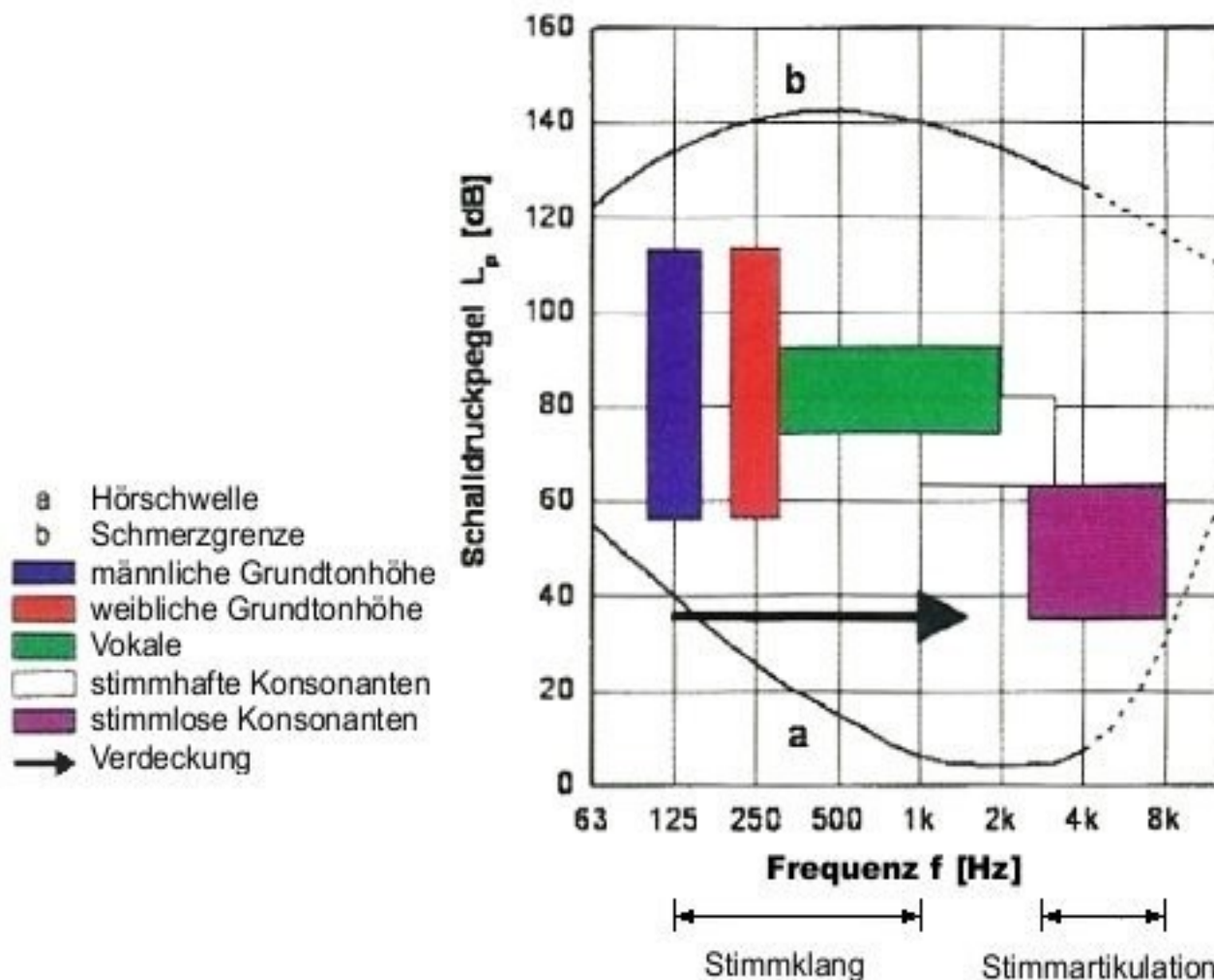


# Sprachverständlichkeit



# Verständlichkeit, Hörfeld, Konsonanten



Die Graphik zeigt wo die Hauptkomponenten der Sprache in Bezug auf Frequenz und Pegel angesiedelt sind.

Konsonanten sind für die Verständlichkeit am wichtigsten, Vokale nicht.

Konsonanten haben einen tieferen Pegel als Vokale.

Tiefe Frequenzen maskieren die Höheren.

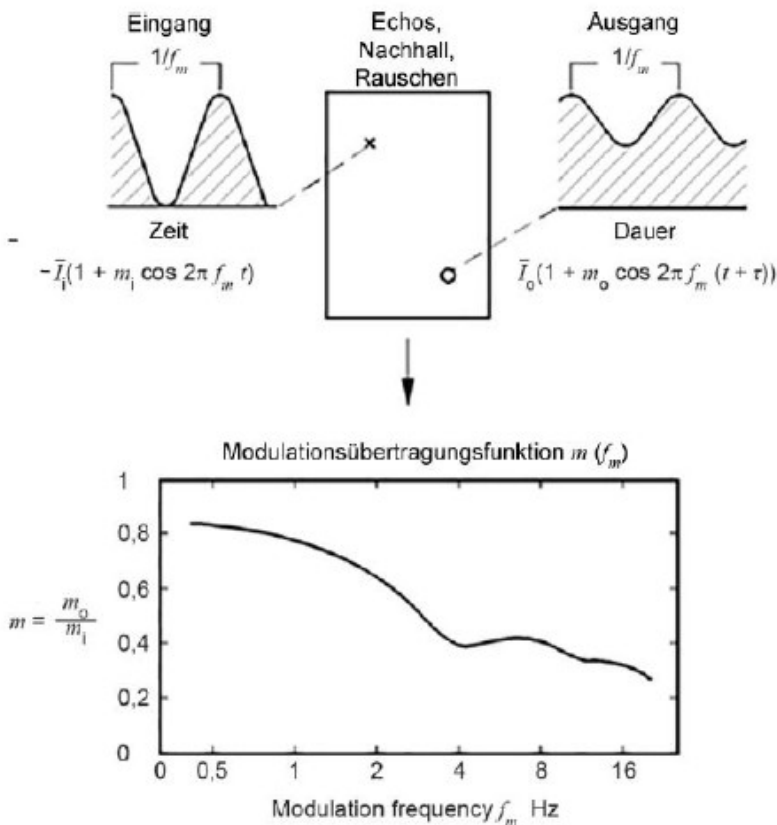
Das 2 kHz Oktavband ist für die Verständlichkeit am wichtigsten.

# „Old school“: Logatome um die Verständlichkeit zu testen, Beispiel:

## Logatome zur Untersuchung der Sprachverständlichkeit

kosch	sen	sez	talf	spom	wob	prab	nul
las	schar	blem	telf	mig	mig	schusch	zasch
ban	nel	log	bin	notsch	buk	gluk	slub
pruk	spom	schuk	bler	plun	rilf	kok	ras
dotsch	wem	bitsch	schest	rift	krog	schrors	frasch
tim	tid	mis	net	bilf	dur	kluf	jaft
sup	bir	frob	tos	dog	tir	flin	schrup
plilf	prast	sip	pirs	wet	peng	plutsch	nong
brek	zid	laz	dab	mom	spid	schug	gef
lors	bib	nel	prir	griz	dut	psar	sliz
duf	tist	lob	buf	krulf	strag	strest	jub
frelf	dulf	plot	lap	blost	krolf	druk	suft
kalf	schruft	wusch	mul	kluz	wang	sor	nak
schib	brus	goft	tik	spatsch	pses	kirs	gran
blur	spus	glosch	sluk	gles	mez	git	tof
rik	sluk	psem	kluk	schun	schlirs	kulf	stes
krom	dag	dig	far	rag	psat	lan	trisch
dug	schul	mars	ratsch	schalf	suf	schom	hosch
fralf	rong	stron	breft	wid	dresch	psek	beft
jag	stalf	pled	tob	blotsch	plet	sasch	trilf
klatsch	fors	schilf	helf	dram	nef	flik	schut
brug	def	ditsch	flit	tar	dag	sir	tetsch
tod	nisch	self	natsch	slatsch	schles	drers	rip
grirs	drom	gur	dulf	prem	zwul	schlik	lub
wum	wot	scher	schers	jars	bes	len	drul
schleg	jung	som	gug	rin	moz	prik	kaf
drung	brob	blun	pasch	zos	slip	kaft	mal
mip	fag	kreg	schaf	kon	rong	durs	
flen	frulf	wad	tet	bub	brulf	bil	
traz	rim	nab	zwil	klon	haft	lar	
zaf	bloz	zwum	bat	lim	fral	frers	

# Der Modulationsindex: Grundlagen zum “speech transmission index” STI

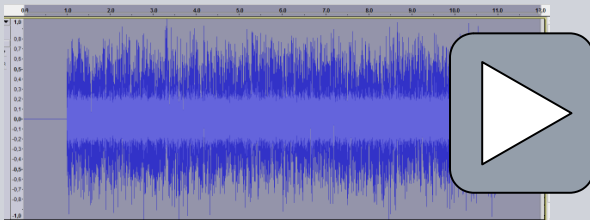


Bei Betrachtung der Intensitätshüllkurve können Modulationsfrequenzen der Amplitude von 0,25 Hz bis 25 Hz festgestellt werden. Verzerrungen in der Zeitdomäne, wie zum Beispiel Nachhall oder Echos, sowie umgebungsbedingte Störgeräusche können die Abschwächung der Modulationstiefe des empfangenen Sprachsignals verringern.

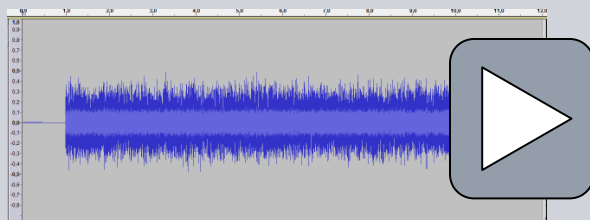
Sprache kann als eine Anzahl von Frequenzbändern betrachtet werden, die mittels Amplitudenmodulation mit mehreren Frequenzen moduliert werden.

Ein Testsignal beinhaltet alle relevanten Frequenzbänder und alle Modulationsfrequenzen mit einer 100% Modulation. Dieses Signal wird durch das System geschickt, ausgestrahlt, durch ein Mikrophon aufgenommen und danach analysiert. Die Reduktion der Modulation bedingt durch Noise und Nachhall wird gemessen.

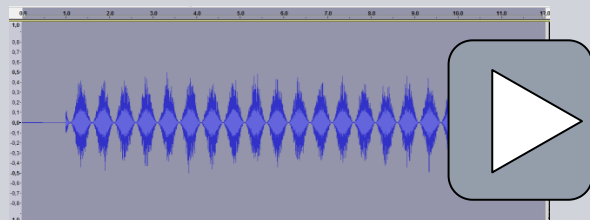
# Test Signale und Modulation



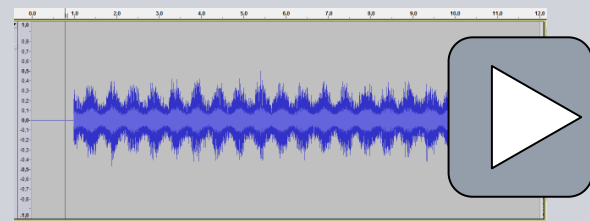
Das ist ein Rosa-Rauschen. Es enthält alle Frequenzen und ist ein Standard-Testsignal für Audiosysteme



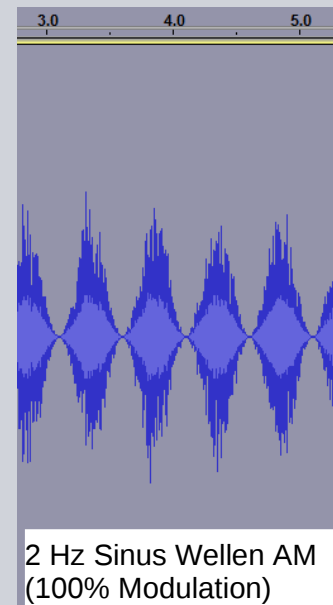
Dies ist ein gefiltertes Rosa-Rauschen, so dass nur das 2 kHz Oktavband übrigbleibt



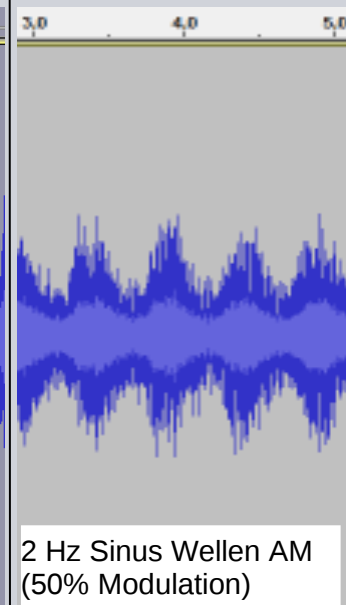
Das, mit dem 2 kHz Oktavband gefilterten, Rosarauschen wird nun mittels Amplituden-Modulation (AM) mit einer 2 Hz Sinus Welle moduliert



Das gleiche Signal wie oben aber mit einer um 50% reduzierten Amplitude.



2 Hz Sinus Wellen AM  
(100% Modulation)



2 Hz Sinus Wellen AM  
(50% Modulation)

# Speech-Transmission-Index (STI), STIPA und „Modulationsindex“



Modulierte Frequenzbänder

STIPA (Speech Transmission Index for Public Address)

Modulation Frequency F [Hz]	Octave Band Frequency [Hz]						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.63			•				
0.80						•	
1.00		•					
1.25					•		
1.60	•						
2.00				•			
2.50							•
3.15			•				
4.00						•	
5.00		•					
6.25					•		
8.00	•			•			
10.00							
12.50							•

Modulationsfrequenzen

SPEECH TRANSMISSION INDEX - MTF Matrix							
Band	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.63	0.9007	0.8653	0.8738	0.9201	0.9100	0.9352	0.9580
0.80	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
1.00	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
1.25	0.6539	0.5998	0.6161	0.7524	0.7274	0.7725	0.8319
1.60	0.5317	0.4820	0.5142	0.6803	0.6495	0.6934	0.7575
2.00	0.4226	0.3850	0.4419	0.6206	0.5848	0.6231	0.6838
2.50	0.2415	0.2660	0.3593	0.5250	0.4895	0.5104	0.5504
3.15	0.1129	0.2100	0.3429	0.4518	0.4227	0.4334	0.4462
4.00	0.1470	0.1912	0.3358	0.4003	0.3613	0.3878	0.3786
5.00	0.2793	0.1295	0.2886	0.3417	0.2591	0.3493	0.3362
6.30	0.2773	0.2061	0.3026	0.2751	0.1728	0.3379	0.3053
8.00	0.1313	0.2366	0.2706	0.1983	0.1175	0.3174	0.2478
10.00	0.3240	0.3525	0.2654	0.1553	0.1110	0.2709	0.2241
12.50	0.2232	0.1503	0.1896	0.1538	0.0997	0.2544	0.2383
OctTI	0.4429	0.4293	0.4715	0.5118	0.4732	0.5412	0.5573
STI = 0.4983 (male), 0.5027 (female)    Rating: FAIR (FAIR) (%ALcons= 11.9260)							

Die Tabelle zeigt die Modulationsfrequenzen und die modulierten Frequenzbänder für STIPA und STI

# Speech-Transmission-Index (STI)



- Gewichtung der einzelnen Modulationsübertragungsindizes ( $MTI_k$ )

$$STI = \sum_{k=1}^7 \alpha_k * MTI_k - \sum_{k=1}^6 \beta_k * \sqrt{MTI_k * MTI_{k+1}} \quad (18)$$

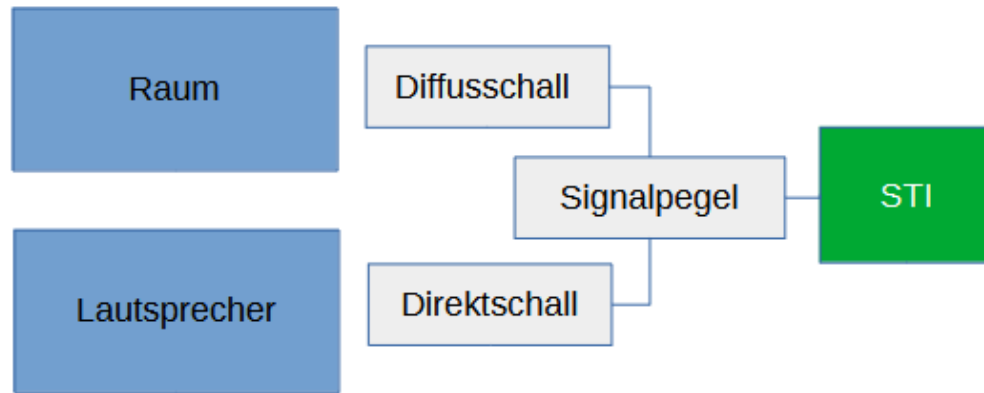
Oktavband Hz		125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Männlich	$\alpha$	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
	$\beta$	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	–

SPEECH TRANSMISSION INDEX - MTF Matrix

Band	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.63	0.9007	0.8653	0.8738	0.9201	0.9100	0.9352	0.9580
0.80	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
1.00	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
1.25	0.6539	0.5998	0.6161	0.7524	0.7274	0.7725	0.8319
1.60	0.5317	0.4820	0.5142	0.6803	0.6495	0.6934	0.7575
2.00	0.4226	0.3850	0.4419	0.6206	0.5848	0.6231	0.6838
2.50	0.2415	0.2660	0.3593	0.5250	0.4895	0.5104	0.5504
3.15	0.1129	0.2100	0.3429	0.4518	0.4227	0.4334	0.4462
4.00	0.1470	0.1912	0.3358	0.4003	0.3613	0.3878	0.3786
5.00	0.2793	0.1295	0.2886	0.3417	0.2591	0.3493	0.3362
6.30	0.2773	0.2061	0.3026	0.2751	0.1728	0.3379	0.3053
8.00	0.1313	0.2366	0.2706	0.1983	0.1175	0.3174	0.2478
10.00	0.3240	0.3525	0.2654	0.1553	0.1110	0.2709	0.2241
12.50	0.2232	0.1503	0.1896	0.1538	0.0997	0.2544	0.2383
OctTI	0.4429	0.4293	0.4715	0.5118	0.4732	0.5412	0.5573

STI = 0.4983 (male), 0.5027 (female)      Rating: FAIR (FAIR)  
(%ALcons= 11.9260)

„physikalisches“ STI



Verhältnis aus D/R bestimmt die Modulationsreduktion

Raumdaten

- Nachhallzeit
- Volumen

Lautsprecherdaten

- Anzahl
- Leistung
- Bündelung
- Ausrichtung

# Abschätzung nach Peutz, Davis & Davis,

$AI_{\text{cons}}$ : «Articulation loss of consonants»



$$\%AL_{\text{CONS}} = \frac{200 \cdot D_x^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

Abstand Quelle zum Hörer

Nachhallzeit  $RT_{60}$

Anzahl der Quellen  
(D/R Leistungsverhältnis)

Volumen

Richtfaktor

% ALcons werden nicht größer als ca. 10 x  $RT_{60}$  @  $D_x > 3D_c$

Beispiel:  
Für ein Nachhallzeit  $RT_{60} = 1,0 \text{ s}$   
→ Alcons werden 10% nicht übersteigen

100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

# Sprachverständlichkeitsindex “STI” nach Houtgast & Steeneken



Einflussfaktoren auf die Modulationstiefe:

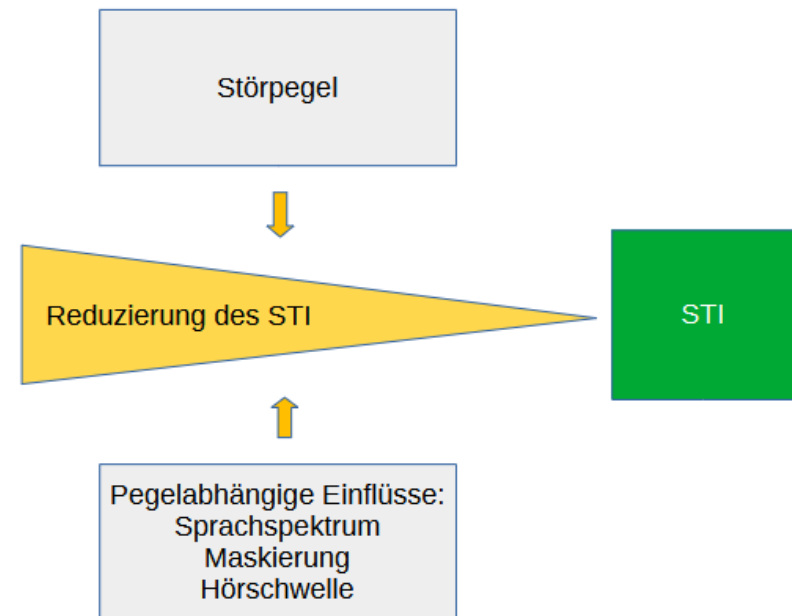
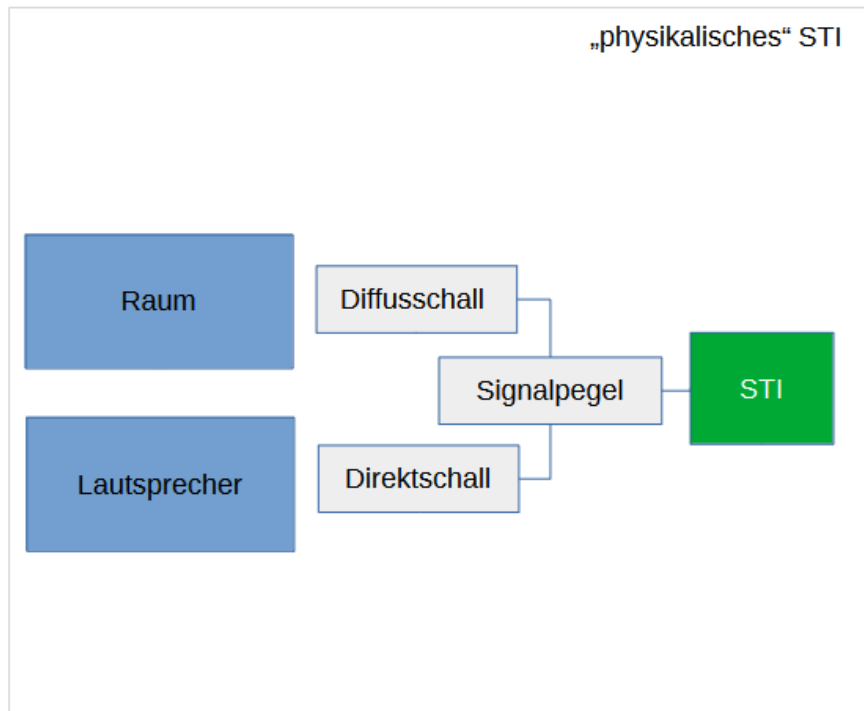
$$m(F, S, N) = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{1 + \left( 2\pi F \frac{T}{13,8} \right)^2}}}_{\text{D/R Faktor}} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + 10^{-\frac{S}{N} \frac{1}{10}}}}_{\text{S/N Faktor}}$$

Diese Gleichung zeigt die Theorie, die hinter dem Modulationsreduktionskonzeptes steht.

m = Modulationsindex  
 F = Modulationsfrequenz  
 T = „Abklingzeit“ des ganzen Systems  
 S = Signalpegel  
 N = Hintergrundgeräusch Pegel

100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

STI nach 0833-4



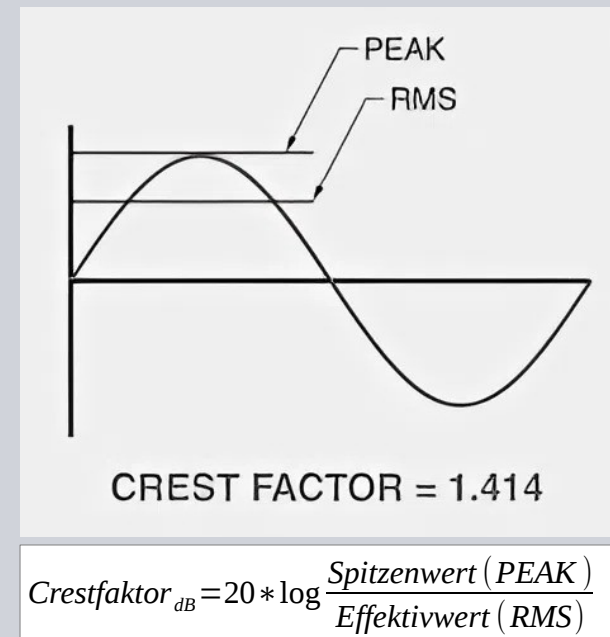
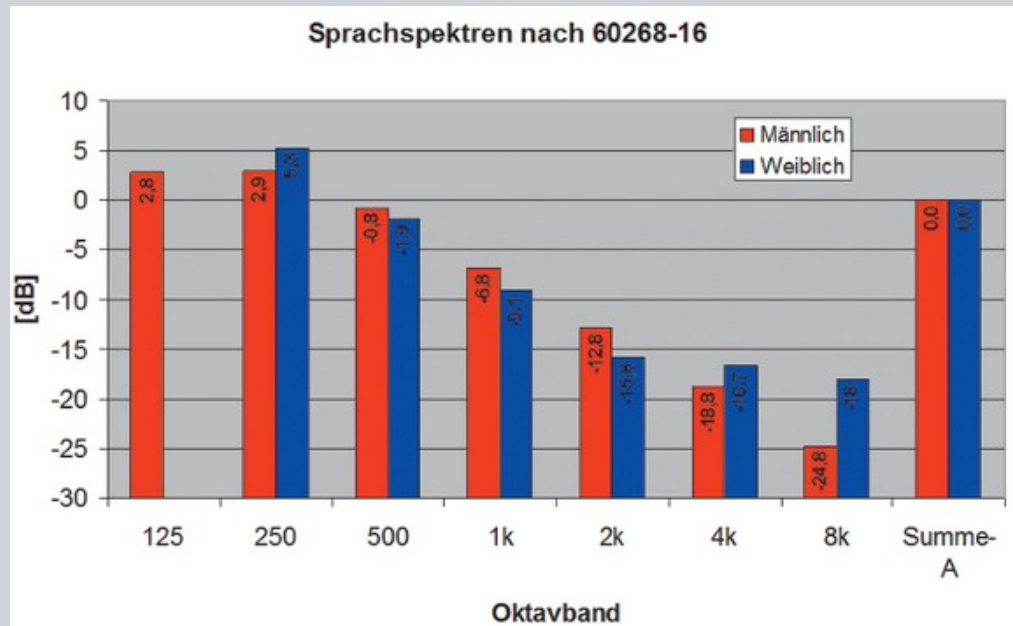
## Sprachverständlichkeit versus S/N (Signal/Noise)

Signal/Noise	STI-Reduction-Factor
15 dB	0,97
10 dB	0,91
7 dB	0,83
5 dB	0,76
0 dB	0,50

Das bedeutet, dass bei einem S/N Abstand von 10dB ein STI von 0.55 ohne Hintergrundgeräuschen geplant werden muss, damit schlussendlich ein reduzierter STI von 0.5 erreicht wird ( $0,55 \times 0,91$ ).

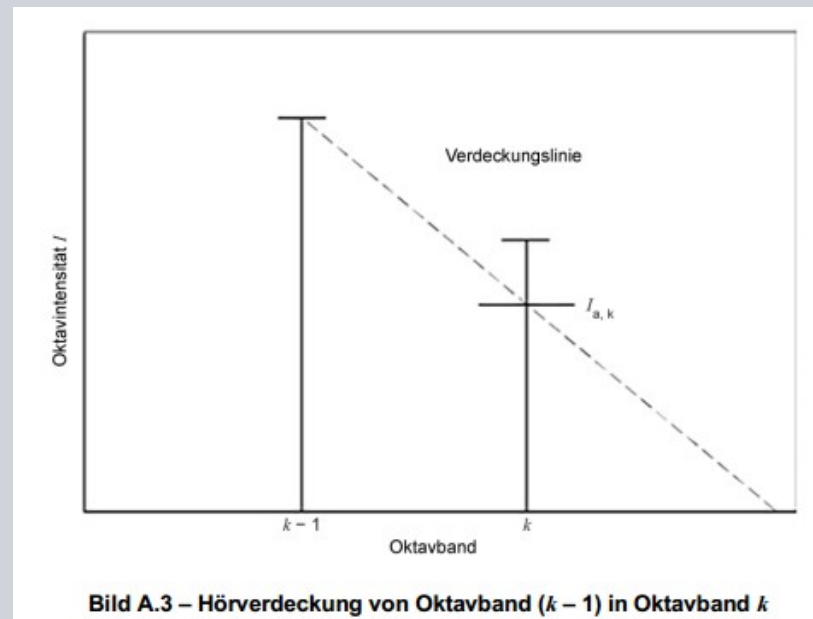
## Sprachpegel:

- Spektrum des männlichen Sprach-Prüfsignals
- Crest-Faktor von Sprache



## (Aufwärts)Maskierung:

- die Verringerung der Hörempfindlichkeit durch stärkeren Schall niedrigerer Frequenz
- Auswirkungen abhängig von den relativen Pegeln (Oktavband  $k-1$  und Oktavband  $k$ )
- Abfall der Hörverdeckungskurve abhängig vom Gesamtschallpegel (Signalpegel und Umgebungsgeräusche)



## Absolute Sprachrezeptionsschwelle:

- definiert durch die absolute Hörschwelle und den geringsten notwendigen Dynamikbereich zur Erkennung von Sprachlauten

**Tabelle A.3 – Absolute Sprachrezeptionsschwelle in Oktavbändern**

Oktavband-Mittenfrequenz Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Absolute Sprachrezeptionsschwelle $A_k$ dB SPL	46	27	12	6,5	7,5	8	12

# Sichere Planung und Auslegung einer SAA in 3 einfachen Schritten



# Sprachalarmierung, Anforderungen an STI nach 0833-4



## Anforderungen nach DIN 0833-4:

- Durchschnittlicher STI für die besten 90% der Messpunkte **nicht kleiner als 0,50**
- niedrigster Wert nicht kleiner als 0,45

## Reduzierte Anforderungen nach DIN 0833-4:

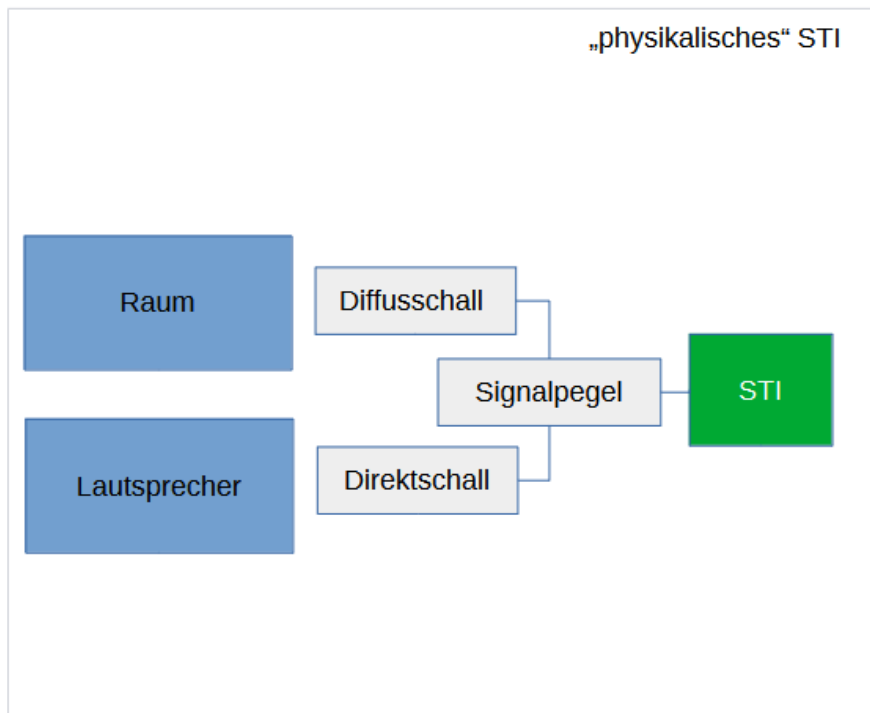
- Durchschnittlicher STI für die besten 90% der Messpunkte **nicht kleiner als 0,45**
- niedrigster Wert nicht kleiner als 0,40

100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

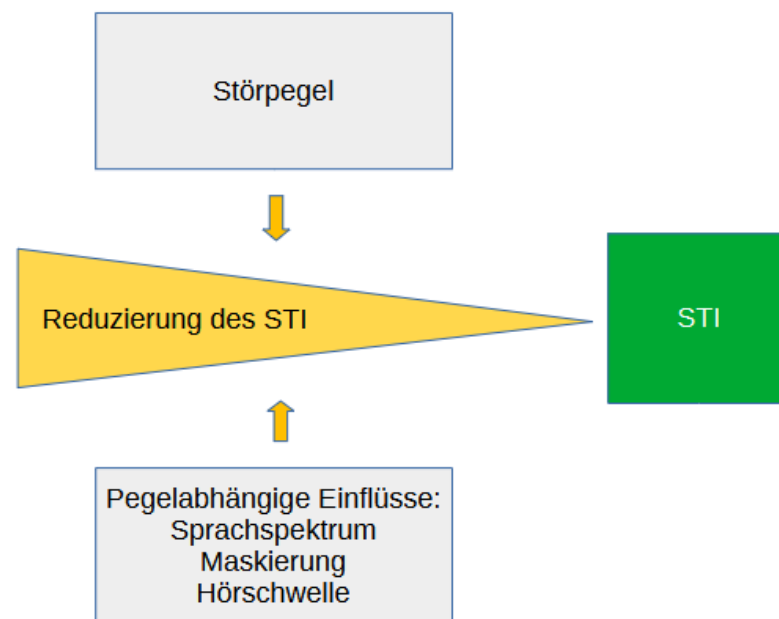
# Sichere Planung und Auslegung einer SAA in 3 einfachen Schritten

## Einflussfaktoren

„physikalisches“ STI



STI nach 0833-4



# **Sichere Planung und Auslegung einer SAA in 3 einfachen Schritten**



- 1 Ermittlung der akustischen Ausgangssituation**
- 2 Erstellung und Optimierung des Beschallungskonzepts (Simulation)**
- 3 Berücksichtigung der nach 0833-4 erforderlichen Einflüsse**

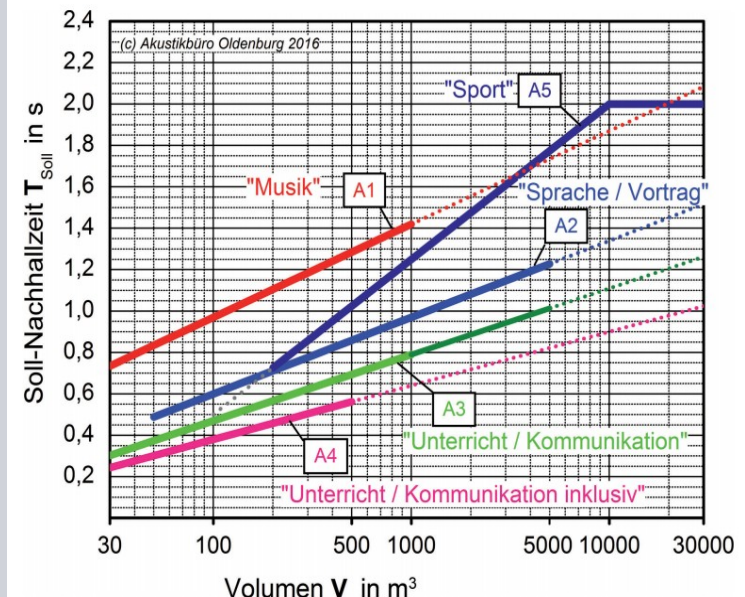
# 1 Ermittlung der akustischen Ausgangssituation

## Nachhallzeiten (RT60) und Volumen bestimmen

- Messung vor Ort
- Berechnung der Nachhallzeit mit geeignetem Tool
- Abgleich mit DIN 18041

Zitat aus DIN 0833-4:

*„Können die Anforderungen aus DIN 18041 nicht eingehalten werden, ist zumeist davon auszugehen, dass die Erreichung der geforderten Sprachverständlichkeit bei Verwendung verfügbarer Technik schwierig bis unmöglich sein kann.“*




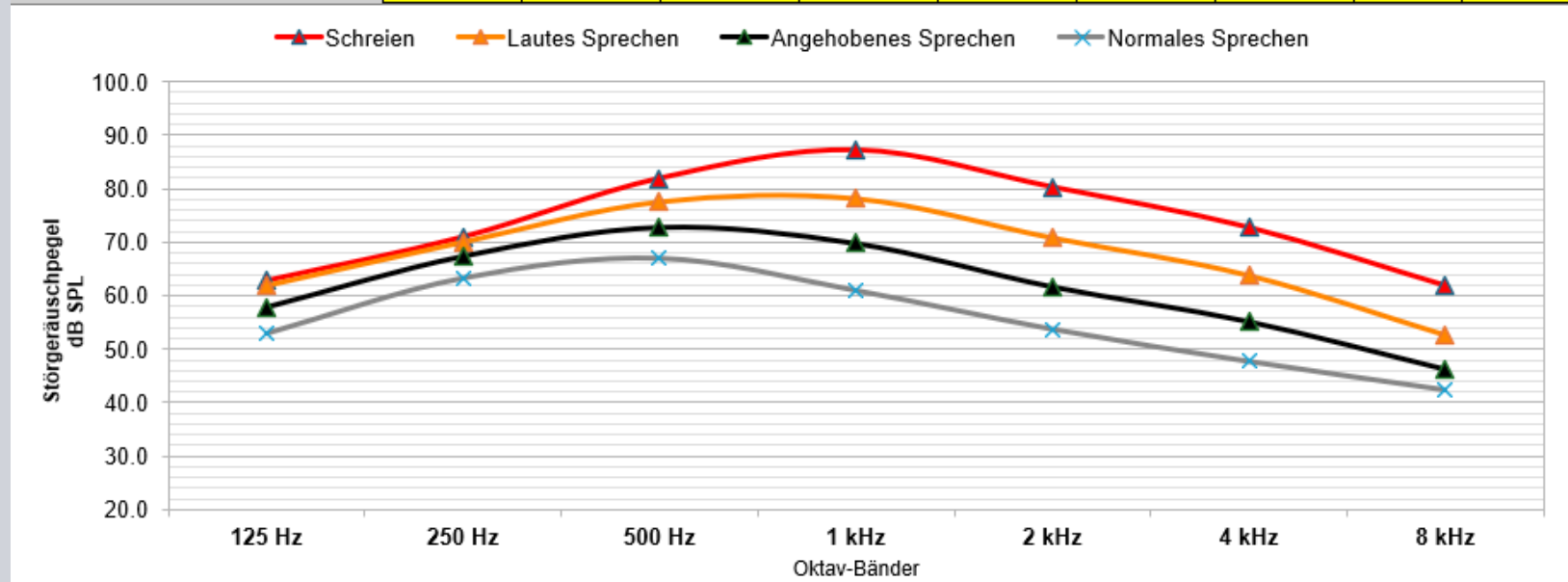
# 1 Ermittlung der akustischen Ausgangssituation

## **Ermittlung des Störgeräuschpegels:**

- Störgeräuschpegelmessung
- Prognose des verhaltensbedingten Störgeräuschspektrums auf Grundlage der für den jeweiligen ADA zugelassenen Personenanzahl

# 1 Ermittlung der akustischen Ausgangssituation

Anzahl (aktiver) Personen →	25	<b>Störgeräuschpegel-Berechnungstool, Version 1.07</b>						<b>Persone</b>		
Raum Volumen [m³] →	1 000									
Oktav-Bänder		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
RT60 [s] →	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
<b>Schall-Leistungspegel <math>L_w</math> [dB] (*1)</b>		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2kHz	4 kHz	8 kHz	<b>dB (Z)</b>	<b>dB(A)</b>
Normales Sprechen		55.0	65.3	69.0	63.0	55.8	49.8	44.5	71.5	68.4
Angehobenes Sprechen		60.0	69.5	74.9	71.9	63.8	57.3	48.4	77.7	75.5
Lautes Sprechen		64.0	72.1	79.6	80.2	72.9	65.9	54.8	83.8	82.6
Schreien		65.0	73.1	84.0	89.3	82.4	74.9	64.1	91.2	90.9
<b>Störpegel-Ergebnis <math>L_n</math> in dB SPL (*2,3)</b>		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	<b>dB (Z)</b>	<b>dB(A)</b>
Normales Sprechen		52.9	63.2	66.9	60.9	53.7	47.7	42.4	69.4	66.3
Angehobenes Sprechen		57.9	67.4	72.8	69.8	61.7	55.2	46.3	75.7	73.4
Lautes Sprechen		61.9	70.0	77.5	78.1	70.8	63.8	52.7	81.7	80.5
Schreien		62.9	71.0	81.9	87.2	80.3	72.8	62.0	89.2	88.9



# 1 Ermittlung der akustischen Ausgangssituation

Wahl des Planungsverfahrens:

## **Vereinfachtes Planungsverfahren (nach 0833-4):**

- $RT60 < 1$  s oder Anforderungen nach DIN 18041 erfüllt
- Störgeräusch  $< 65$  dB(A)
- Signal / Störabstand  $> 15$  dB
- Lautsprecher Montagehöhe  $< 6$  m
- der Abstand zwischen den Mittelpunkten benachbarter Lautsprecher ist nicht größer als die doppelte Differenz zwischen Montage- und Ohrhöhe
- Lautsprechersysteme mit einem maximalen Durchmesser des Chassis von 13 cm

## **Ausführliches Planungsverfahren (nach 0833-4):**

Berechnung der Sprachverständlichkeit auf Grundlage einer Simulation

## **Vergleichbare Beispielprojekte (nach 0833-4):**

Vorhandene Mess- oder Simulationsergebnisse mit hinreichender Übereinstimmung hinsichtlich der Raummaße sowie der akustischen und elektroakustischen Rahmenbedingungen

## 2 Erstellung und Optimierung des Beschallungskonzepts

- **Nachhallzeit (RT60) einbinden**

Simulationsmodell mit ermittelten Nachhallzeiten erstellen

- **Lautsprecherkonzept entwickeln**

Auswahl geeigneter Lautsprechertypen (Richtcharakteristik, Abstrahlwinkel, Leistungsdaten) und Lautsprecherpositionen

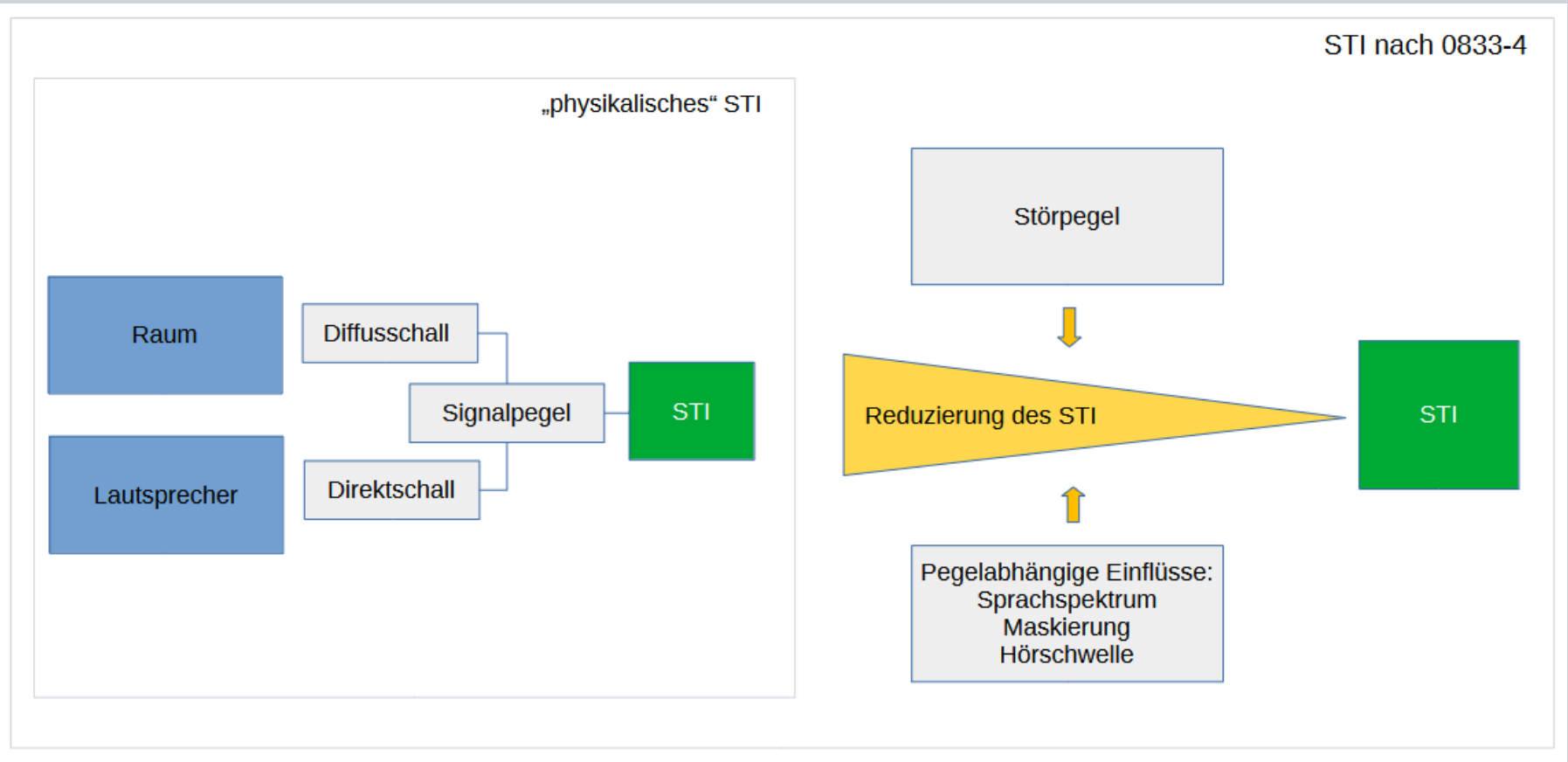
- **Optimierung der Direktschallverteilung**

Anpassung von Lautsprecherpositionen, Abstrahlrichtungen und Typen

**Ziel:** gleichmäßige Pegelabdeckung und STI-Werte  $> 0,6$

### 3 Berücksichtigung der nach 0833-4 erforderlichen Einflüsse

#### Einflussfaktoren



### 3 Berücksichtigung der nach 0833-4 erforderlichen Einflüsse

- **Berücksichtigung des Sprachpegels**

Berücksichtigung von Crest-Faktor und männlichem Sprachspektrum nach DIN 60268-16

- **Berücksichtigung pegelabhängiger Einflüsse**

Berücksichtigung von Maskierungseffekten und der absoluten Sprachrezeptionsschwelle (nur in gewissen Pegelbereichen wirksam)

- **Berücksichtigung des Störschalls**

Prüfung, ob der Sprachpegel in jedem Oktavband  $> 15$  dB über dem Störschallpegel liegt

## Betrachtung einzelner Einflussfaktoren



## Betrachtung einzelner Einflussfaktoren

Welche Faktoren haben den größten Einfluss auf die Reduzierung der Modulationstiefen?

### **Physikalisch:**

→ Nachhallzeit (D/R)      → Verminderung der Modulationstiefen

### **0833-4:**

→ Störgeräusch (S/N)	→ Verminderung der Modulationstiefen
→ Crest-Faktor	→ Verminderung des Signalpegels der Beschallungsanlage
→ Sprachspektrum	→ Verminderung des Signalpegels der Beschallungsanlage
→ Hörschwelle	→ nur in extrem niedrigen Pegelbereichen
→ Maskierung	→ nur in extrem hohen Pegelbereichen

Mittagspause bis 13:15

Tür Code: 2711