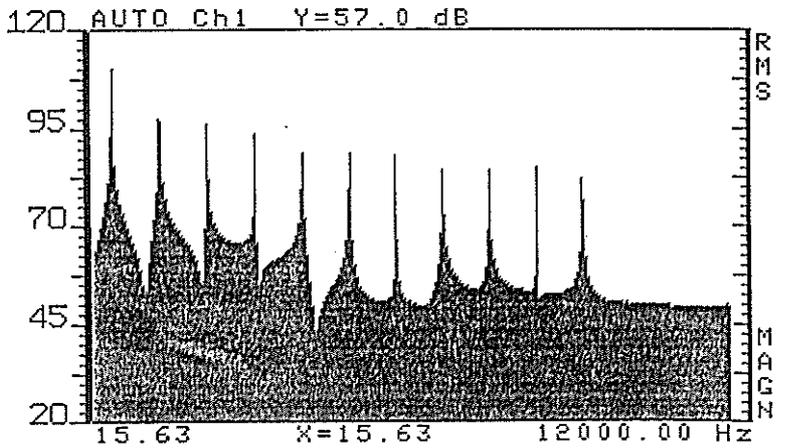
1 Partialton



5 Partialtöne



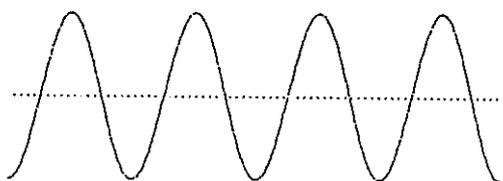
11 Partialtöne



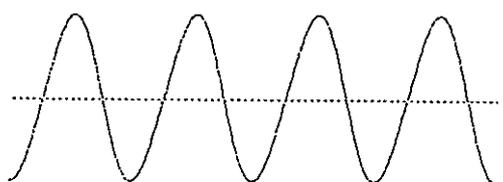
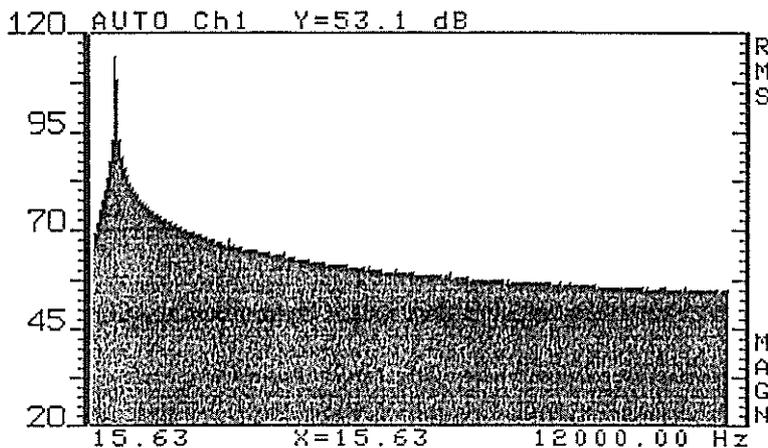
"Vom Sinus zum obertonreichen Klang" [24]

FFT-Spektrum

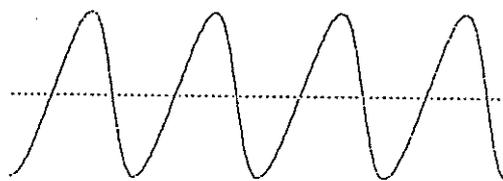
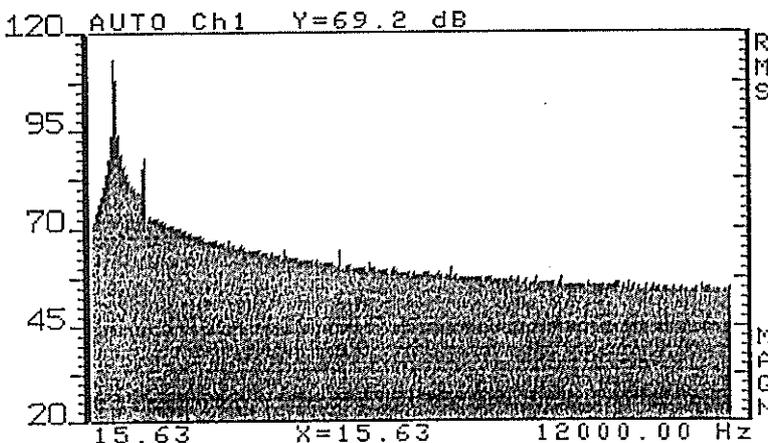
Oszillogramm



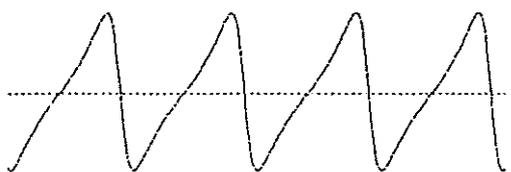
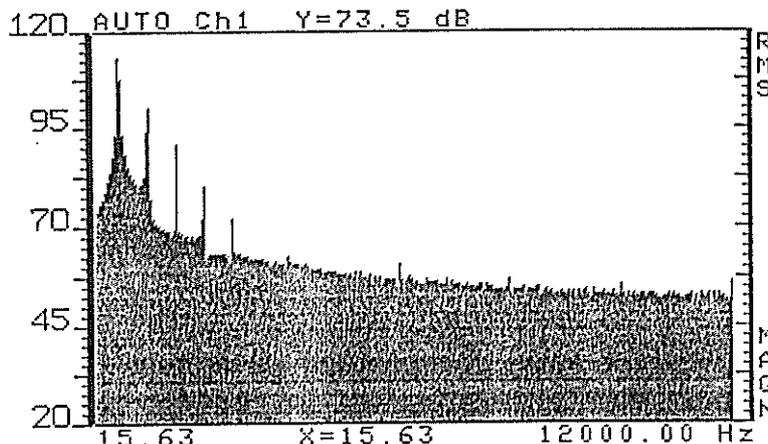
1.Klang: Sinus



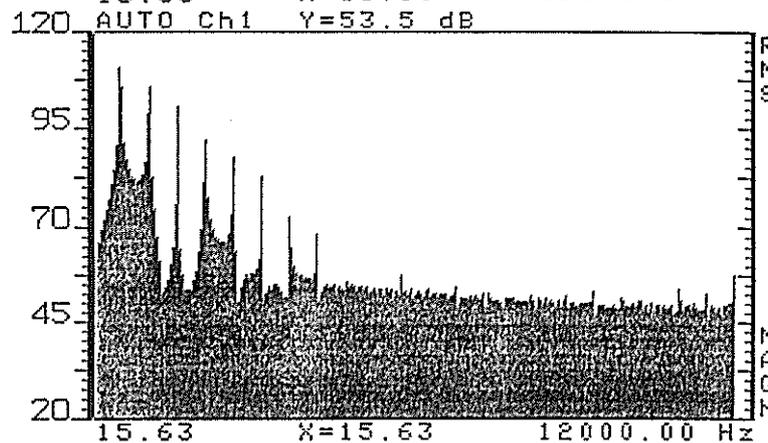
2.Klang: leicht verzerrter Sinus

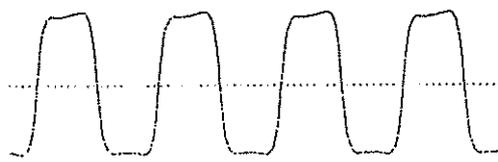


3.Klang: verzerrter Sinus

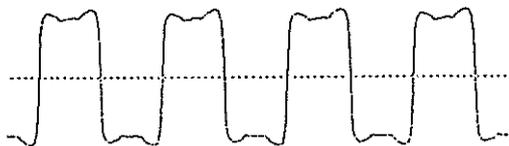
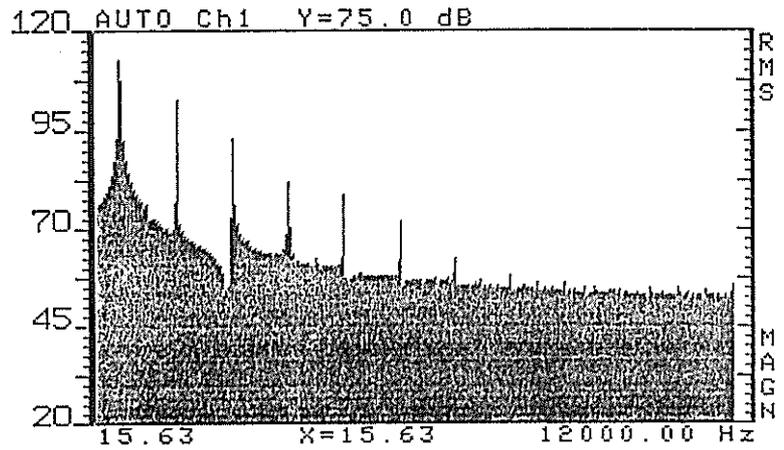


4.Klang: Sägezahn

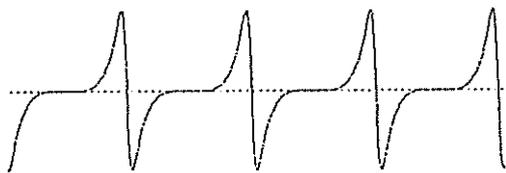
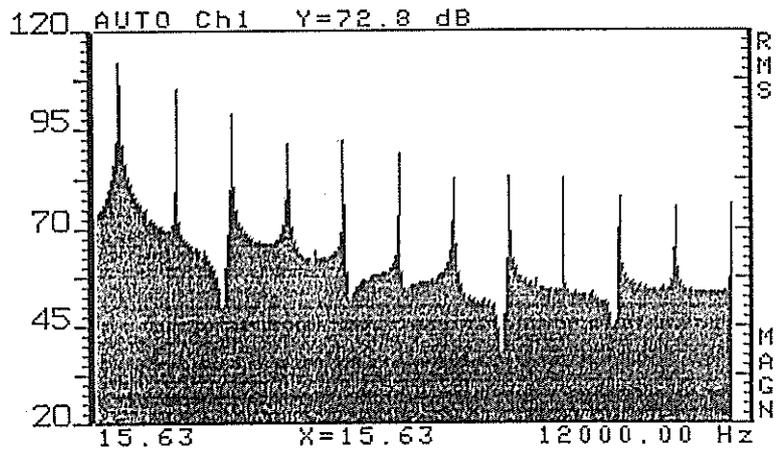




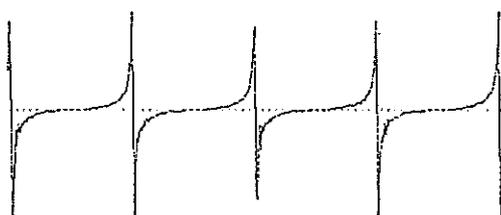
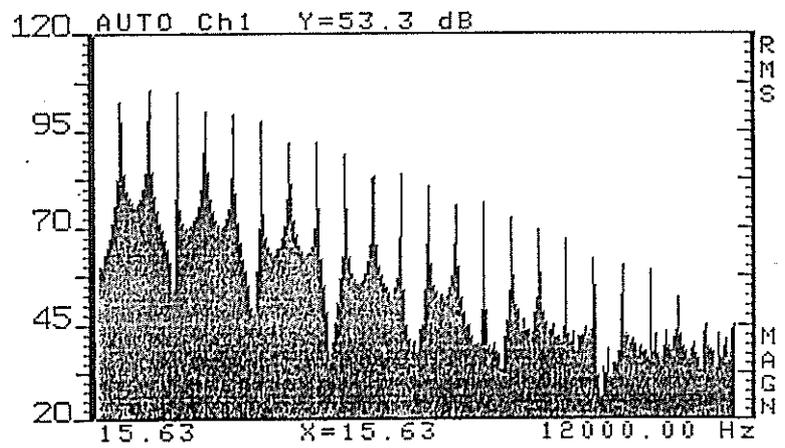
5.Klang: Rechteck mit abgerundeten Ecken



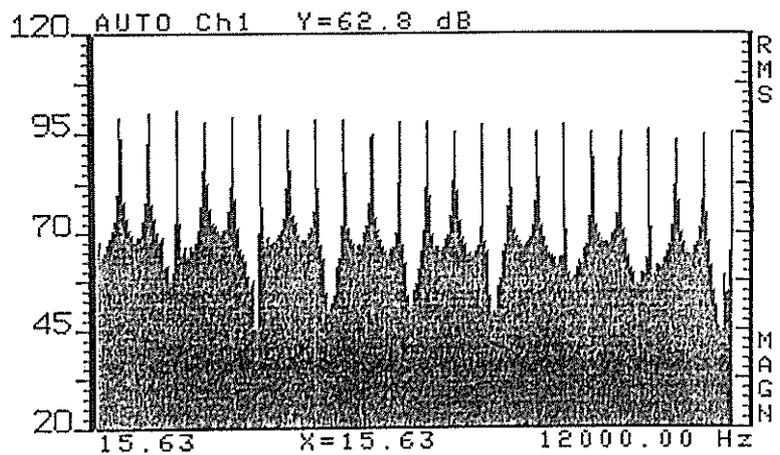
8.Klang: Rechteck



9.Klang: schmale Impulse

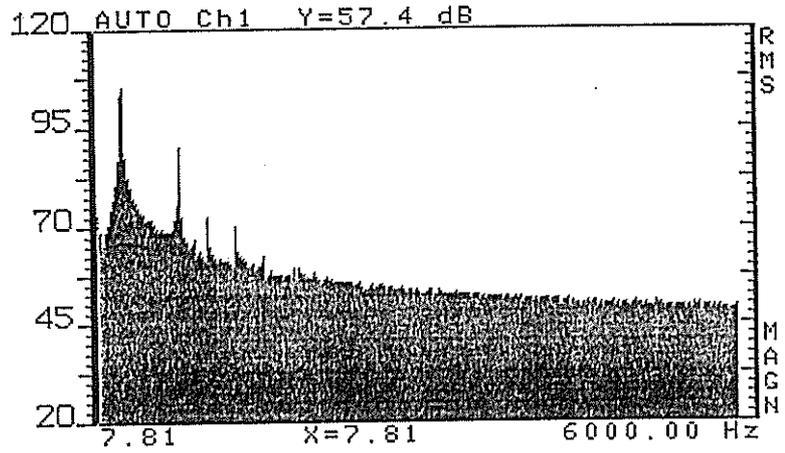


13.Klang: Nadelimpulse



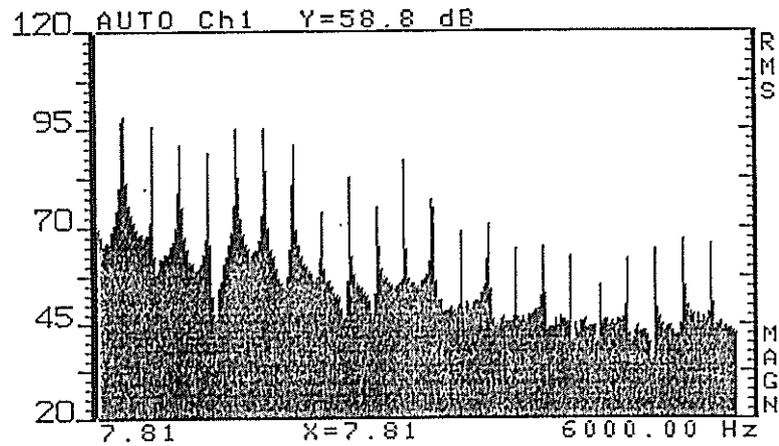
"Orgelton weich" [25]

FFT-Spektrum



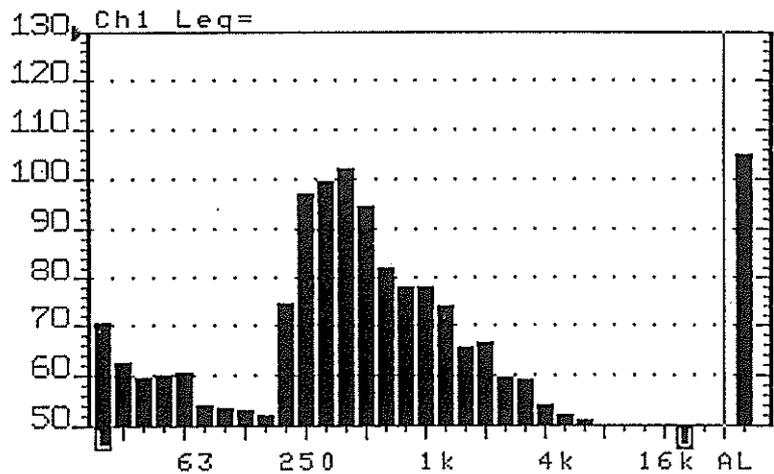
"Orgelton scharf" [26]

FFT-Spektrum

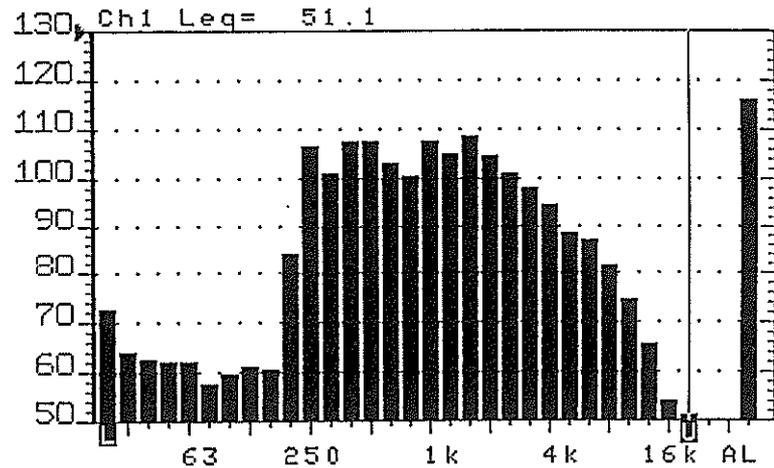


"Dreiklang auf der Orgel, bei dem immer mehr Register gezogen werden" [29]

Terzbandanalyse

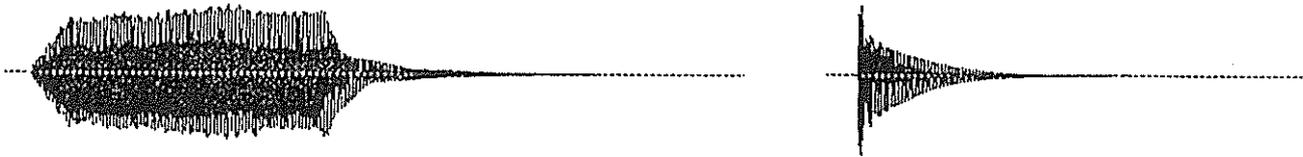


Terzbandanalyse

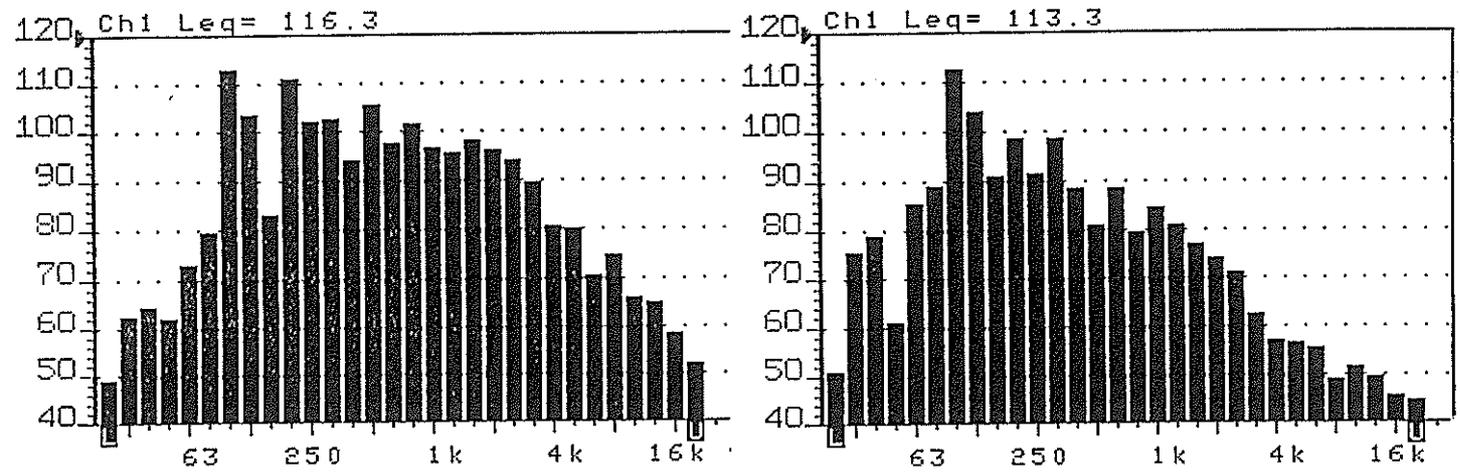


"gehaltener Ton: Cello gestrichen; ausklingender Ton: Cello gezupft" [30]

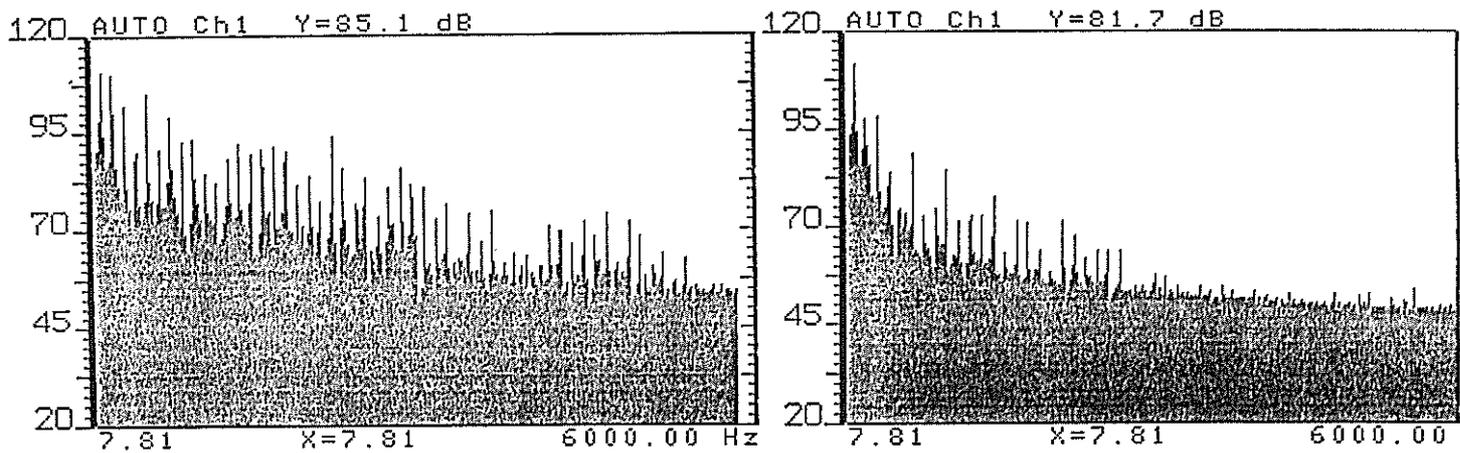
Oszillogramm



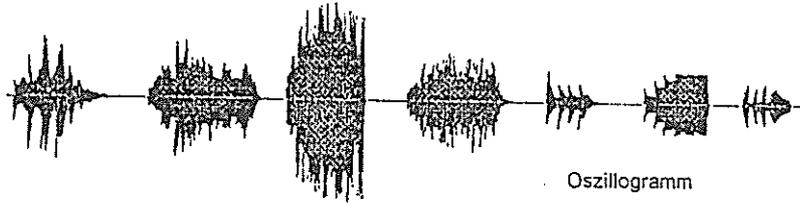
Terzbandanalyse



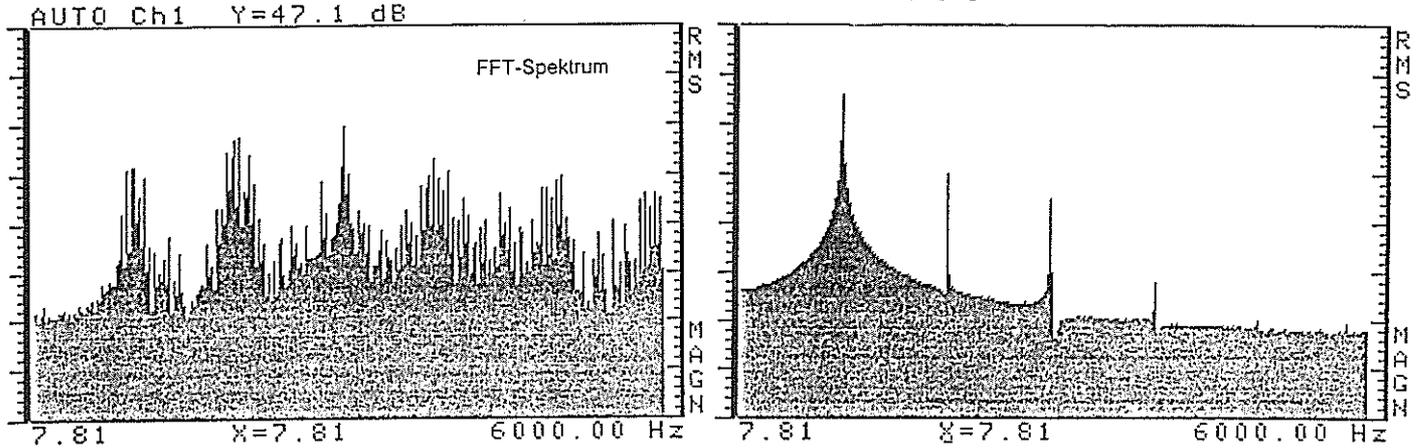
FFT-Spektrum



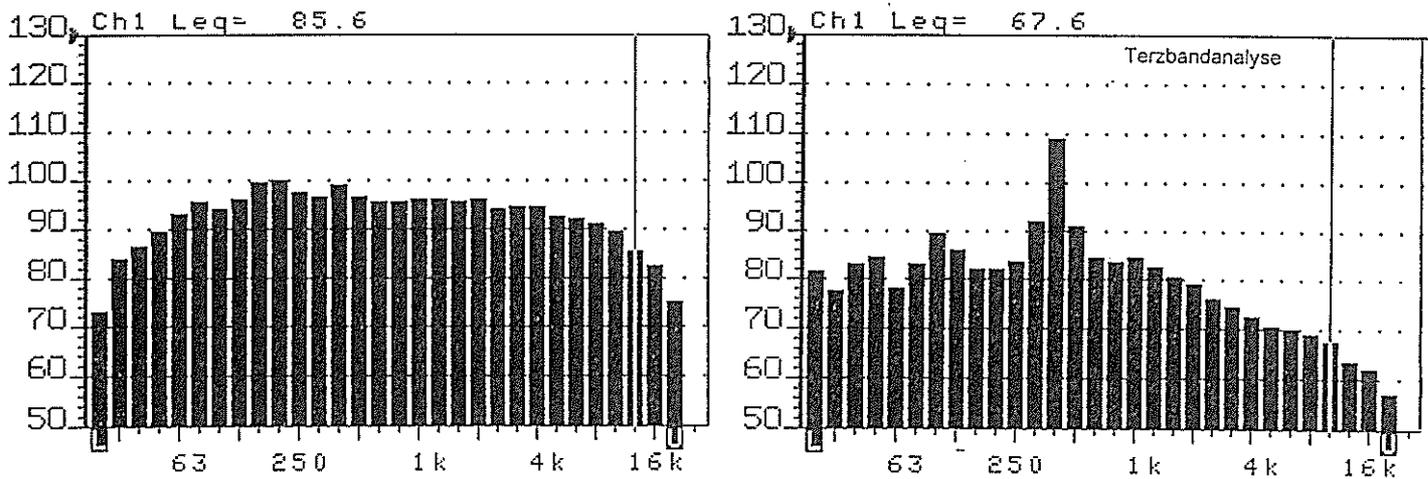
"Dreiklänge auf dem Synthesizer gespielt mit verschiedenen Klängen" [31]



"scharfes Geräusch / harmonischer Klang" [38]



"breitbandiges / schmalbandiges Geräusch" [39]



"tiefrequentes / mittelfrequentes Geräusch" [40]

