

Klassenraum-Akustik praktisch

Hörgeschädigte Kinder in Regelschulen
Neue Raumakustik-Norm DIN 18041

Dipl.-Ing. CARSTEN RUHE
Beratungsbüro für Akustik
hörgerecht planen und bauen
carsten.ruhe@ hoeren-und-bauen.de
www.carsten-ruhe.de

**Es gibt nichts Praktischeres
als eine gute Theorie.**

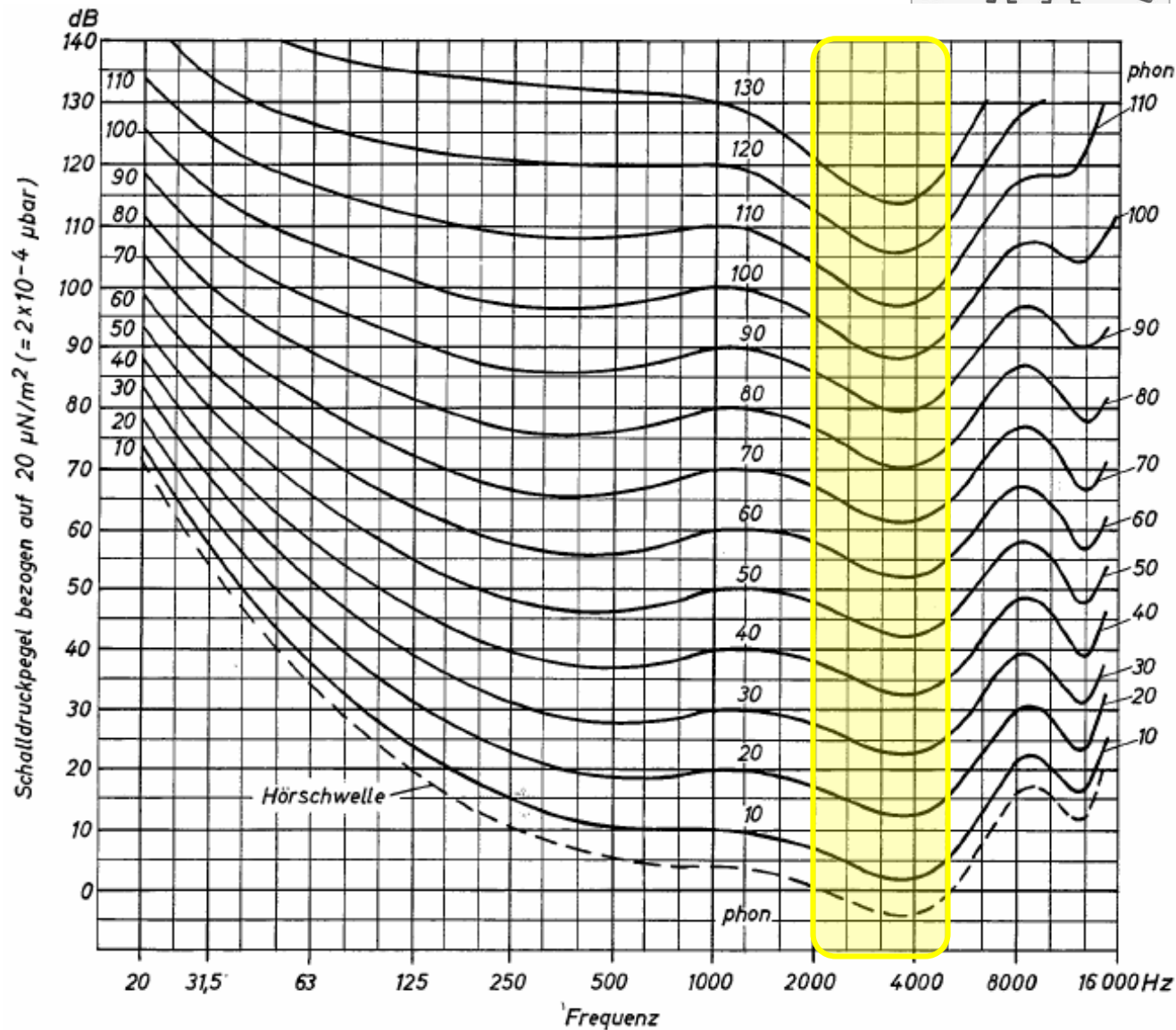
Gute Theorie ist
verdichtete Praxis.

Die allermeisten
praktischen Probleme
wurden theoretisch
bereits gelöst.



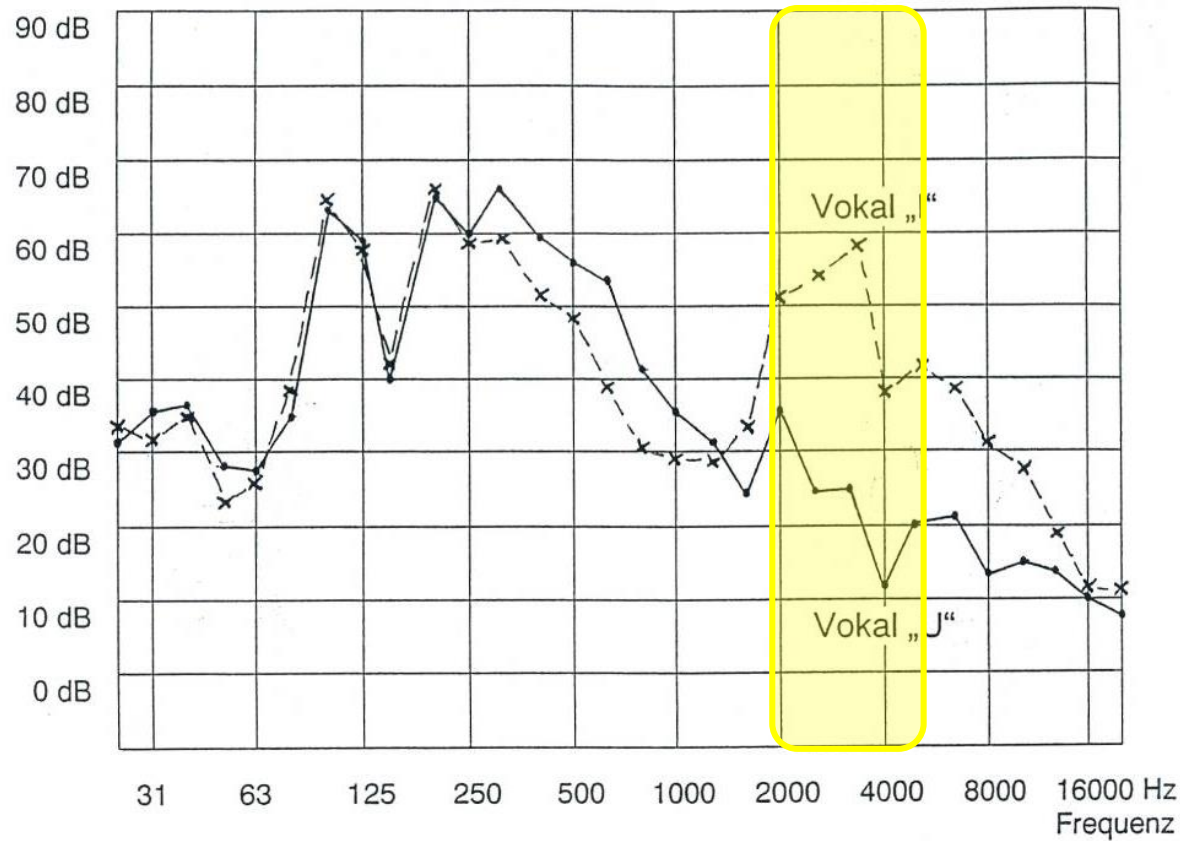


Wie hören Guthörende?



Was kann das menschliche Gehör?

Formanterkennung:
Die Vokale I und U unterscheiden sich im tieffrequenten Bereich kaum, sondern vorrangig oberhalb von 2000 Hz.

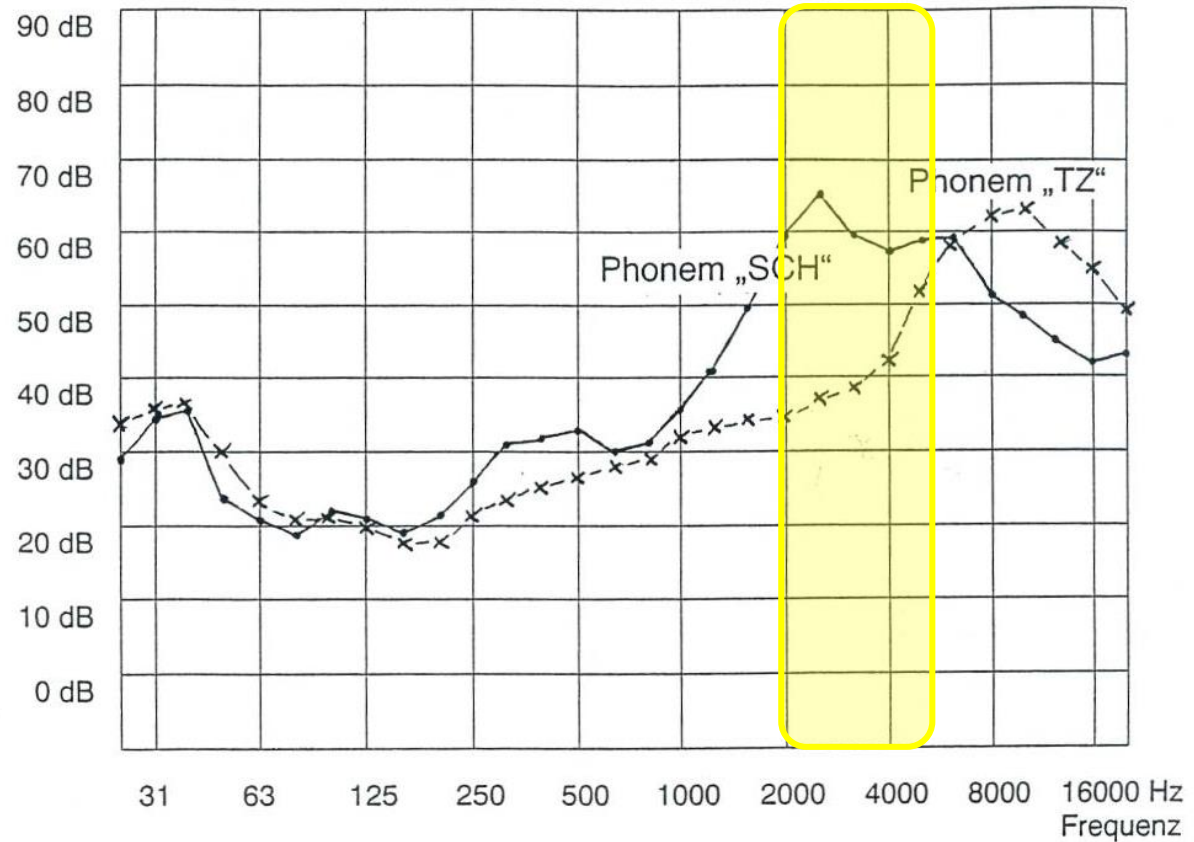


© TuR Schmidt/Ruhe 2002

Was kann das menschliche Gehör?

Formanterkennung:

Die Konsonanten
SCH und TZ
unterscheiden sich
im tieffrequenten
Bereich kaum,
sondern vorrangig
oberhalb von
2000 Hz. TZ reicht
bis 16.000 Hz.

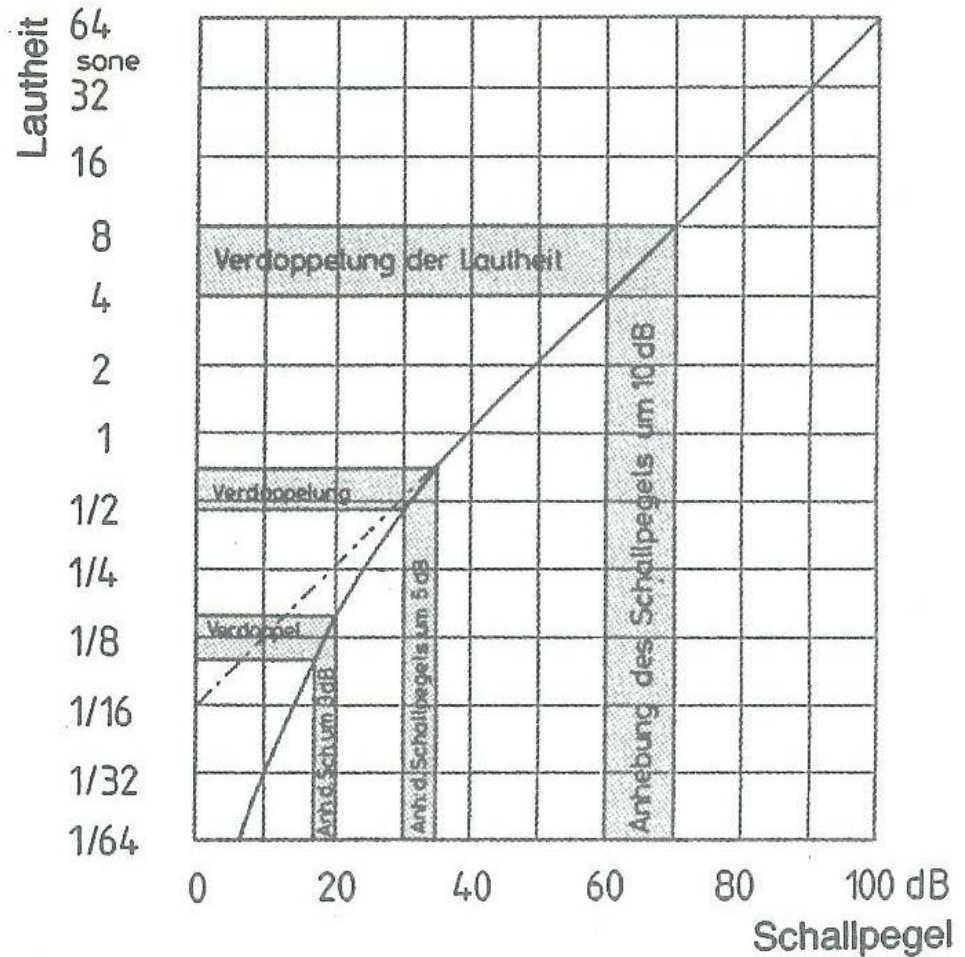


© TuR Schmidt/Ruhe 2002

Was kann das menschliche Gehör?

Zusammenhang
zwischen
Schallpegel und
empfundener
Lautstärke
(Lautheit)

nach Zwicker-Feldtkeller:
Das Ohr als Nachrichten-
Empfänger, Hirzel, 1967



Was kann das menschliche Gehör?

Warum reagiert das menschliche Gehör bei niedrigen Pegeln so stark auf kleinste Änderungen?

Warum ist das menschliche Gehör bei hohen Frequenzen so empfindsam (und damit auch empfindlich)?

Warum macht das Gehör - im Gegensatz zum Auge - auch im Schlaf nicht „die Schotten dicht“?

Evolution:

Hinweis auf **Beute** (lebenswichtig)

oder Warnung vor **Gefahren** (über-lebenswichtig)

z. B. durch Blätterrascheln oder Ästeknacken.

Was
Waru
so sta
Waru
empfi
Waru
Schla

Evolu
Hinwe
oder
z. B.



liche
he G
en?
ehör
empfi
Gege
t“?

er Äst



n
)
m

g)
g)

Was kann das menschliche Gehör?

Bei **Alarm** würde früher **Lärm** geschlagen
und so „zu den Waffen“ gerufen: ad armas, **al arme!**

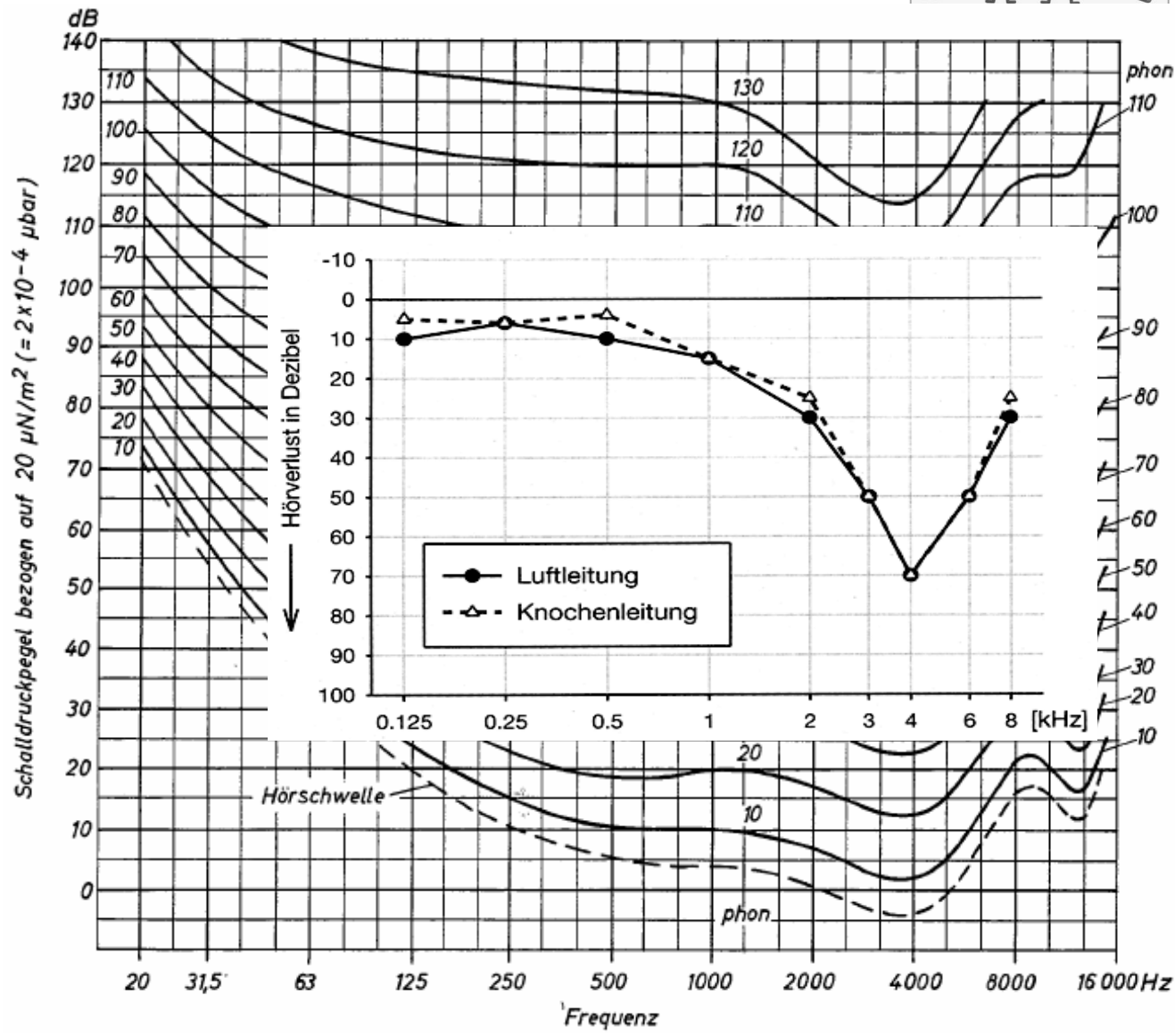
Noch heute wird Adrenalin ausgeschüttet und
kampfbereit gemacht; Marschmusik mit schwerem
Blech und Schlagwerk haben ähnliche Wirkung.

Leben und Arbeiten unter **Lärm** (auch mit **Tinnitus**)
bedeutet

Leben und Arbeiten unter **Stress**
mit erhöhtem **Infarktrisiko**.



Lärm- Schwerhörig- keit





Was können Schwerhörende anders?

Die tieffrequenten Vokale bewirken die Lautstärke.
Die hochfrequenten Anteile der Konsonanten (Zisch- und Explosivlaute) übertragen den Sprach-Inhalt.

Das lässt sich auch optisch belegen:

..ie ..o....o..a....e.. e.....a....e.. ..ie l....o....a..io...

D.... K..ns..n..nt..n ..nth..lt..n d.... ..nf..rm..t....n.

Die Konsonanten enthalten die Information.

Was können Schwerhörende anders?

Die hochfrequenten Anteile der Zisch- und Explosiv-Laute übertragen den Inhalt der Sprache.

Diese hochfrequenten Sprach-Anteile müssen in den Hörgeräten besonders kräftig verstärkt werden.

Sehr viele Störgeräusche sind ebenfalls stark hochfrequent und werden (bei etlichen Geräten) mit verstärkt.

Sprache am Nebentisch wird nicht als Störgeräusch erkannt.

Daraus resultiert die bauliche Ingenieur-Aufgabe, insbesondere diese hochfrequenten Störgeräusche gar nicht erst entstehen zu lassen oder sie zu dämpfen.

SCHALLSCHUTZ

RAUMAKUSIK

Was können Schwerhörende anders?

Der Ton macht die Musik.

Beim Lesen von Text hört man ihn nicht,
weil er nicht geschrieben werden kann.

Beispiel:

DAS GÖNN' ICH DIR!

DAS GÖNN' ICH **DIR**!

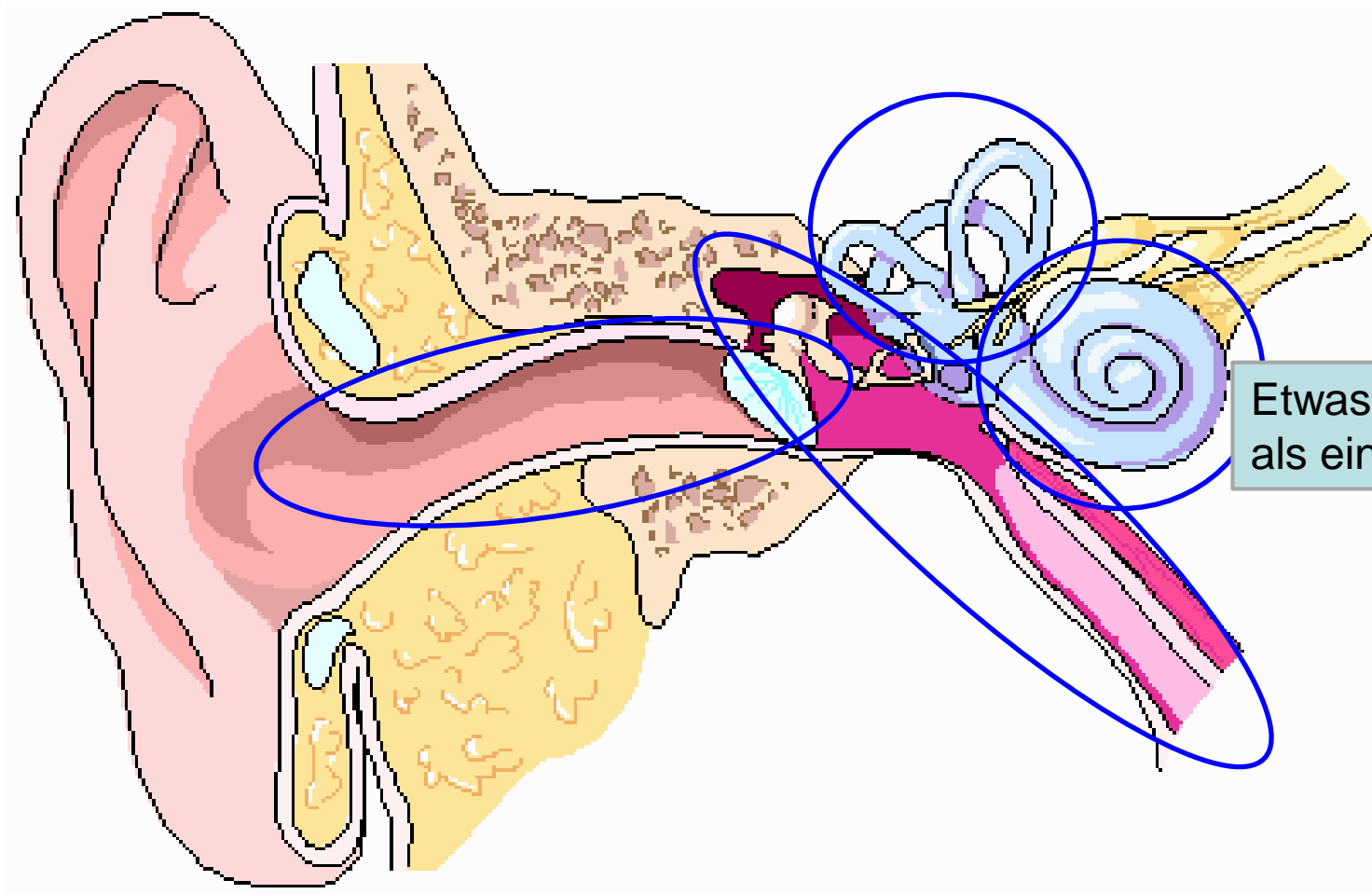


DAS GÖNN' ICH DIR!



Deshalb gibt es bei Schwerhörenden
so viele Missverständnisse!

Was kann das menschliche Gehör?

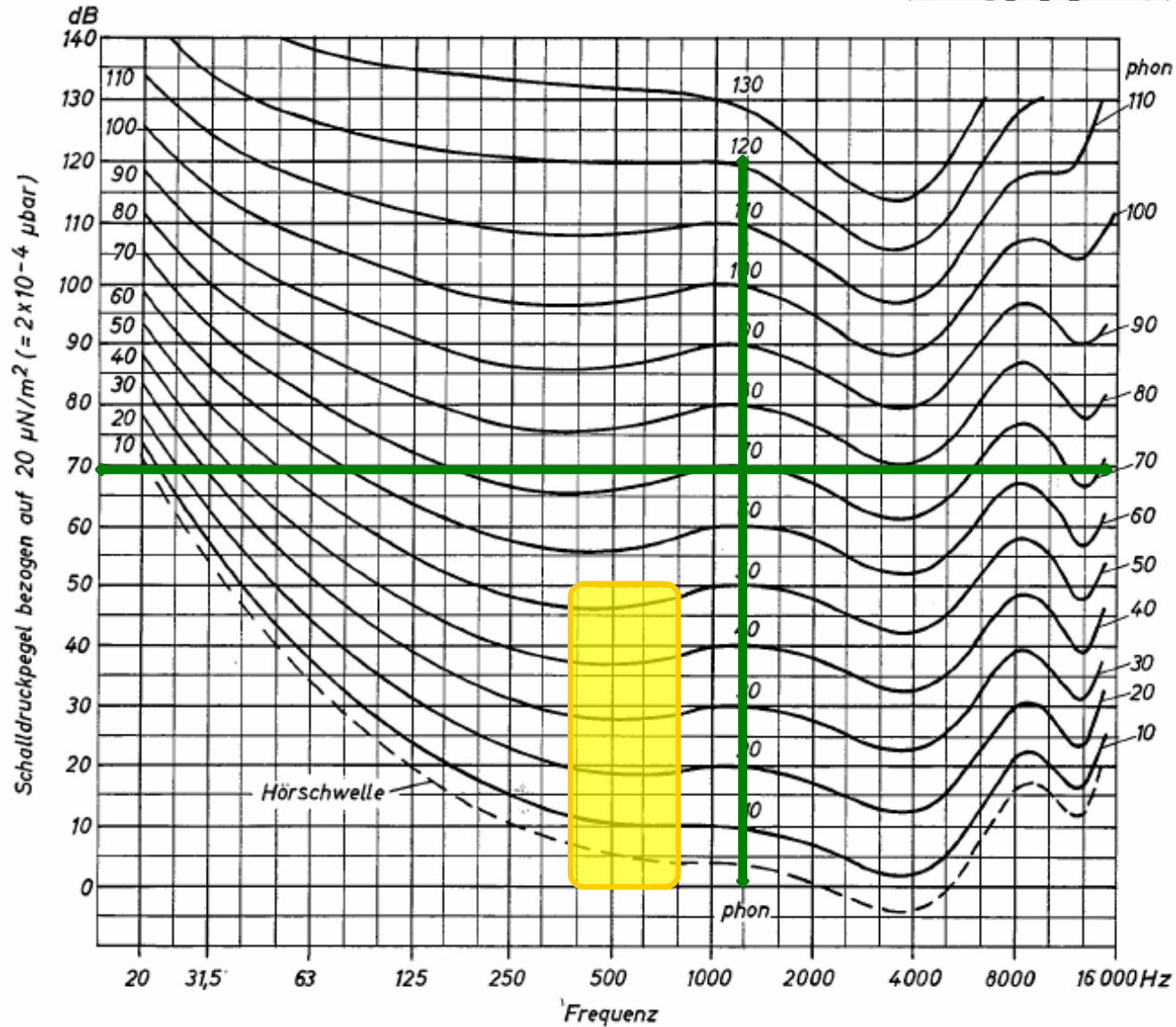


Etwas größer
als eine Erbse.

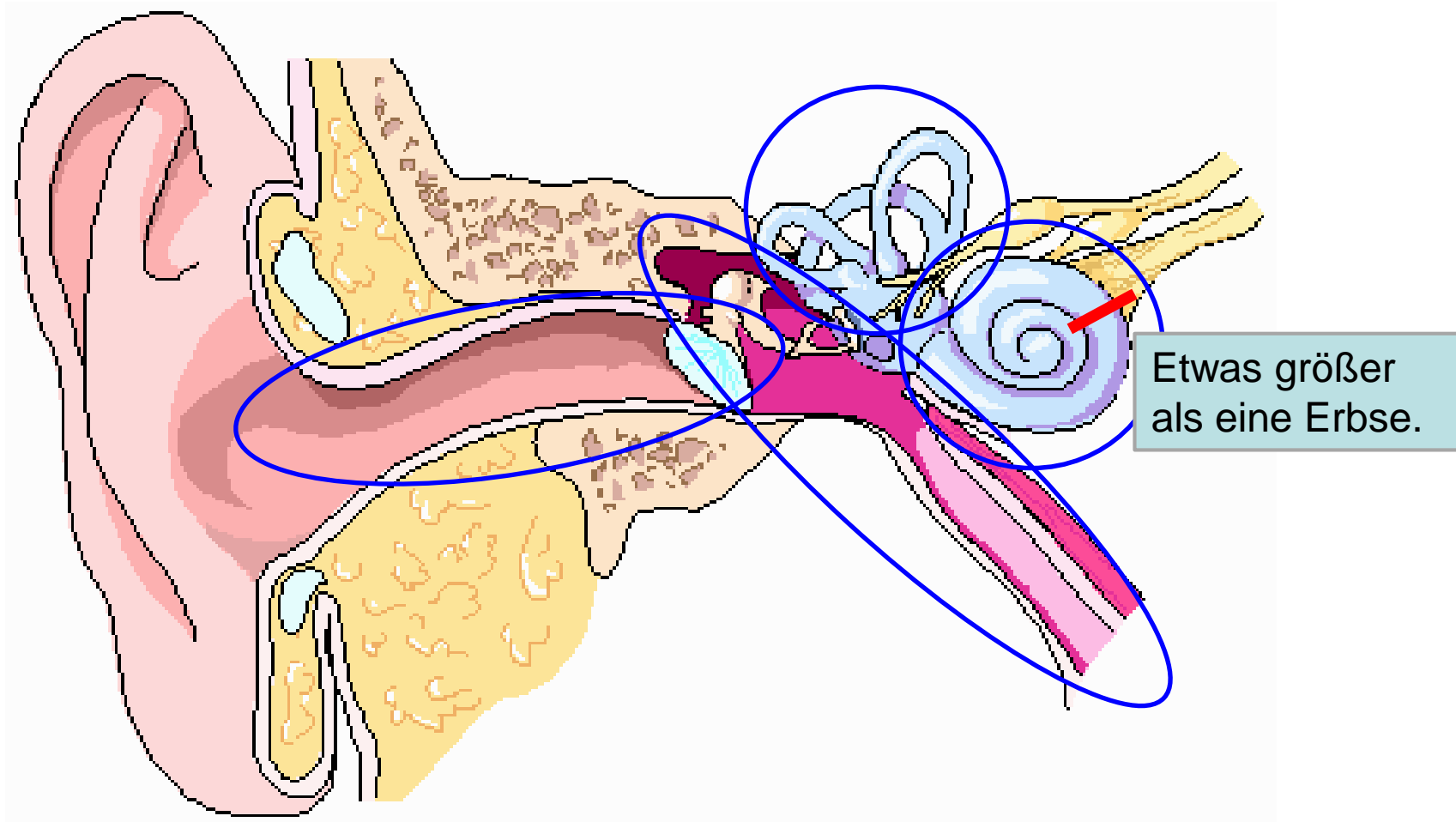
Vergleich von Frequenz- und Dynamik- bereichen

Hören:
10 Oktaven
bis 120 dB

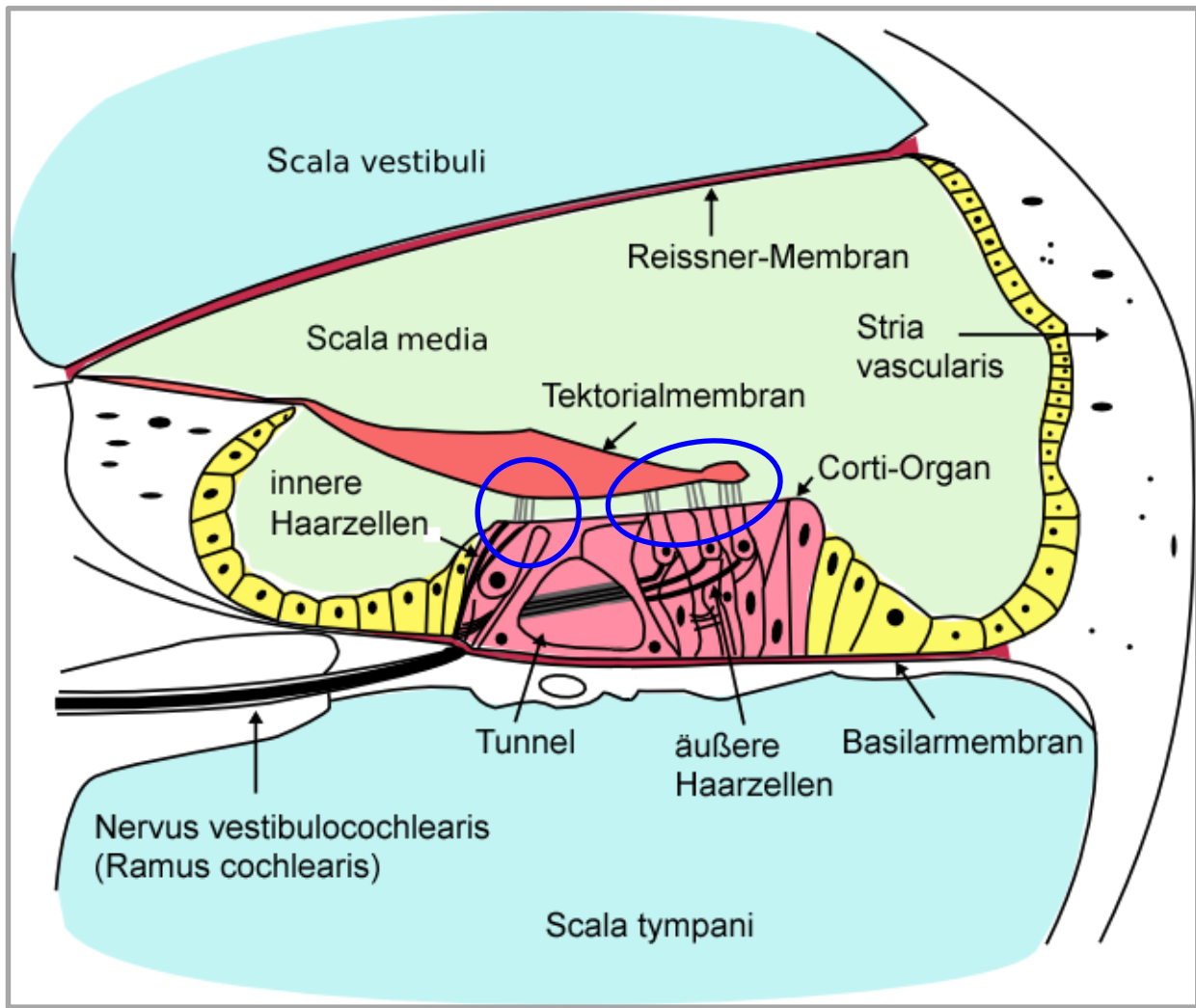
Sehen:
nur 1 Oktave
nur ca. 50 dB



Was kann das menschliche Gehör?



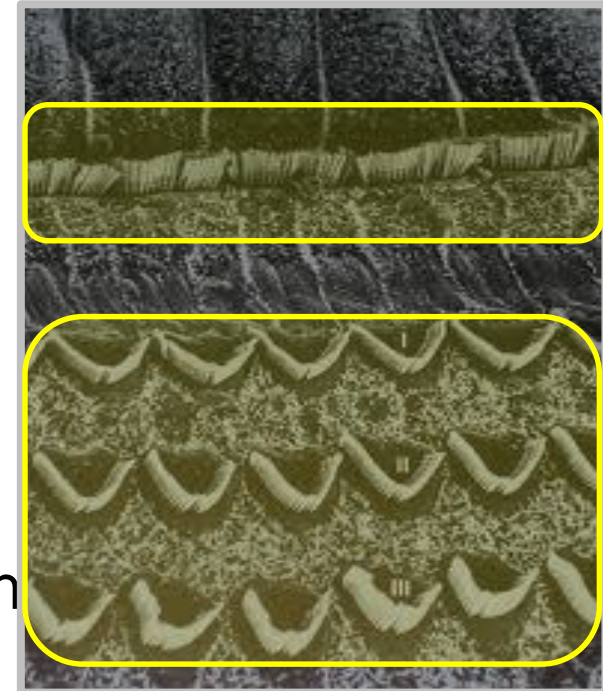
Was kann das menschliche Gehör?



Was kann das menschliche Gehör?

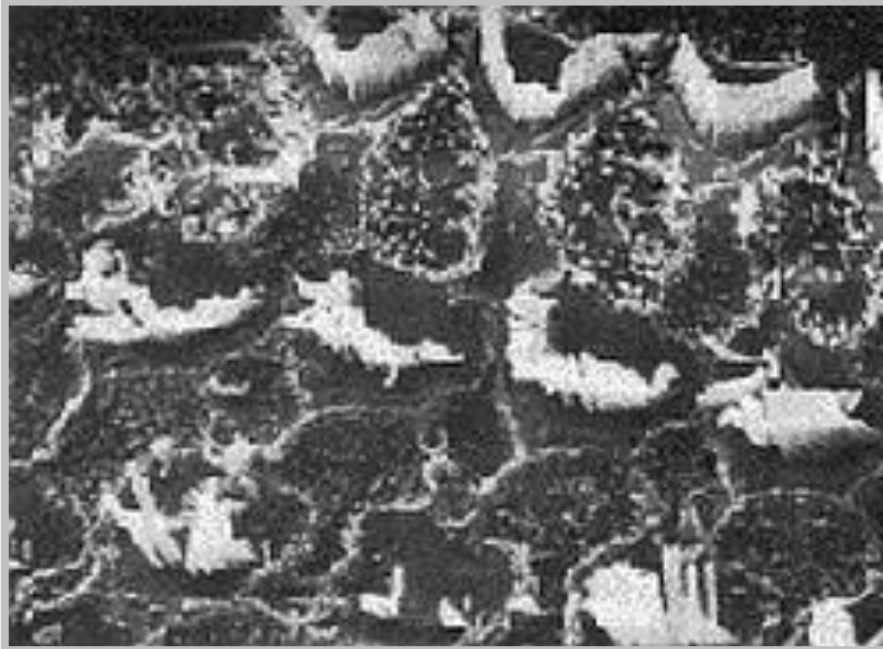
Die *inneren Haarzellen* (eine Reihe) sind die eigentlichen **Rezeptoren**, sie wandeln die mechanischen Schwingungen in Nervenimpulse um, die an das Gehirn weitergeleitet werden.

Die *äußeren Haarzellen* (drei Reihen) sind **Aktoren** (Muskeln). Sie sind für die Motilität der Haarzellen verantwortlich und verstärken oder dämpfen die Schallwandlerwellen innerhalb der Cochlea. Damit sind sie EQ und AGC gleichzeitig.



Was kann das menschliche Gehör?

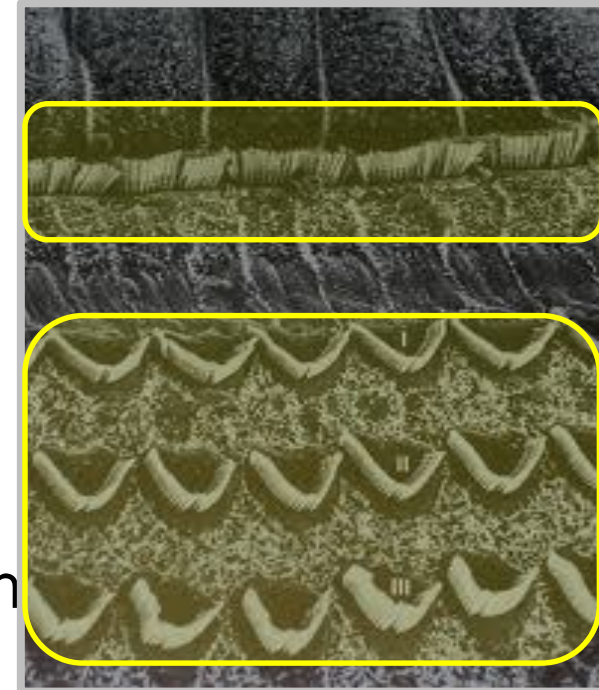
Die *inneren Haarzellen* (eine Reihe) sind die eigentlichen **Rezeptoren**, sie wandeln die mechanischen Schwingungen in



Gehirn

eihen) sind
die Motilität
und verstärken
wellen

nd sie EQ und AGC gleichzeitig.



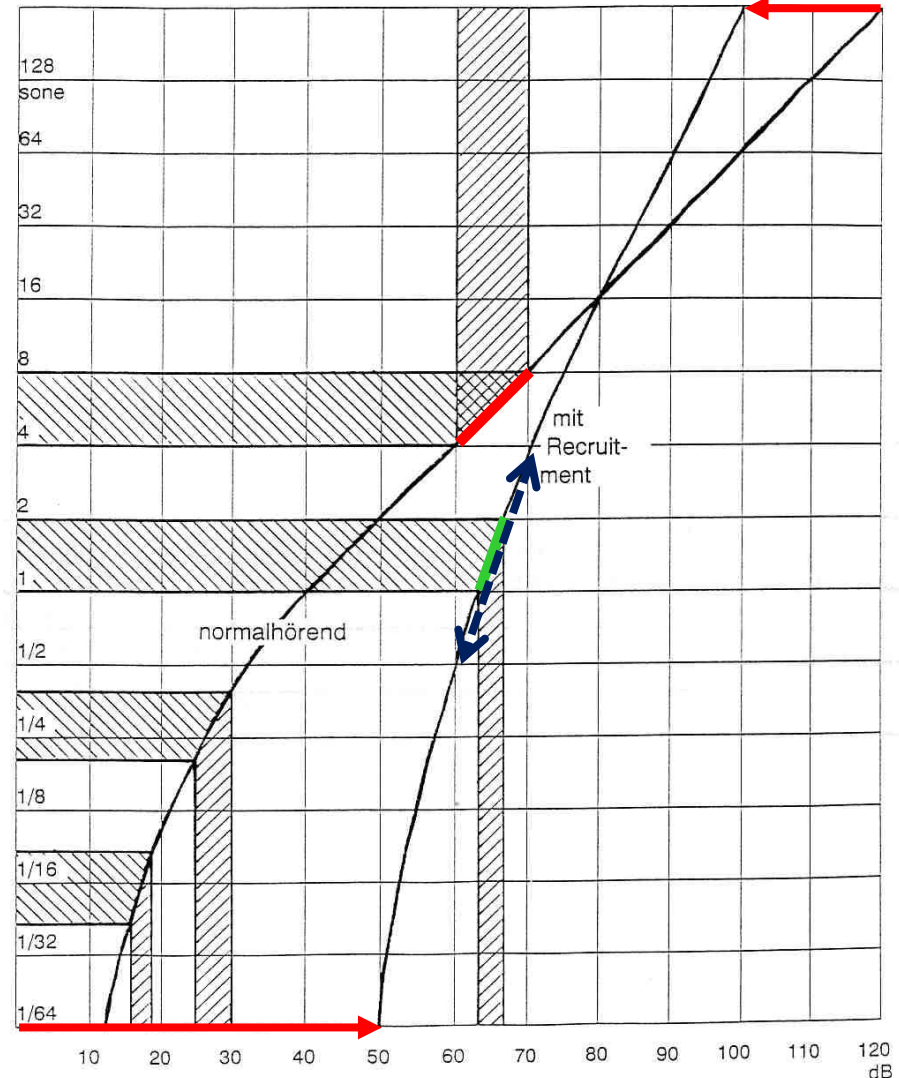
Bei Ausfall der äußeren Haarzellen fehlt diese Regelung.

Was können Schwer- hörende anders?

Durch den Ausfall der Aussteuerungs-Automatik verändert sich der Zusammenhang zwischen Schallpegel und empfundener Lautheit.

Der Dynamikbereich wird eingeschränkt, deshalb verläuft die Lautheitskurve viel steiler (Recruitment).

Du musst doch nicht gleich schreien!



Was muss man deshalb tun?

Durch den Lautheitsausgleich steht nur ein deutlich eingeschränkter Pegelbereich zwischen „nicht hören“ und „zu laut“ zur Verfügung.

In einem **Dynamikbereich** von **etwa 30 dB** müssen die akustischen Informationen angeboten werden.

Daraus resultiert **die elektroakustische Aufgabe**,
nur **die wichtigen Informationen zu verstärken**, und
die bauliche Aufgabe,
Störgeräusche vermeiden / Nachhall dämpfen:

SCHALLSCHUTZ

RAUMAKUSIK

Signal-to-Noise-Ratio $SNR > 15$ dB



Anteile der Hörgeschädigten in Deutschland

Gehörlose		ca.	80.000
Schwerhörige	17%	ca.	13.700.000
davon mit Hörgeräten		ca.	2.500.000
mit Innenohr-Implantaten		ca.	33.000

Altersverteilung:	14-19 Jahre	1%	
	20-29 Jahre	2%	
	30-39 Jahre	5%	
	40-49 Jahre	6%	
	50-59 Jahre	25%	-> jeder vierte
	60-69 Jahre	37%	-> jeder dritte
	> 70 Jahre	54%	-> jeder zweite

geschätzt 15%

„Die besten Jahre“

Anteile der Hörgeschädigten in Deutschland

Für den Lebensaltersbereich unter 14 Jahren gibt es keine statistische Untersuchung.

Man geht aber davon aus, dass im Grundschulalter in jeder Klasse - wechselnd – etwa 3 Kinder (das sind mehr als 10%) aufgrund von Infektionskrankheiten eine „temporäre Hörschwellenverschiebung“ haben.

„Ständig erkältete“ Kinder haben deshalb einen schlechteren Lernerfolg!

Nach der Altersstruktur unserer Lehrerschaft unterrichtet in jeder 4. bis 5. Klasse eine schwerhörende Lehrkraft, oft ohne es selbst zu wissen.

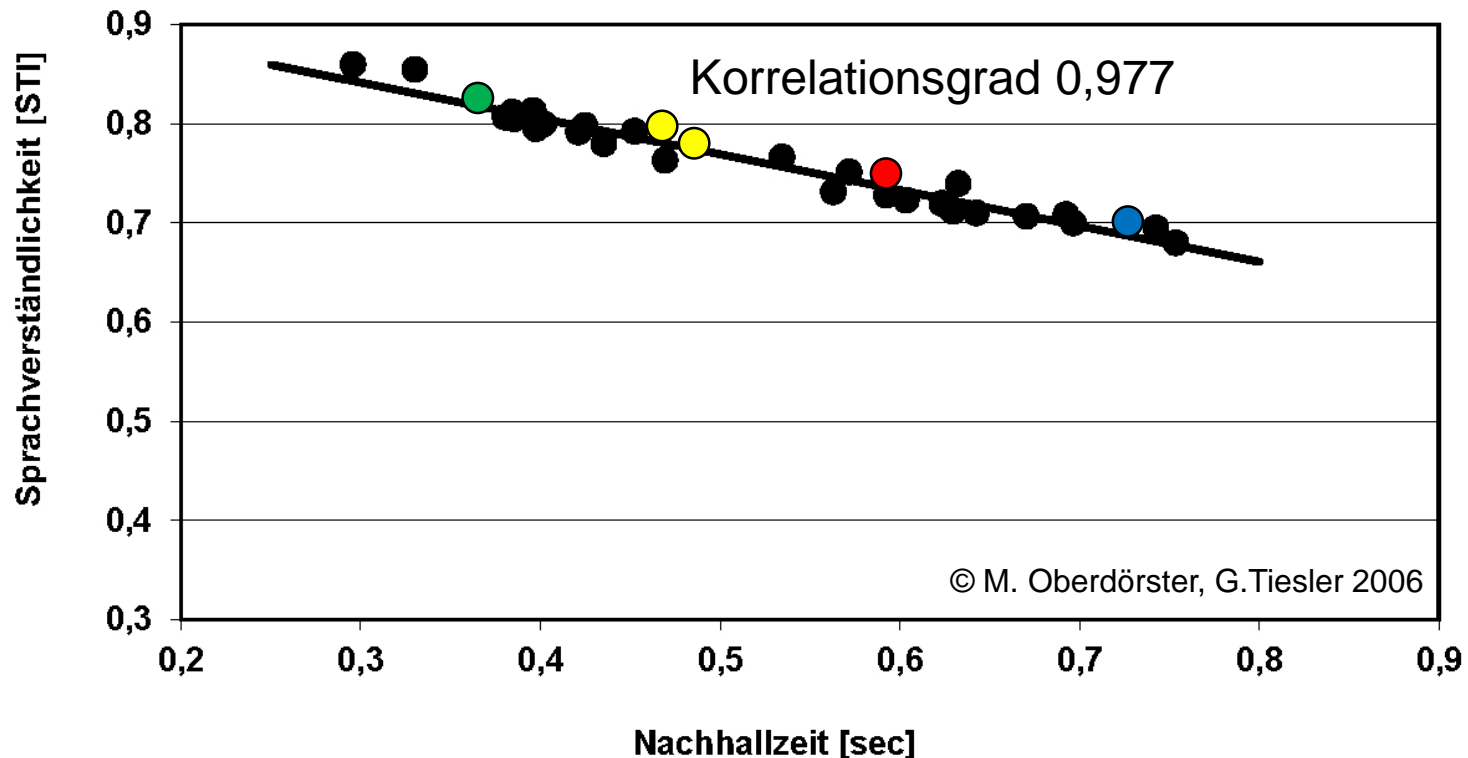
DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen

*Im Sinne des inklusiven Bauens
sind von Beginn der Planung an
die Bedarfe von Personen
mit eingeschränktem Hörvermögen
zu berücksichtigen.*

*Nicht nur die typischen „Veranstaltungsräume“
dienen der Kommunikation,
sondern Kommunikation findet überall dort statt,
wo sich Menschen begegnen,
z. B. auch in Fluren, Foyers, Pausenhallen, Mensen u. Ä.*

DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen

*Von Personen mit Hörschäden wird die raumakustische Situation für **Sprachkommunikation** umso **günstiger** empfunden, je **kürzer** die **Nachhallzeit** ist.*



DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen

Und weiter heißt es:

*Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die **nicht** als **Muttersprache** gelernt wurde, bei der Kommunikation mit Personen, die **Deutsch als Fremdsprache (DaZ)** sprechen, und bei der Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise einen **Bedarf nach erhöhter Sprachverständlichkeit** haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsschwäche.*

Sehbehinderte und Blinde würde ich
in die nächste Norm-Fassung auch mit aufnehmen!

Merke:

**Gute Raum-Akustik ist
inklusiv barrierefrei !**

Sie hilft ALLEN Menschen

1. in der allgemein üblichen Weise
2. ohne jede Erschwernis und
3. **vollständig** ohne fremde Hilfe.



reFeRATgeber 6

HÖRGESCHÄDIGTE KINDER IN REGELSCHULEN



Klassenraum-Akustik
Klassenraum-Gestaltung
Klassenraum-Organisation

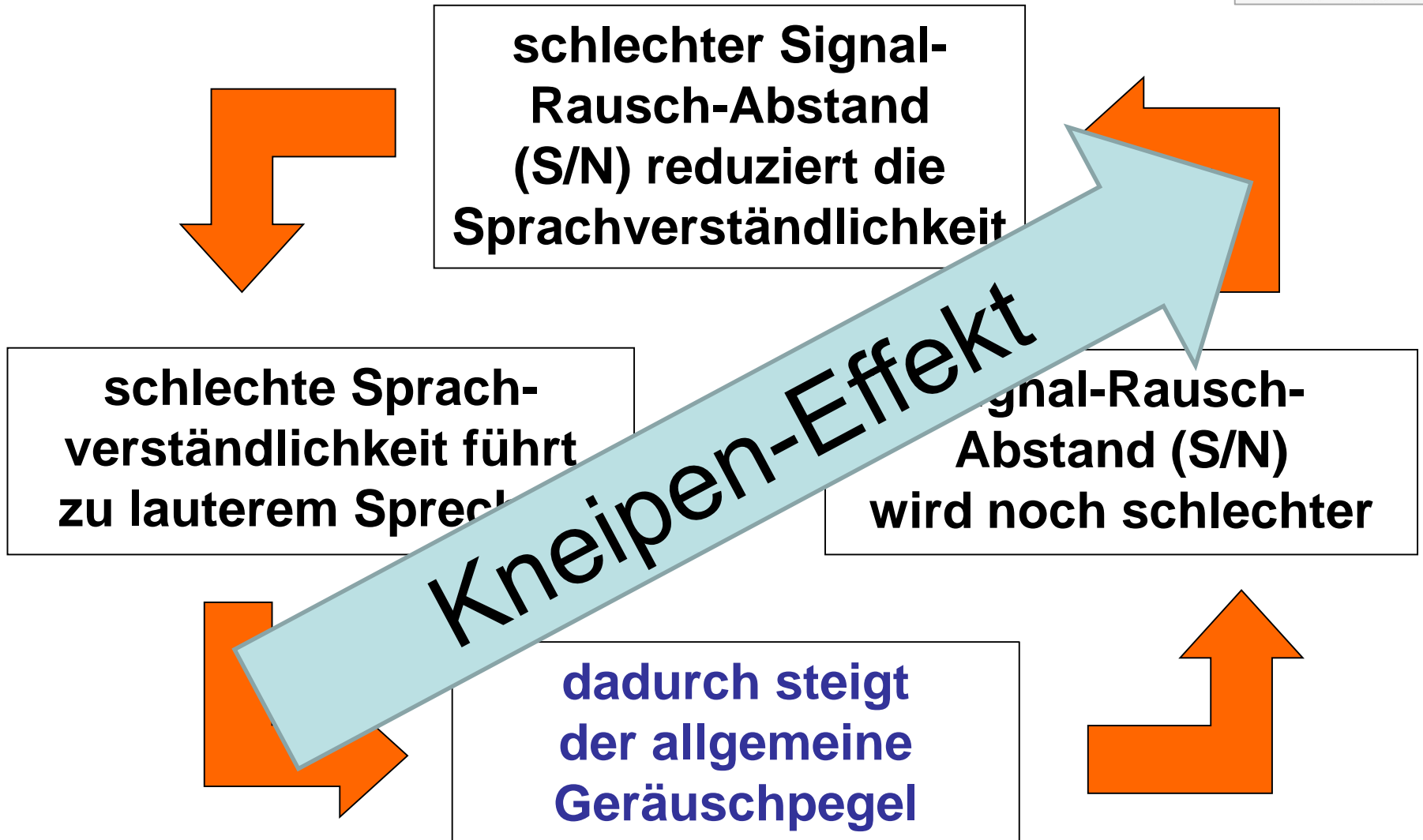


Diese Broschüre wurde gedruckt
mit finanzieller Unterstützung der Firmen:

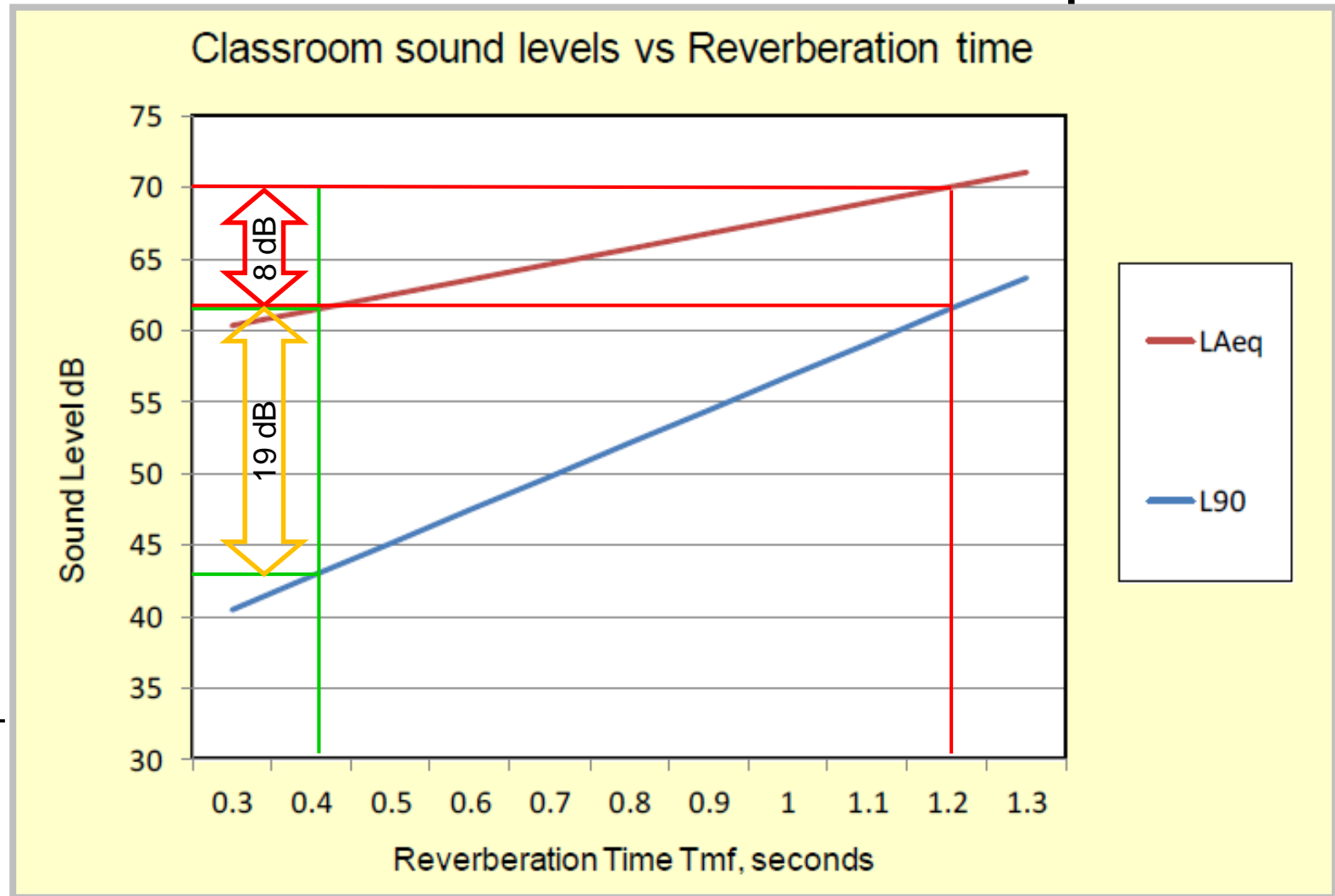


2. Auflage 2016-08
1. Auflage 2016-02
Weitergabe / Nachdruck gern gestattet

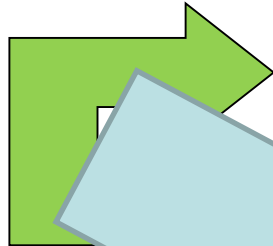
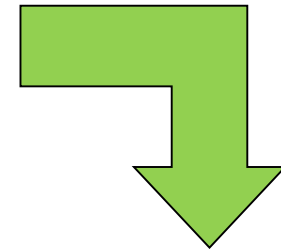
6. bis 10. Tausend
1. bis 5. Tausend
Belegexemplar an Verfasser erbeten



Welche Effekte treten bei Schallabsorption auf?



**guter Signal-
Rausch-Abstand
(S/N) erhöht die
Sprachverständlichkeit**

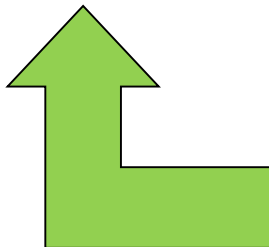
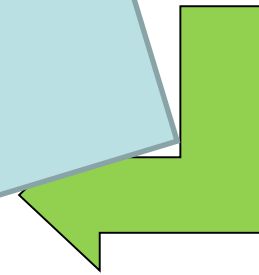


Lombard-Effekt

**bessere Sprach-
verständlichkeit führt
zu lauterem Sprechen**

**Signal-Rausch-
Abstand (S/N)
wird noch besser**

**dadurch sinkt
der allgemeine
Geräuschpegel**



Anforderungen Nachhaltigkeit / Nutzungsart

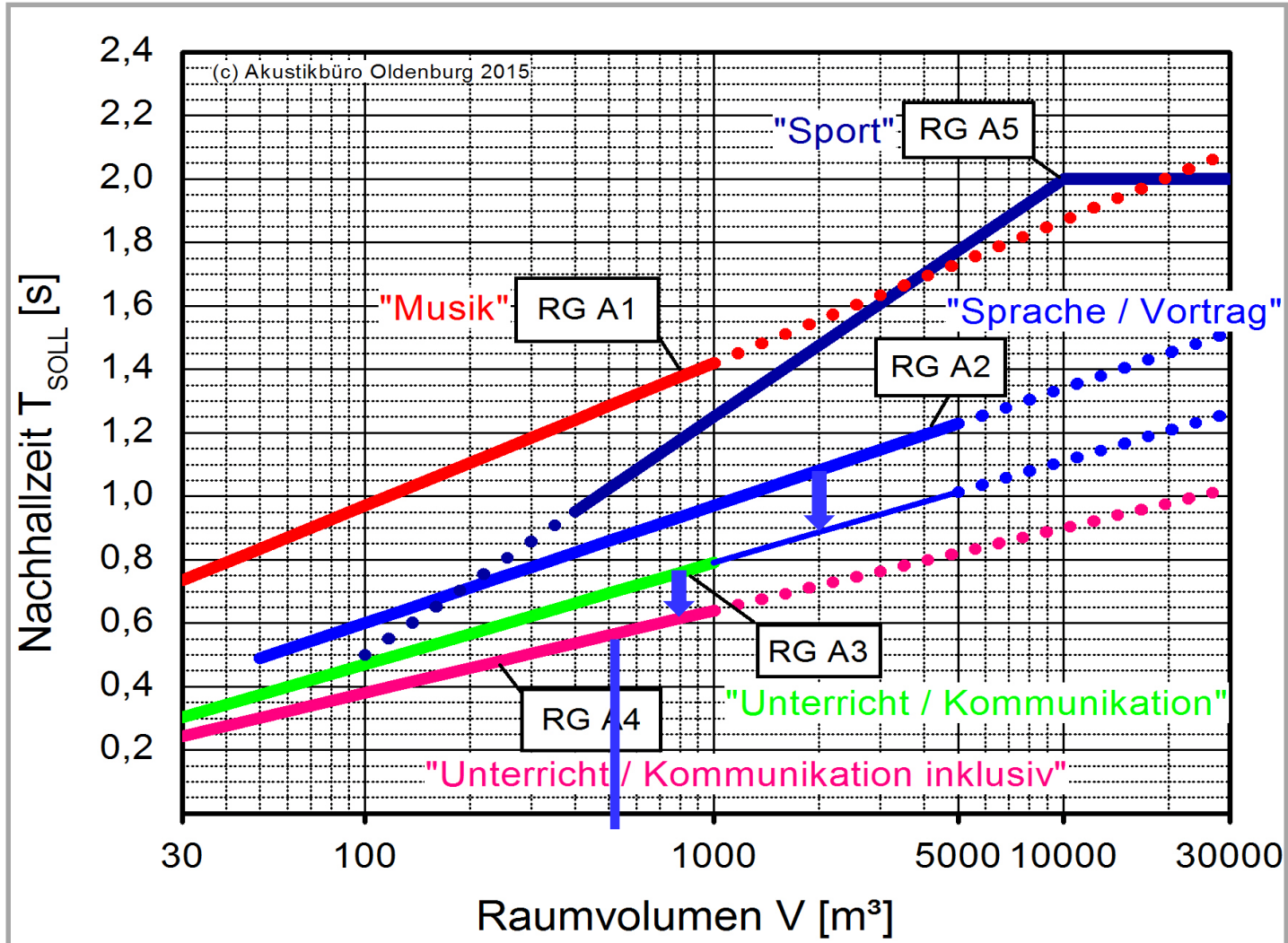


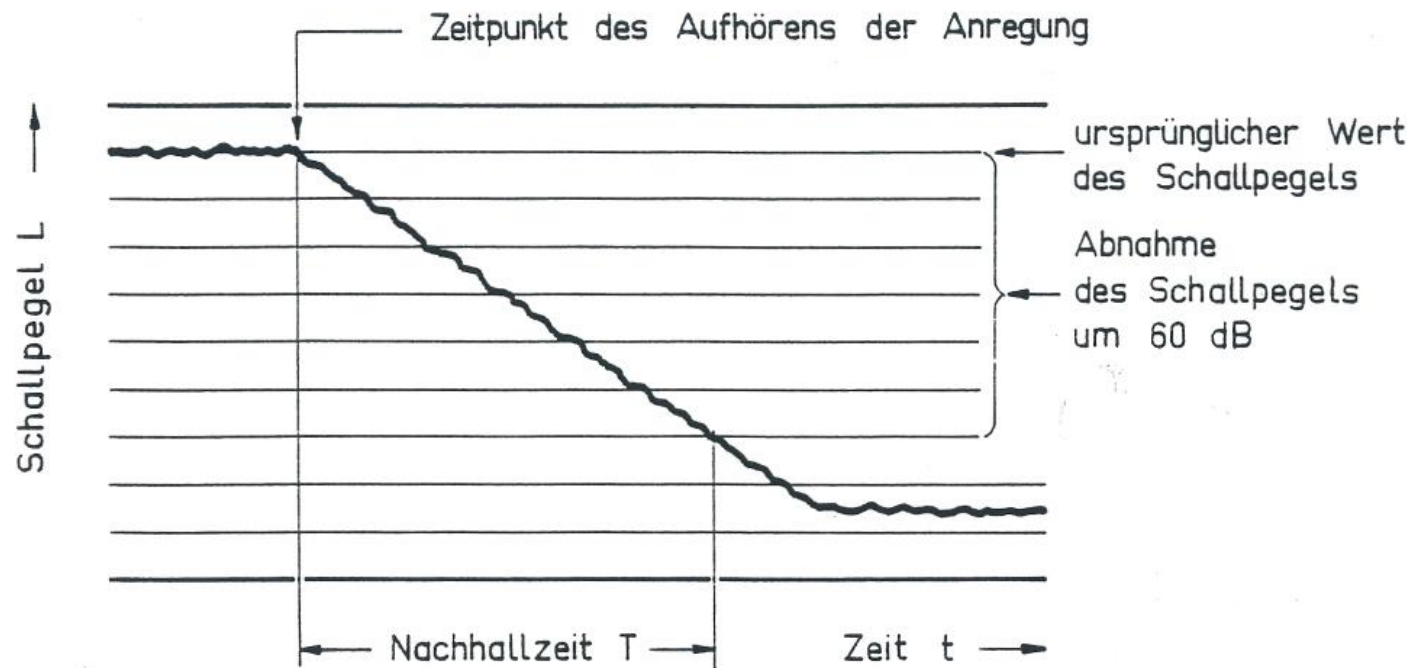
Tabelle 1 — Beschreibung der Nutzungsarten der Räume der Gruppe A

Raum-Gruppe	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
	<p>Kurzbezeichnung: „Unterricht / Kommunikation“</p> <p>Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum</p>	<p>Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich.</p>	<p>Unterrichtsraum, Hörsaal, Tagungsraum, Seminarraum, Gruppenraum in Kindergärten und Kindertagesstätten, Seniorenheimen</p> <p>Nicht geeignet für inklusive Nutzung</p>
RG A4	<p>Kurzbezeichnung: „Unterricht / Kommunikation inklusiv“</p> <p>Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum entsprechend RG A3, jedoch für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind</p> <p>Für Räume größer als 500 m³ und für musikalische Nutzungen ist diese Nutzungsart nicht geeignet.</p>	<p>Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei (z.B.) fremdsprachlicher Nutzung.</p>	<p>Unterrichtsraum, Differenzierungsraum, Seminarraum, Tagungsraum, Gruppenraum in Kindergärten, Kindertagesstätten, Seniorenheimen, Video-Konferenzraum, Bürgerbüro</p> <p>Erforderlich für inklusive Nutzung^a</p>
RG A5	<p>Kurzbezeichnung: „Sport“</p> <p>In Sport- und Schwimmhallen für ein breites Publikum kommunizieren mehrere Gruppen (auch gleichzeitig) mit unterschiedlichen Inhalten</p>	<p>Sprachliche Kommunikation über Kommunikationstechnologien ist im Allgemeinen gut möglich.</p>	<p>Sport- und Schwimmhallen für ausschließliche Sportnutzung</p>

^a Gemäß Bundesgleichstellungsgesetz und vergleichbarer Landesregelungen und der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sind Neubauten inklusiv zu errichten.

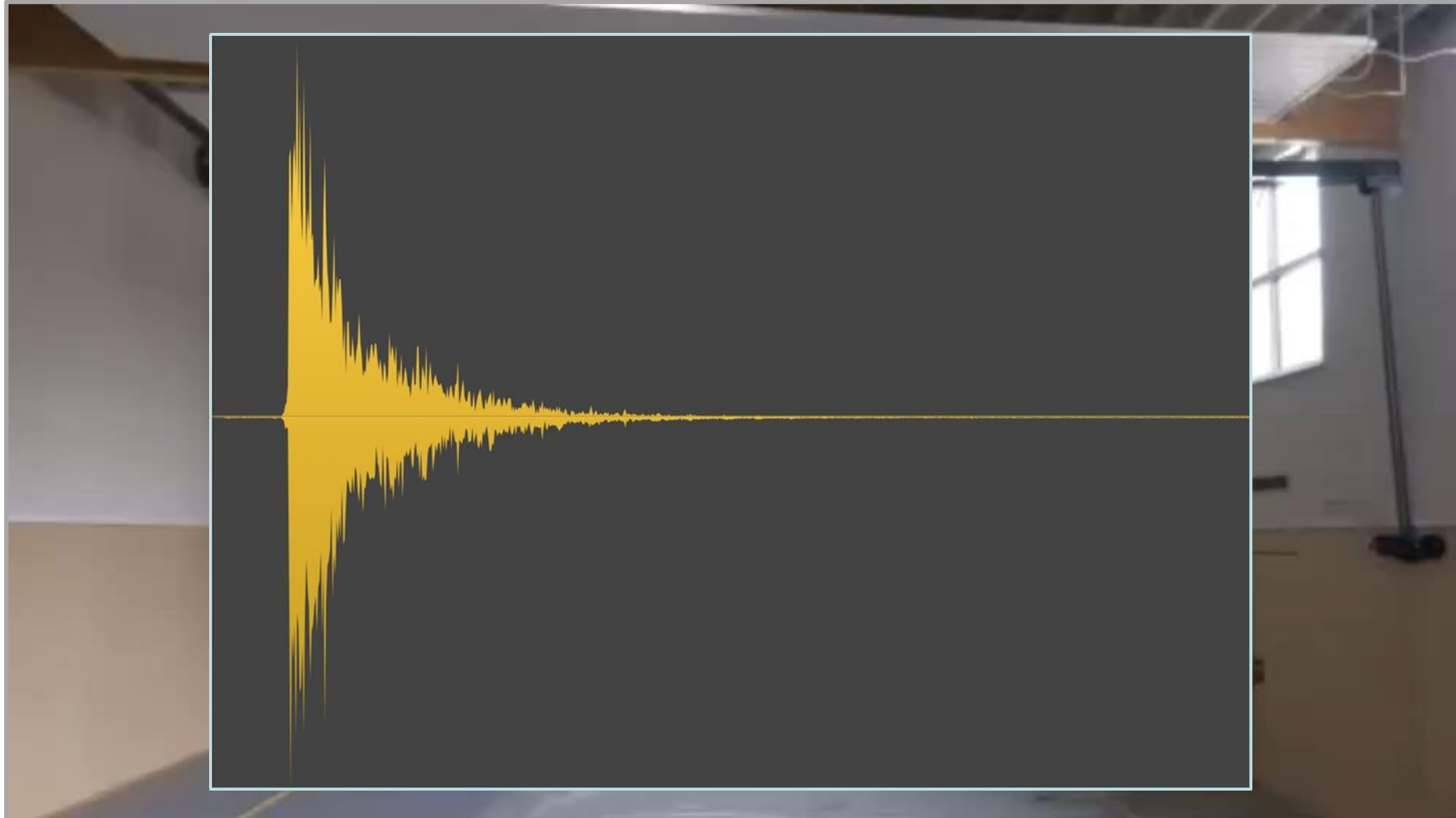
Definition der Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist diejenige Zeitspanne, in der der Schallpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60dB abnimmt.



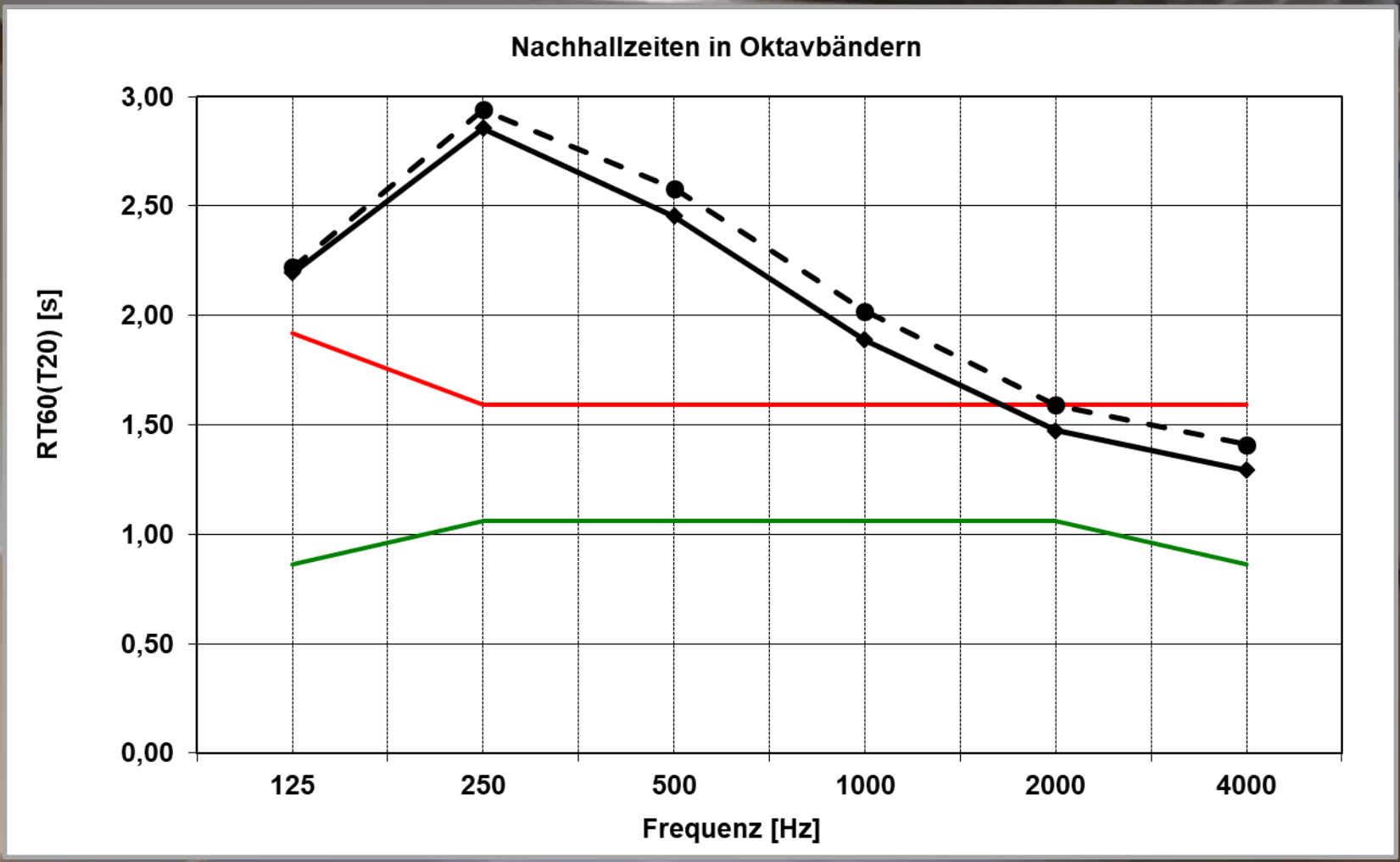
Definition und Messung der Nachhallzeit T

Sporthalle mit Flatterechos



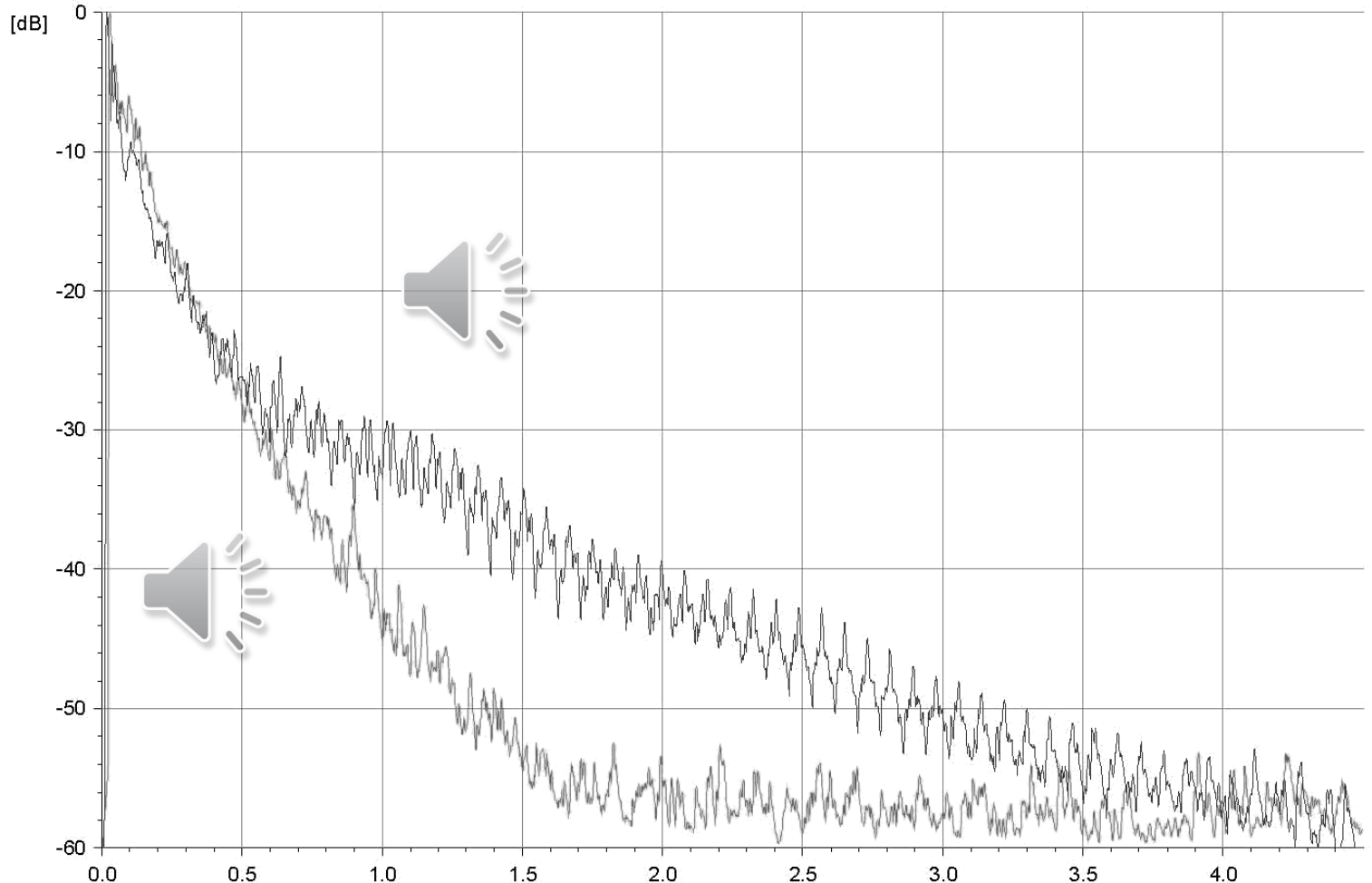


Sporthalle mit Flatterechos



Beispiel einer Nachhallzeit-Auswertung

zwei
verschie-
dene
Kurven-
Steigun-
gen:
gekop-
pelte
Räume



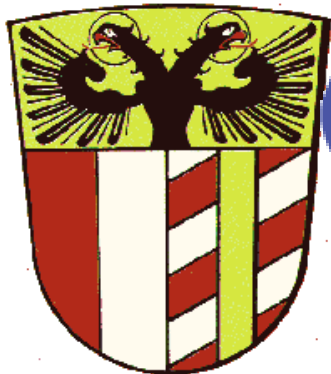
© TuR
König/Ruhe
2007

Beispiel einer Nachhaltigkeit-Auswertung

Optisches Flatterecho:



Förderzentrum Augsburg – Schwerpunkt Hören



Michael Pasemann, Sonderschulrektor:

Schüler mit AVWS fahren täglich bis zu 200 km,
um in unserer akustisch gut ausgestatteten Schule
unterrichtet zu werden, weil es wohnortnah
keine vergleichbar ausgestattete Schule gibt.

Jährlicher Aufwand/Schüler: etwa **30.000,00 €**

Ernst-Ludwig-Schule - Bad Nauheim



Ausstattung eines Klassenraumes für eine beidseitig
CI-Implantierte Lehrerin von 45 Jahren

Austausch der Deckenplatten im T-Schienen-Raster durch
hochgradig schallabsorbierendes Material.

Einbau eines schallabsorbierenden Rückwand-Paneels.

Aufwand: keine 3.000,- €

Ernst-Ludwig-Schule - Bad Nauheim



Ernst-Ludwig-Schule
Bad Nauheim

seitig

Raster durch

-Paneels.

Ernst-Ludwig-Schule - Bad Nauheim



Ist eine beidseitig CI-Implantierte Lehrerin etwas Besonderes?

Nein!

1. Sie ist ein Mensch wie Du und ich.
2. Lehrer_innen werden wegen Burnout, Lärmstress und Tinnitus häufig zwischen 57 und 58 Jahren frühpensioniert, das sind ca. 100 Monate Frührente. Eine akustische Klassenraumsanierung kostet etwa die Frührente von 3 Monaten.

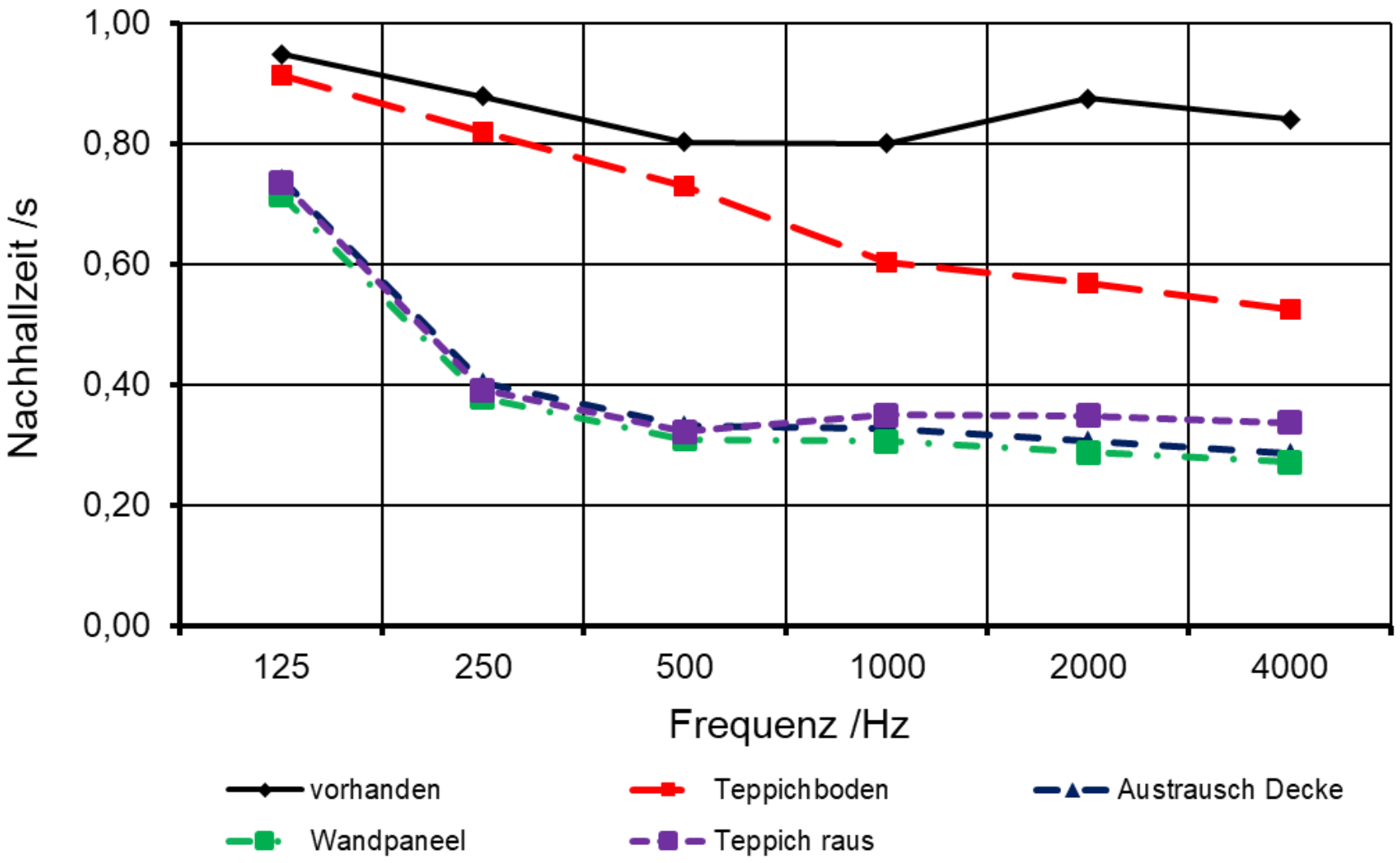
Baut endlich leise Klassen!

Wie geht man zur Verbesserung vor?

- möglichst zuerst die **Decke** bekleiden, sie ist die größte Fläche im Raum und liegt außerhalb der Handreichweite
- man kann also ein weiches, gut absorbierendes Material verwenden
- zweite Raumdimension auch behandeln: schallabsorbierende **Wand**paneele
- ein **Teppich** schluckt viel weniger, vermeidet aber viele Störgeräusche



Vergleich von Maßnahmen

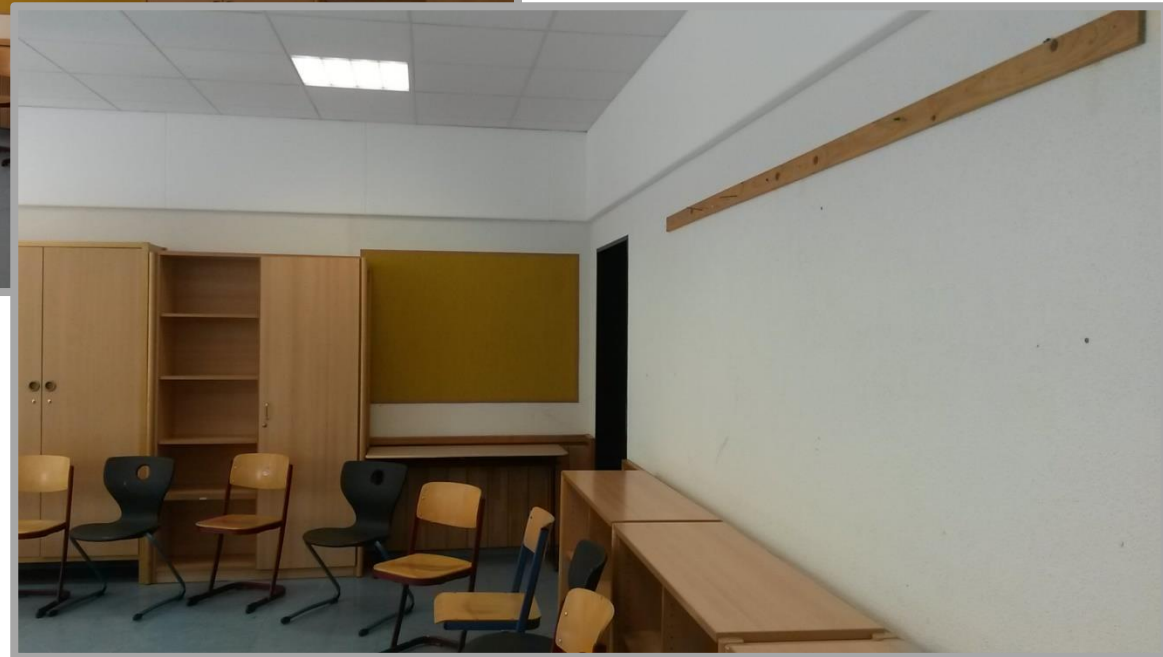


Oldenburg-Wechloy

© Rockfon



Wohratal-Halsdorf b. Marburg



Wohratal-Halsdorf b. Marburg



Hamburg, Elbschule, Klassenraum

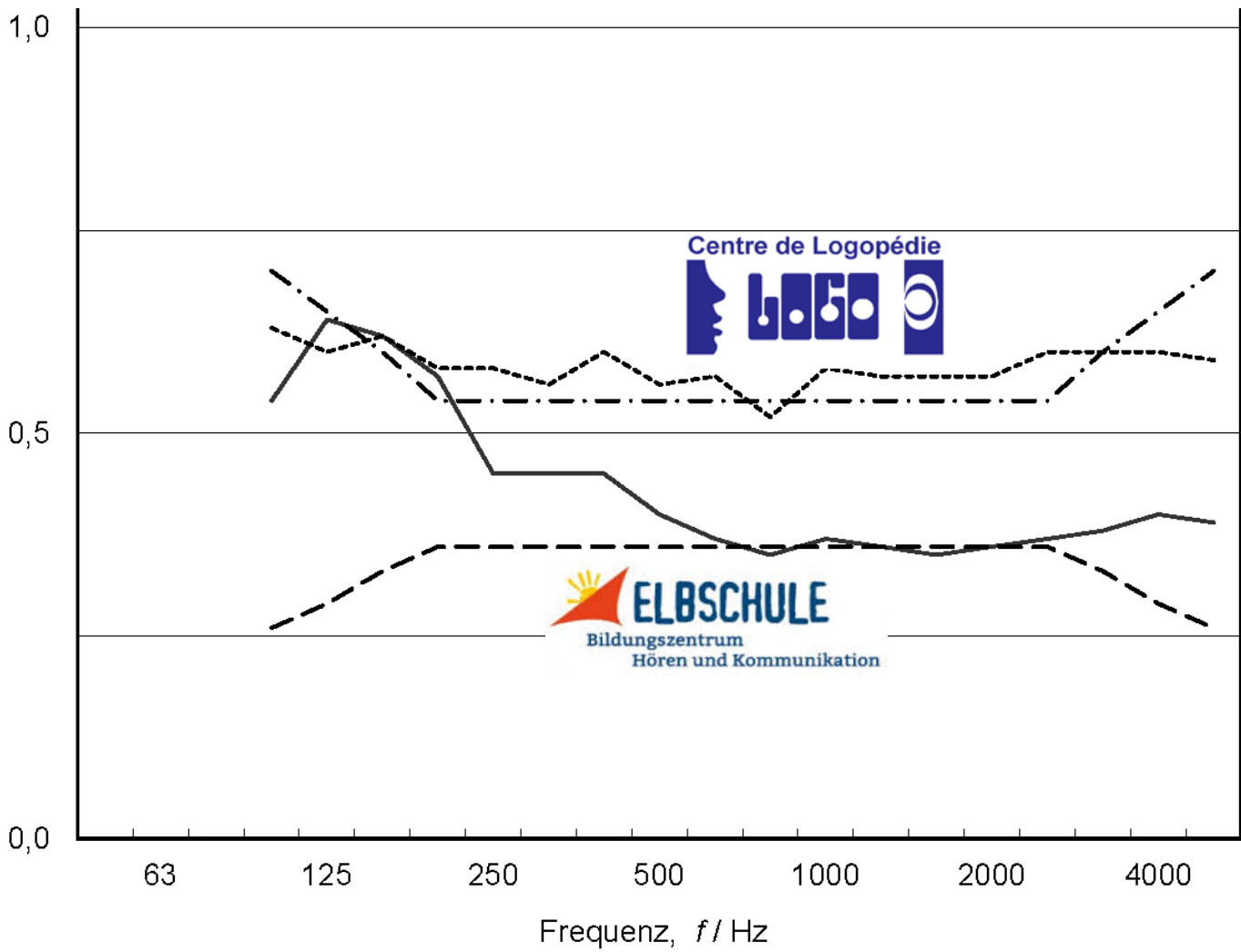


Luxemburg, Centre de Logopédie, Klassenraum



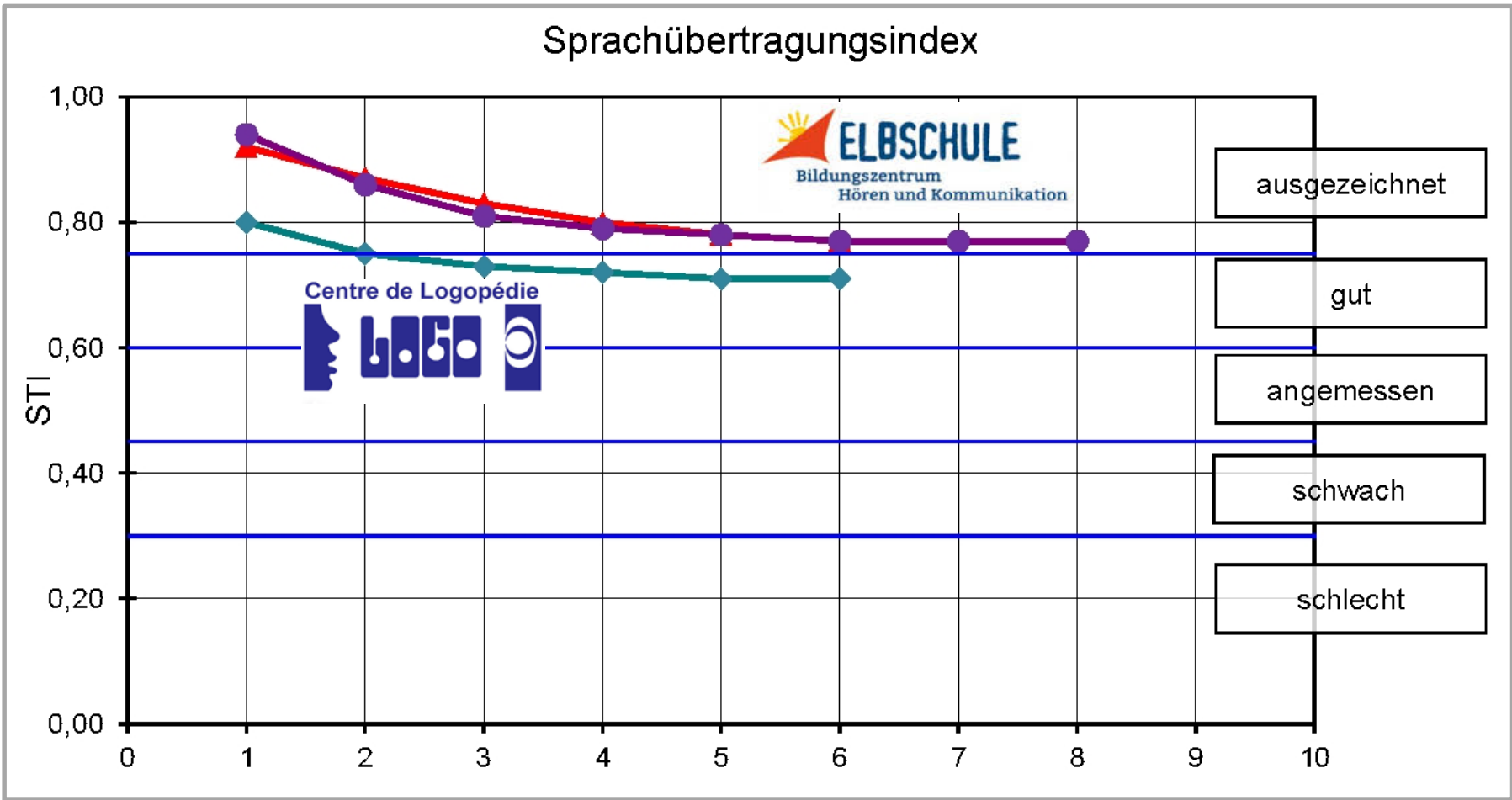


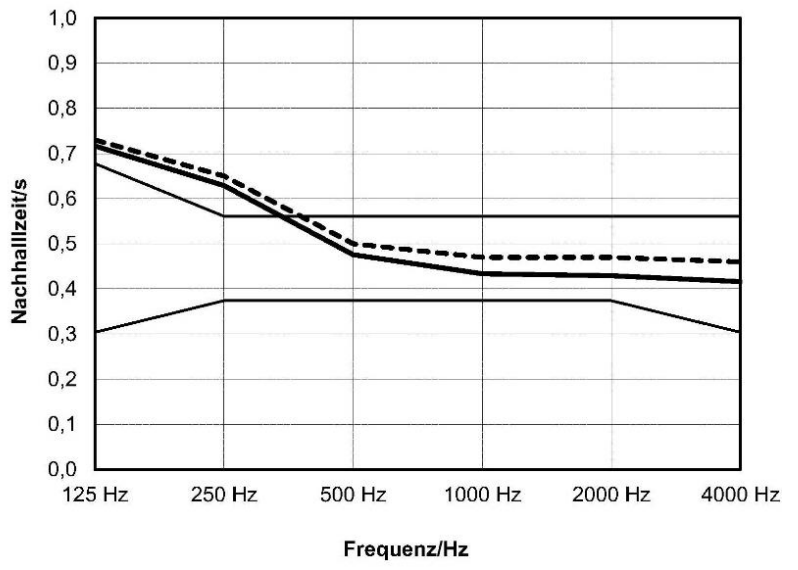
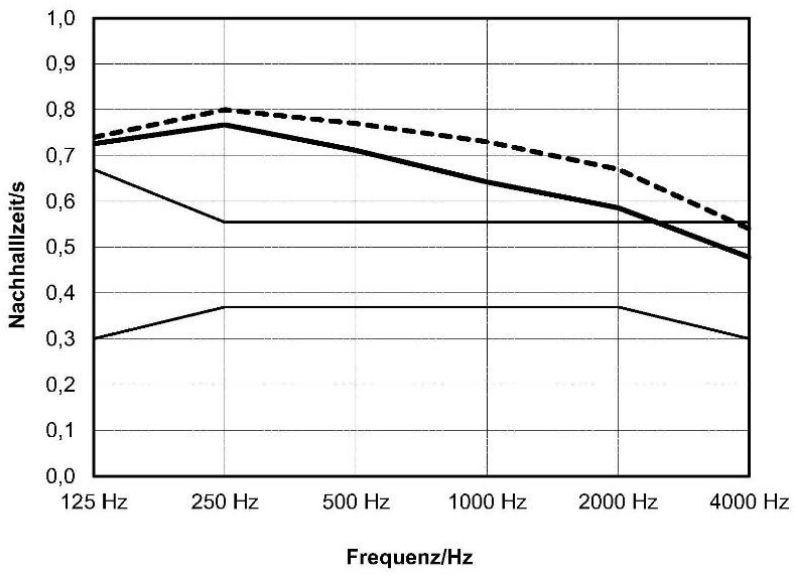
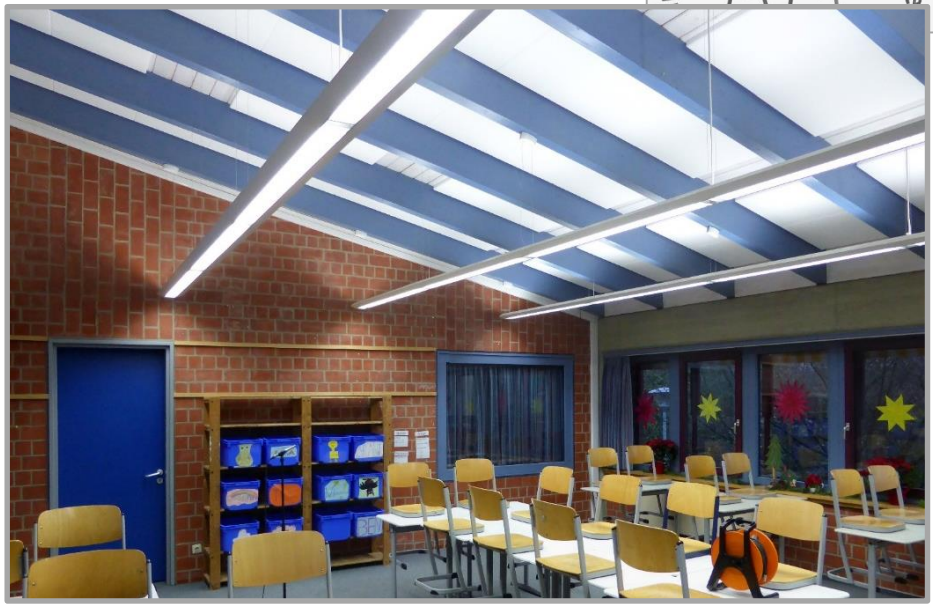
Nachhallzeit-Vergleich Luxemburg - Hamburg

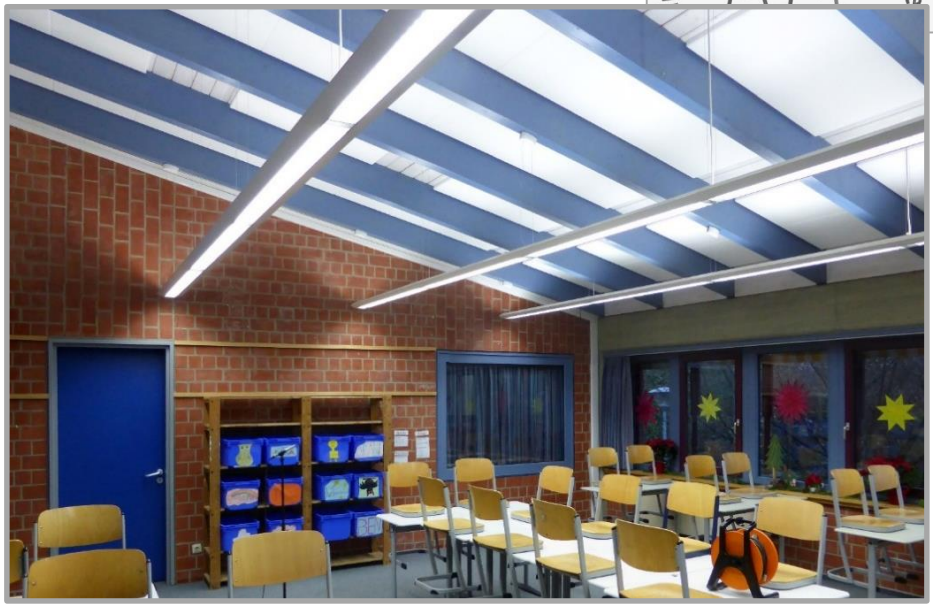




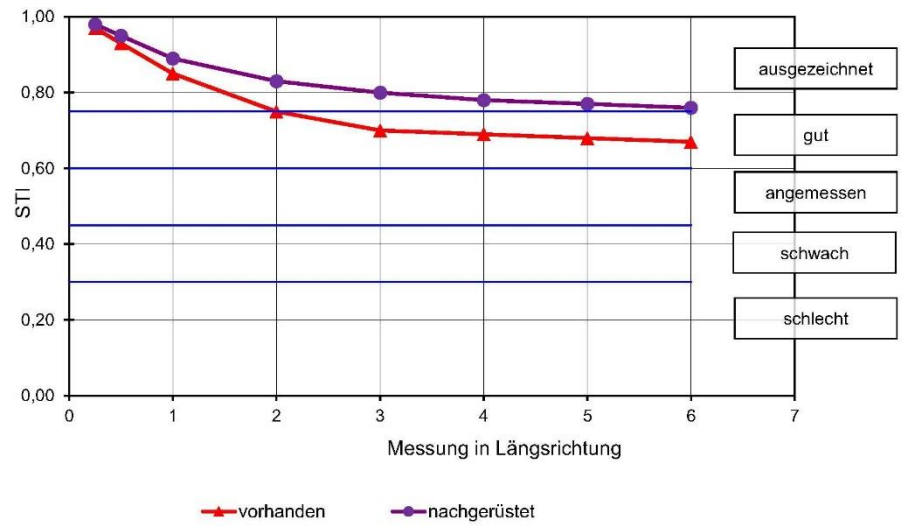
STI-Vergleich Luxemburg - Hamburg



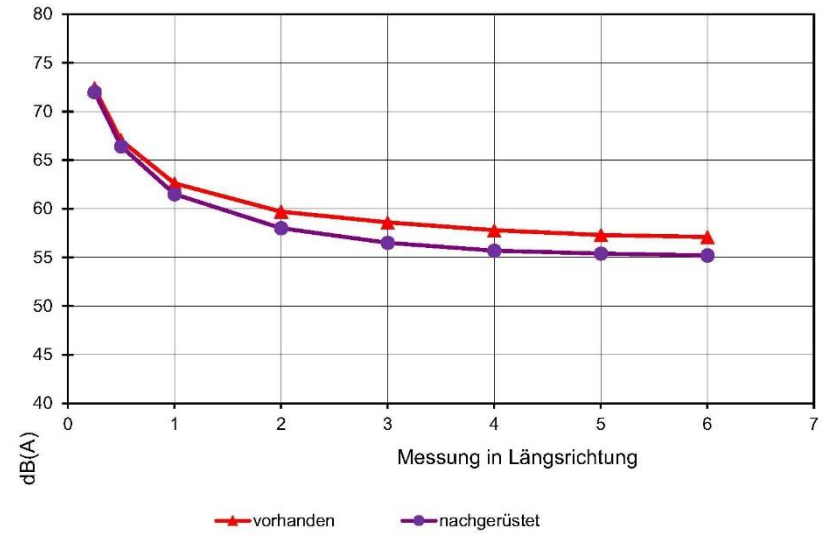




Sprachübertragungsindex

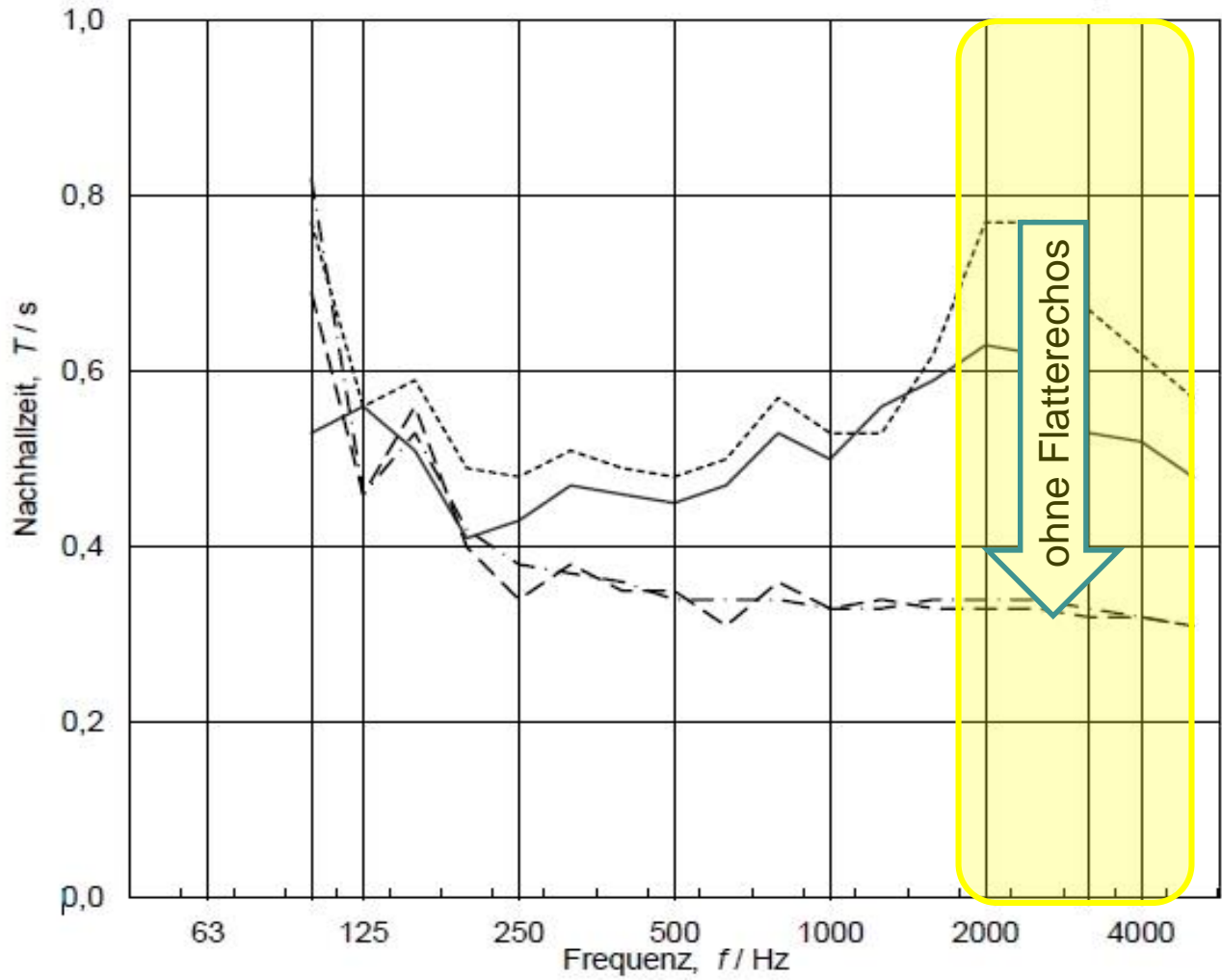


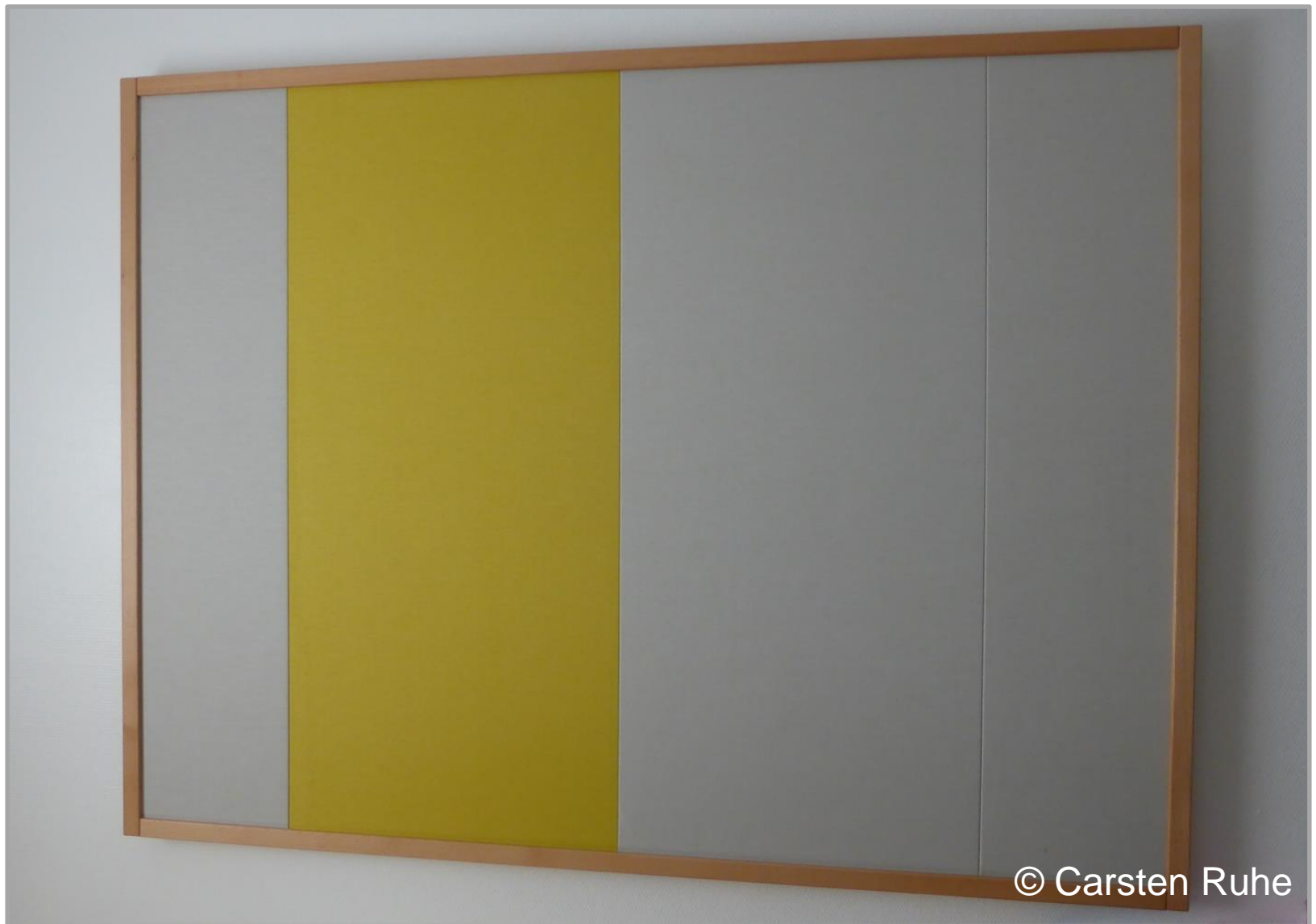
Schallpegelverteilung





Nachhallzeit-Vergleich ohne / mit Wandpaneel





© Carsten Ruhe

Friedberg, Johannes-Vatter-Schule, Mensa



Friedberg, Johannes-Vatter-Schule, Mensa

© TAUBERT und RUHE



Homburg/Efze, Hermann-Schafft-Schule, Mensa



Homburg/Efze, Hermann-Schafft-Schule, Mensa



Aus dem Brief eines Architekten:

Im kürzlich fertig gestellten Kinderhaus ist eine Mensa mit einer schlechten Akustik entstanden.

Planer und Bauherr hatten sich die Raumakustik besser erhofft, sind nun aber von der Realität eingeholt worden.

Betondecke, große Glasflächen, Linoleum als Bodenbelag, klappernde Teller und Besteckkästen...

Kurz: Kinder und Betreuer fühlen sich nicht wohl.

Was fehlt dieser Mensa?

Aus dem Brief e

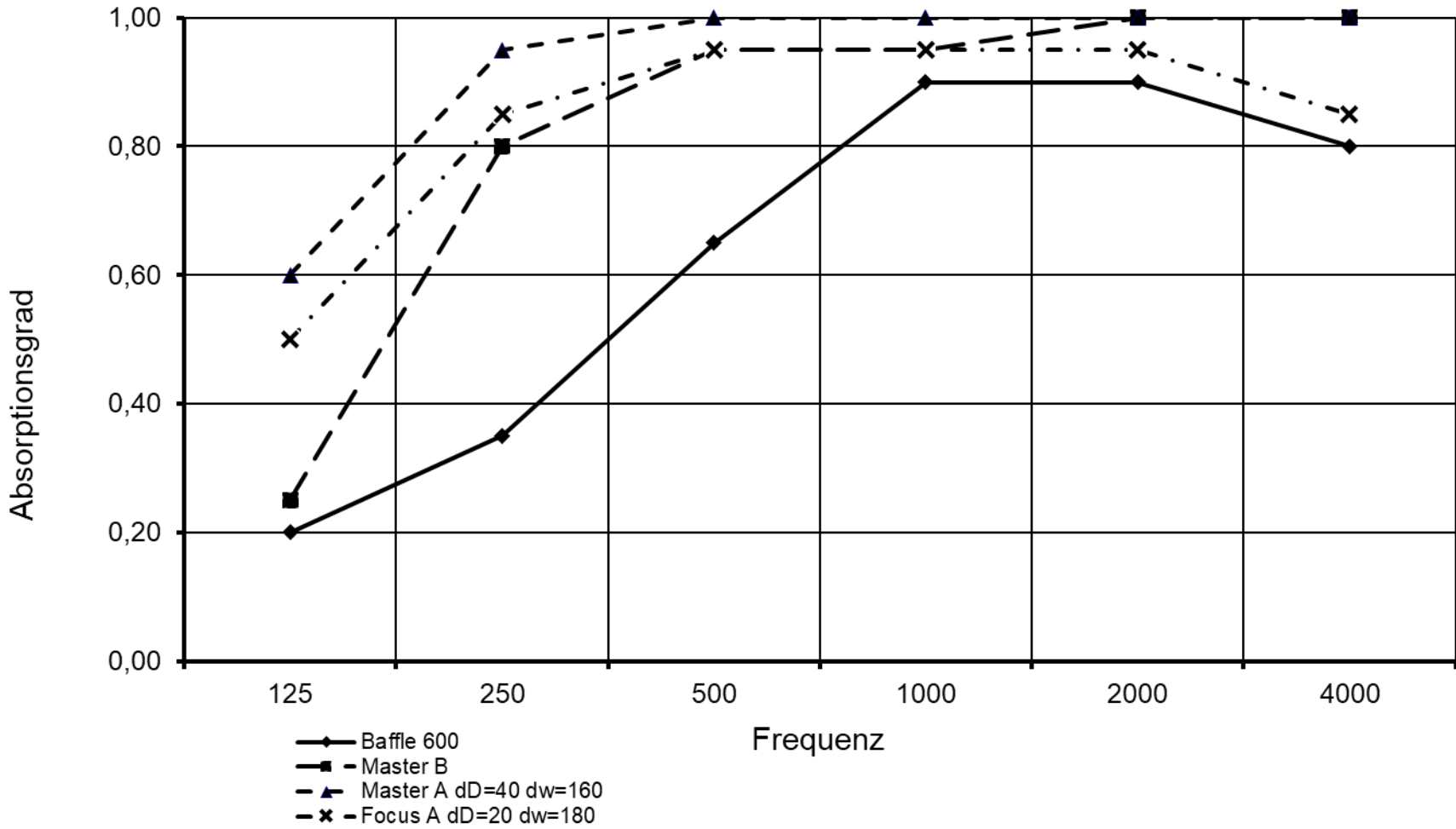


Luxemburg, Centre de Logopédie, Mensa





frei hängende Absorber $\leftarrow \rightarrow$ Absorberflächen



Hamburg, BZHK Elbschule, Mensa



Hamburg, BZHK Elbschule, Mensa



Fotografie Dortmund | Xlief

Definition von Barrierefreiheit nach BGG §2 (3):

Barrierefrei sind **bauliche** und sonstige **Anlagen**, Verkehrsmittel, technische Gebrauchsgegenstände, Systeme der Informationsverarbeitung, **akustische** und visuelle **Informationsquellen** und **Kommunikationseinrichtungen** sowie andere gestaltete Lebensbereiche, wenn sie für behinderte Menschen

1. in der allgemein üblichen Weise,
2. ohne besondere Erschwernis und
3. grundsätzlich ohne fremde Hilfe

auffindbar, zugänglich und nutzbar sind.

Nicht **Da-Sein**, sondern **Dabei-Sein** ist wichtig!

Merke:

**Gute Raum-Akustik
ist barrierefrei !**

Sie hilft Allen

1. in der allgemein üblichen Weise
2. ohne besondere Erschwernis und
3. ~~nicht nur grundsätzlich, sondern~~
vollständig ohne fremde Hilfe.

Schallabsorption (Schalldämpfung)

Die Nachhallzeit ist die wesentliche Kenngröße für den Abbau der Schallenergie im Raum:

Je länger die Nachhallzeit ist, desto länger bleibt die Energie im Raum erhalten, desto „lauter“ ist der Raum.

Pegelminderung bedeutet also immer, dem Schallfeld die Schallenergie zu entziehen (durch Umwandlung in Wärmeenergie, Energie-Erhaltungssatz).

Beim Abbremsen eines Autos wird die Scheibenbremse heiß.

Schallabsorption (Schalldämpfung)

Die Bewegungsenergie der schwingenden Luft-Partikel wird durch Reibung in Wärme umgewandelt:

medizinisch-physikalisch- biologischer Selbstversuch!

Pressen Sie den Mund fest auf einen Ärmel.

Pusten Sie kräftig → es wird warm.

Pusten Sie kräftig auf den Handrücken.

→ es bleibt kalt.

Anforderungen an das Bekleidungs-Material:

- hoher Schallabsorptionsgrad bei den mittleren und hohen Sprachfrequenzen
- gute Lichtreflexion
- mechanische Robustheit (Vandalismus)
- Brandschutz B1 oder A2
- angemessener Preis (nicht unbedingt „billig“)
- ggf. schnelle Verfügbarkeit
- ggf. Verarbeitung auch in Selbsthilfe möglich?

Versuch einer Zusammenfassung

Decke vollflächig hochgradig absorbierend

Rückwandpaneel

Teppichboden



Räume ohne Hör-Barrieren (Reihenfolge beachten)

- Baulicher Schallschutz (Geräusche von außen)
- Lärminderung (Störgeräusche im Raum)
Lüftungsanlage, Beamer, Teppichboden
- Raumakustik (Verständlichkeit des Sprechers)
mit Decke und Wandpaneel
- Beleuchtung (Sichtbarkeit des Sprechermundes)
- Möblierung (Sichtbarkeit aller Sprecher)
- Elektroakustik (pers. Hörunterstützungsanlagen)
- ggf. **Gebärdensprache** und **Schriftdolmetschung**
- **Notrufe und Alarmierungen (2-Sinne-Prinzip)**

Aus dem Brief eines OHRthopäden:

In den neu ausgestatteten Praxisräumen profitieren alle – Patienten (vor Allem ältere), Angehörige, Mitarbeiter **und ich als Arzt** – von den guten Schall-Qualitäten.

Hierbei sind vor allem die Schallschluckdecken und Teppiche als Änderungen gegenüber den alten Räumen zu nennen.

Bisher hatten wir Betondecken und an den Wänden Raufaser-Tapeten.

Sehr häufig kam es – trotz sehr lauten Sprechens – **zu Nachfragen seitens der Patienten** oder deren Angehörigen, sicherlich aber **auch zu Missverständnissen meinerseits**.

Wissenschaft $\leftarrow \rightarrow$ Wirtschaft

Bei der Klassenraum-Akustik

gibt es kein

Erkenntnisproblem

sondern nur ein

Umsetzungsproblem.

Die allermeisten praktischen Probleme
wurden theoretisch bereits gelöst.