

Hörgerechte Raumakustik für Alle

Informationen zum Hörvorgang

Pädagogische Notwendigkeiten

Akustische Anforderungen

Bautechnische Umsetzungen

Entschuldigung...

...ich bin schwerhörend. Können Sie bitte etwas langsamer und deutlicher sprechen?

...ich habe nicht LAUTER gesagt,
Sie brauchen mich nicht anzuschreien,
Denn wenn Sie mich anschreien, macht mir das Angst.

...ich weiß genau, dass taub, thumb, dumm, stumm,
deaf, taff, dov und doof denselben Wortstamm haben;
ich bin aber wirklich nur schwerhörend, nicht doof.

Warum muss ich solche Sätze immer mit „Entschuldigung“
(ENT-SCHULDIGUNG) beginnen?

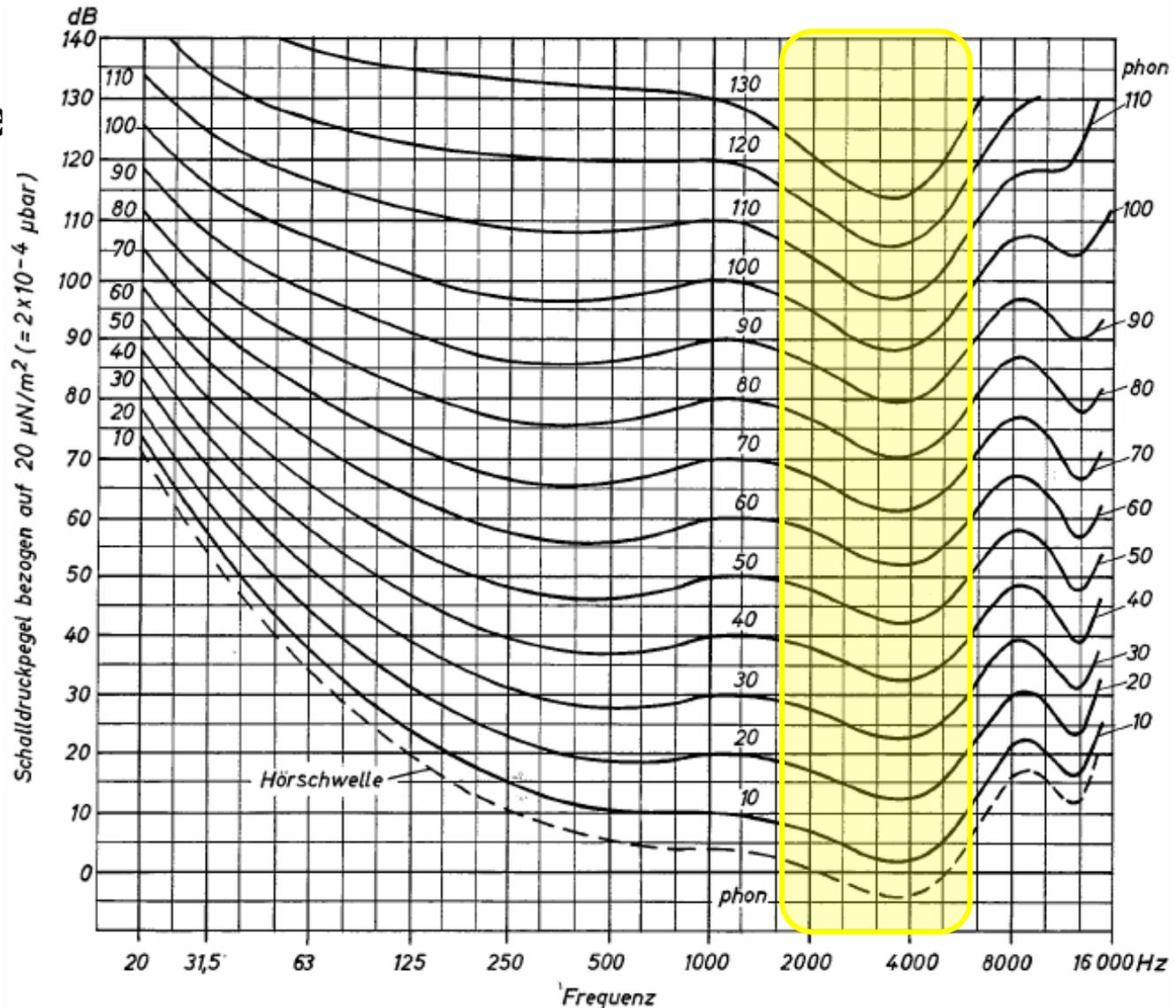
Welche SCHULD habe ich denn daran?

Wussten Sie, dass „dov“ das plattdeutsche Wort für „taub“ ist?

Wie hören Guthörende?

Normalkurven
gleicher Lautstärke
nach DIN 45680

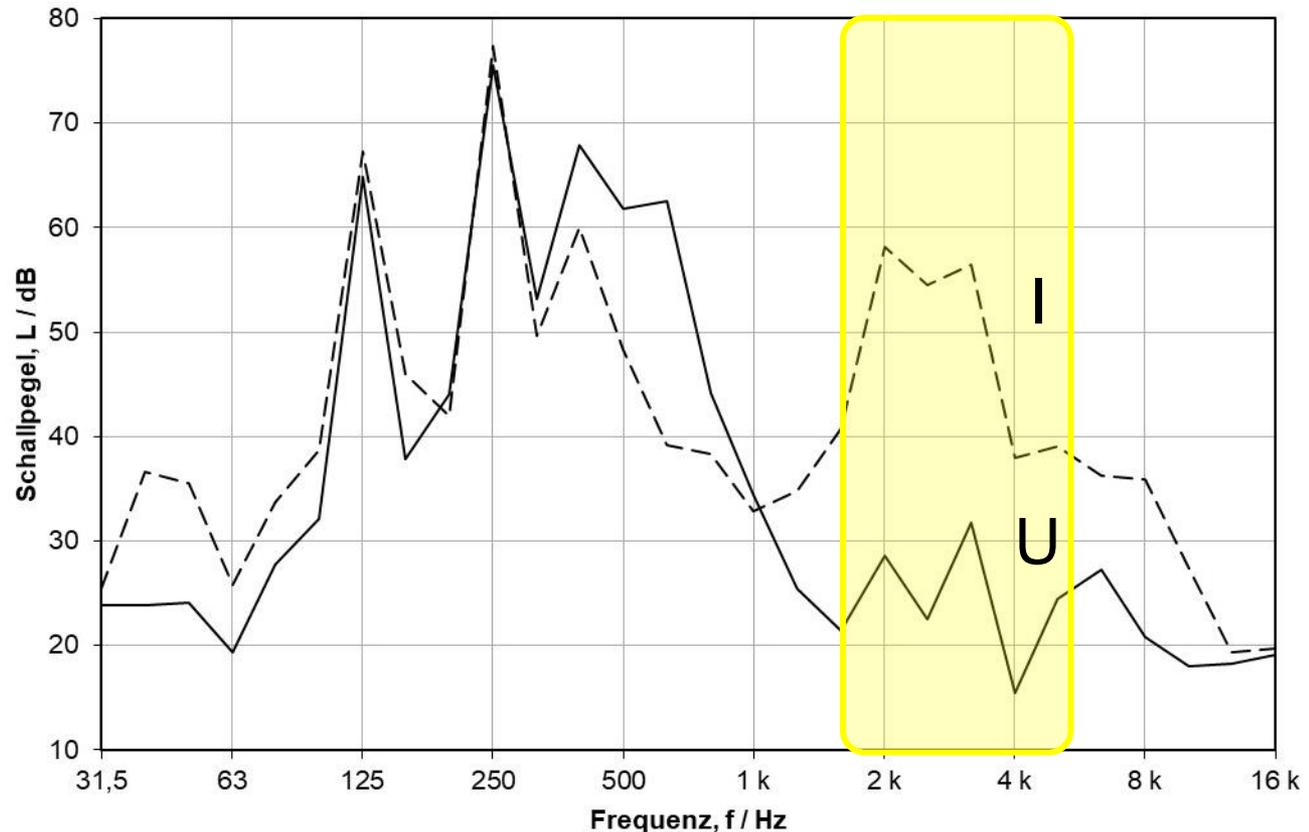
Im Bereich
von 2.000 Hz
bis 5.000 Hz
ist das Gehör
besonders
empfindsam.



Was kann das menschliche Gehör?

Formanterkennung:

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

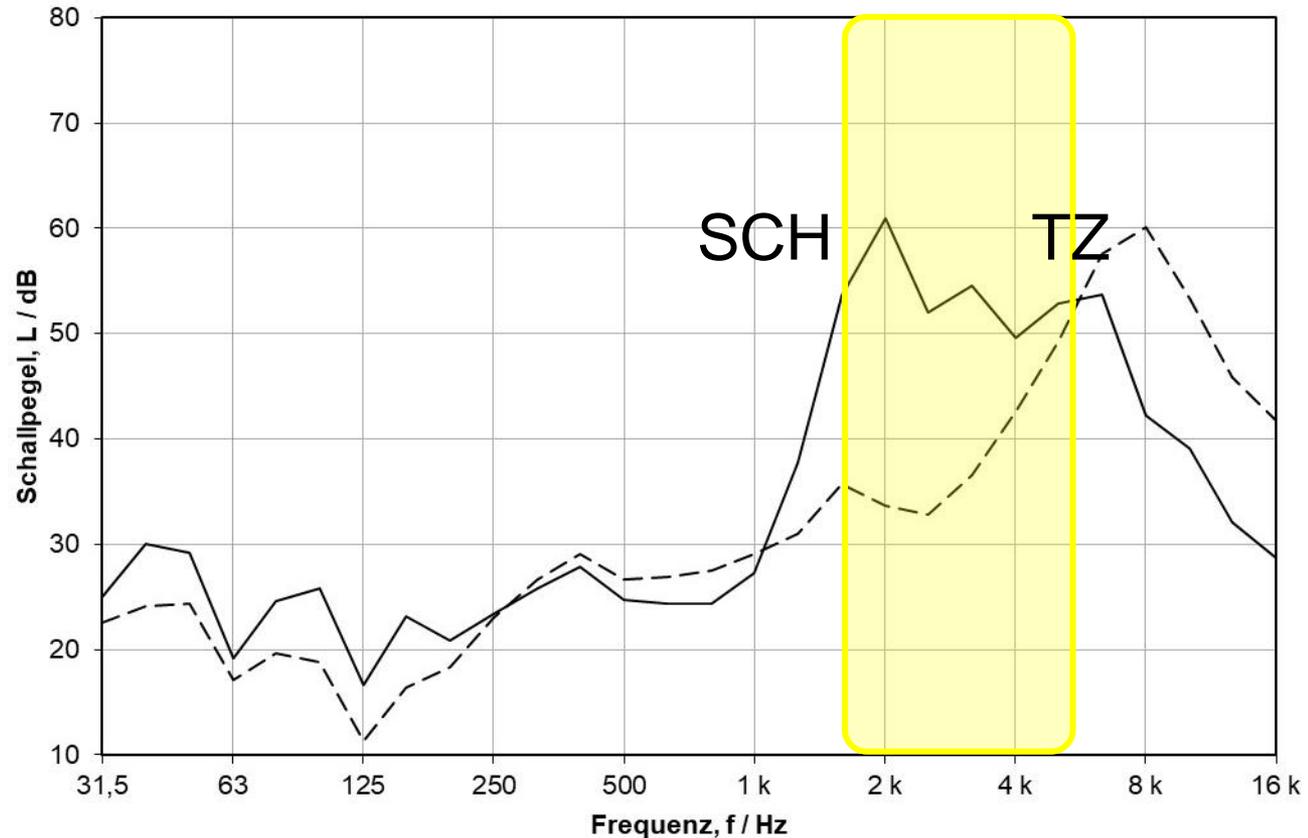


© TuR Schmidt/Ruhe 2002

Was kann das menschliche Gehör?

Formanterkennung:

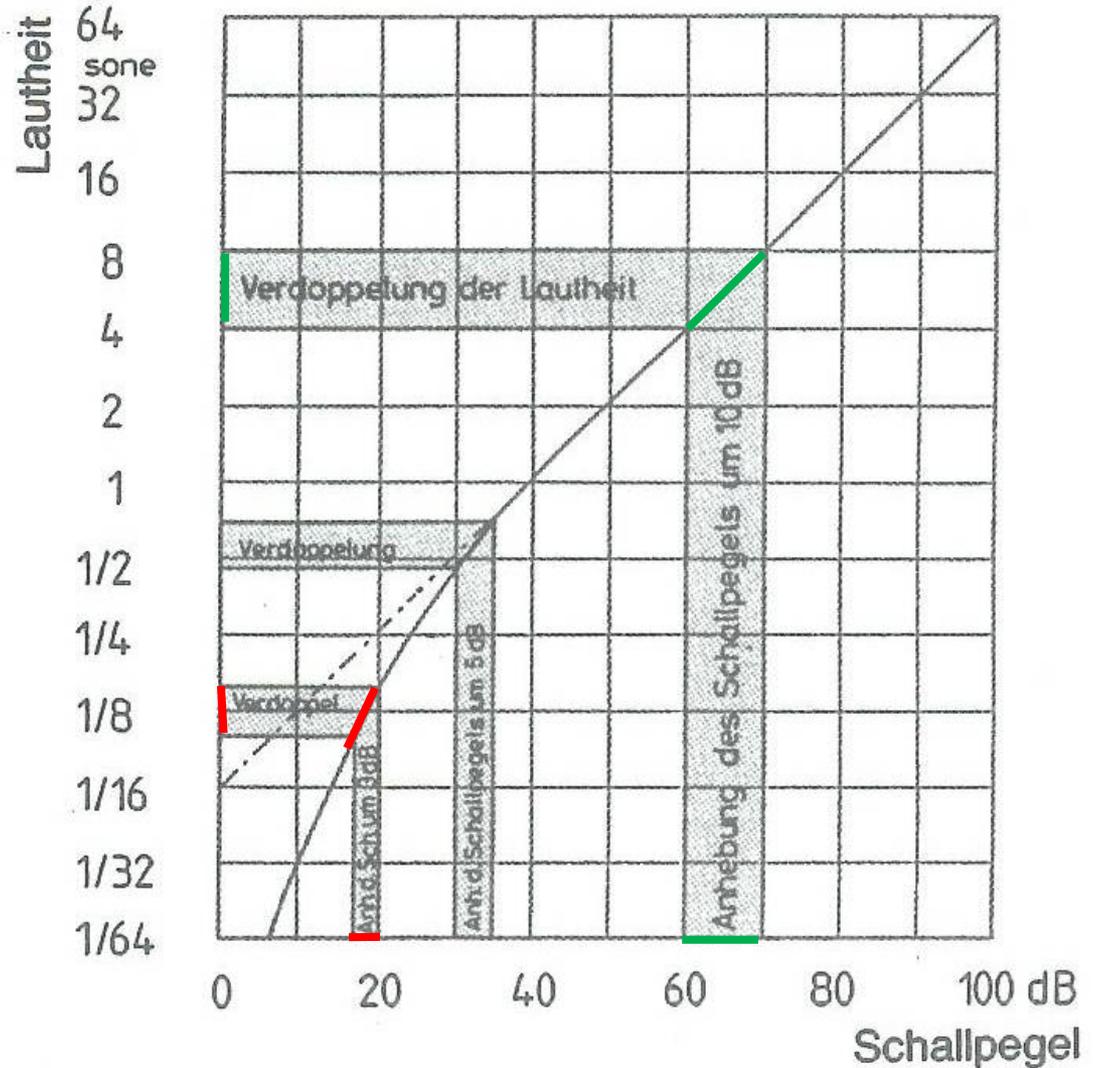
Die Konsonanten SCH und TZ unterscheiden sich im tieffrequenten Bereich kaum, sondern vorrangig oberhalb von 2000 Hz. TZ reicht bis 10.000 Hz.



© 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 kann das menschliche Gehör?

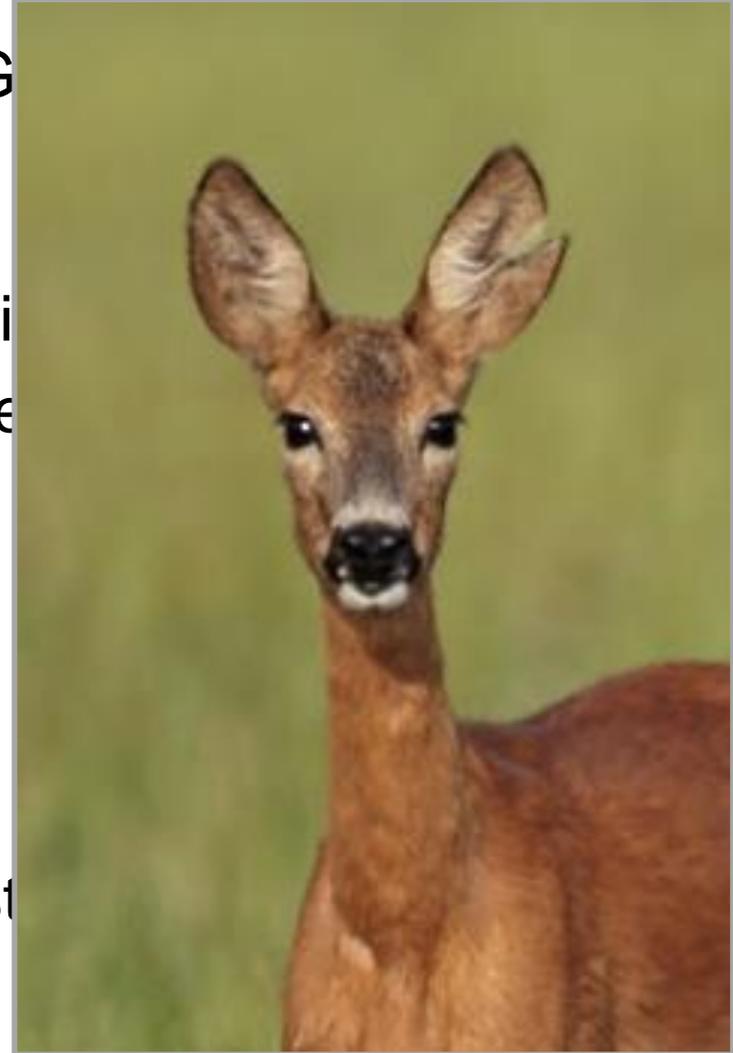
Warum
so stark
Warum
empfindlich
Warum
Schlaf

Evolu
Hinwei
oder
z. B.

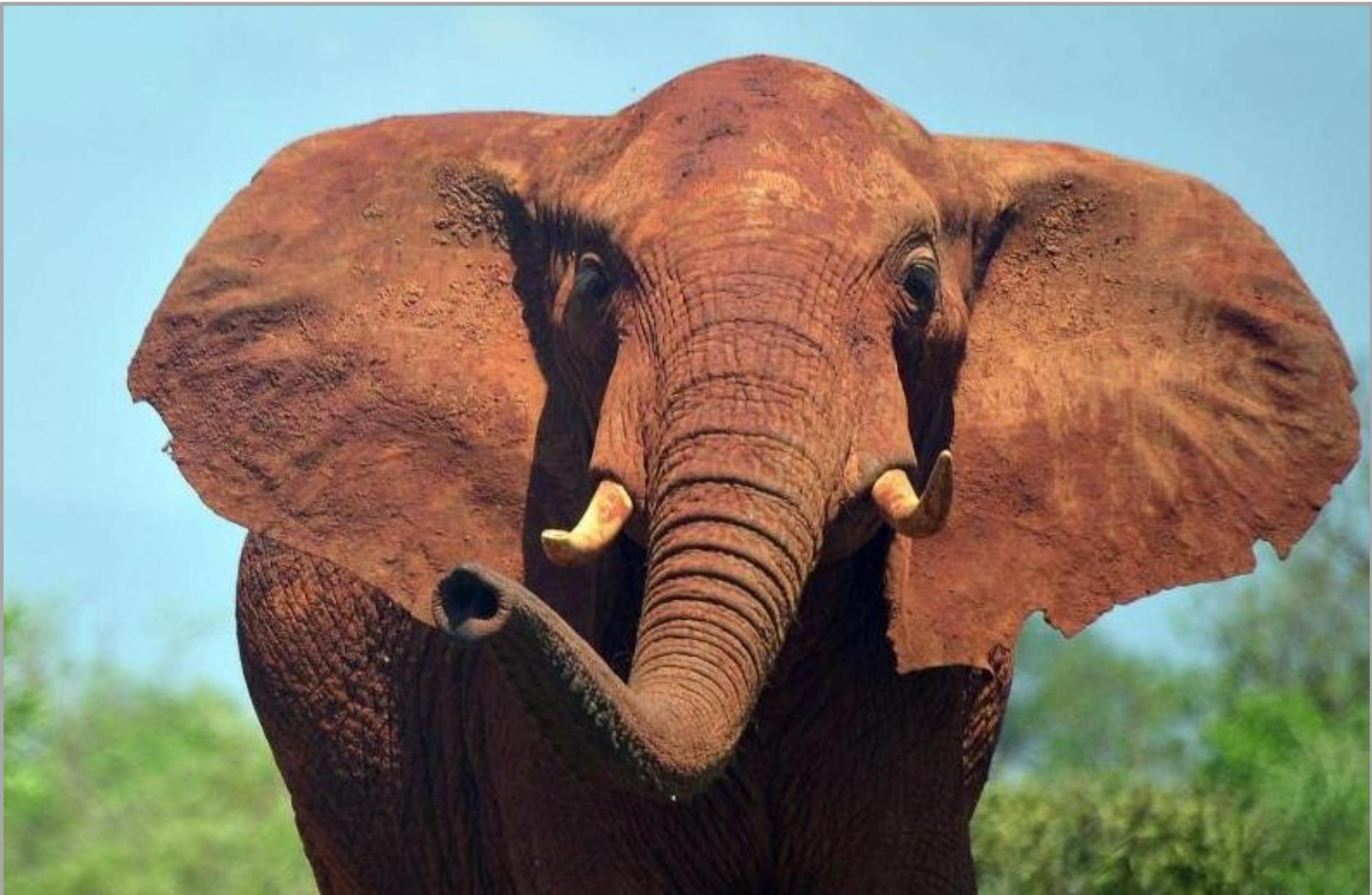


he G
en?
ehör
empfi
Gege
t“?

er Äst



n
y
m
g)
g)



2023-11-22

Hörgerechte Raumakustik

Was kann das menschliche Gehör?

Es besteht ein etymologischer Sprachzusammenhang
zwischen einerseits
LÄRM
und andererseits

ALARM !!!

Was kann das menschliche Gehör?

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

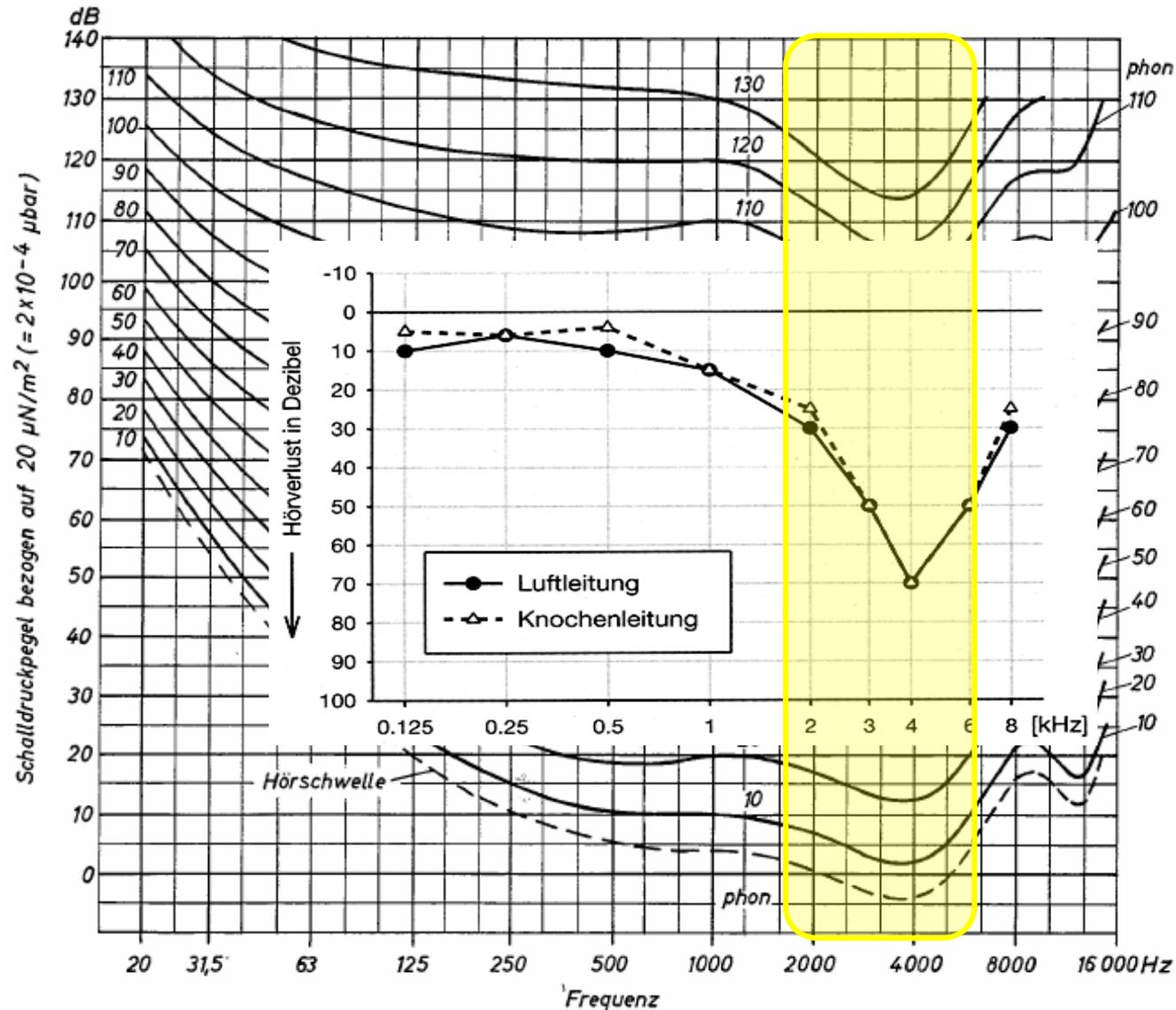
Noch heute wird Adrenalin ausgeschüttet und kampfbereit gemacht; Marschmusik mit schwerem Blech und Schlagwerk haben ähnliche Wirkung.

Leben und Arbeiten unter **Lärm** bedeutet

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

Lärm-Schwerhörigkeit

Starker Hörverlust bei 4.000 Hz, sog. c⁵-Senke
 Dort, wo das Ohr besonders empfindsam ist, da ist es auch besonders empfindlich.



Was können Guthörende?

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!

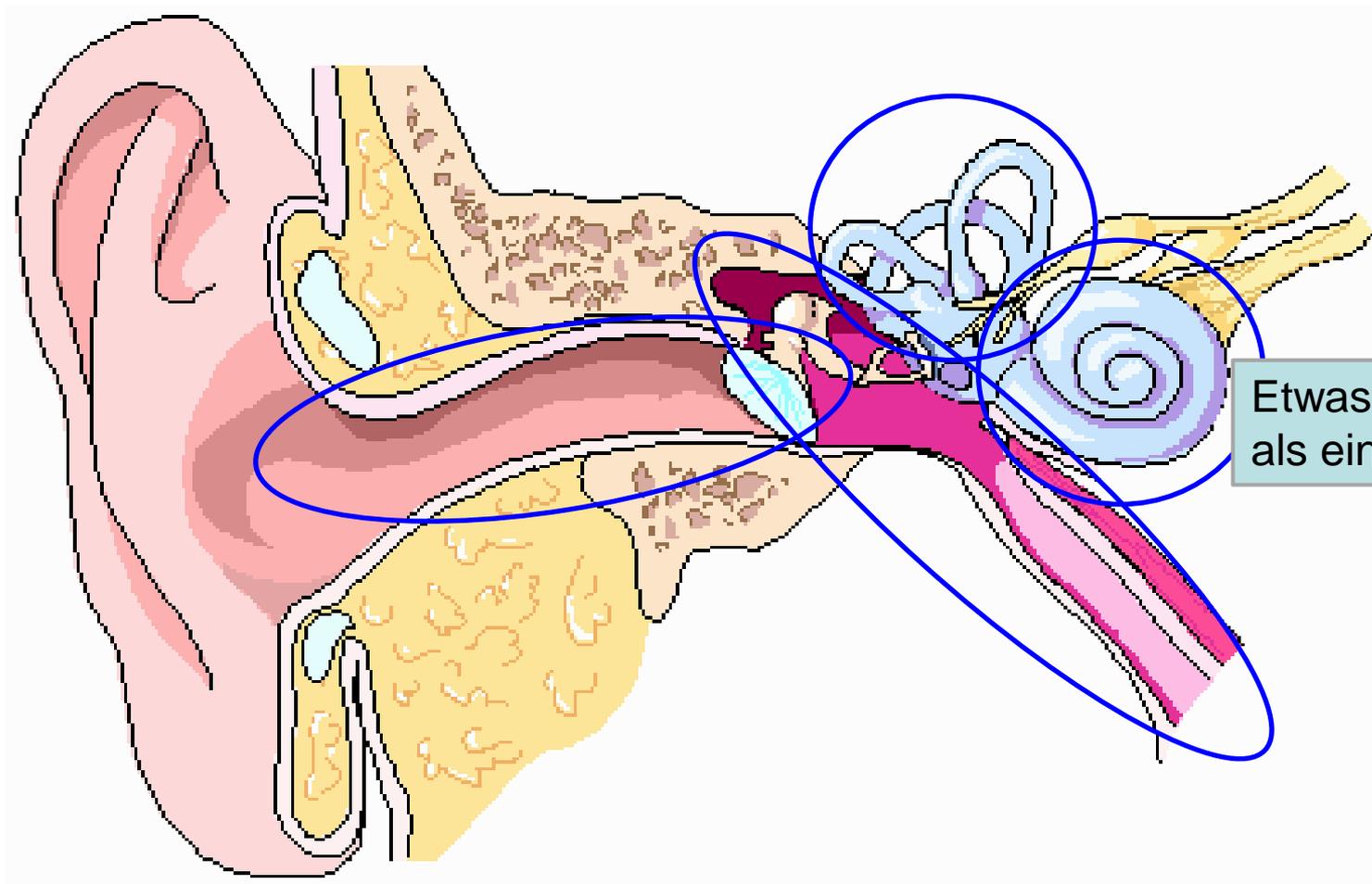
DAS GÖNN' ICH **DIR**!

DAS GÖNN' ICH DIR!

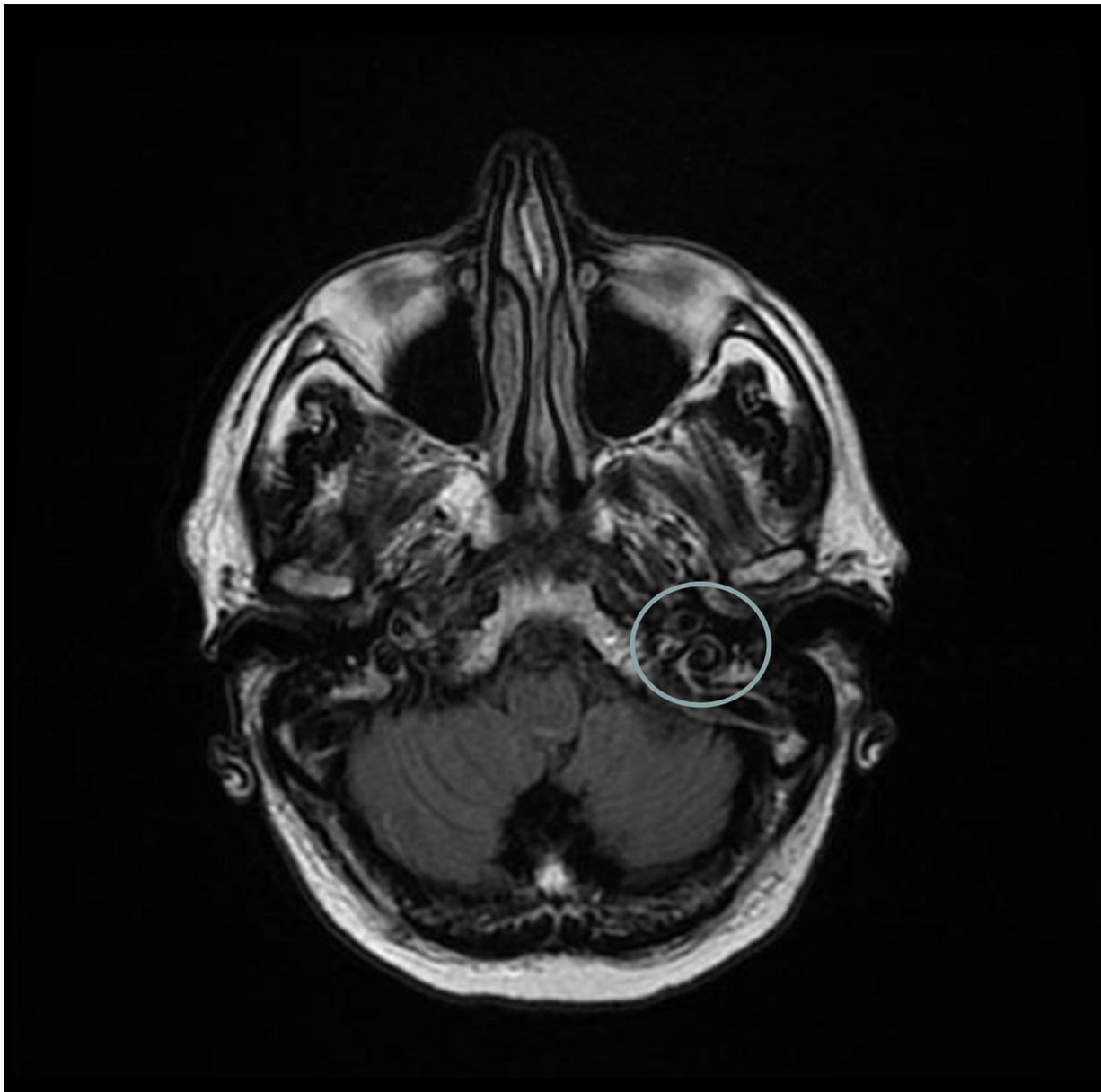


Deshalb gibt es bei Schwerhörenden / Tauben
nicht nur viele Missverständnisse,
sondern auch viel Argwohn / Zweifel!

Was kann das menschliche Gehör?



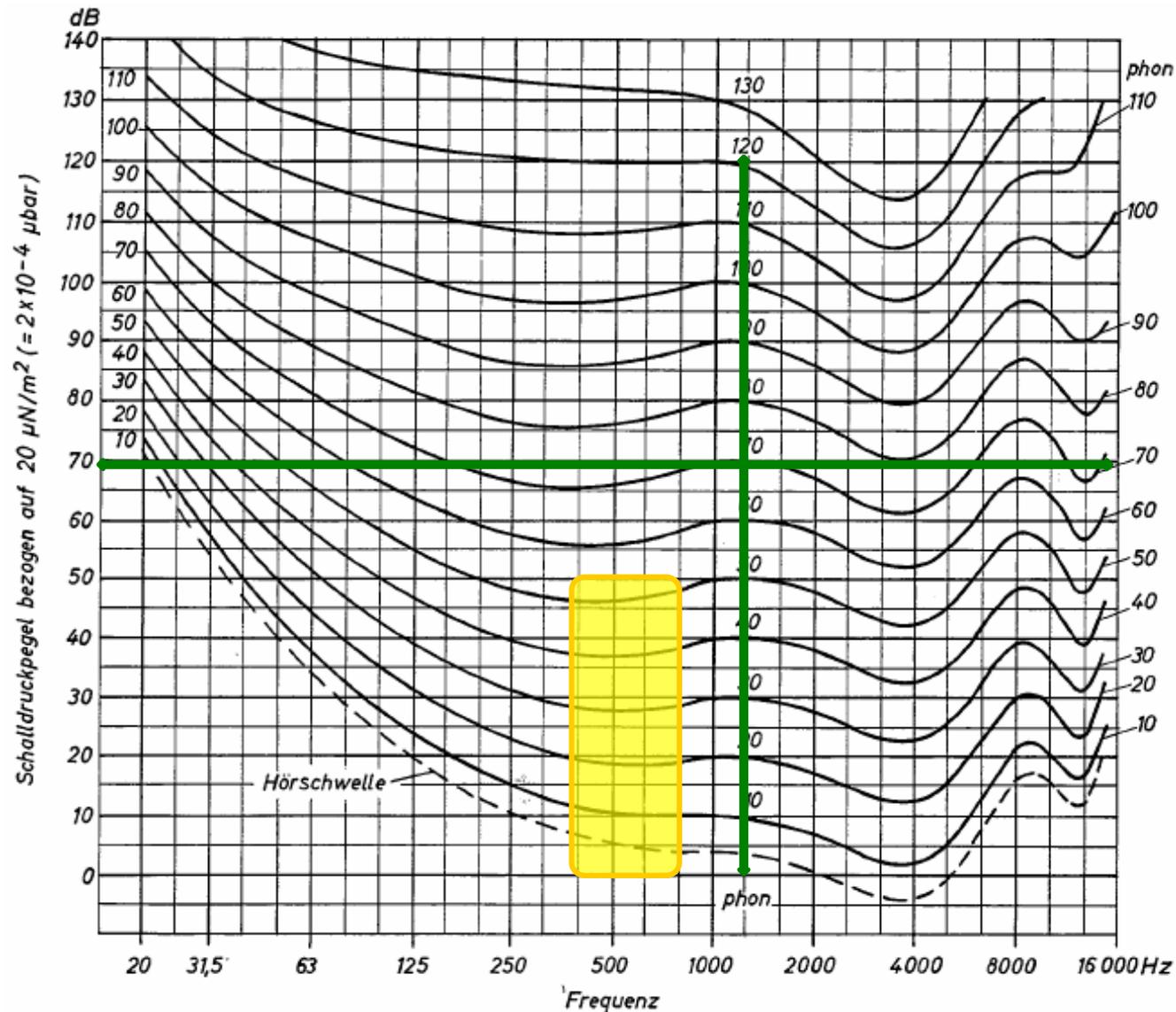
Etwas größer als eine Erbse.



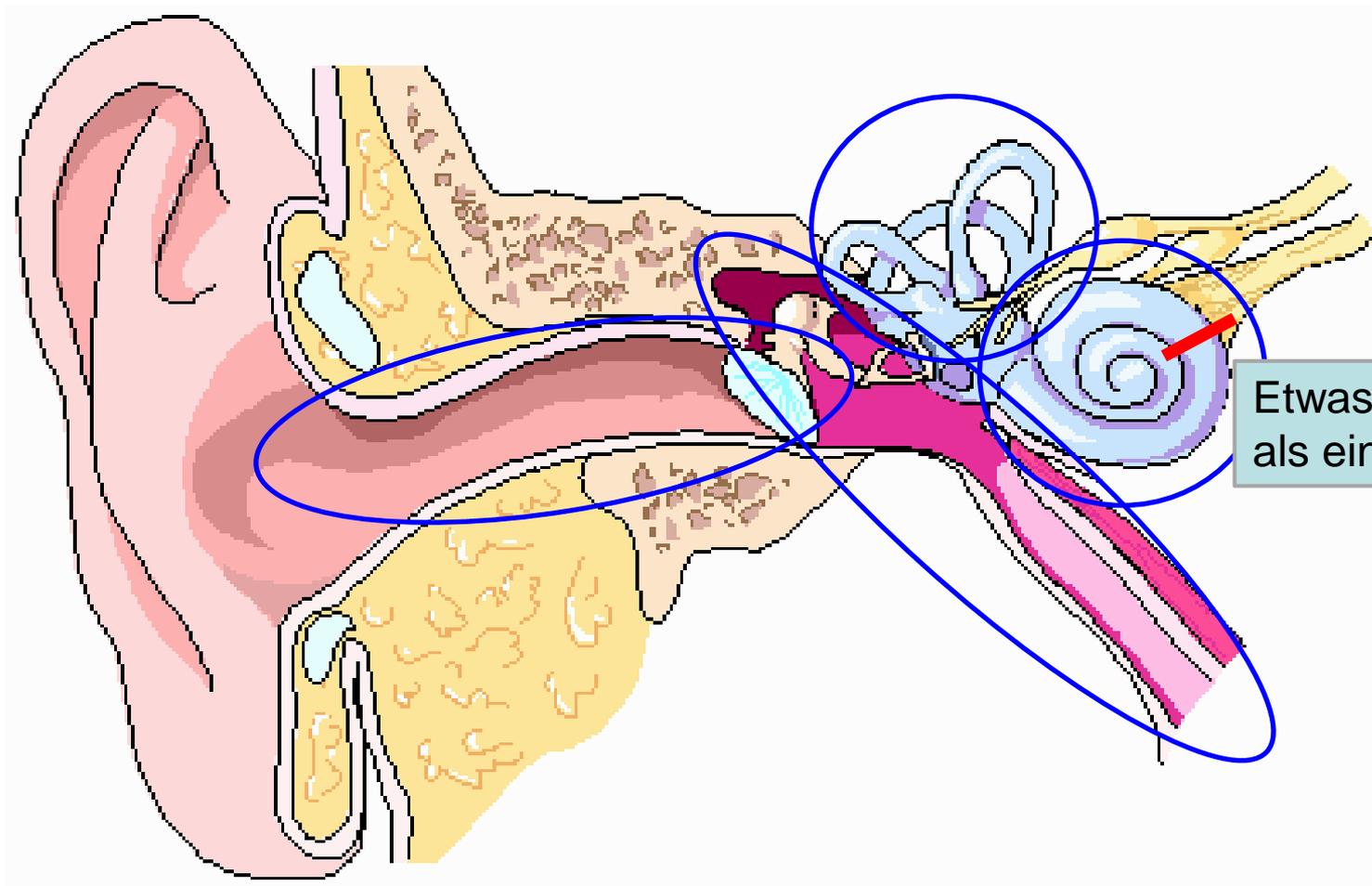
Vergleich
von Frequenz-
und Dynamik-
bereichen

Hören:
10 Oktaven
bis 120 dB

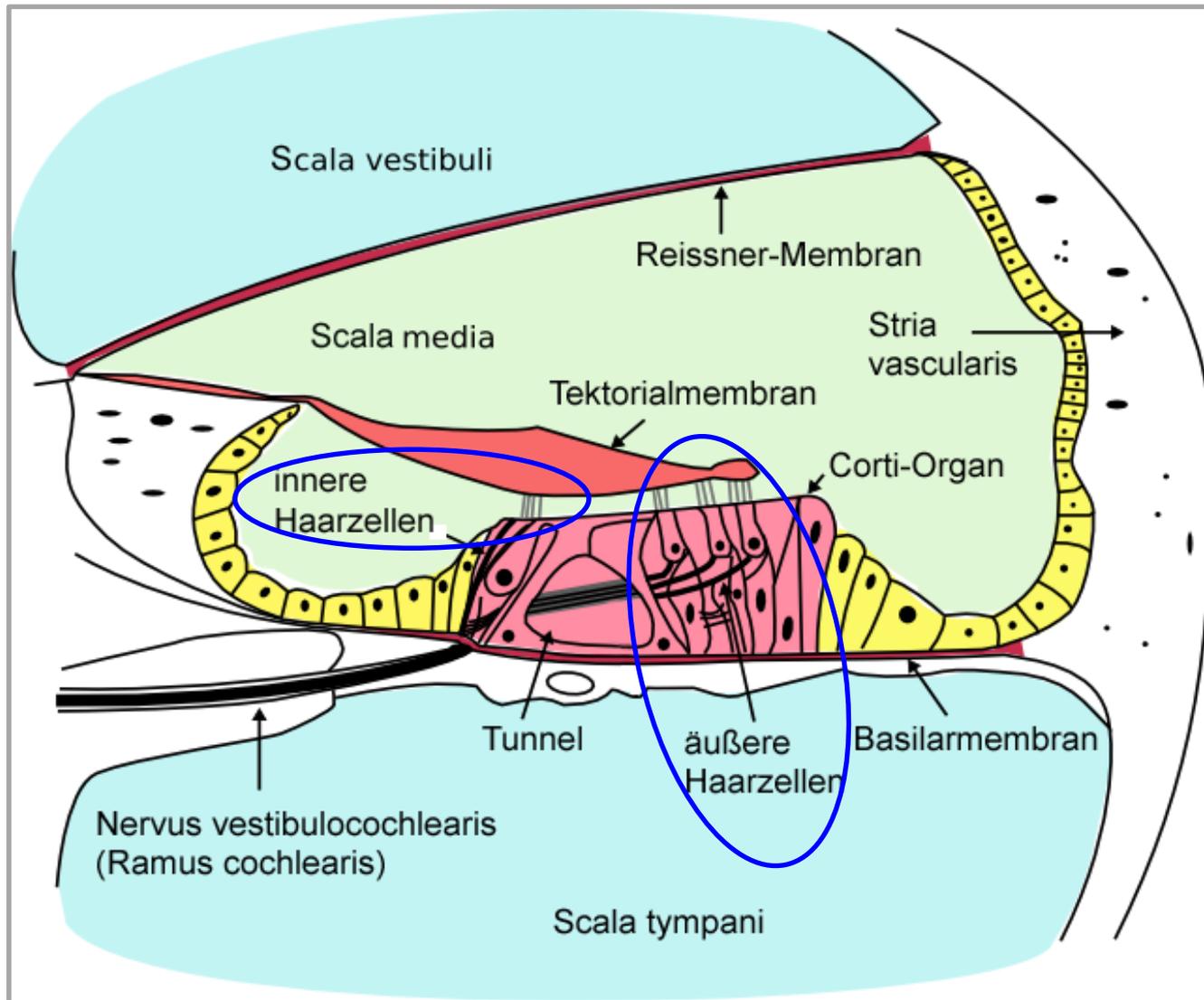
Sehen:
nur 1 Oktave
nur ca. 50 dB



Was kann das menschliche Gehör?



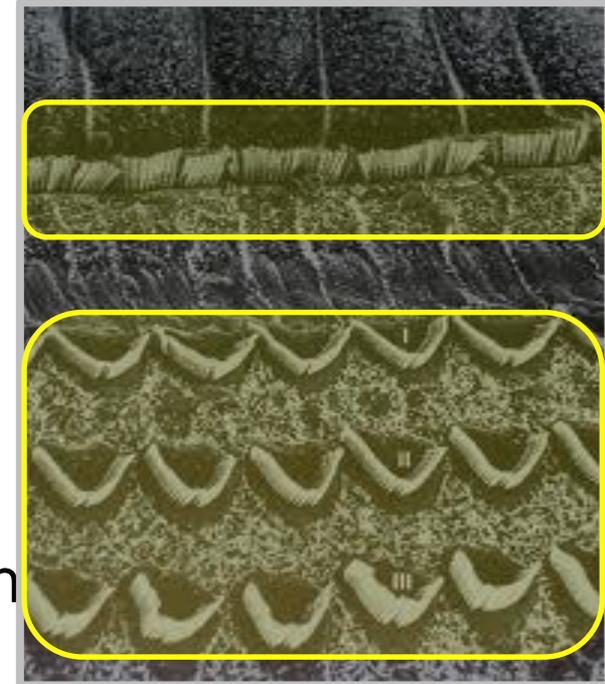
Was kann das menschliche Gehör?

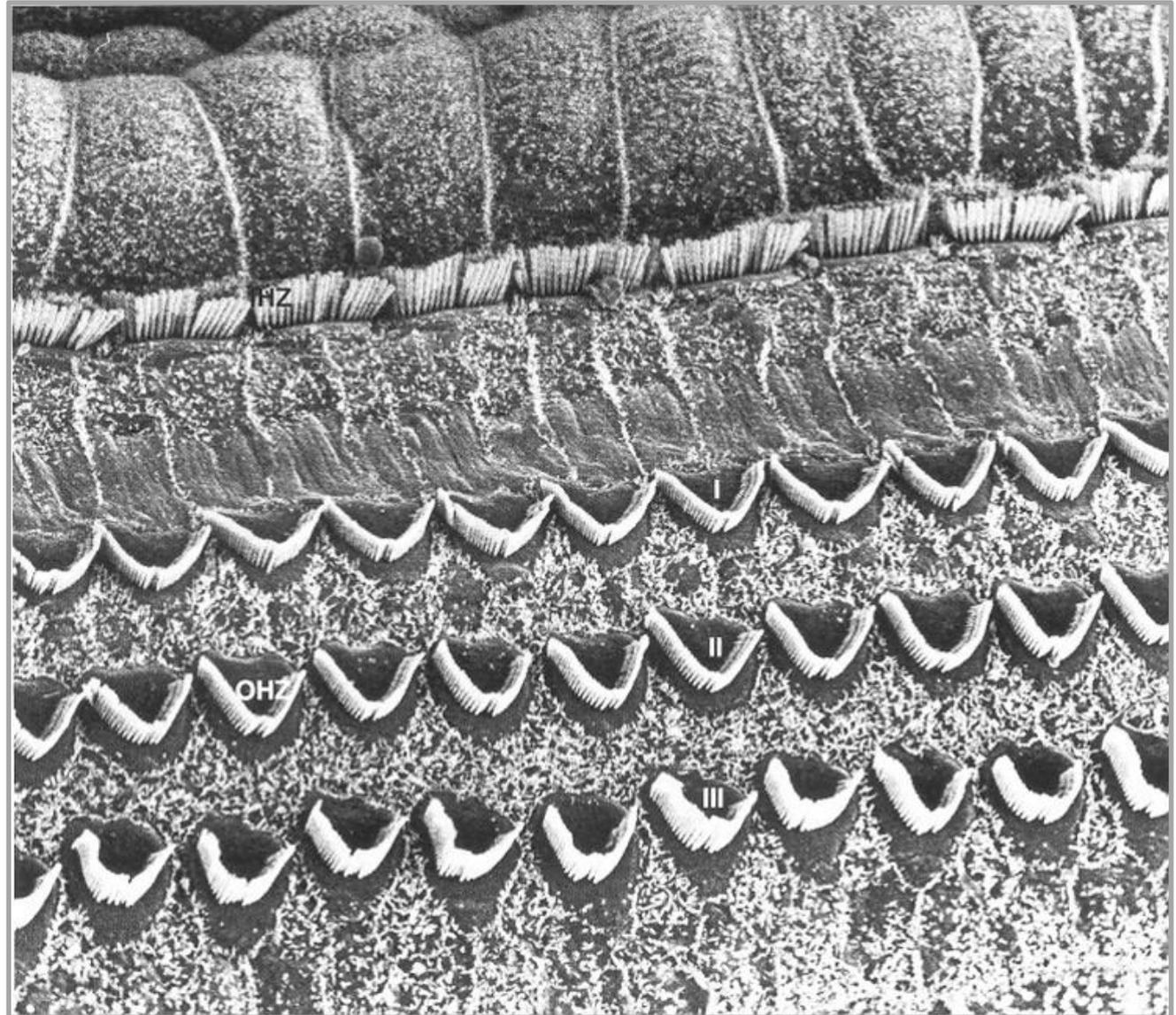


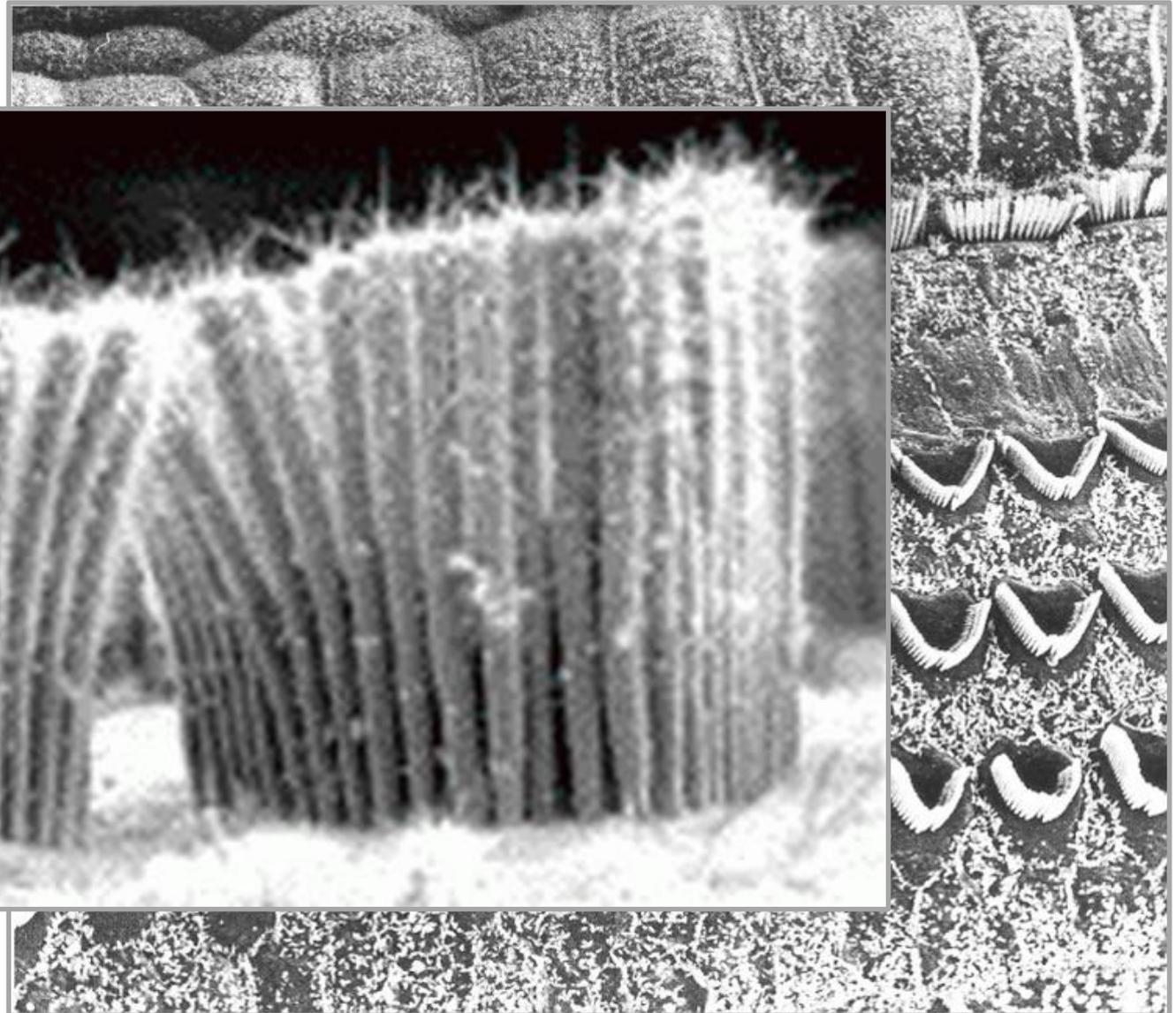
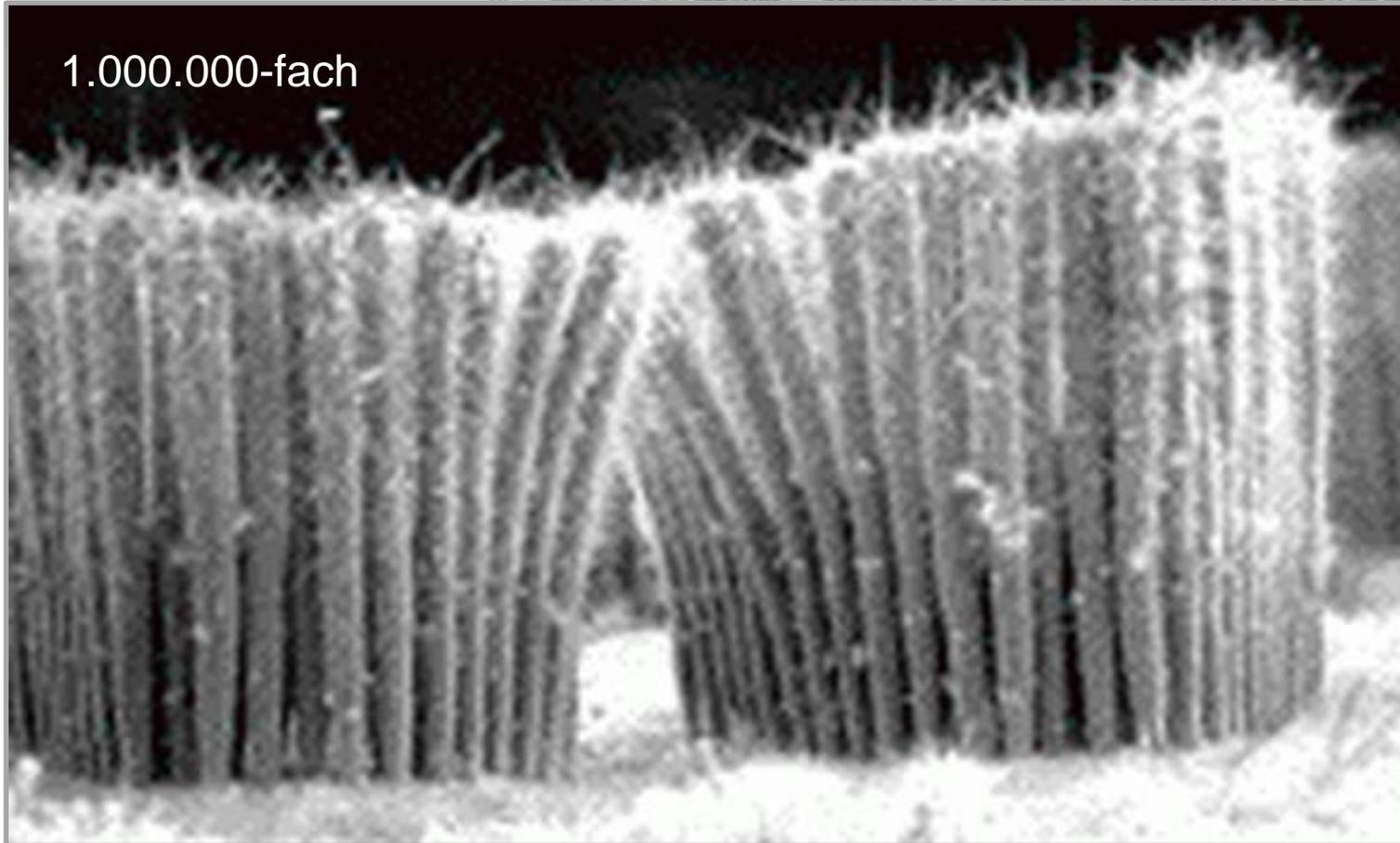
Was kann das menschliche Gehör?

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 Equalizer (EQ) und Aussteuerungsautomatik (AGC) gleichzeitig.

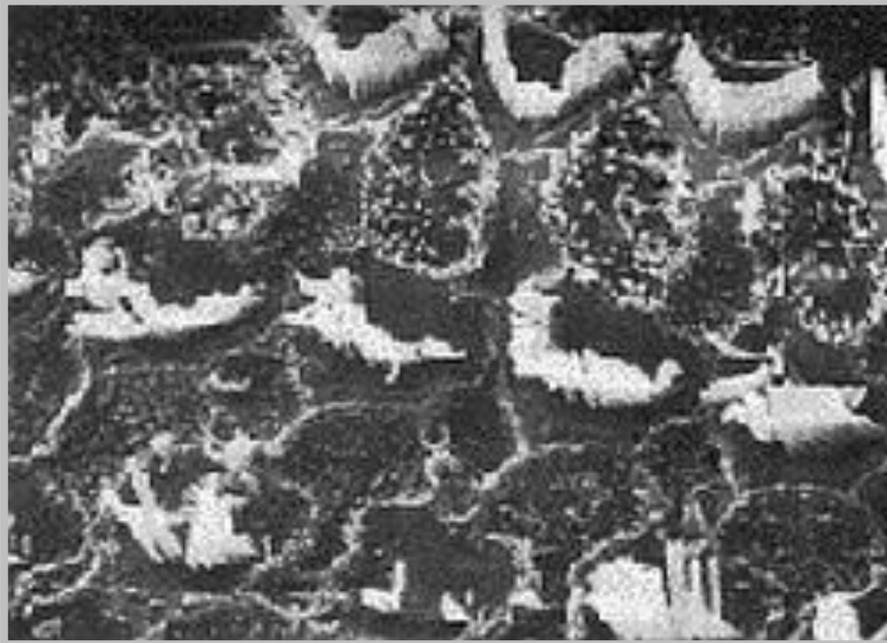






Was kann das menschliche Gehör?

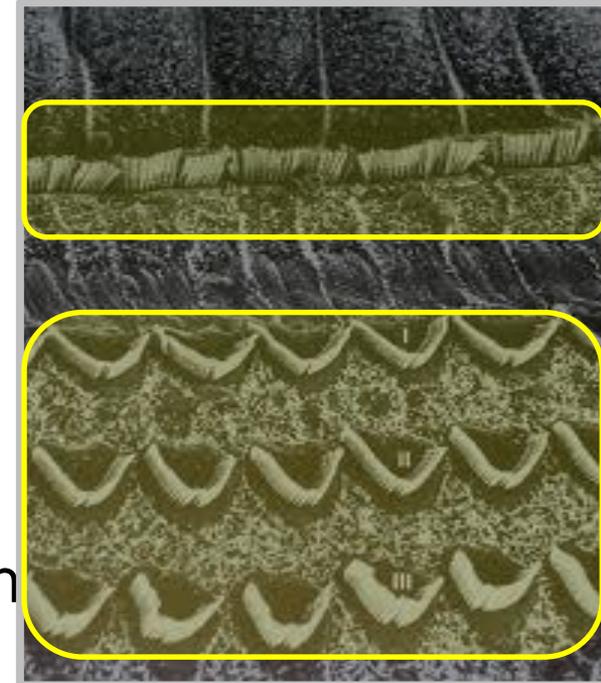
Die *inneren Haarzellen* (eine Reihe) sind die eigentlichen **Rezeptoren**, sie wandeln die mechanischen Schwingungen in



Gehirn

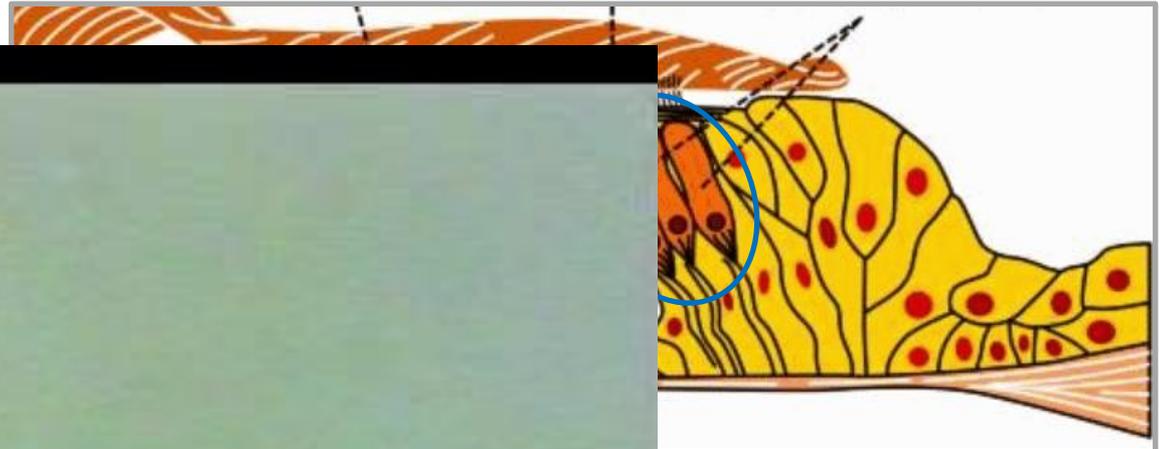
eihen) sind
die Motilität
und verstärken
wellen

nd sie EQ und AGC gleichzeitig.



Bei Ausfall der *äußeren Haarzellen* fehlt diese Regelung.

Die tanzende (äußere, aktive) Haarzelle

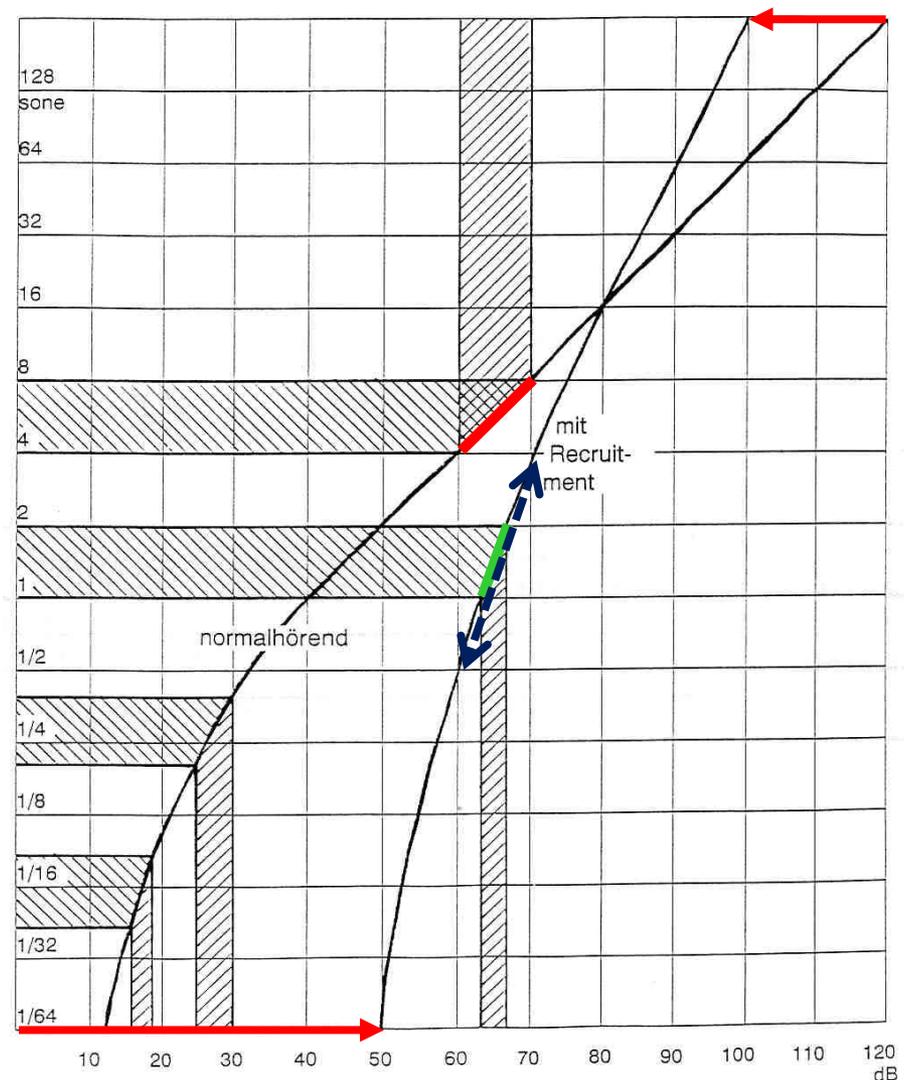


Was können Schwerhörende anders?

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 können Schwerhörende anders?

Einstellungen am Fernseher

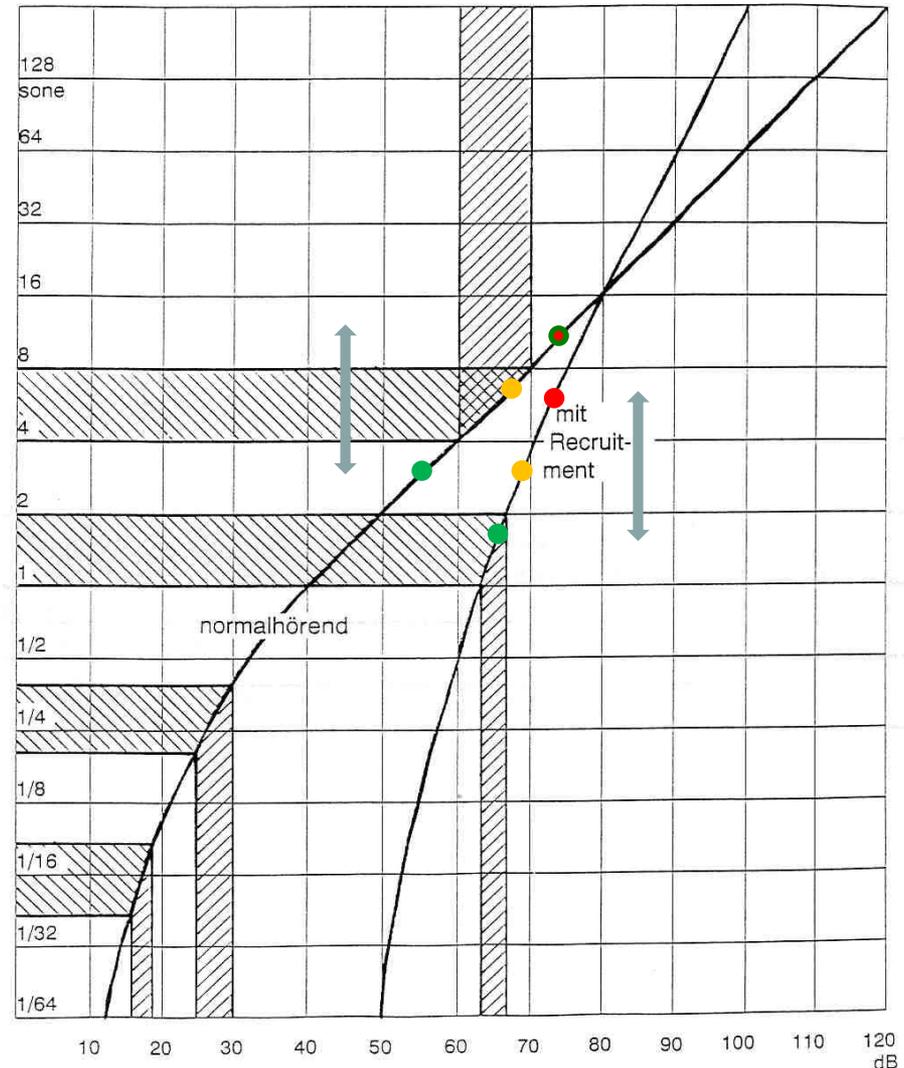
laut ●

angenehm ●

leise ●

Die eingestellten Schallpegel sind unterschiedlich, aber die empfundenen Lautheitsunterschiede sind gleich.

(J. Rennie, Fraunhofer IDMT, Oldbg. 2017)



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**, die **Störgeräusche** und den **Nachhall** zu dämpfen:

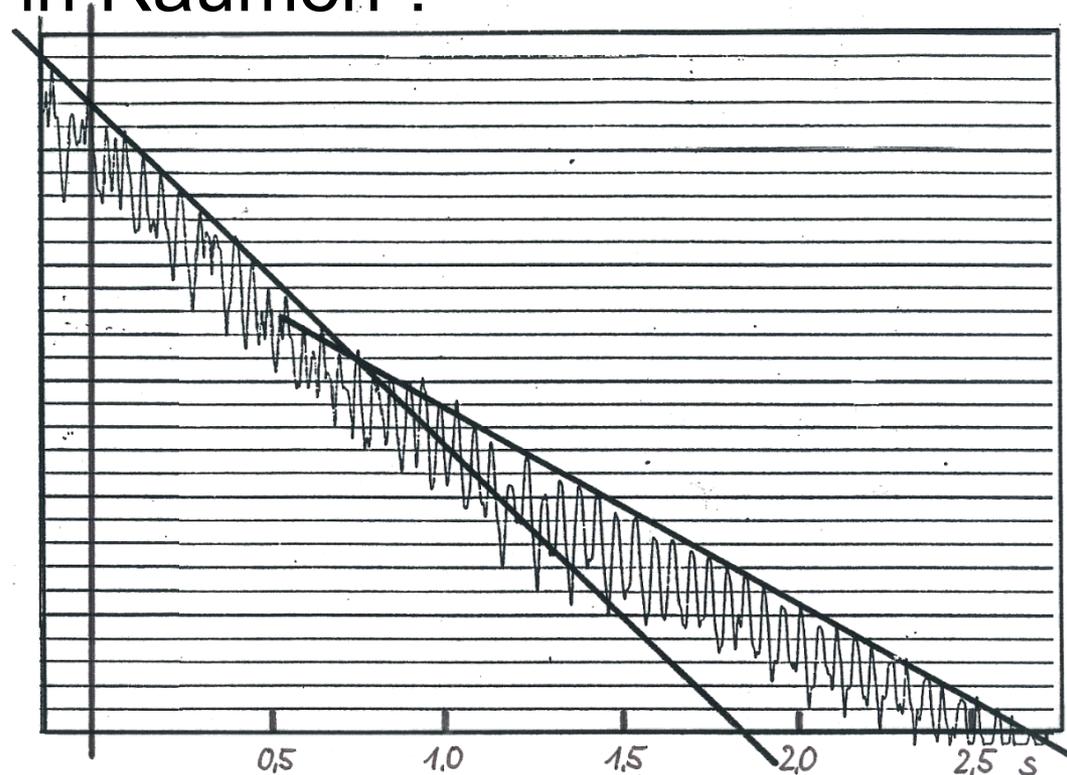
Signal-to-Noise-Ratio $SNR > 15 \text{ dB}$

Raumakustik

Aller guten Dinge sind drei:

Die Anforderungen ergeben sich aus
DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“:

1. kurze Nachhallzeit
2. Freiheit von
(Mehrfach)-Echos



3. geringe Stör-Geräusche (Publikum, techn. Anlagen)

Pädagogische Notwendigkeiten

Gute (nachhallarme) Raumakustik

- gewährleistet die Sprachverständlichkeit
- mindert Lärm und Störgeräusche (Kneipeneffekt)
- verringert Stress (gut untersucht für die Pädagogen)
- verringert den Anstieg von Blutdruck und Pulsfrequenz
- verbessert den Umgang miteinander
- vermeidet laute Reaktionen (z. B. bei ASS)
- verringert Gefahr der Lärm-Schwerhörigkeit (z. B. in Sporthallen)
- verringert Gefahr des lärmverursachten Tinnitus
- verringert den Krankenstand bei Lehrern und Schülern
- Verringert dadurch den Lehrermangel
- spart deshalb Geld

Und das gilt alles für Menschen mit und ohne Hörschädigung!

Pädagogische Notwendigkeiten

DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen

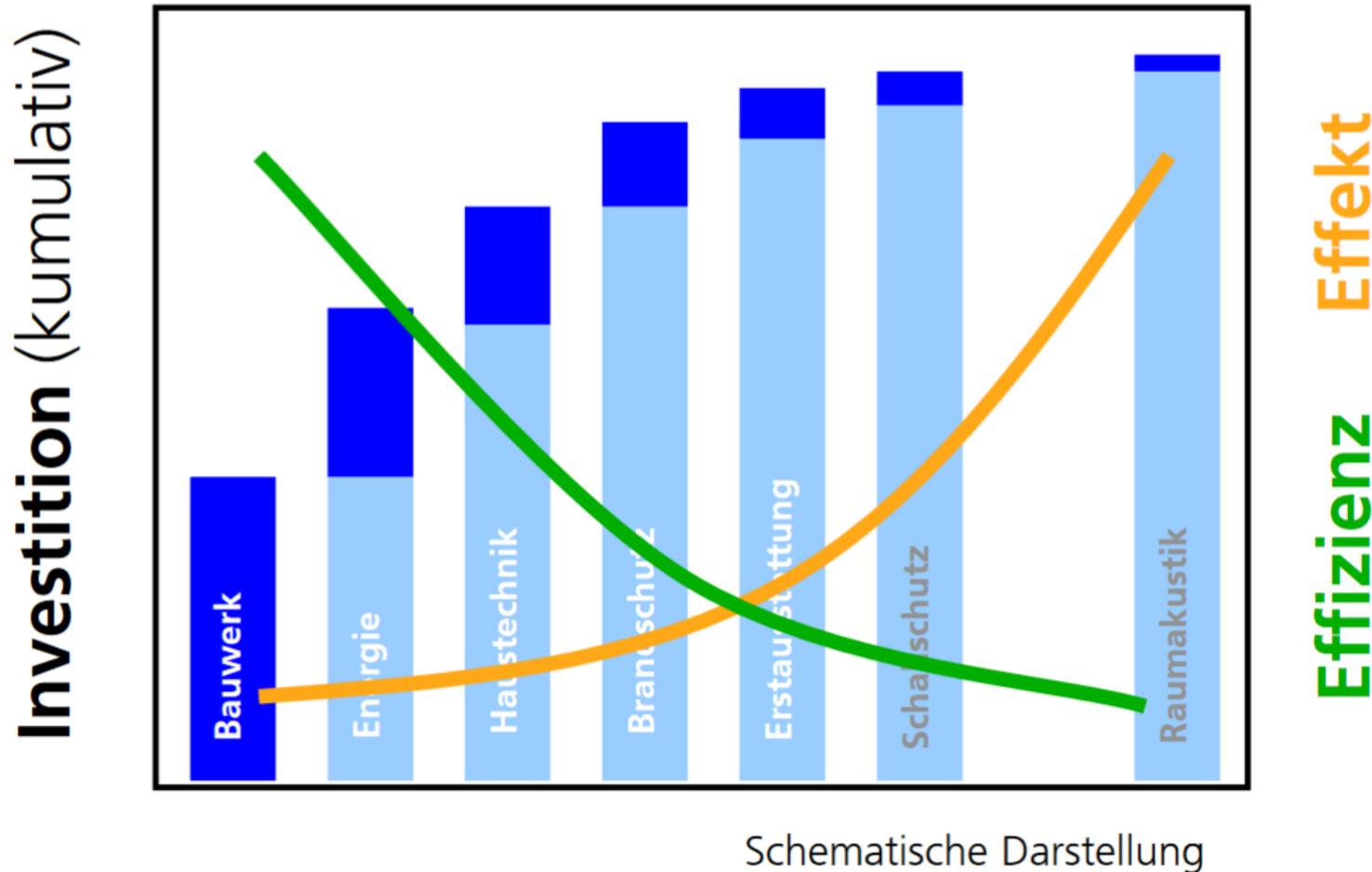
*Im Sinne des inklusiven Bauens sind von Beginn der Planung an die Bedarfe von Personen mit eingeschränktem Hörvermögen zu berücksichtigen (**Schwerhörnde**).*

*Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die **nicht** als **Muttersprache** gelernt wurde, bzw. bei der Kommunikation mit Personen, die **Deutsch als Fremdsprache (DaZ)** sprechen (**Fremdhörnde**),*

*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 (**darunter sind auch Guthörnde**). Menschen mit **Sehschädigung** habe **ich** damals zu erwähnen vergessen.*

Gebäude und Räume – Effizienz und Effekt

Vernachlässigte Balance



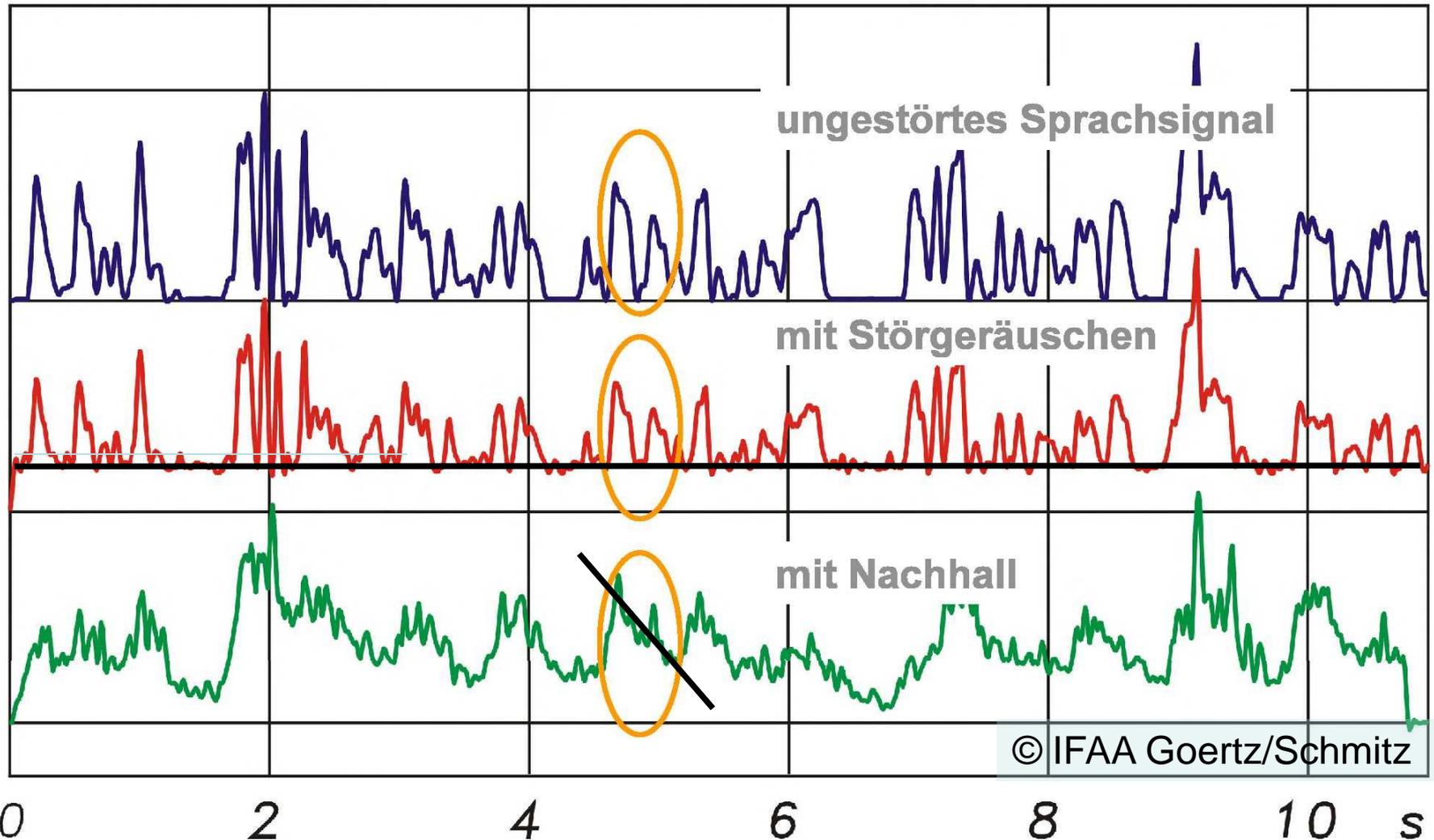
© Philipp Leistner, Fraunhofer IBP, Stuttgart 2013

2023-11-22

Hörgerechte Raumakustik

Pädagogische Notwendigkeiten

Sprache Hüllkurve: Original, mit Noise, mit Hall

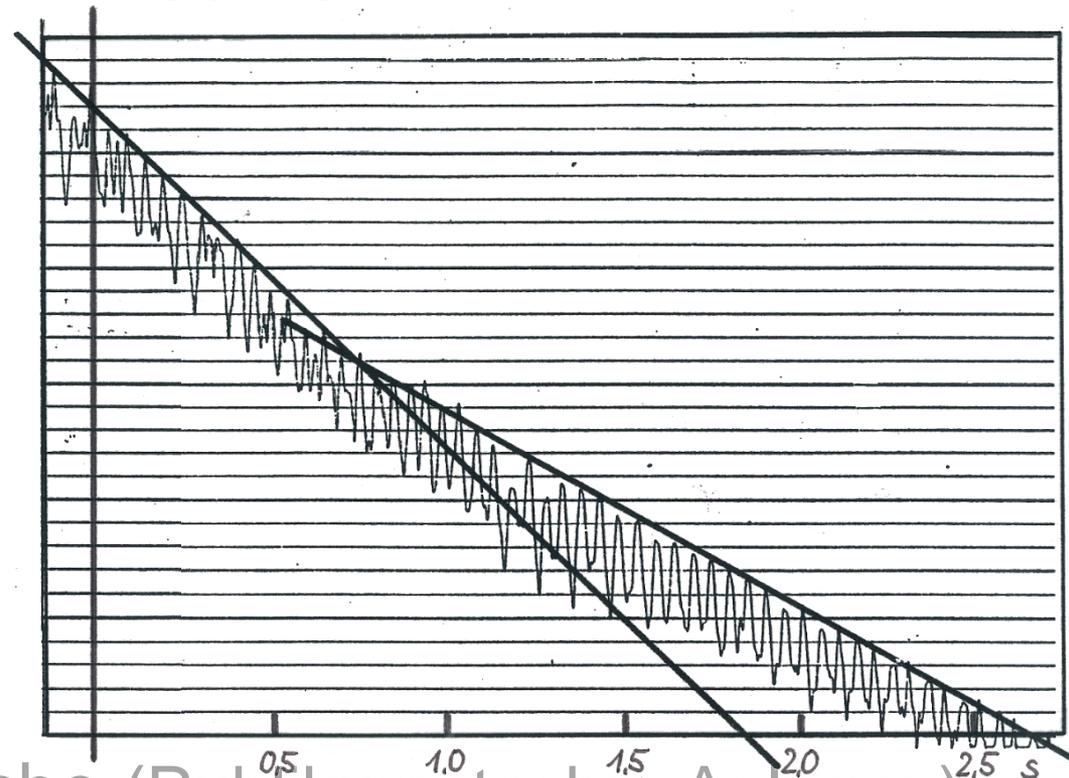


Raumakustik

Aller guten Dinge sind drei:

Die Anforderungen ergeben sich aus
DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“:

1. kurze Nachhallzeit
2. Freiheit von
(Mehrfach)-Echos



3. geringe Stör-Geräusche (Publikum, techn. Anlagen)

Akustische Anforderungen nach DIN 18041

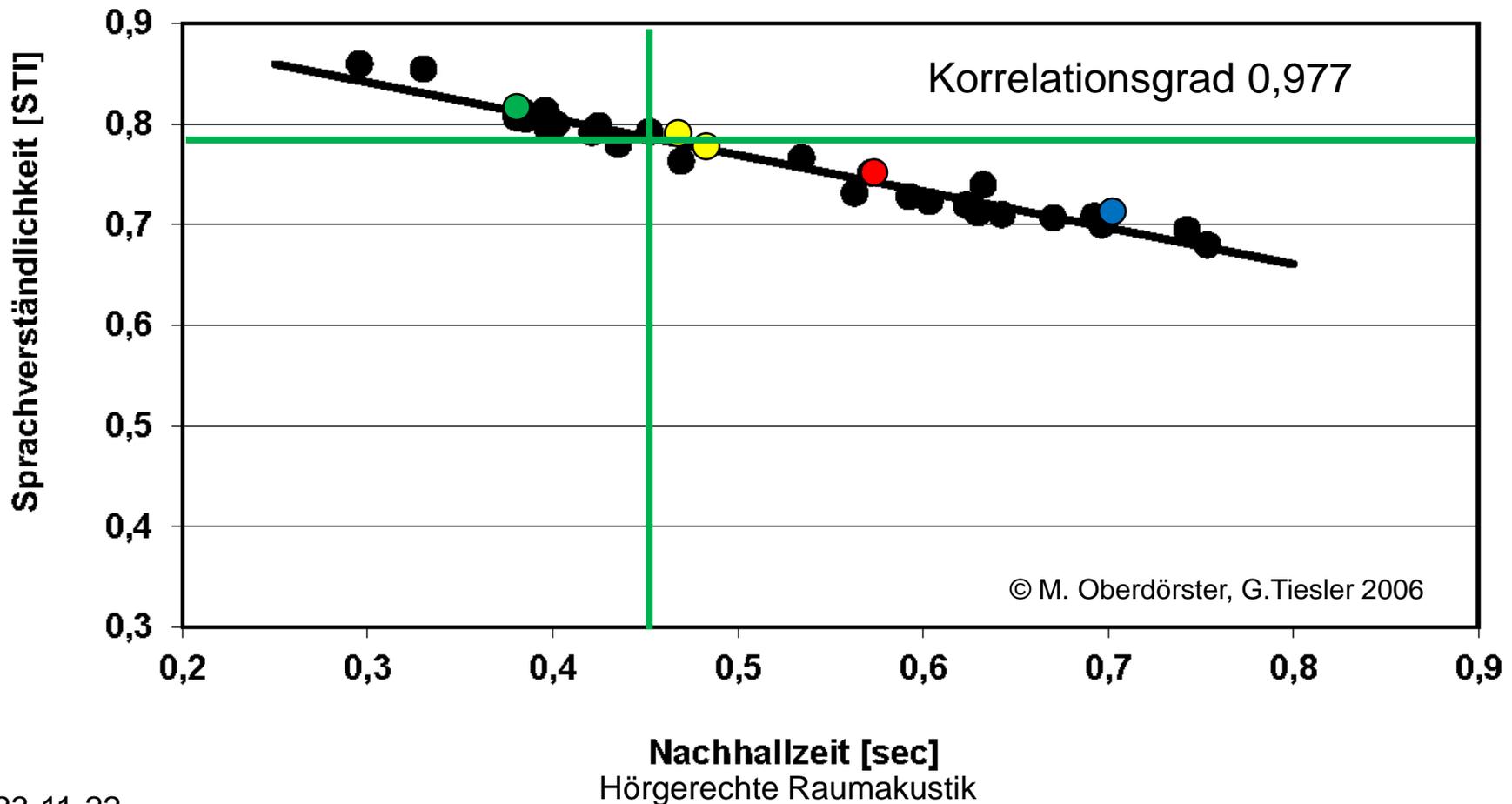
*Von Personen mit Hörschäden wird die raumakustische Situation für Sprachkommunikation **umso günstiger** empfunden, **je kürzer die Nachhallzeit** ist.*

Dasselbe gilt auch für die Kommunikation mit Personen in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde 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, Leistungsbeeinträchtigungen.

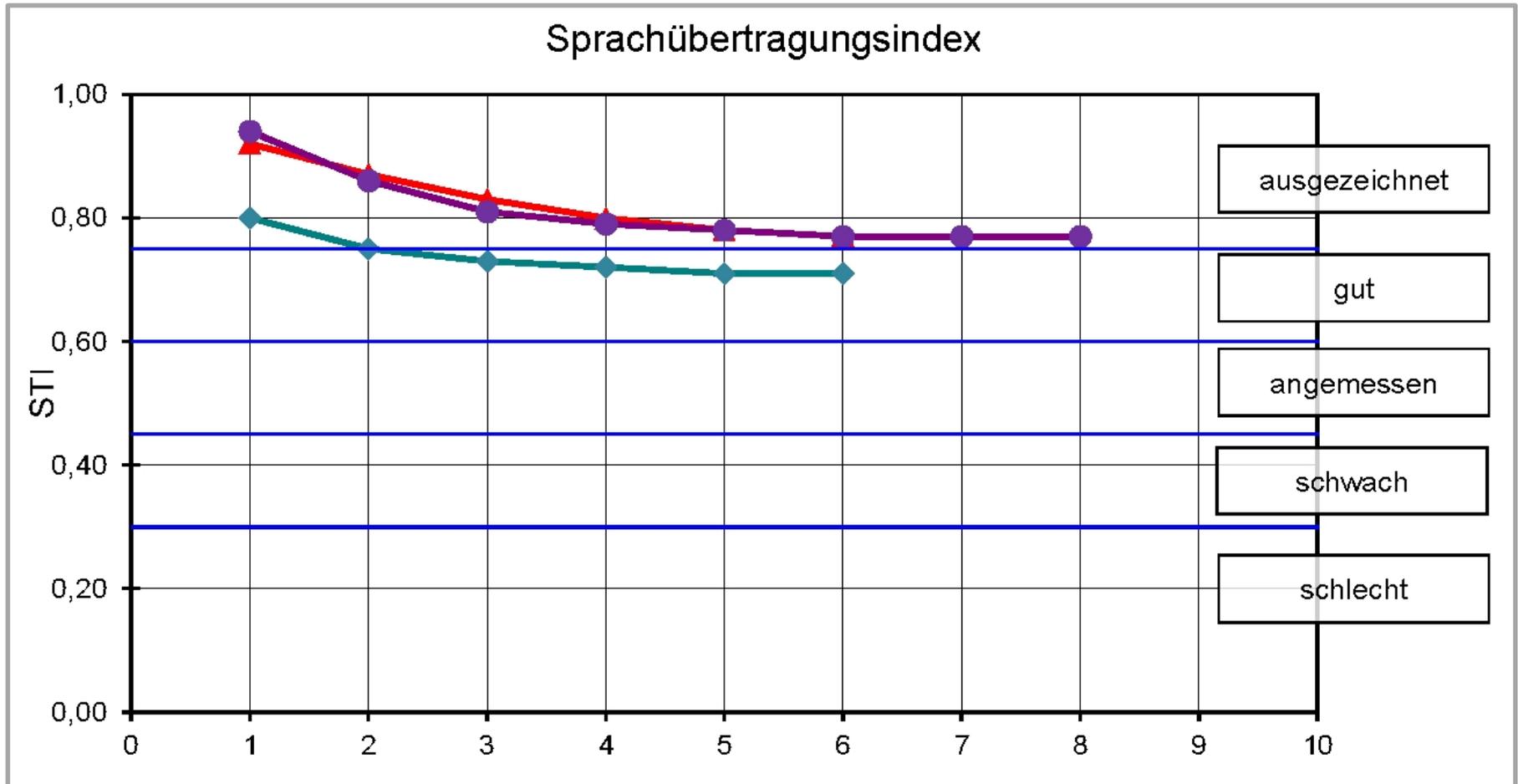
Im Zweifelsfall sollten in Räumen zur Sprach-Information und -Kommunikation eher kürzere als längere Nachhallzeiten realisiert werden.

Sprachverständlichkeit und Nachhallzeit

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



Sprachverständlichkeit und Nachhallzeit



Akustische Anforderungen aus DIN 18041 **2004**

Nach heutigem Kenntnisstand im Bereich des barrierefreien Planens und Bauens sollte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen die anzustrebende Nachhallzeit, vorrangig für Räume mit einem Volumen bis zu 250 m³ und der Nutzung Sprache/Unterricht, ... bis 20 % unter den in Bild 1 angegebenen Kurven liegen...

Damals gab es also eine spezielle (exklusive) Anforderung für die „ganz besonderen“ Menschen.

Aber: eine „exklusive Lösung“ ist keine „Inklusion“!

Akustische Anforderungen, Übergang → 2016

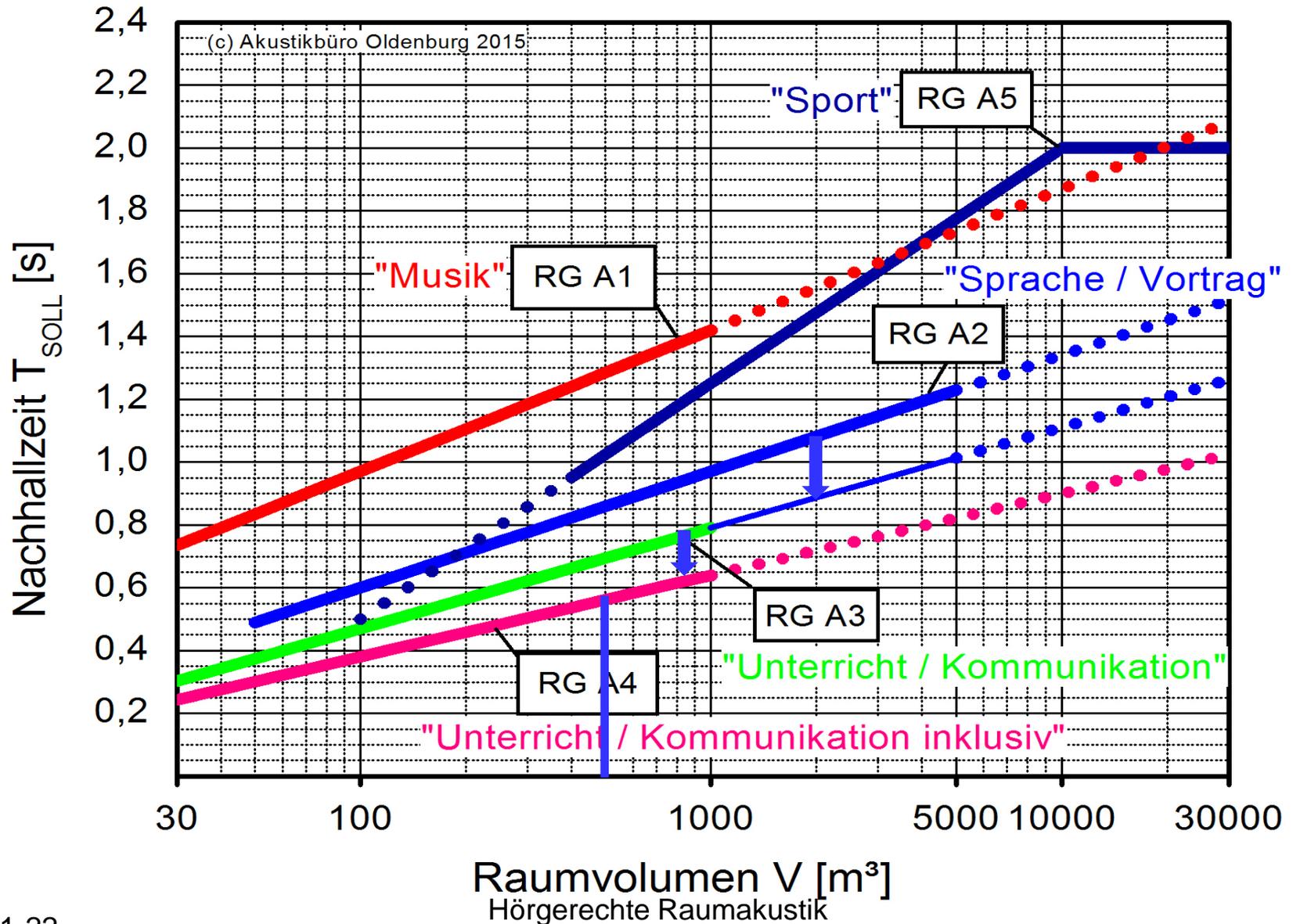


Tabelle 1 — Beschreibung der Nutzungsarten der Räume der Gruppe A

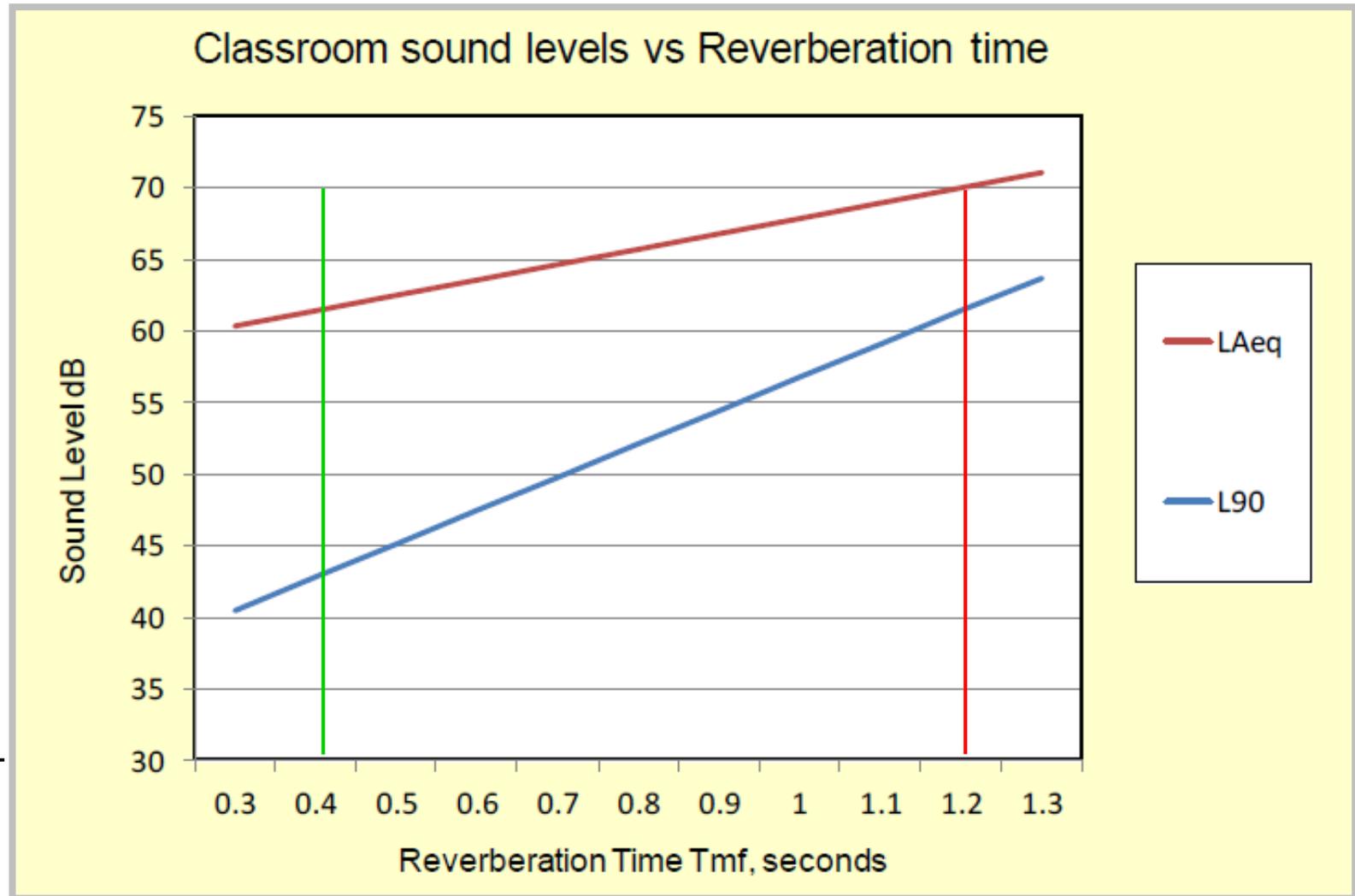
Raum-Gruppe	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
	<p>Kurzbezeichnung: „Unterricht / Kommunikation“</p> <p>Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum</p>	<p>Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise 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 ist das Publikum kommuniziert über Lautsprechergruppen (auch über mobile Anlagen), mit unterschiedlichen Inhalten</p>	<p>Sprachliche Kommunikation über kurzzeitige Nutzungen ist im allgemeinen gut möglich.</p>	<p>Sport- und Schwimmhallen für ausschließliche Sportnutzung</p>
<p>^a Gemäß Bundesgleichstellungsgesetz und vergleichbarer Landesregelungen und der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sind Neubauten inklusiv zu errichten.</p>			

Klassenraum-Akustik vor 100 Jahren



Grade sitzen,
Ohren spitzen,
Hände falten,
Schnabel halten!

Lärminderung durch Schallabsorption

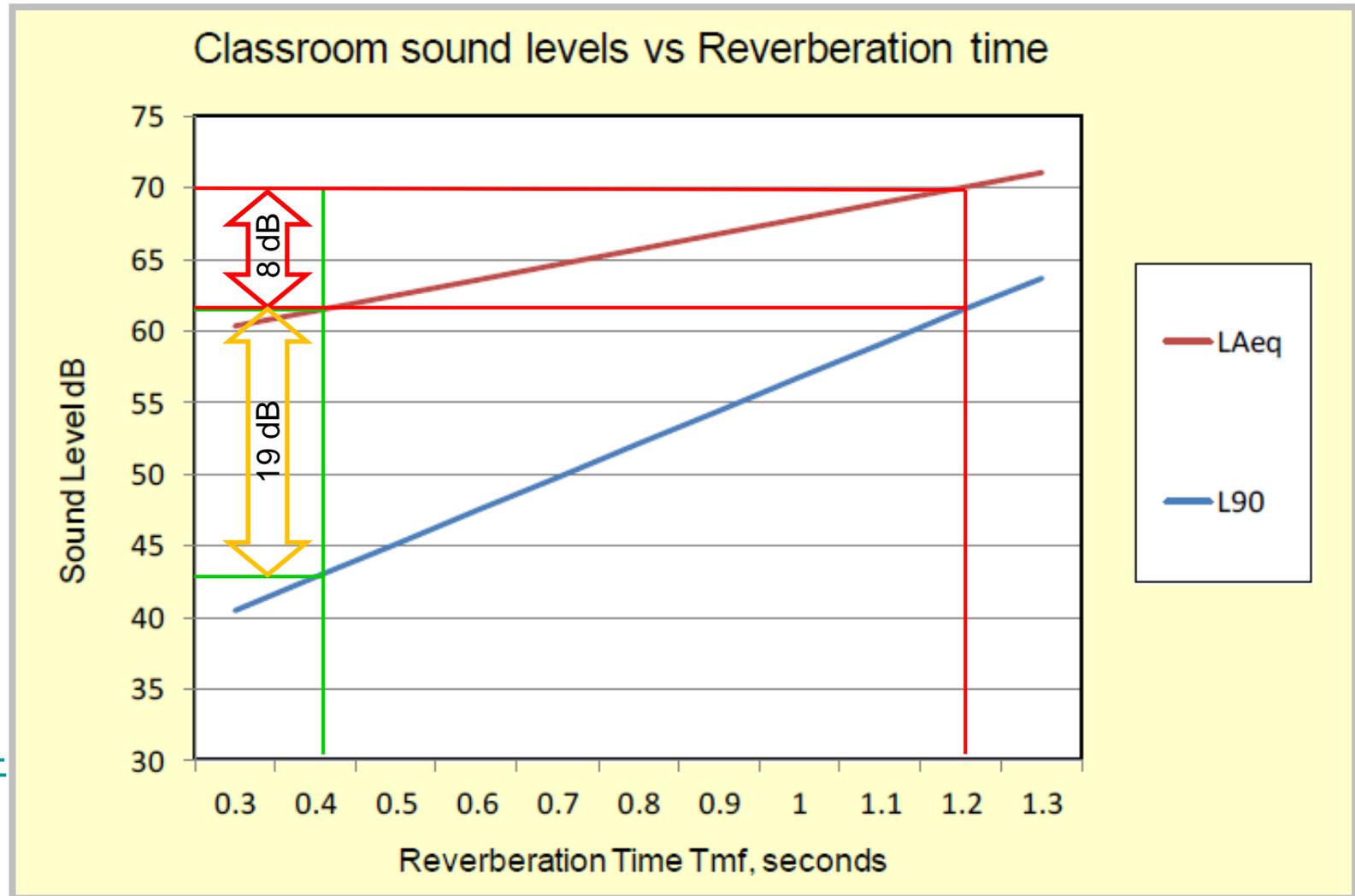


© Essex-Studie 2012

Lärminderung durch Schallabsorption



Lärminderung durch Schallabsorption



© [Essex-Studie 2012](#)

Lärminderung durch Schallabsorption

- Durch die Schallabsorption verringert sich der **Nutzsignalpegel**. Bei einer Drittelung der Nachhallzeit müsste der Pegel (physikalisch) um 5 dB abnehmen.
 - → Wenn er hier um 8 dB leiser ist, dann haben alle in dem gedämpften Raum im Mittel um 3 dB leiser gesprochen.
- Durch die Schallabsorption verringert sich auch der **Störgeräuschpegel**. Bei einer Drittelung der Nachhallzeit müsste er (physikalisch) ebenfalls um 5 dB abnehmen.
 - → Der „**Lombardeffekt**“ bewirkt, dass die „Störer“ sich im gedämpften Raum selbst auch leiser verhalten und dass der Störgeräuschpegel dadurch überproportional abnimmt. Damit steigen der Signal-Rausch-Abstand SNR von 8 dB auf 19 dB und dadurch auch der Sprachübertragungsindex STI.

Bautechnische Umsetzungen: Schallabsorption

Grundlegende „Formel“ ist die „Sabinesche Nachhall-Gleichung“:

$$T = 0,163 \times V / A$$

T: Nachhallzeit

V: Raum-Volumen

A: Äquivalente Schall-Absorptionsfläche

Für den jeweiligen Raum ist nicht nur der Zahlenwert 0,163 konstant, sondern auch das vorhandene Raum-Volumen V.

Man kann also auch schreiben:

$T \sim 1 / A$ oder T ist umgekehrt proportional zu A

Je größer die Absorptionsfläche, desto kürzer die Nachhallzeit.

Je kleiner die Absorptionsfläche, desto länger die Nachhallzeit.

Bautechnische Umsetzungen: Schallabsorption



Bautechnische Umsetzungen: Schallabsorption

Für eine kurze Nachhallzeit benötigt man große und frei zugängliche Schallabsorptionsflächen.

Nur derjenige Schall kann absorbiert werden,
der auch auf eine Schallabsorptionsfläche trifft!

Die größte freie Fläche im Raum ist meistens die Decke.

Sie ist außerhalb der Handreichweite und dadurch gut gegen Beschädigungen geschützt.

Aber: Nur die (große) Decke zu bekleiden, reicht nicht!

Der Nachhall im Raum ist nichts anderes, als die Überlagerung der Echos in den drei Raumdimensionen Länge / Breite / Höhe.

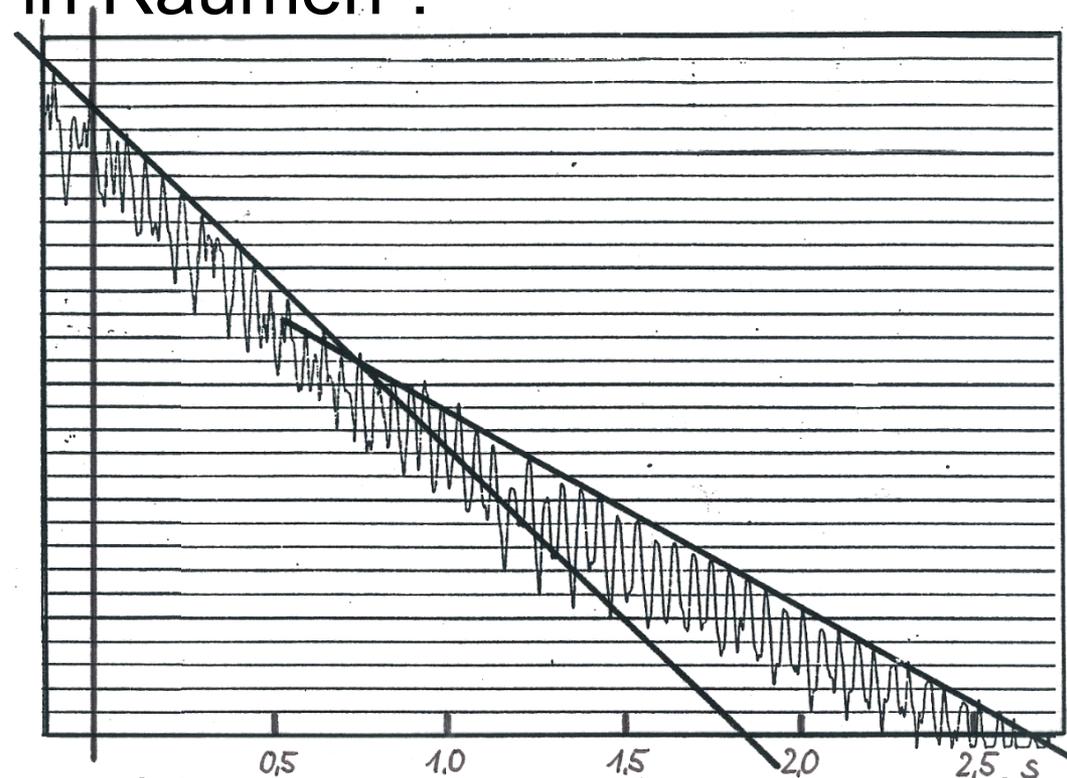
Wenn nur die Decke absorbiert,
dann verbleiben noch die horizontalen Schallreflexionen.

Raumakustik

Aller guten Dinge sind drei:

Die Anforderungen ergeben sich aus
DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“:

1. kurze Nachhallzeit
2. Freiheit von
(Mehrfach)-Echos



3. geringe Stör-Geräusche (Publikum, techn. Anlagen)

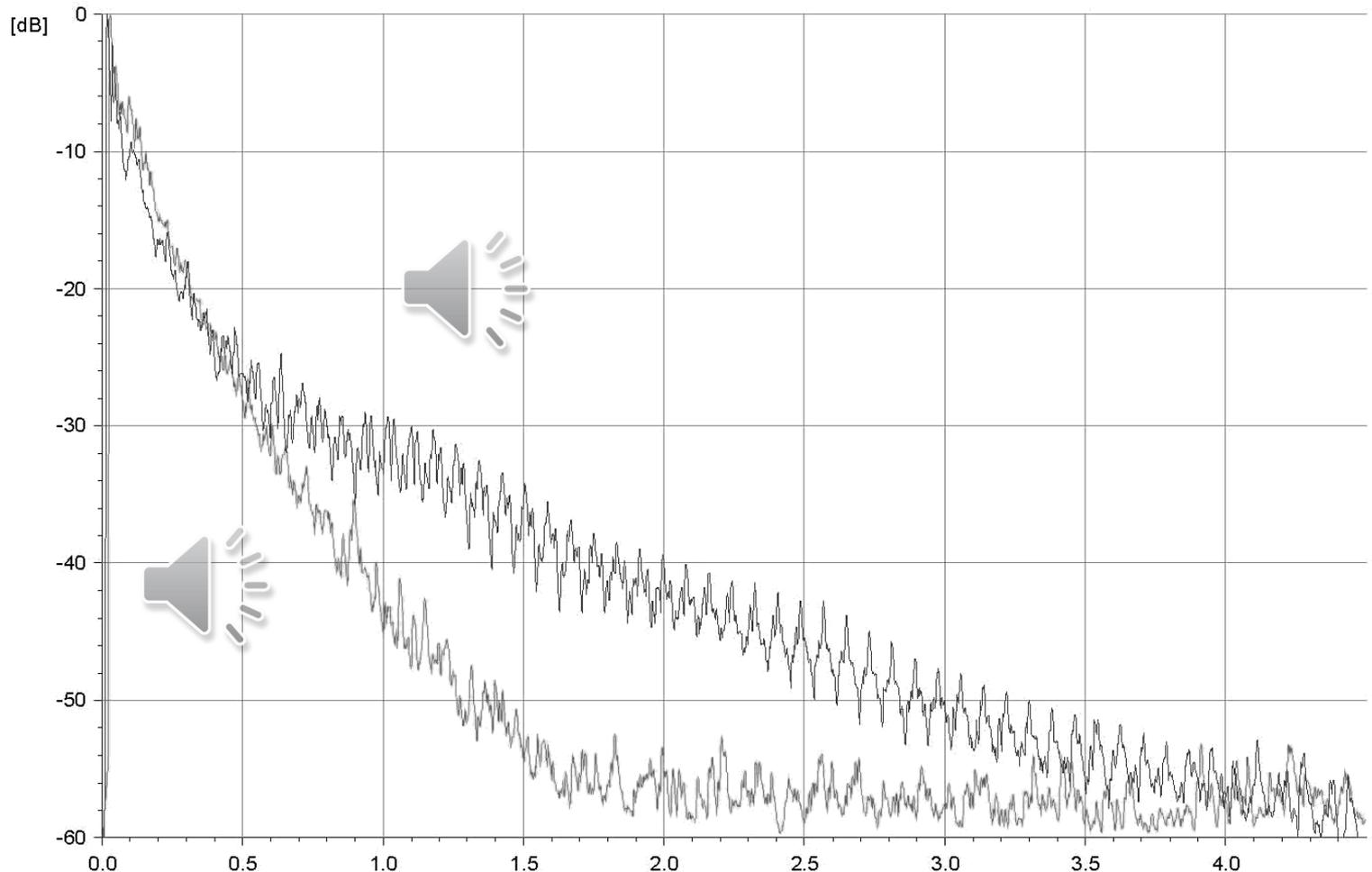
Bautechnische Umsetzungen: Flatterechos

Bauleiter lässt Luftballon platzen:



Bautechnische Umsetzungen: Flutterechos

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



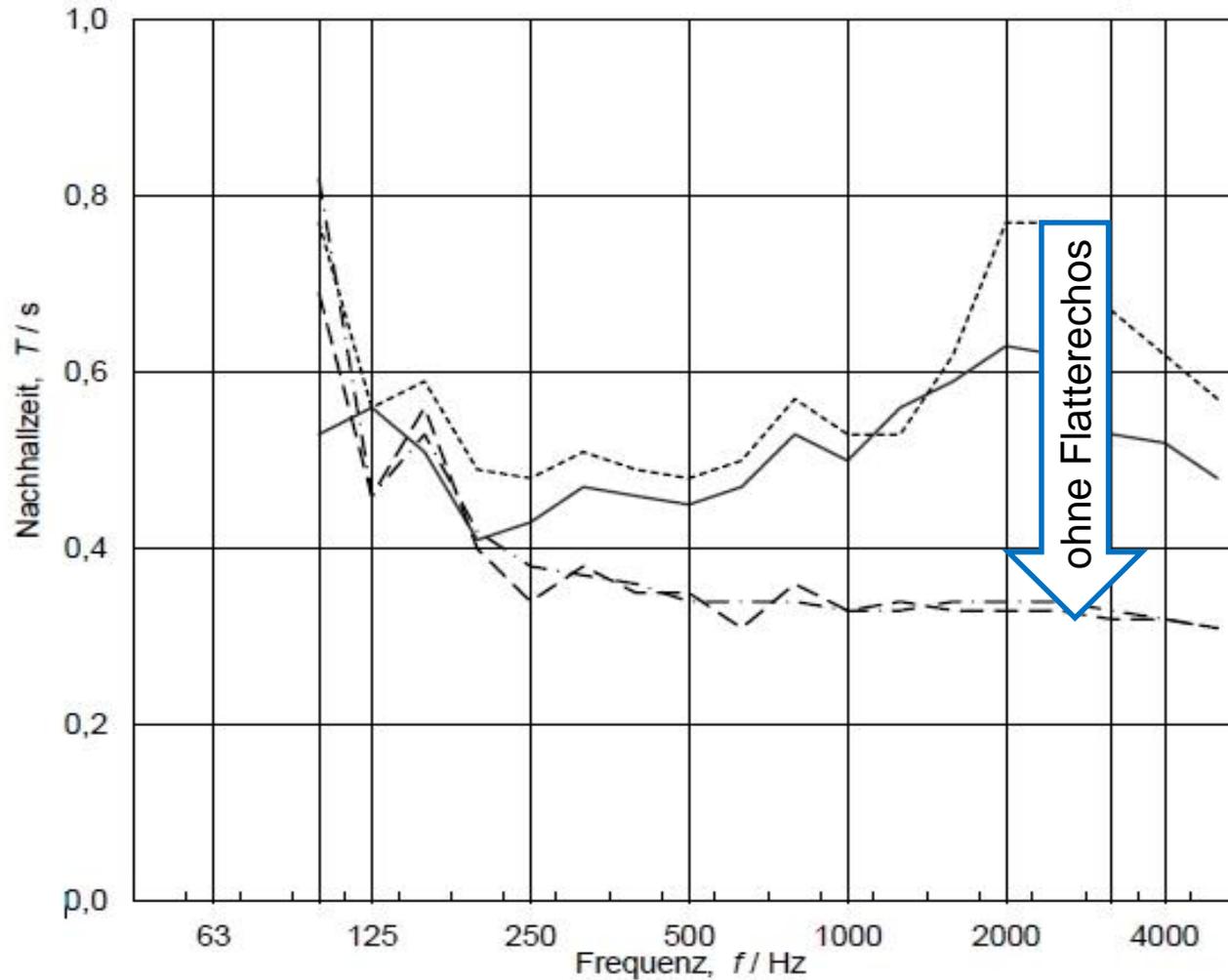
© TuR
König/Ruhe
2007

Bautechnische Umsetzungen: Flutterechos

Optisches Flutterecho:

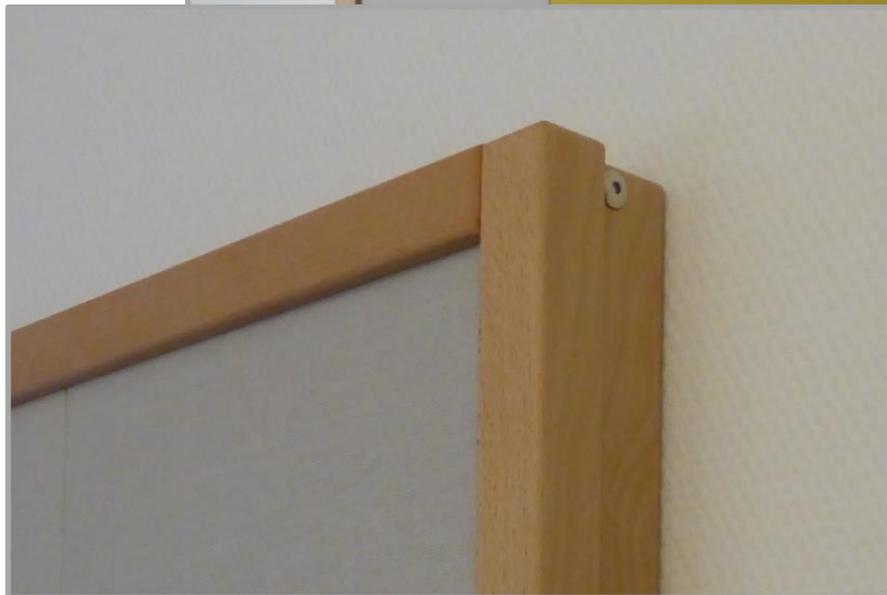


Bautechnische Umsetzungen: Flatterechos





Wandpaneel mit $\alpha = 2,0$



Bautechnische Umsetzungen: Schallabsorption

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

medizinisch-physikalisch- biologischer Selbstversuch!

Pressen Sie den Mund fest auf einen Ärmel und pusten kräftig hinein → es wird warm.

Pusten Sie kräftig auf den Handrücken.
→ es bleibt kalt.

Bautechnische Umsetzungen: Schallabsorption

Für eine kurze Nachhallzeit benötigt man also große und frei zugängliche Schallabsorptionsflächen in allen drei Dimensionen.

Letzte Gleichung für heute:

$$A = S \times \alpha$$

A: äquivalente Schall-Absorptionsfläche

S: mit dem Absorber belegte Fläche

α : Schallabsorptionsgrad

Material	Schallabsorptionsgrad
Beton, Glas, Keramik, Parkett, Lino	0,03 bis 0,07
Teppiche	0,10 bis 0,15
dicke Vorhänge	bis 0,35
schallabsorbierende Decken	0,55 bis 0,95

Raumakustik

Aller guten Dinge sind drei:

Die Anforderungen ergeben sich aus
DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“:

1. kurze Nachhallzeit

2. Freiheit von
(Mehrfach)-Echos

3. geringe Stör-Geräusche (Publikum, techn. Anlagen)

Einzuhaltende Schallpegel der technischen Anlagen
(Beamer, Lüftung) sind in DIN 18041 beschrieben.

Sie sollen 35 dB(A) am nächsten Zuhörerplatz nicht
überschreiten.

„Kochrezept“ für inklusive Raumakustik

Aller guten Dinge sind drei:

1. Möglichst zuerst die ganze **Decke** bekleiden.
Sie ist die größte Fläche im Raum
und liegt außerhalb der Handreichweite.
Man kann also kostengünstig ein weiches,
gut absorbierendes Material verwenden.
2. Die zweite Raumdimension auch behandeln: schall-
absorbierende Wandpaneele an der „**Rückwand**“.
3. Ein **Teppichboden** absorbiert viel weniger,
lässt aber Störgeräusche gar nicht erst entstehen.

Hören Sehen Planen Bauen
Fachreferat Barrierefrei am DSB



reFeRATgeber 6

HÖRGESCHÄDIGTE KINDER IN REGELSCHULEN



Klassenraum-Akustik
Klassenraum-Gestaltung
Klassenraum-Organisation

Diese Broschüre wurde gedruckt
mit finanzieller Unterstützung der Firmen:

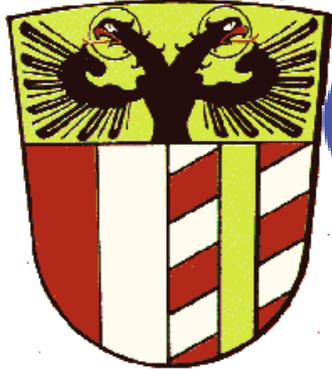


2. Auflage 2016-08
1. Auflage 2016-02

Weitergabe / Nachdruck gern gestattet

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

Förderzentrum Augsburg – Schwerpunkt Hören



hören
sprechen
gebärden



Regens Wagner



Michael Pasemann, Förderschulrektor:

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 €**

Davon könnte man pro Jahr 5 bis 6 Klassenräume sanieren.

Was heißt AVWS?

Auditives Verarbeitungs- und Wahrnehmungs-Syndrom

Meine Frage: Müsste es nicht eigentlich AWVS heißen, erst wahrnehmen und dann verarbeiten?

Pasemann: Nein, denn der Vorgang verläuft anders:
erst hören,
dann verarbeiten,
dann wahr-nehmen.

Deshalb benötigen Diktate schwerhörender Kinder etwa die dreifache Zeit: hören und dabei absehen, verarbeiten (verstehen), dann erst aufschreiben.

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

-Paneele.

Ernst-Ludwig-Schule - Bad Nauheim



2023-11-22

Hörgerechte Raumakustik

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 im Mittel mit 63,5 Jahren vorzeitig pensioniert, das sind ca. 42 Monate Frührente.

**Eine akustische Klassenraumsanierung
kostet etwa die Frührente von 3 Monaten.**

Baut endlich leise Klassen!

Oldenburg-Wechloy, Klassenraumsanierung



Hamburg, Elbschule, Klassenraum



Barrierefreiheit und „das liebe Geld“

Jeder fragt „Was **kostet** diese Barrierefreiheit?“

Neue Klasseraumdecke	ca. 4.000,- €
Rückwandpaneel	ca. 1.500,- €
Ggfs. Teppichboden	ca. 2.500,- €

Kaum einer fragt „Was **bringt/spart** diese Barrierefreiheit?“

Fahrtkosten je Fahrschüler und Jahr	bis 30.000,- €
Frührente lärmschwerhöriger Lehrer	im Mittel 42 Monate
Besserer Lernerfolg / bessere Berufschancen, mehr Verdienst / mehr Steuereinnahmen	
Geringerer Lärm / weniger Schwerhörigkeit, Tinnitus, Burnout	
Geringere Ausfallzeiten / Krankenkosten / Lehrermangel	

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.

Merke:

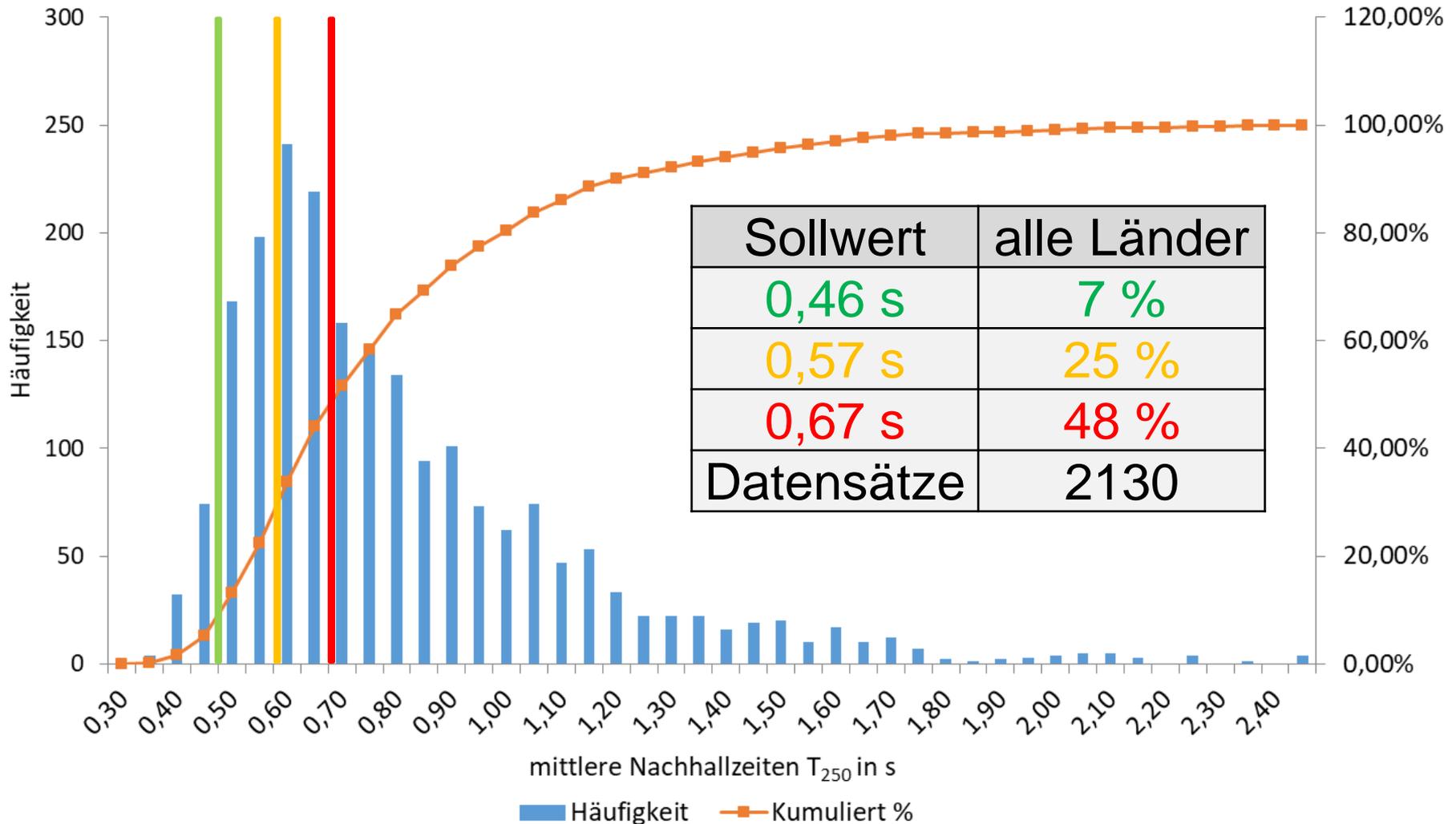
Decke ganz
Wandpaneel
Teppichboden

Zugaben: Aller guten Dinge sind drei

1. Raumakustische Situation in deutschen Klassenräumen veröffentlicht in der [HörPäd 2023 Heft 2](#).
2. Störgeräusche von Raumluft-Filteranlagen August 2021 bis März 2022, veröffentlicht in fünf Zeitschriften, u.a. HörPäd 2022 Heft 1 und [Akustik Journal 2022 Heft 2](#).
3. Klassenraum-Beschallung mit „SchallAcker“-Anlagen Sommer 2019 bis Sommer 2021, Zeitschriften stäuben sich gegen [Veröffentlichung](#).

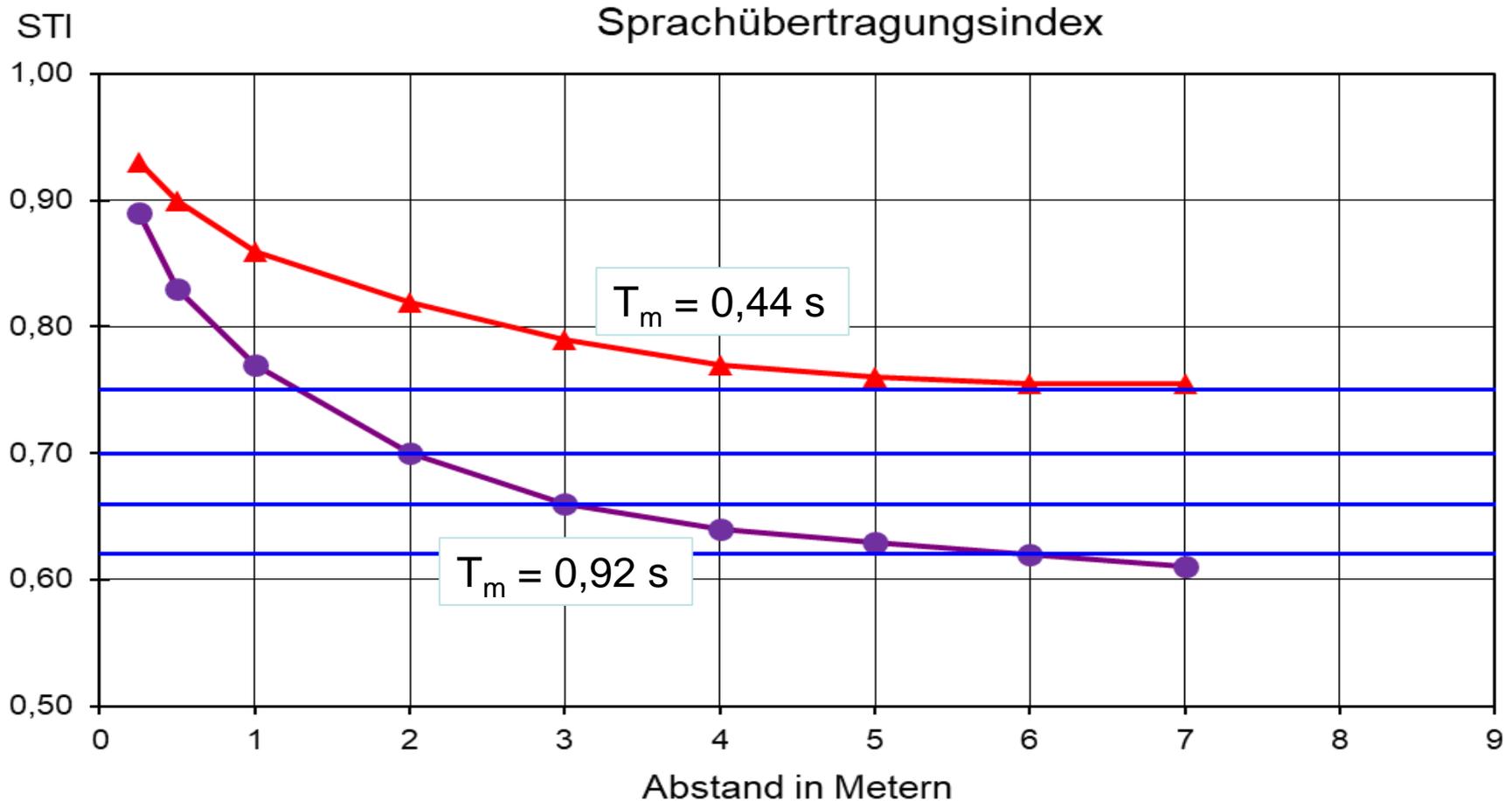
Diese Zugaben lasse ich heute entfallen.

Häufigkeitsverteilung und Verteilungsfunktion

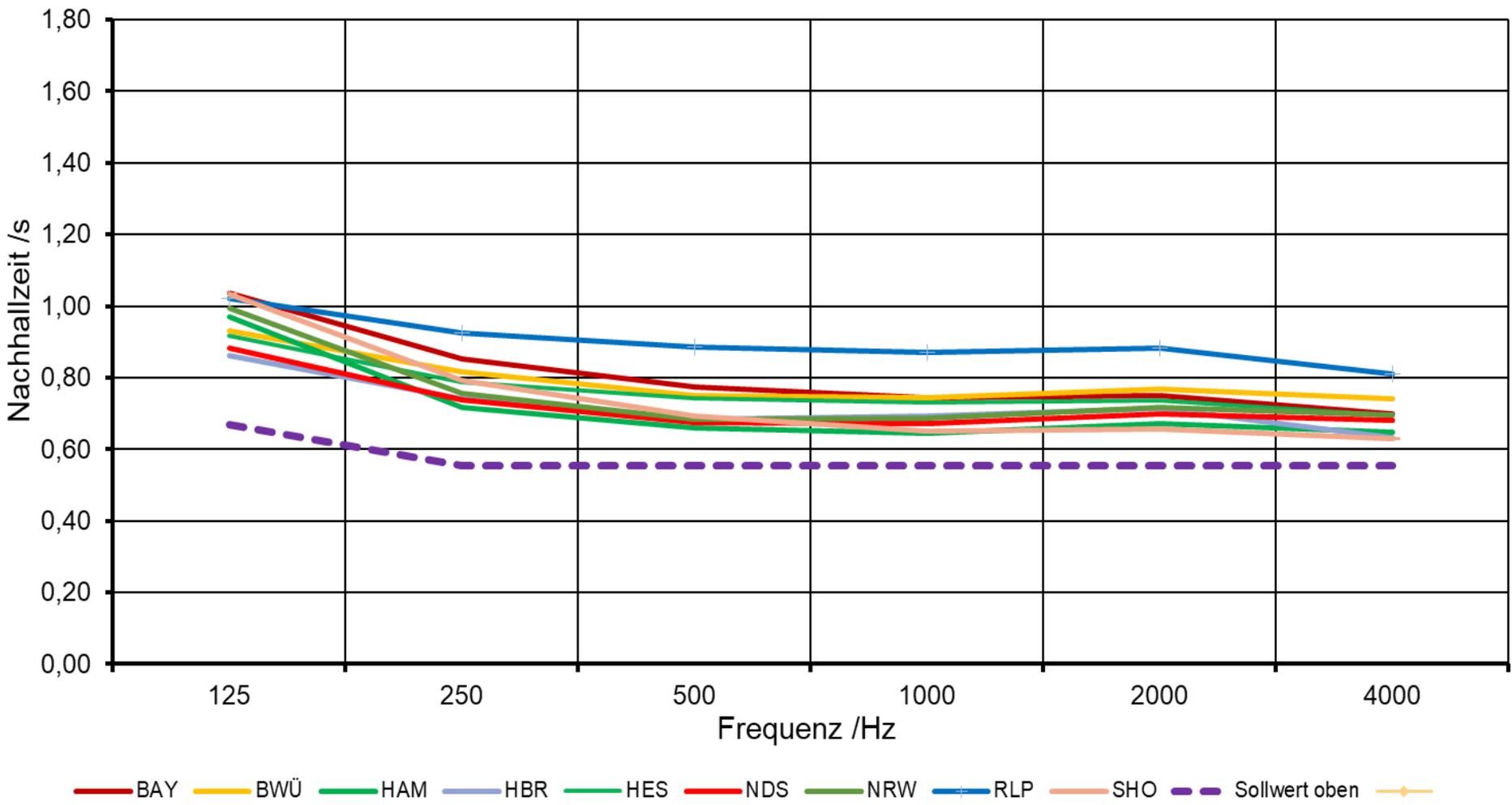


Sprachverständlichkeit wird mit Abstand geringer

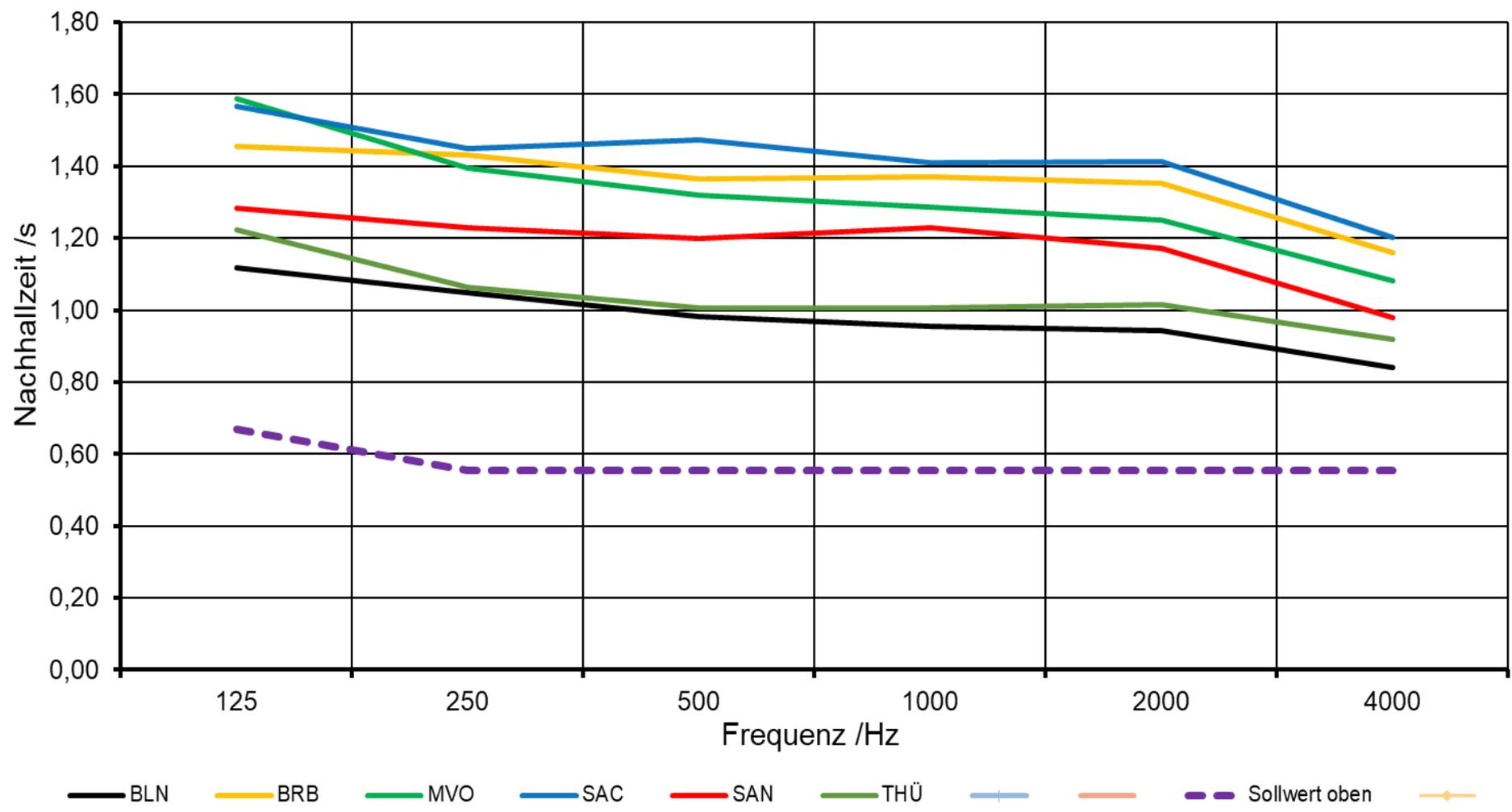
Der STI ist abhängig vom Verhältnis Direktschall / Diffusschall



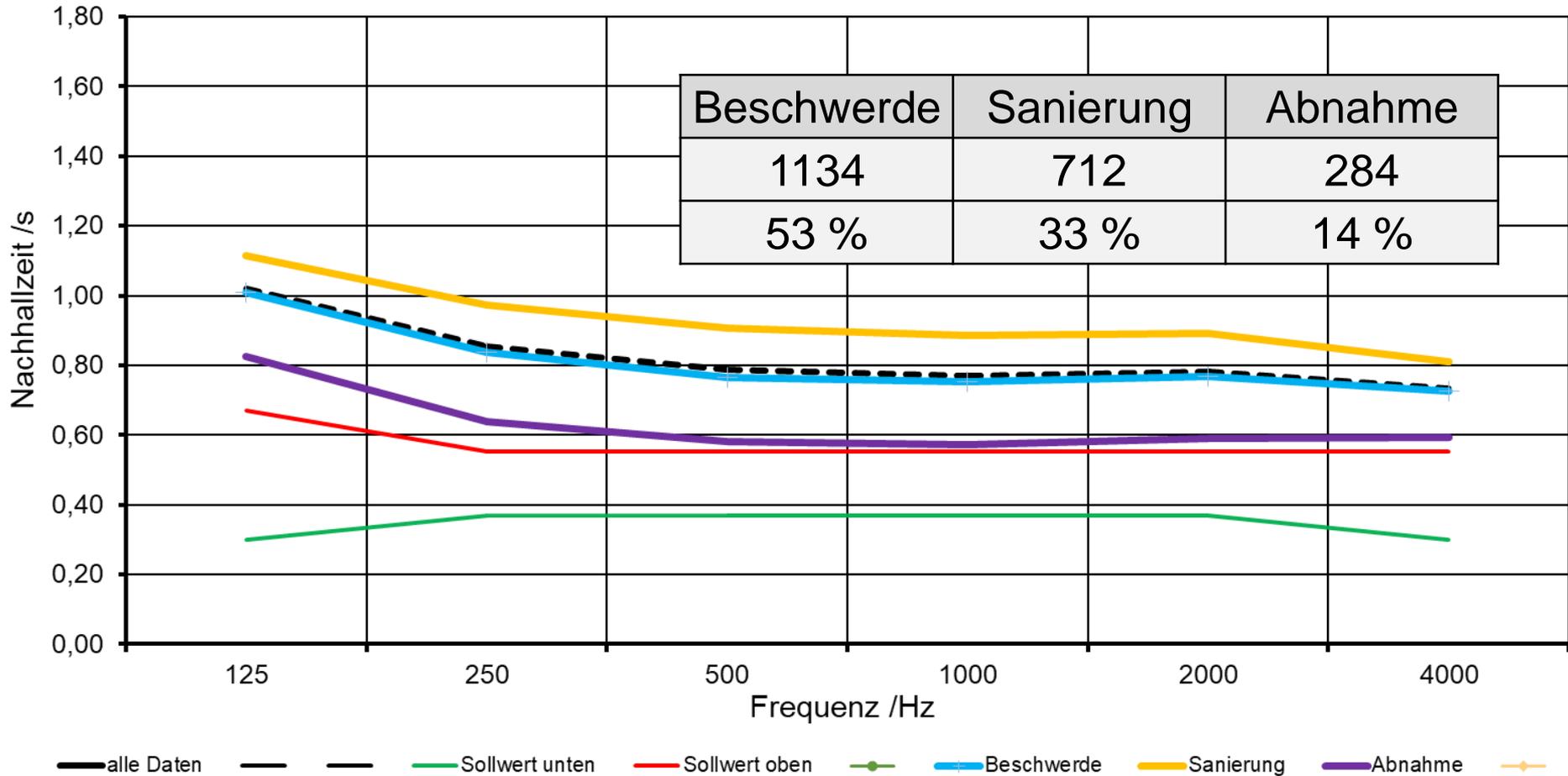
Spektrale Mittelwerte alte Bundesländer



Spektrale Mittelwerte neue Bundesländer



Spektrale Mittelwerte Beschw.-Sanier.-Abnahme



Wie geht man zur Verbesserung vor?

1. 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
2. zweite Raumdimension auch behandeln: schallabsorbierende **Wand**paneele
3. ein **Teppich** schluckt viel weniger, vermeidet aber viele Störgeräusche

→ „Raumakustischer Dreiklang“

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?

Anforderungen an das Bekleidungs-Material:



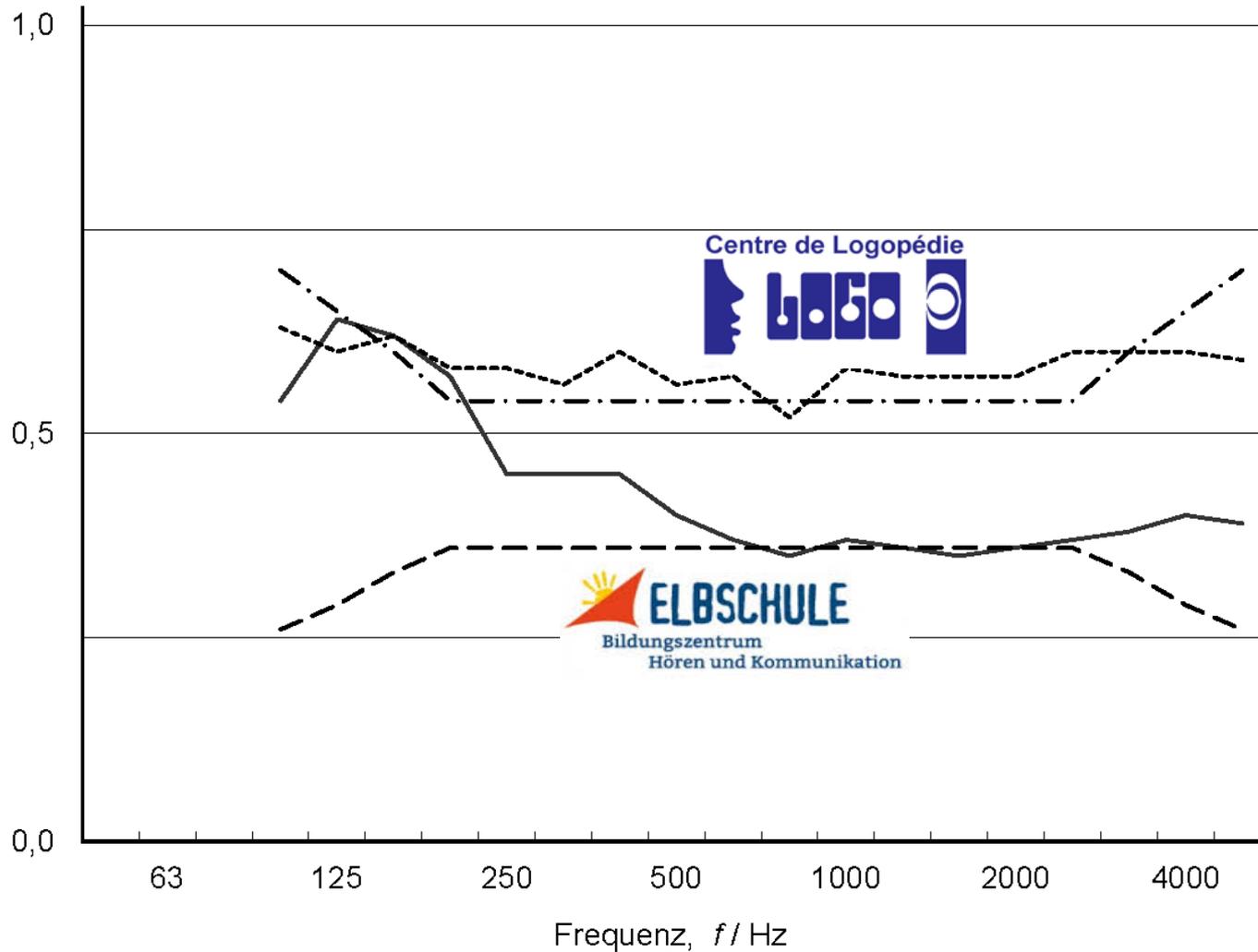
Hamburg, Elbschule, Klassenraum



Luxemburg, Centre de Logopédie, Klassenraum



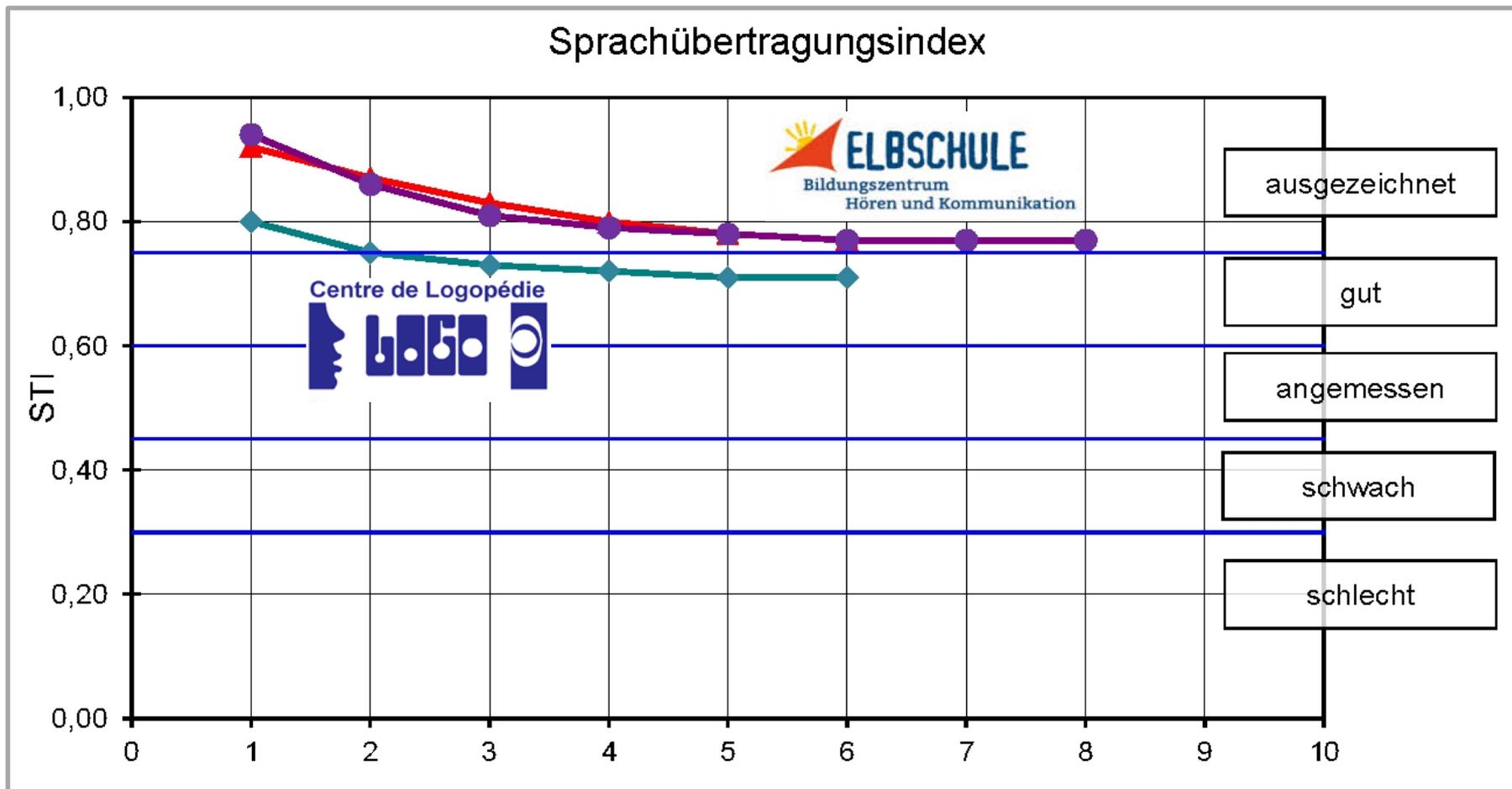
Nachhallzeit-Vergleich Luxemburg - Hamburg

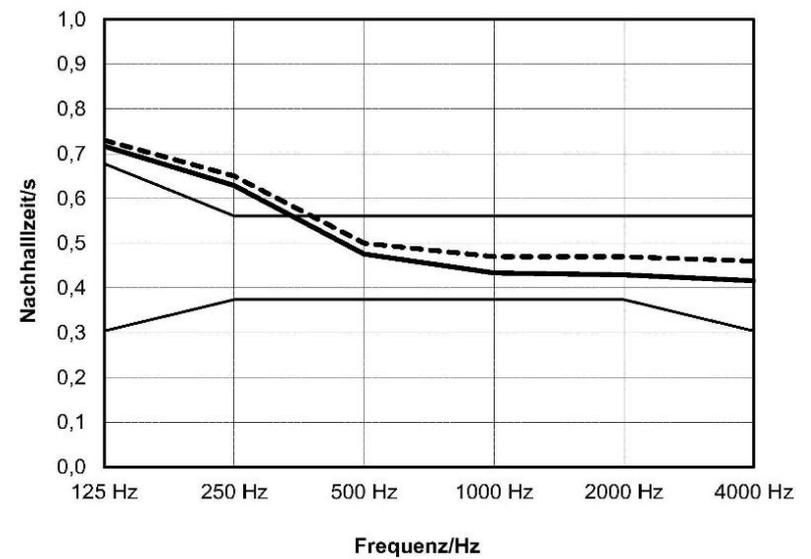
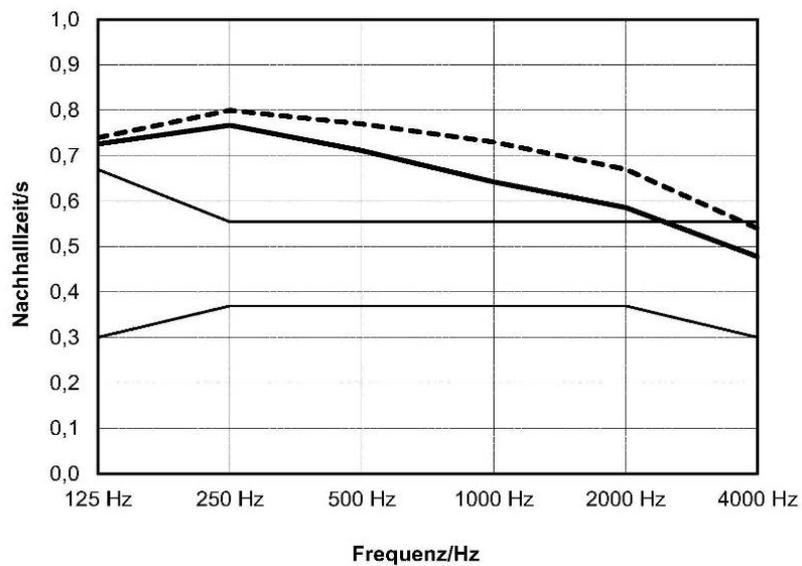


Hörgerechte Raumakustik

STI-Vergleich

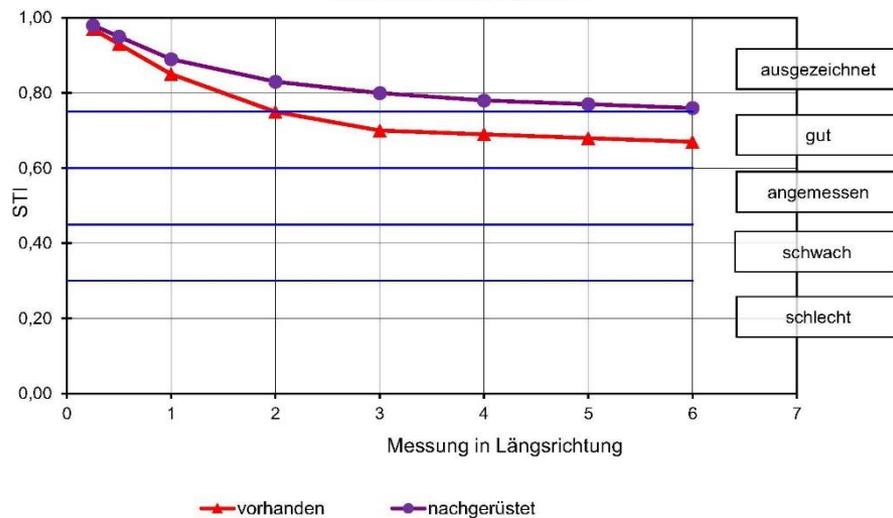
Luxemburg - Hamburg



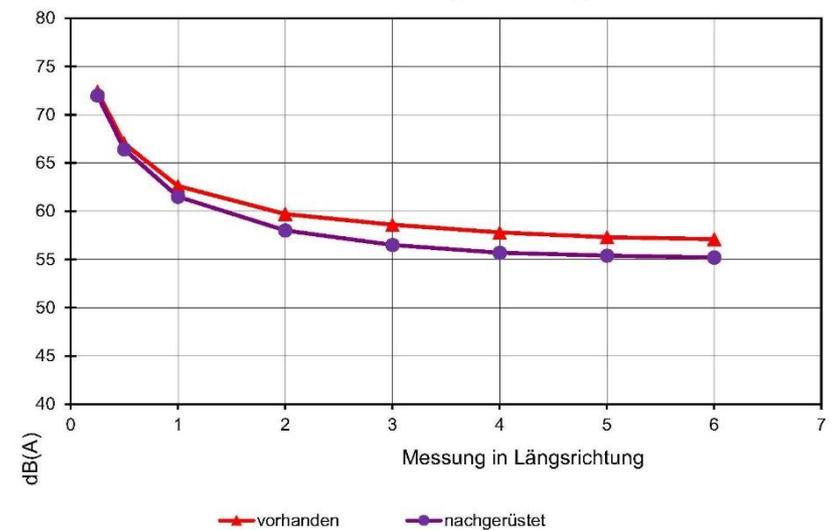




Sprachübertragungsindex

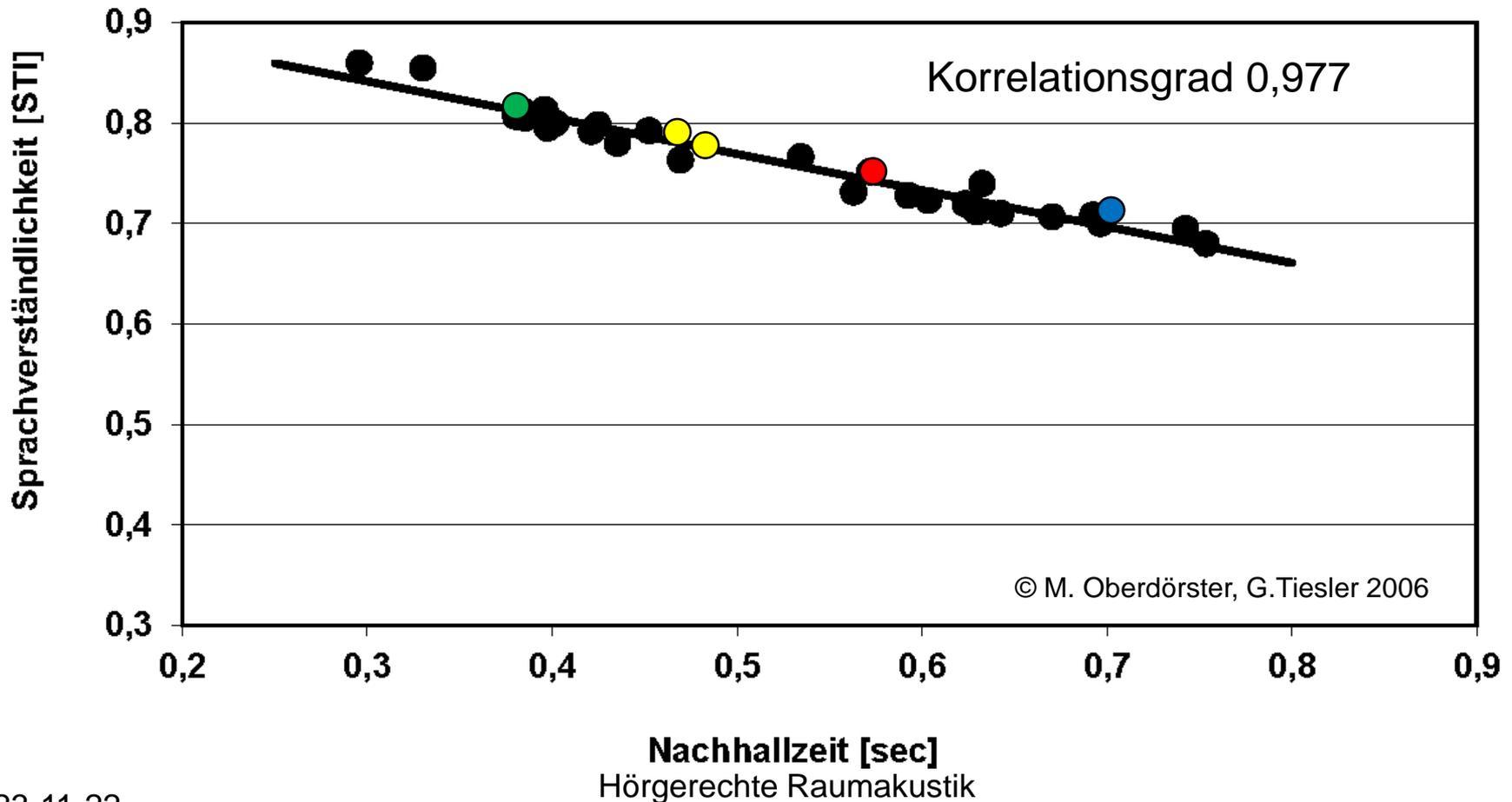


Schallpegelverteilung



DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen

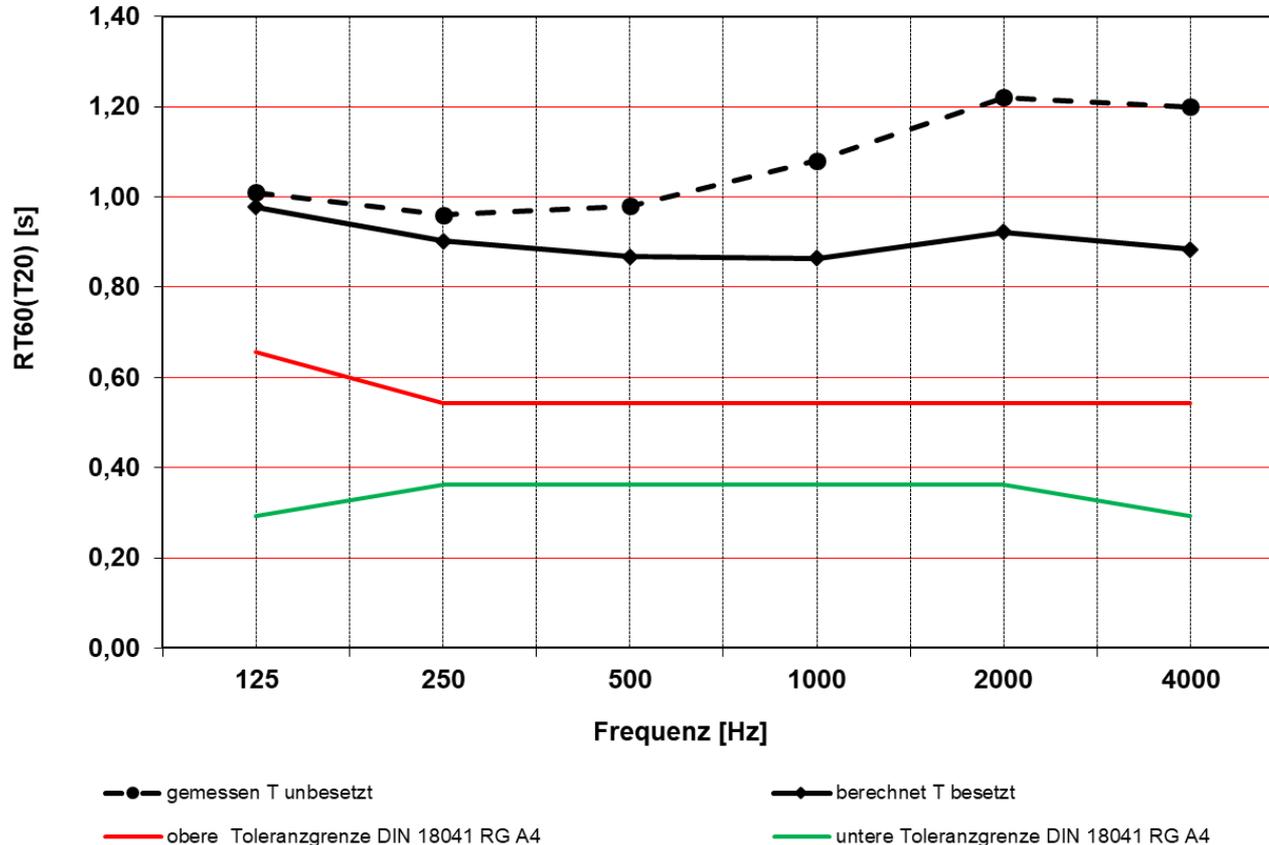
*Von Personen mit Hörschäden wird die raumakustische Situation für **Sprachkommunikation** umso **günstiger** empfunden, je **kürzer** die **Nachhallzeit** ist.*



Ort:	Musterstadt	Gebäude:	ABC-Schule	Raum-Nr.:	123						
Auswertung für Unterricht / Kommunikation inklusiv, Raumgruppe A4											
Grundfläche	63 m ²	mittl. Höhe	3,00 m								
Volumen V	189 m ³	Frequenz		125	250	500	1000	2000	4000	Hz	
Nachhallzeiten	gemessen	$T_{unbesetzt}$		1,01	0,96	0,98	1,08	1,22	1,20	T_{mittel}	s
Absorptionsfläche	vorhanden	$A_{unbesetzt}$		29,9	31,5	30,9	28,0	24,8	25,2		m ²
Schall-Absorptionsfläche	$A = 0,16 * V / T$										
	aus Tabelle A1.2)	Erwachsene		0,15	0,30	0,40	0,45	0,55	0,55		m ² /Pers.
	aus Tabelle A1.5)	Kind VORSCH		0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25		m ² /Pers.
	aus Tabelle A1.6)	Schüler PRIM		0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45		m ² /Pers.
	aus Tabelle A1.7)	Schüler SEKU		0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55		m ² /Pers.
Personen-Anzahl N	zusätzliche Schall-Absorptionsfläche										
	1 Erwachsene	$A_{zus.}$		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6		m ²
	0 Kinder VORSC	$A_{zus.}$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		m ²
	20 Schüler PRIM	$A_{zus.}$		1,0	2,0	4,0	7,0	8,0	9,0		m ²
	0 Schüler SEKU	$A_{zus.}$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		m ²
Absorptionsfläche besetzt	$A_{unbesetzt} + A_{zus.}$			31,1	33,8	35,3	35,5	33,3	34,8		m ²
Nachhallzeiten	berechnet	$T_{besetzt}$		0,97	0,89	0,86	0,85	0,91	0,87		s
	Toleranz	oben		0,66	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54		s
Soll-Nachhallzeit RG A4		$T_{soll(A4)}$		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45		s
	Toleranz	unten		0,29	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29		s

Ort: **Musterstadt** Gebäude: **ABC-Schule** Raum-Nr.: **123**
 Auswertung für Unterricht / Kommunikation inklusiv, Raumgruppe A4

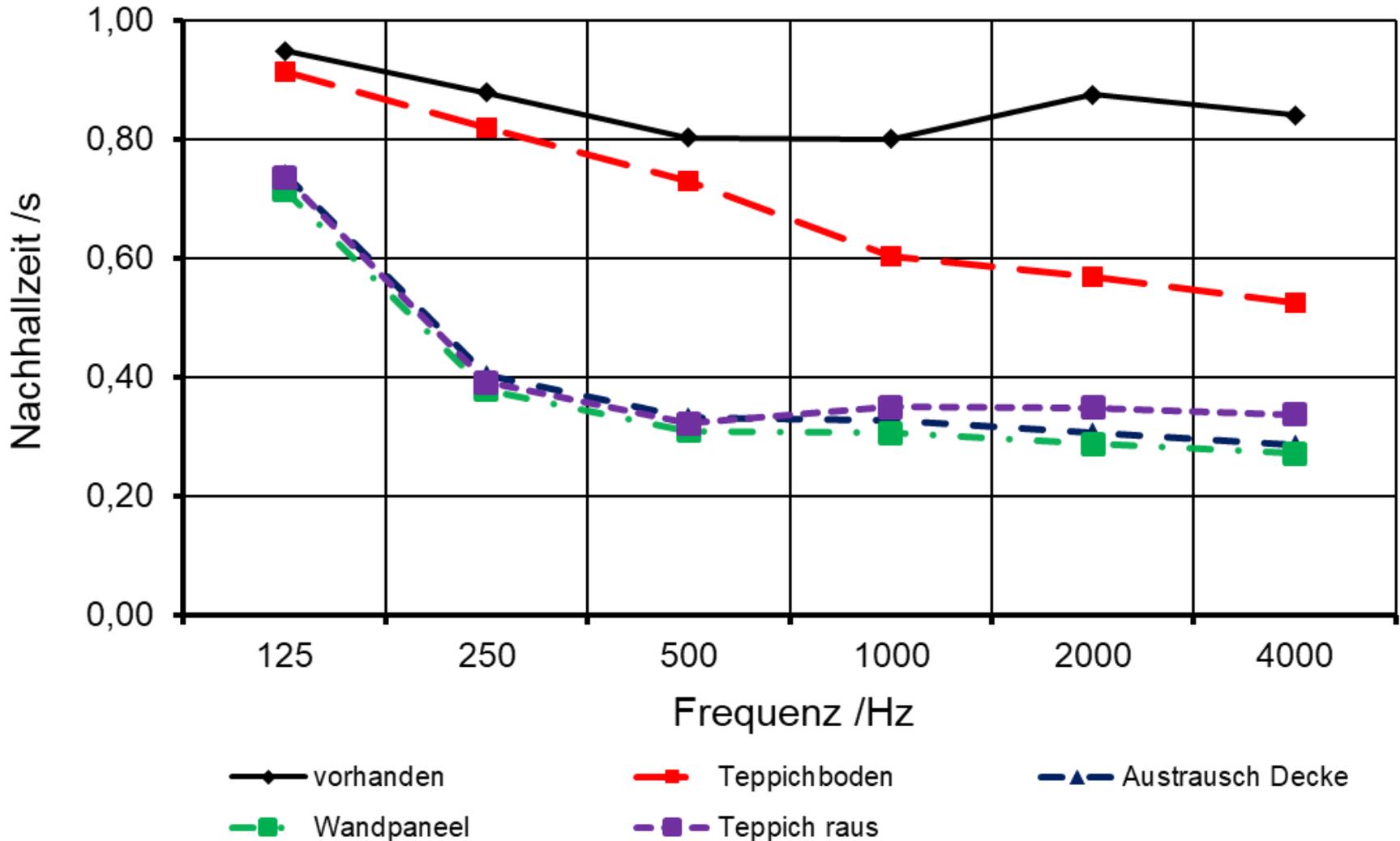
Nachhallzeiten in Oktavbändern



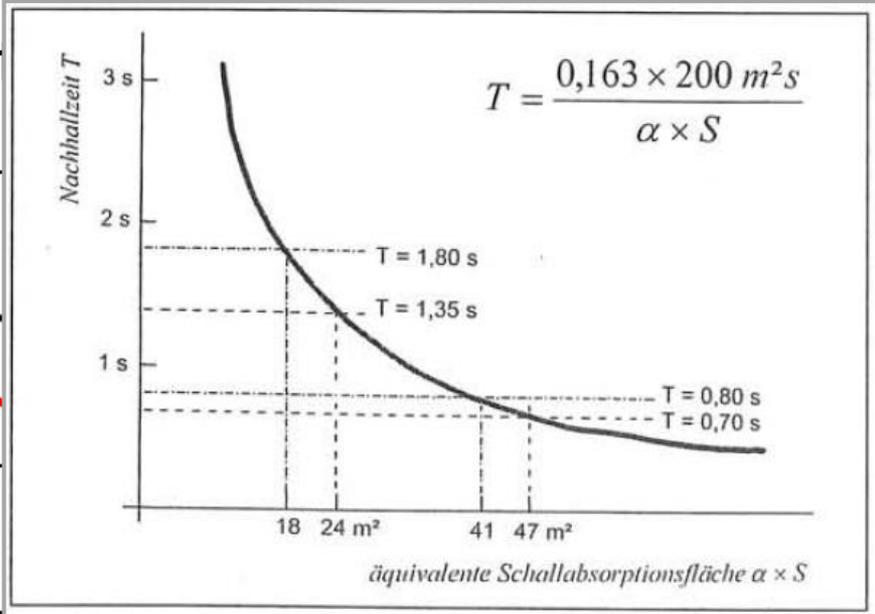
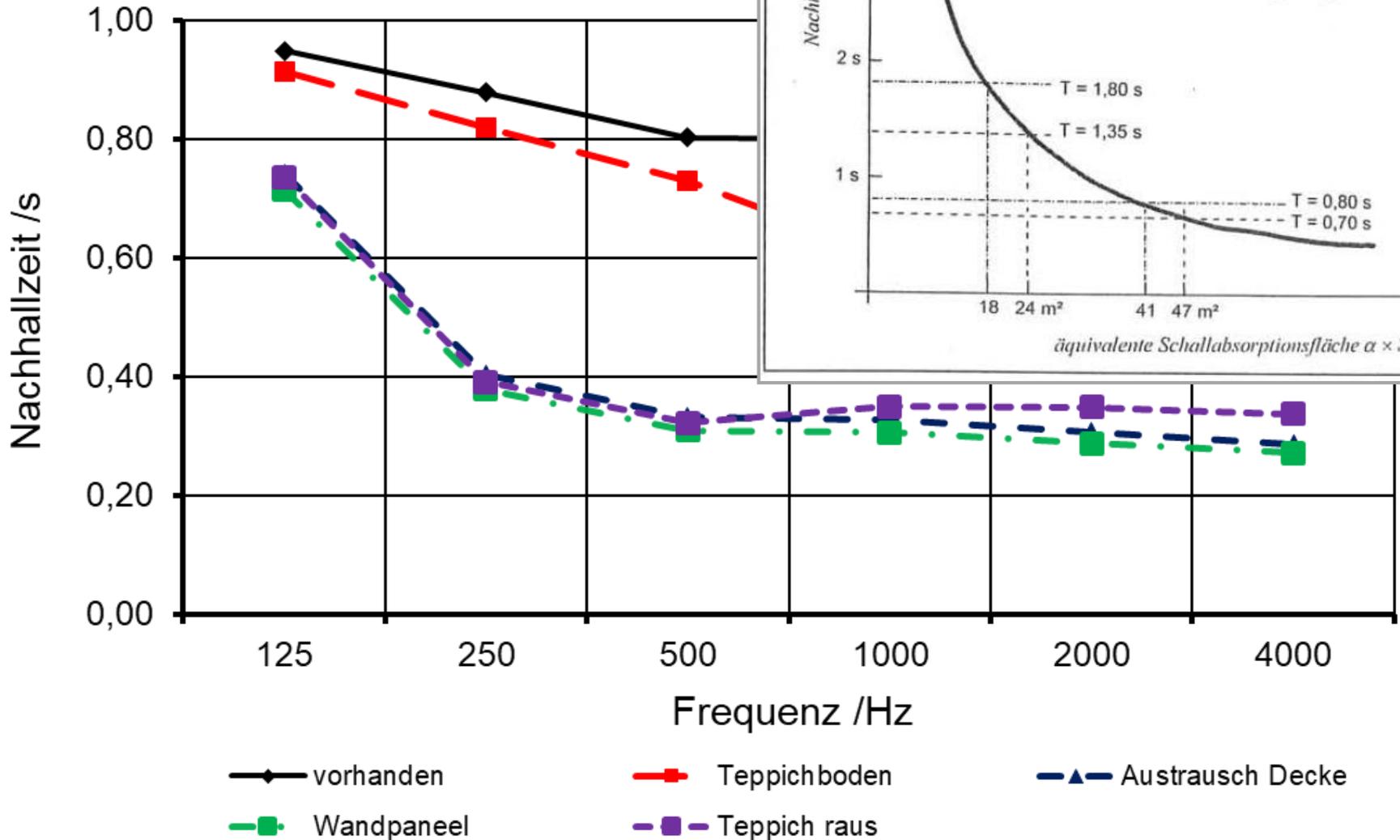
2000	4000	Hz
1,22	1,20	T_{mittel} s
24,8	25,2	m^2
0,55	0,55	$m^2/\text{Pers.}$
0,30	0,25	$m^2/\text{Pers.}$
0,40	0,45	$m^2/\text{Pers.}$
0,50	0,55	$m^2/\text{Pers.}$
0,6	0,6	m^2
0,0	0,0	m^2
8,0	9,0	m^2
0,0	0,0	m^2
33,3	34,8	m^2
0,91	0,87	$0,89$ s

Toleranz	oben	0,66	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	s
Soll-Nachhallzeit RG A4	$T_{\text{sol}}(A4)$	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45 s
Toleranz	unten	0,29	0,36	0,36	0,36	0,36	0,29	s

Vergleich verschiedener Ausstattungen



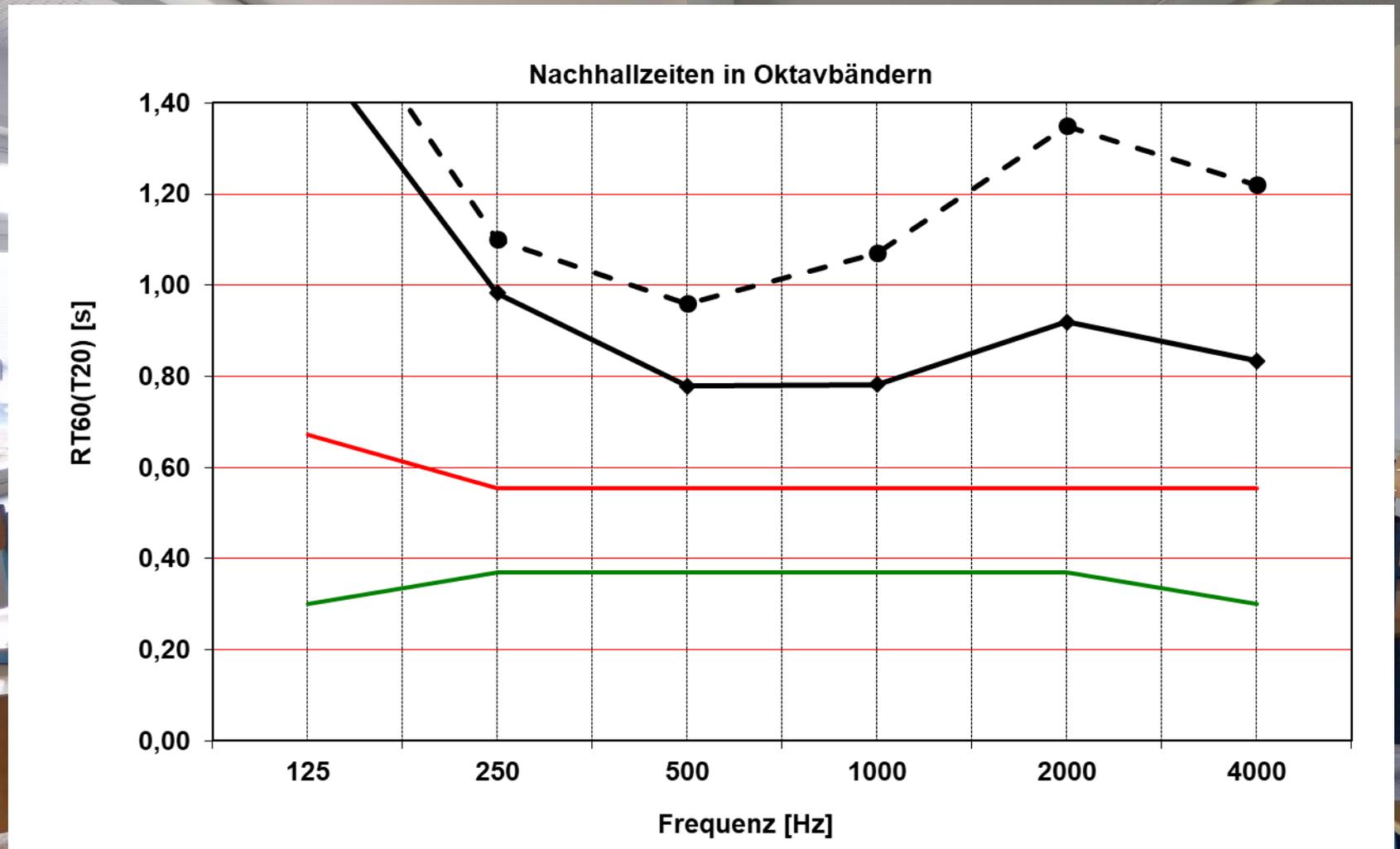
Vergleich verschiedener Ausstattungen



Klassenraum wurde in den Ferien renoviert



Klassenraum wurde in den Ferien renoviert



Klassenraum wurde in den Ferien renoviert



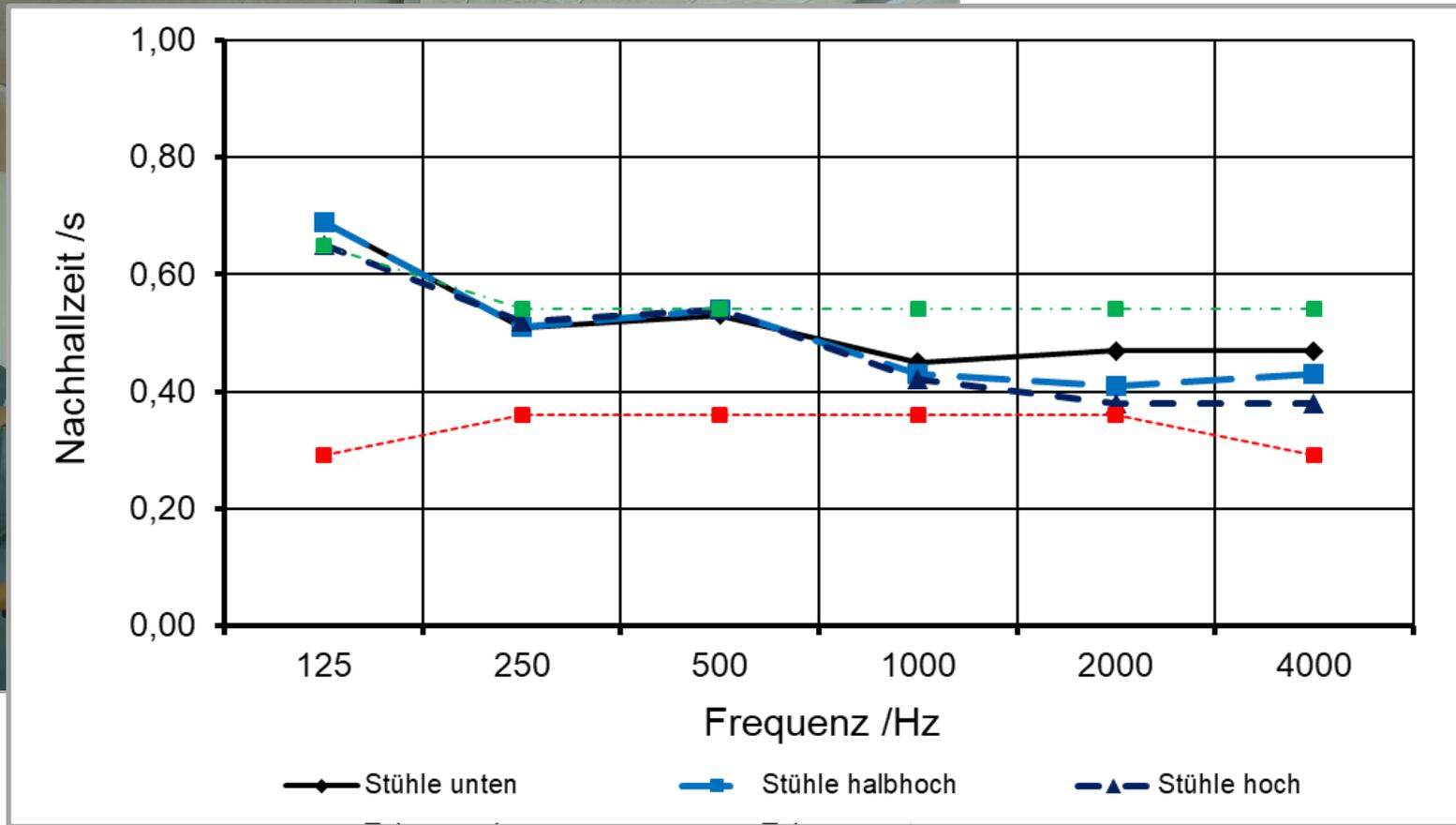
„Nachklingen“ im Muster-Klassenraum

Zur Verbesserung der Diffusität wurden die Stühle „hochgestellt“.



„Nachklingen“ im Muster-Klassenraum

Zur Verbesserung der Diffusität wurden die Stühle „hochgestellt“.



„Nachklingen“ im Muster-Klassenraum

Zur Verbesserung der Diffusität wurden die Stühle „hochgestellt“.



Fertiggestellter Muster-Klassenraum

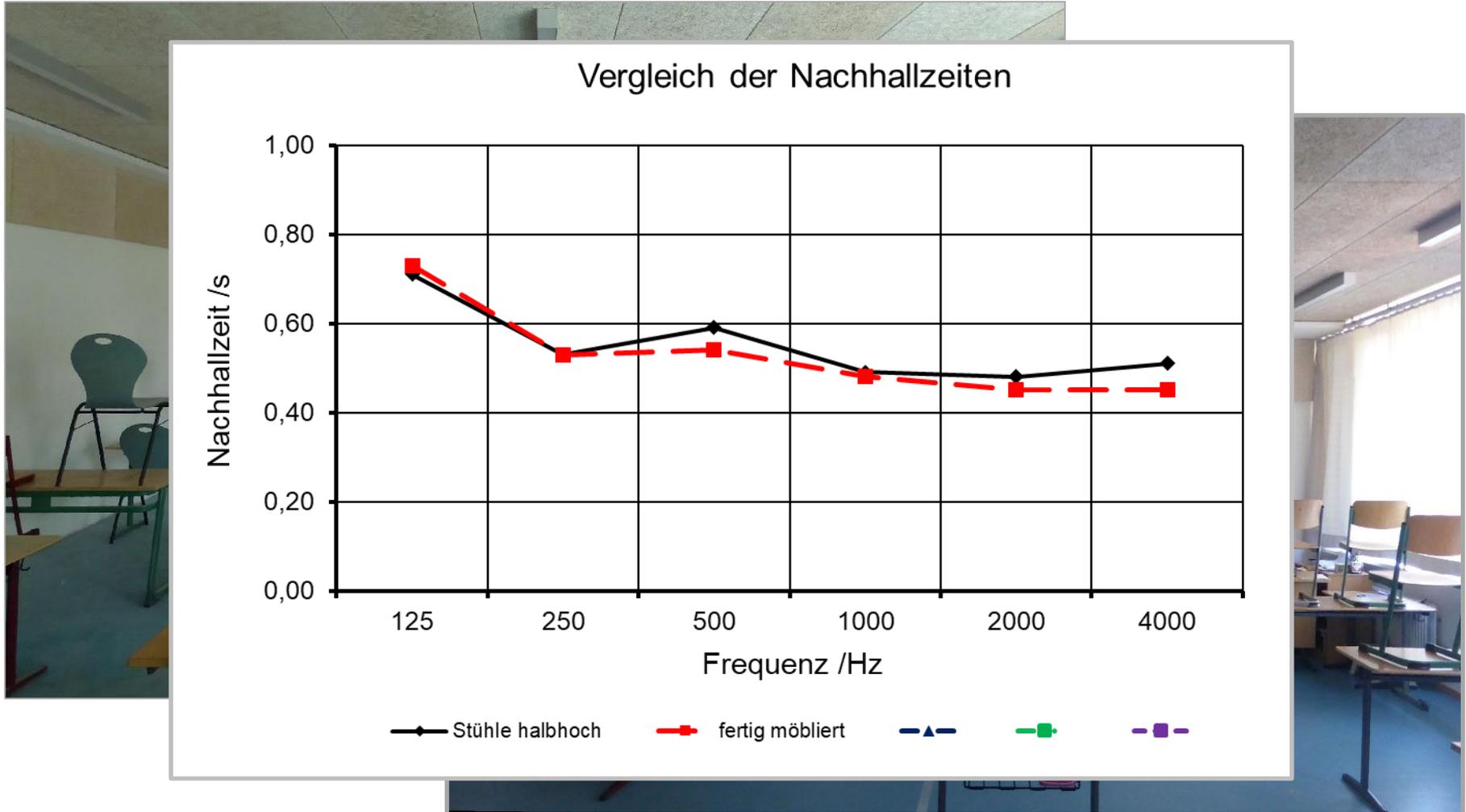
Zur Verbesserung der Diffusität wurden die Stühle „hochgestellt“.



Hörgerechte Raumakustik

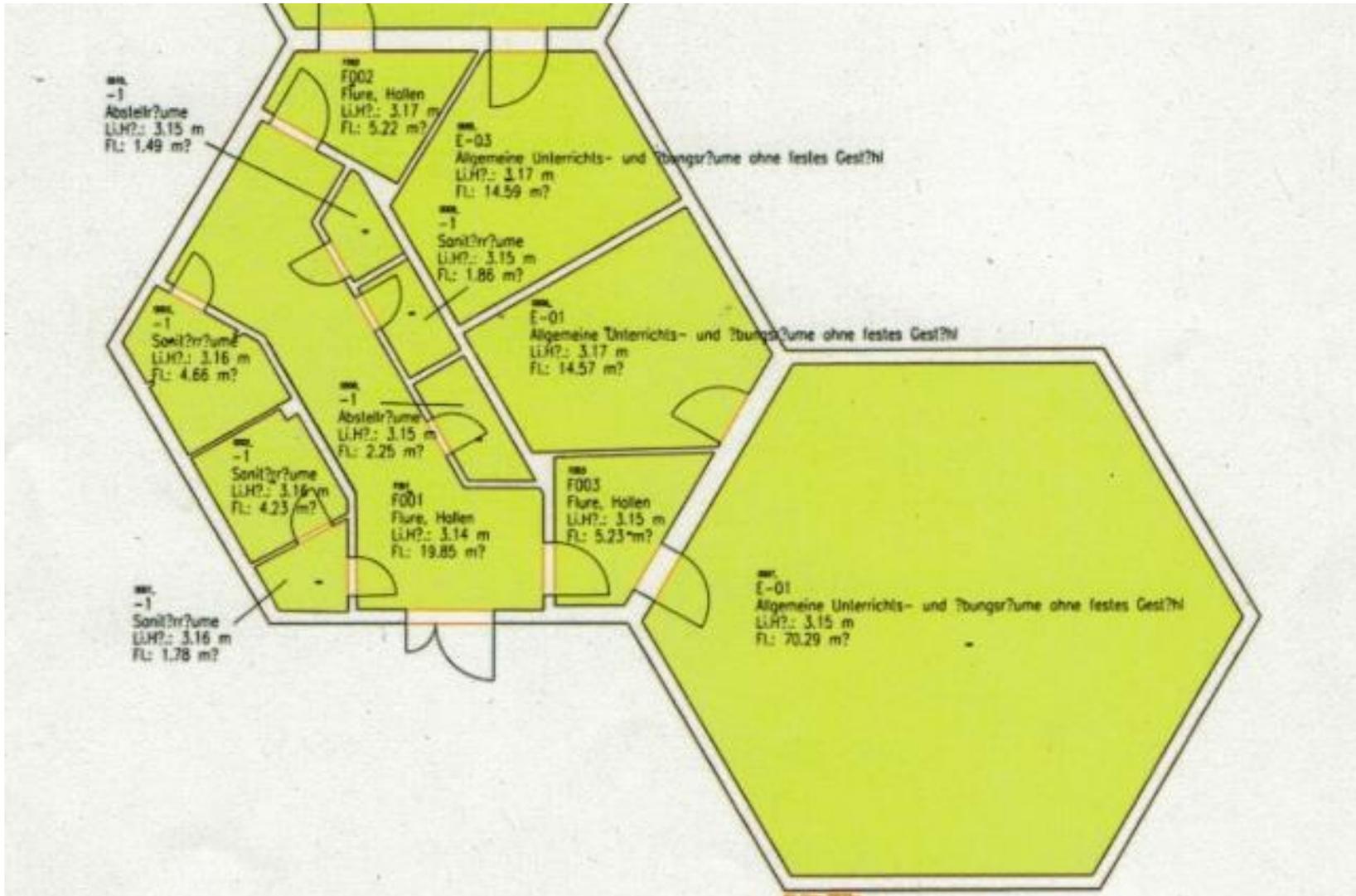
Fertiggestellter Muster-Klassenraum

Zur Verbesserung der Diffusität wurden die Stühle „hochgestellt“.



Hörgerechte Raumakustik

HH-Bergedorf, MER, vorher / nachher



HH-Bergedorf, MER, vorher / nachher



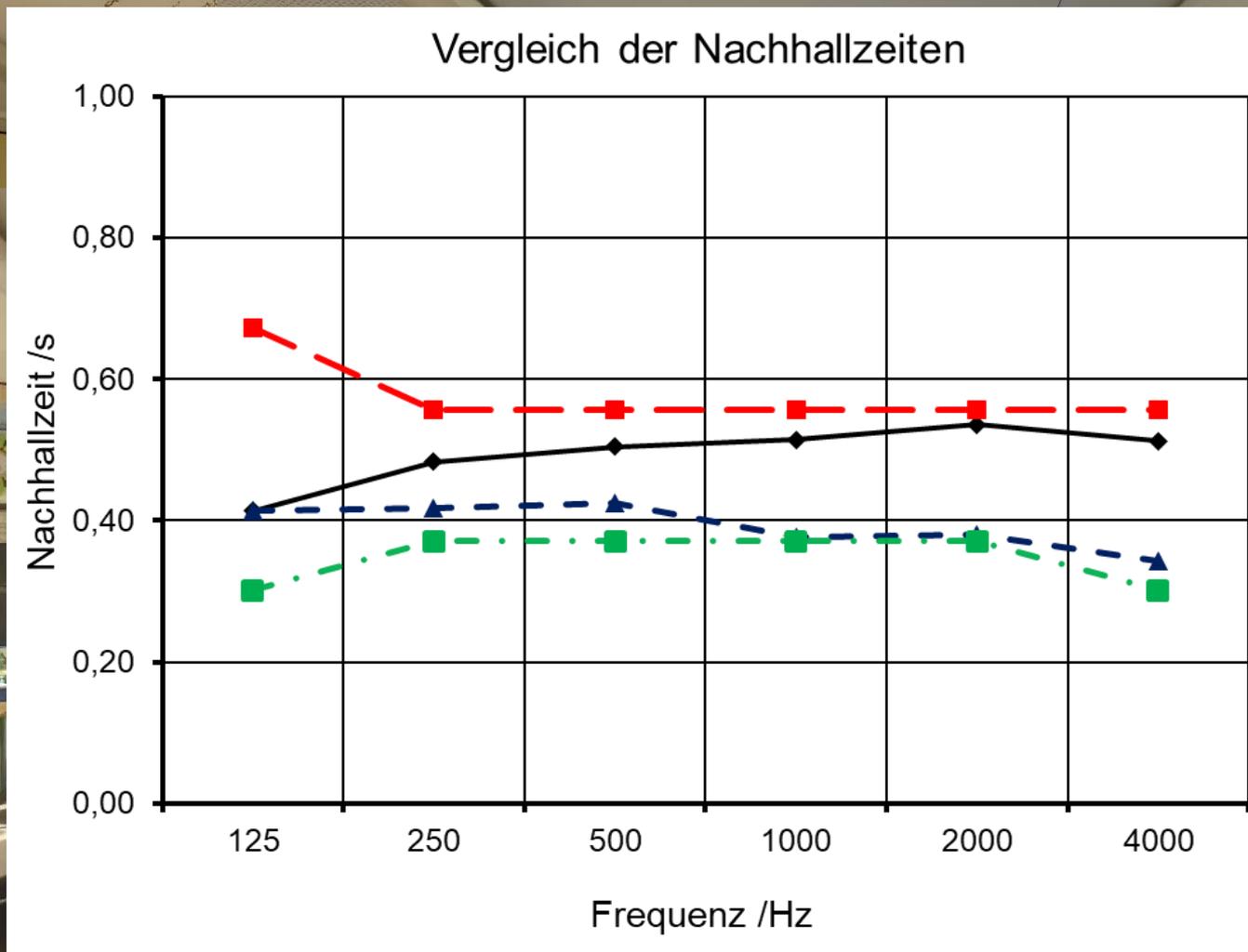
HH-Bergedorf, MER, vorher / nachher



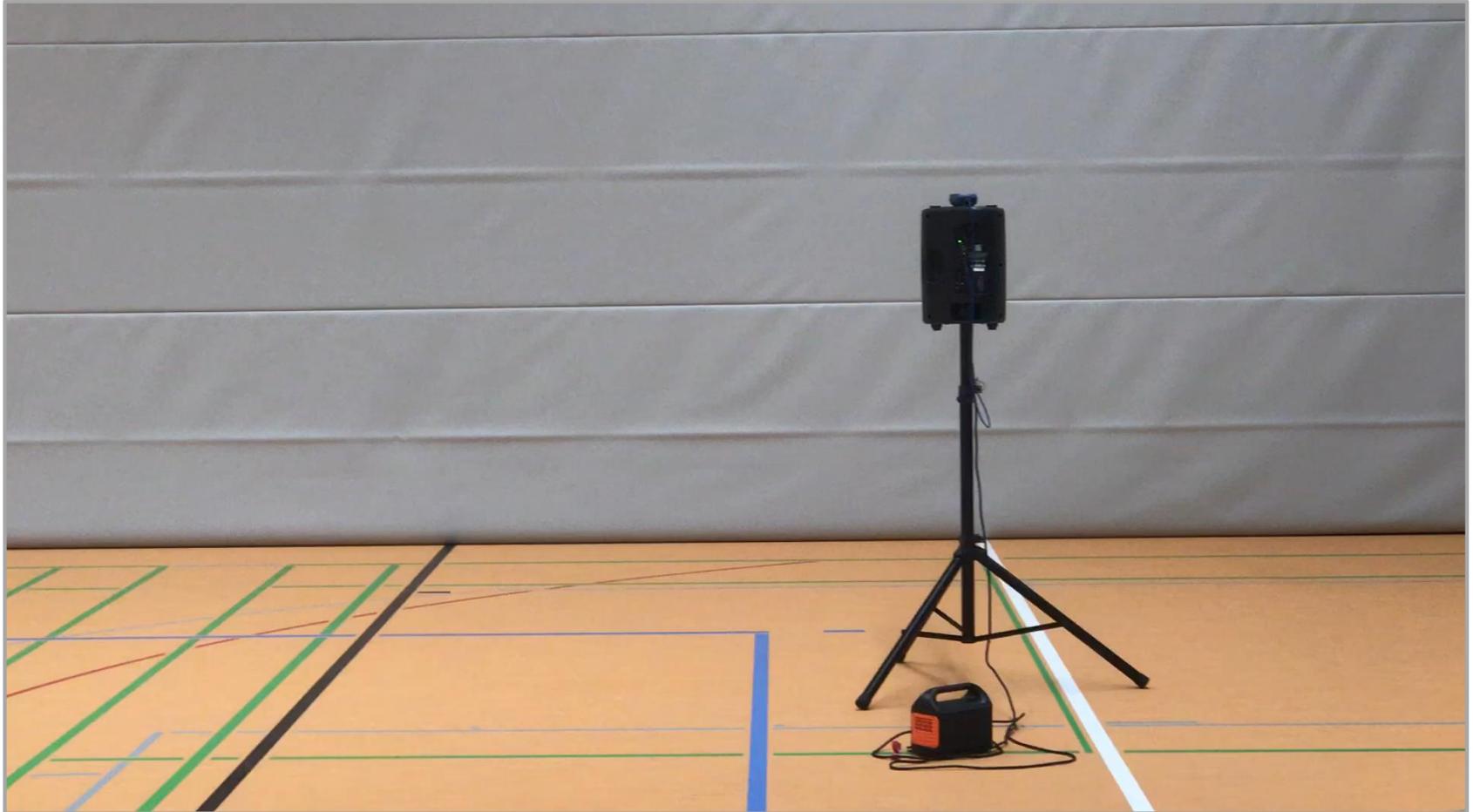
2023-11-22

Hörgerechte Raumakustik

HH-Bergedorf, MER, vorher / nachher



Heute nicht behandelt: Sporthallen



Heute nicht behandelt:
Sporthallen
Mensen



79 dB(A)

Heute nicht behandelt:

Sporthallen

Mensen

Flure und Treppenhäuser



Heute nicht behandelt:

Sporthallen

Mensen

Flure und Tre

Werkräume



Wissenschaft $\leftarrow \rightarrow$ Wirtschaft

Bei der Klassenraum-Akustik

gibt es kein

Erkenntnisproblem

sondern nur ein

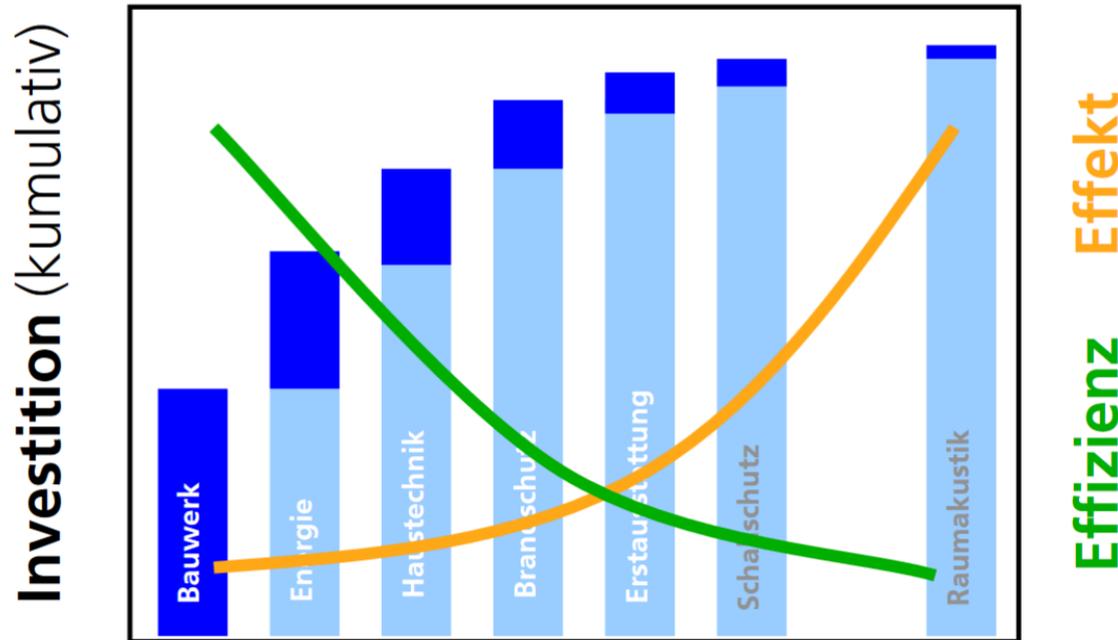
Umsetzungsproblem.

Christian Nocke, Vorsitzender
des Normenausschusses DIN 18041

Kein Problem dieser Welt
wird gelöst,
wenn wir träge darauf warten,
dass ein „Zuständiger“
sich darum kümmert.

Martin Luther King

Gebäude und Räume – Effizienz und Effekt



„Es gibt nur eins, was auf Dauer teurer ist als Bildung,
keine Bildung.“

John F. Kennedy