

CAFETERIA UND MENSA: WIRKUNG UND PLANUNG GUTER AKUSTIK

13. November 2019

Alexander Dickschen, M.Sc.

Auf Wissen bauen



AKUSTIK



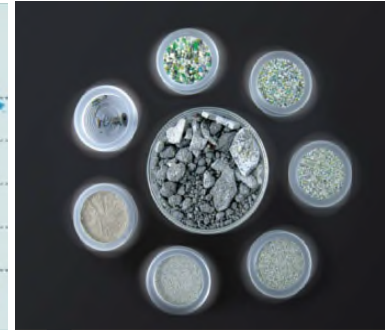
ENERGIEEFFIZIENZ UND
RAUMKLIMA



GANZHEITLICHE
BILANZIERUNG



HYGROTHERMIK



MINERAL.
WERKSTOFFE UND
BAUSTOFFRECYCLING

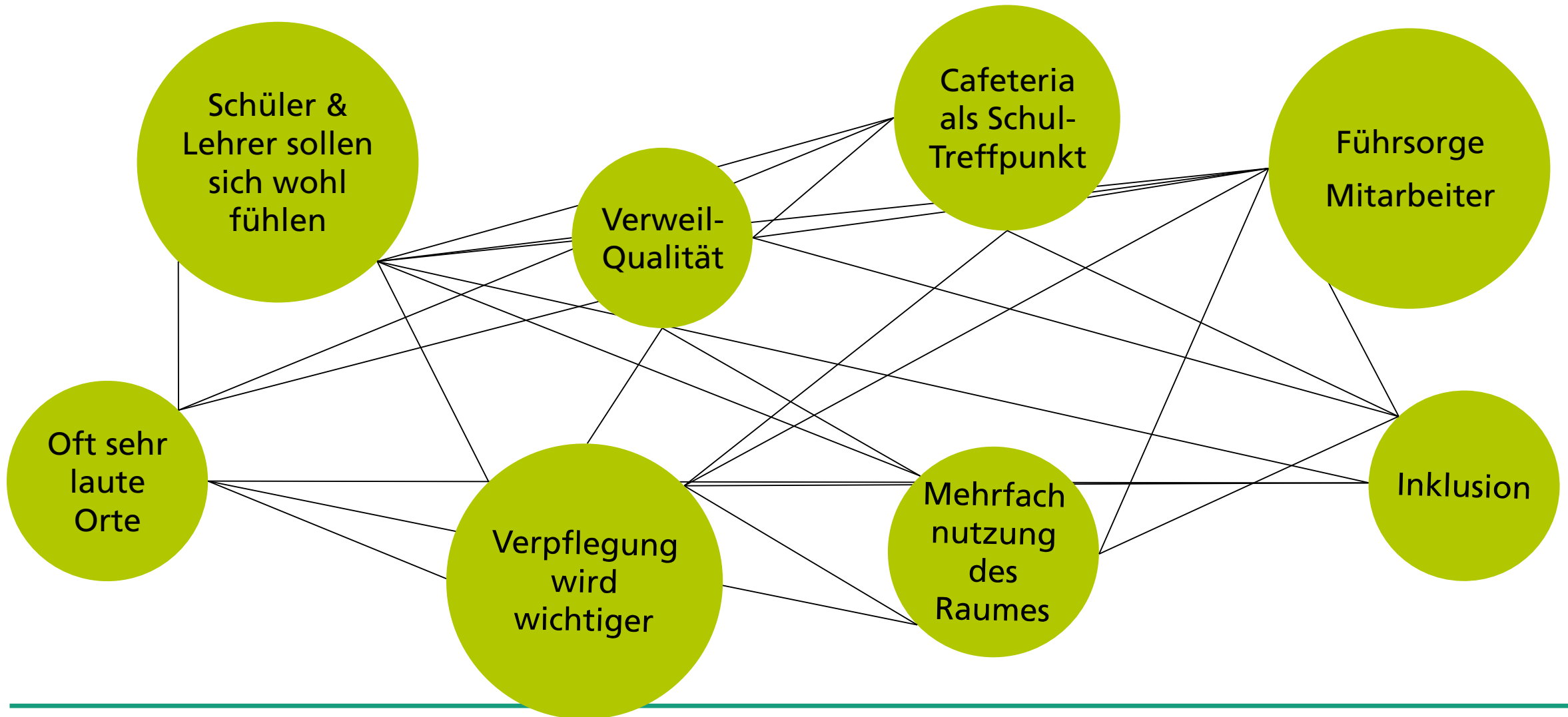


UMWELT, HYGIENE
UND SENSORIK

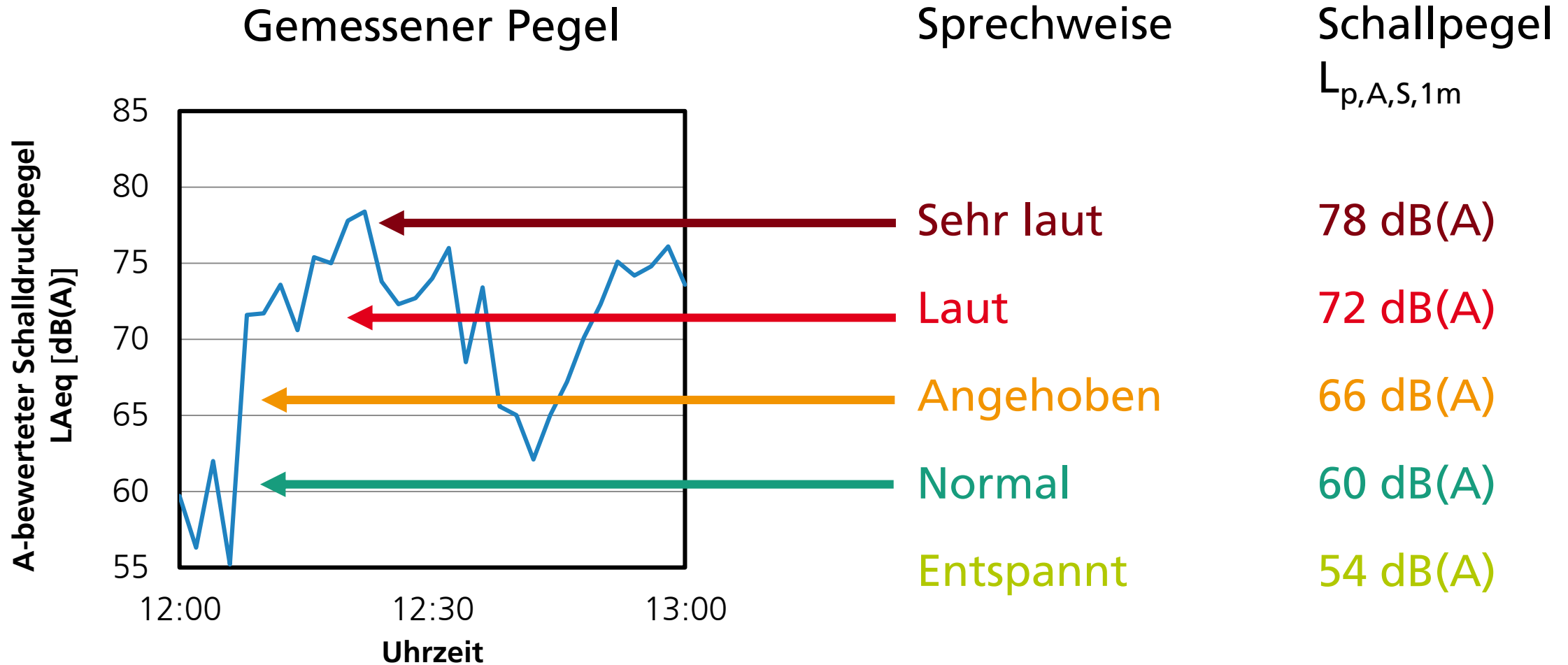
Fokus

- Warum mit Lärm in Cafeterias, Mensen und Restaurants beschäftigen?
- Cafeterien und Mensen sind oft **laute Orte**.
- Wir **analysieren**, wodurch Lärm entsteht
- **modellieren**, um **besser zu verstehen**
- **was getan werden kann**, um die Situation zu verbessern.
- Wir **vergleichen Modell** mit der **Norm-Auslegung** und ziehen daraus Schlüsse.

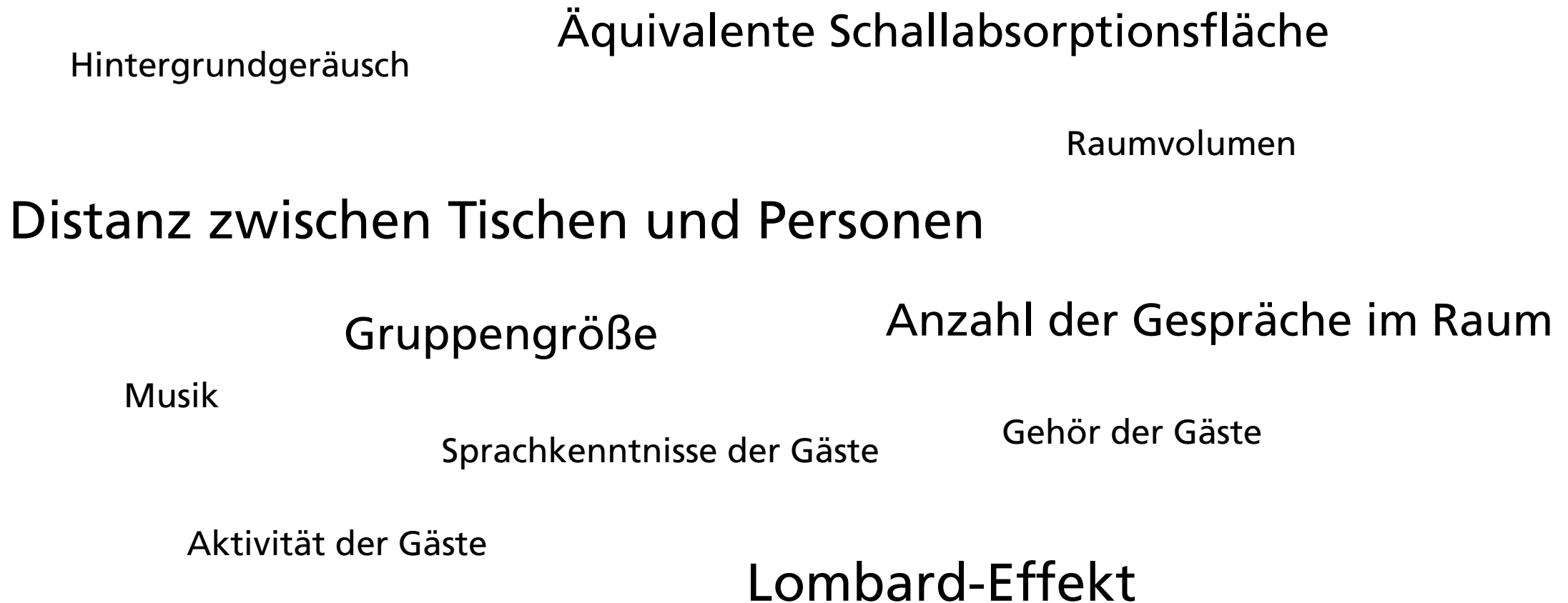
Warum mit Lärm in Cafeterien beschäftigen?



Cafeterien und Mensen sind oft laute Orte...



Was macht die Akustik in Cafeterien und Mensen aus?

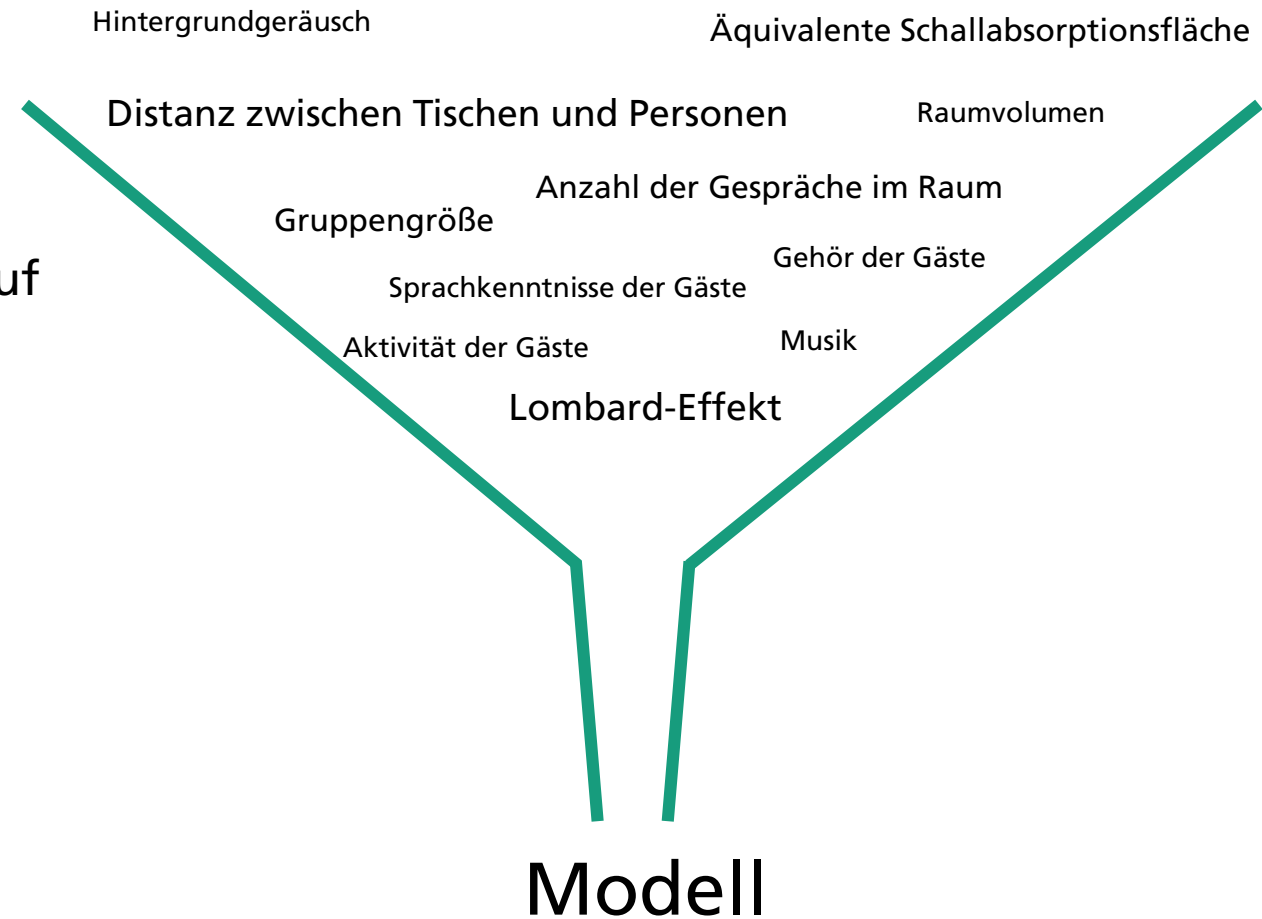


Lässt sich das in ein Modell überführen?

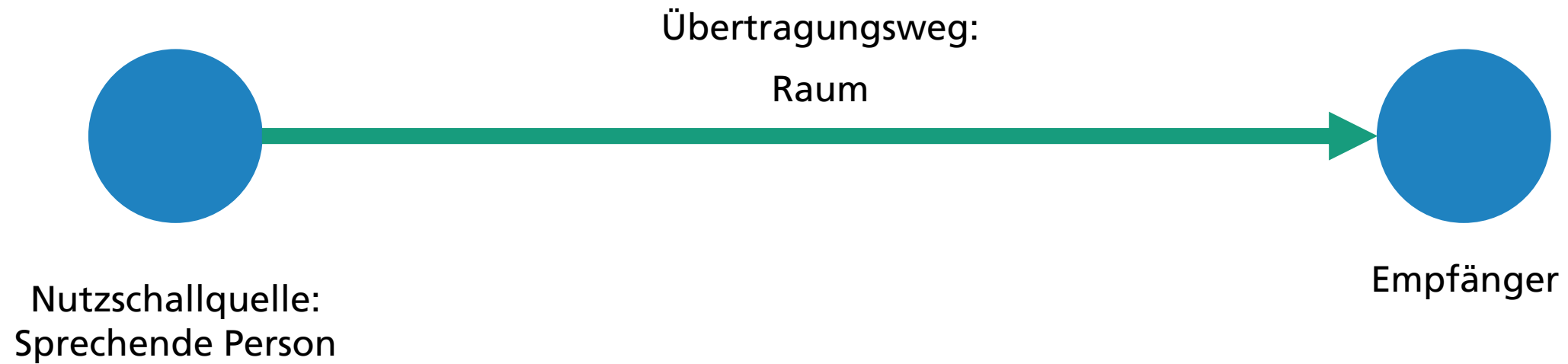
■ Ja.

Es gibt bereits Prognosemodelle für Lärm und Sprachverständlichkeit in Restaurants, die auf Schulen übertragen werden können

1. M. Hodgson et al. (2007): „Measurement and prediction of speech and noise levels and the Lombard effect in eating establishments“
2. J. H. Rindel (2010): „Verbal communication and noise in eating establishments“

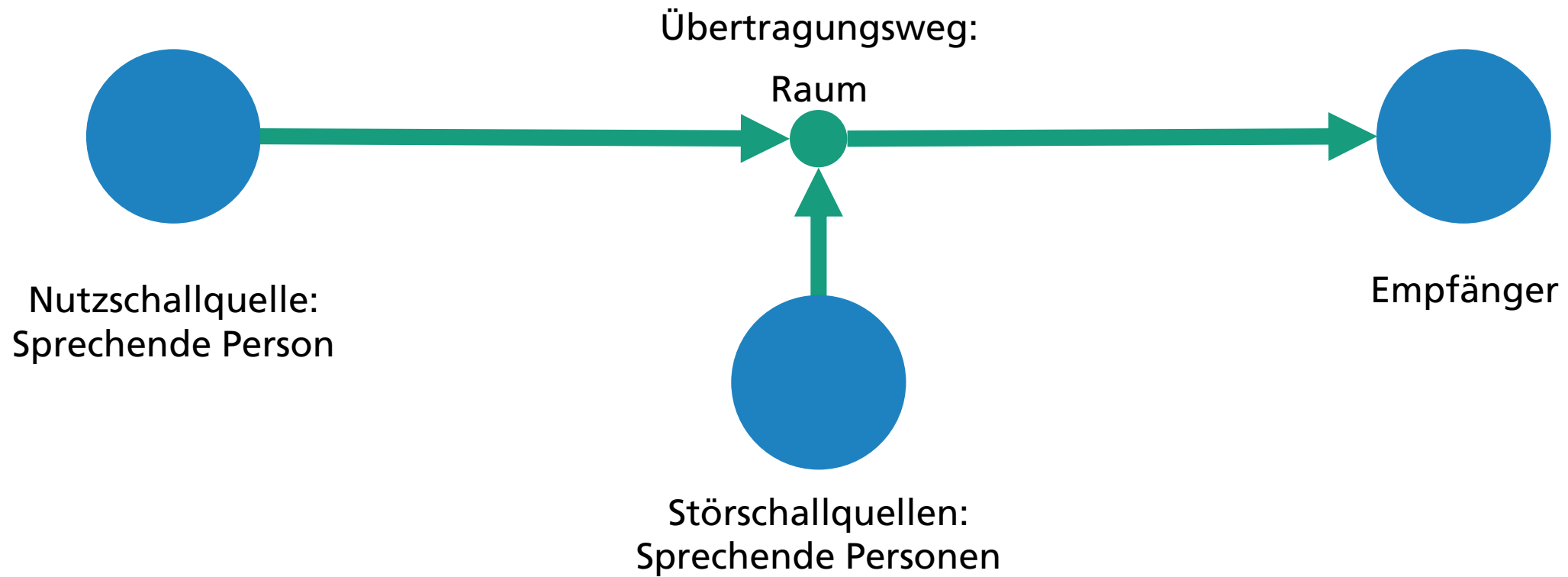


Analyse der akustischen Situation

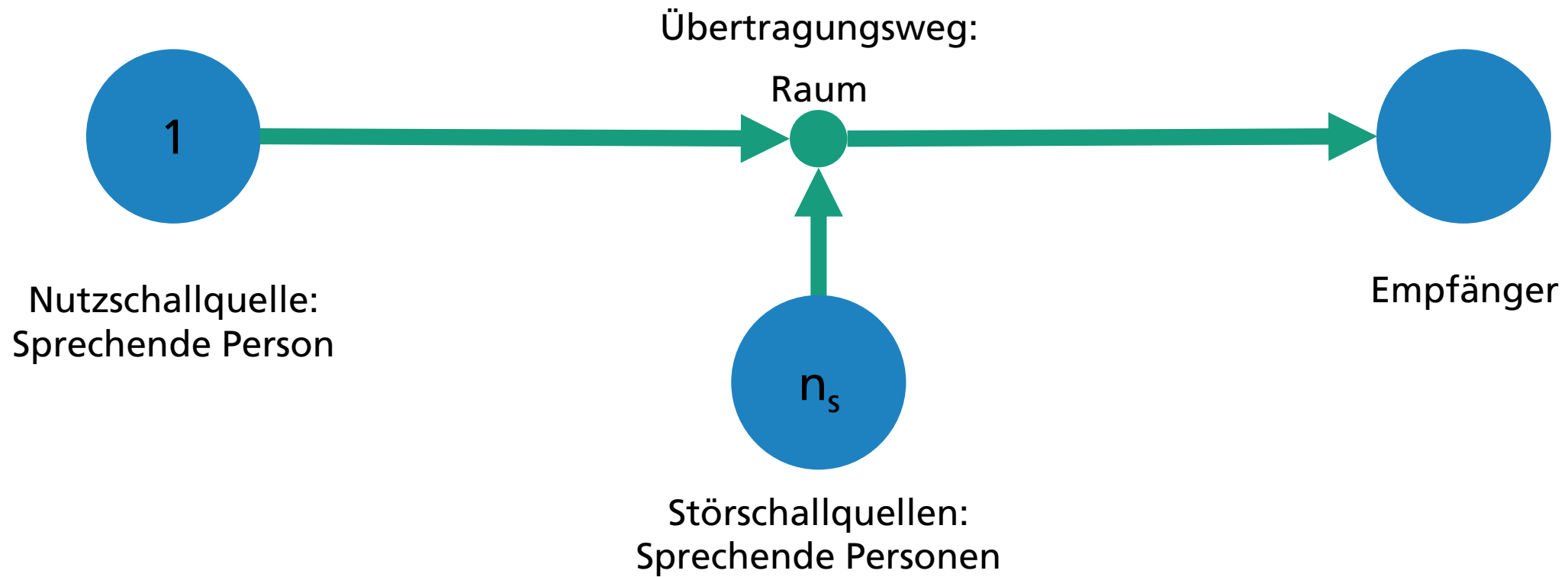


Analyse der akustischen Situation

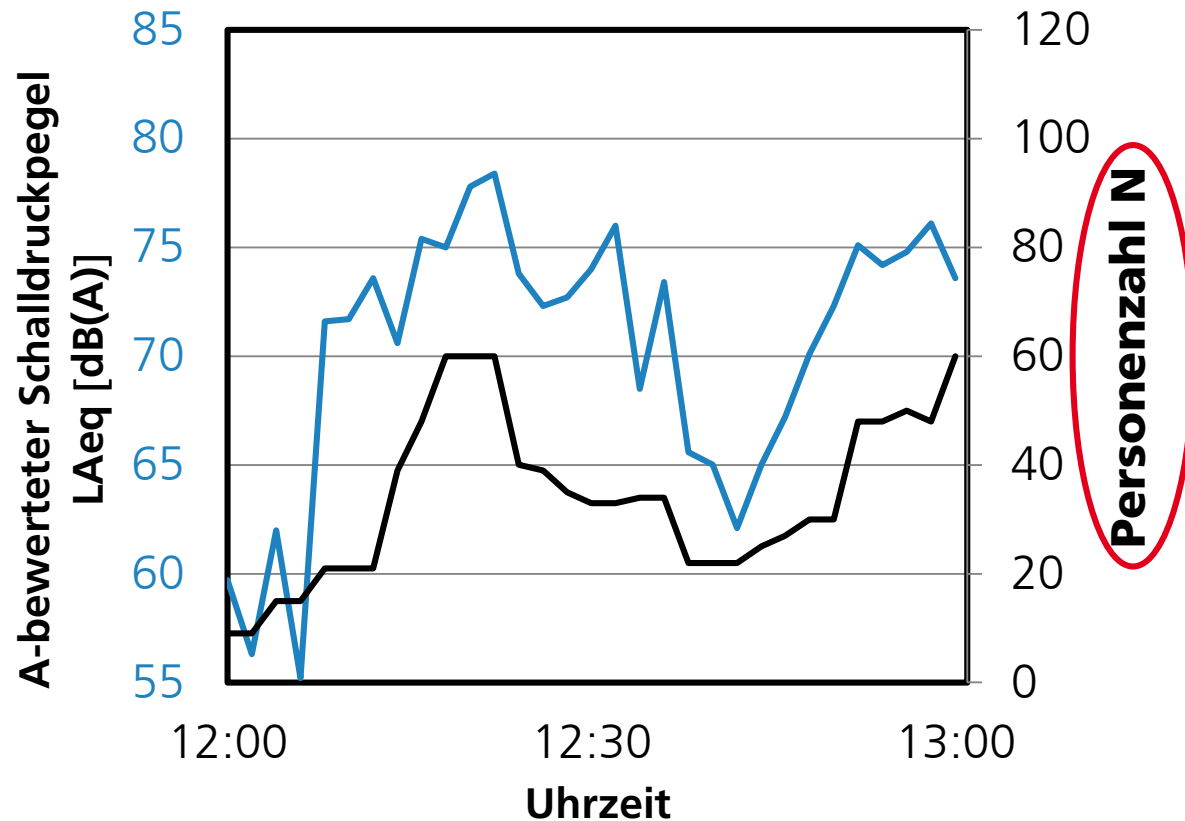
Höfliche Unterhaltungen



Analyse der akustischen Situation



Analyse: Pegel und Personenzahl



- Pegelverlauf und anwesende Personenzahl weisen gewisse Ähnlichkeit auf
- Das ist naheliegend, wenn die sprechende Personen die Störgeräusche ausmachen
- Wie genau sind sie verbunden?

Modellierung: Lombard Effekt

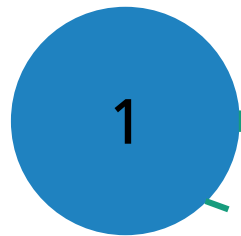
- Menschen heben ihre Stimme automatisch an, wenn die Umgebung lauter wird.
- Der Lombard-Effekt ist gut erforscht und quantifiziert.
- Typischerweise wird die Stimme um 0,5 dB angehoben, wenn das Hintergrundgeräusch um 1 dB steigt.
- Dies wird als „Lombard-Slope“ bezeichnet:
 $c=0,5 \text{ dB} / \text{dB}$
- Nur ein Teil des Hintergrundgeräusches wird durch lauterer Sprechen kompensiert!

Etienne Lombard

Entdecker des Lombard-Effekts (1911)

Analyse der akustischen Situation

Nutzschallquelle:
Sprechende Person

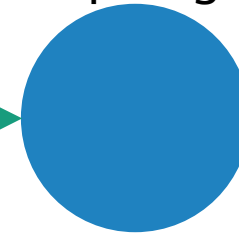


Übertragungsweg:

Raum



Empfänger

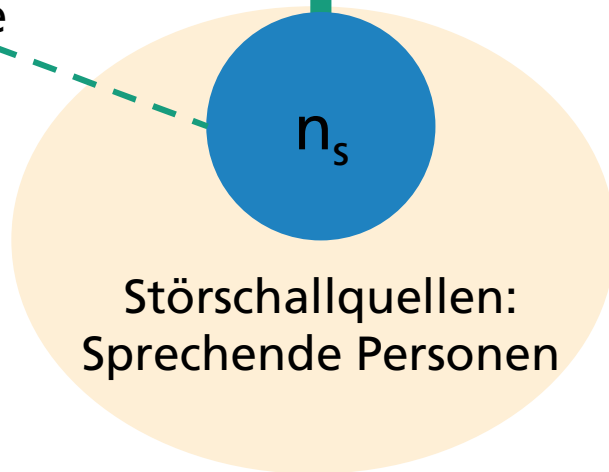


Schallquellen haben gleiche
Leistung und Steigerung
wegen Lombardeffekt

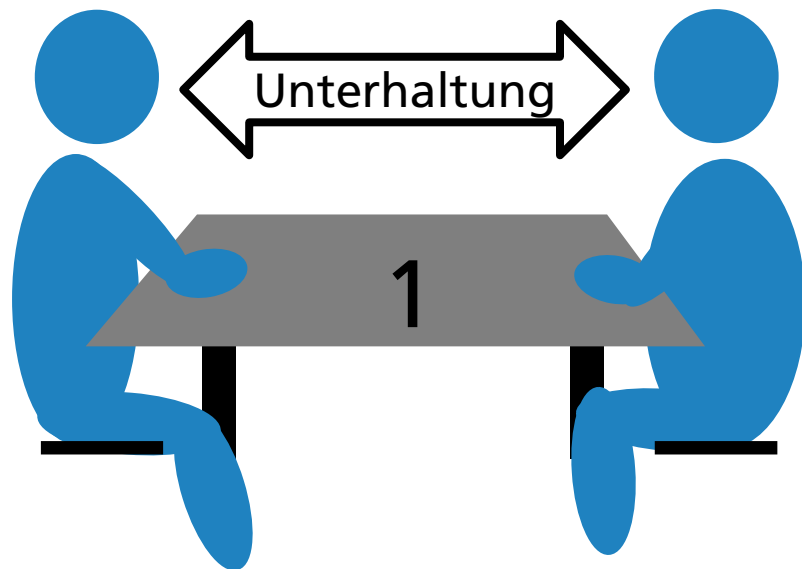
$$c = 0,5 \text{ dB/dB}$$

n_s

Störschallquellen:
Sprechende Personen



Analyse: Störgeräusche durch parallele Gespräche

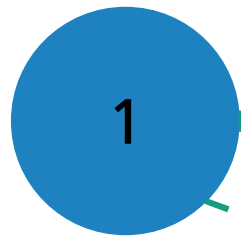


- Gesprächsgruppen enthalten normal 2-4 Personen:
 - Eine Person spricht, die anderen hören zu
 - Gruppengröße g
 - Gesamt-Personenzahl N
 - Anzahl Störquellen n_s
- $$n_s = (N / g) - g$$
- Das bedeutet, dass man aus der Zahl anwesender Personen und Gruppengröße auf die sprechende Personenzahl n_s schließen kann.

J. H. Rindel, „Verbal communication and noise in eating establishments“, *Applied Acoustics*, Bd. 71, Nr. 12, S. 1156–1161, Dez. 2010.

Analyse der akustischen Situation

Nutzschallquelle:
Sprechende Person

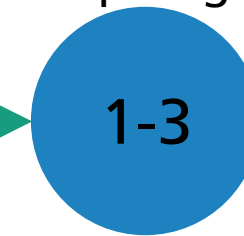


Übertragungsweg:

Raum



Empfänger



Schallquellen haben gleiche
Leistung und Steigerung
wegen Lombardeffekt

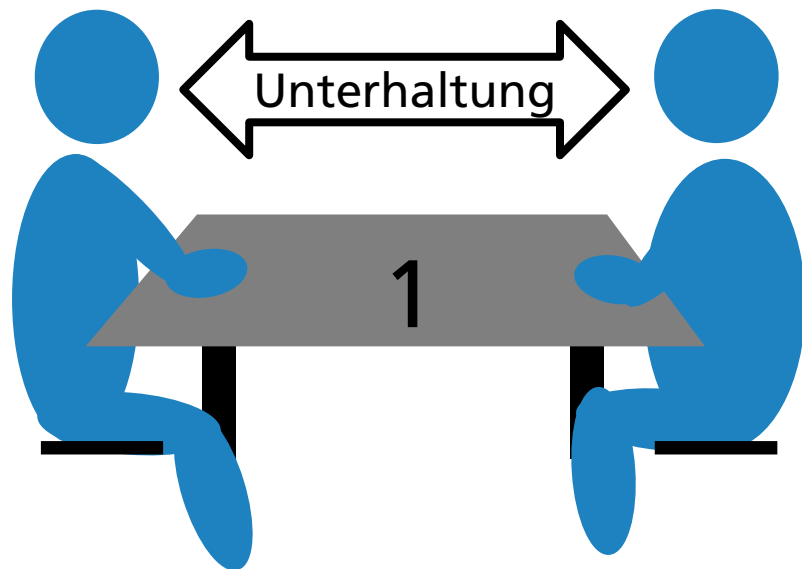
$$c = 0,5 \text{ dB/dB}$$

n_s

Störschallquellen:
Sprechende Personen

$$n_s = (N / g) - g$$

Analyse: Ein Gespräch bei niedrigem Hintergrundgeräusch



- Bei niedrigem Hintergrundgeräusch bis 45 dB(A) gibt es keine Anhebung der Stimmlautstärke
- Entspannte Sprechweise bedeutet ca. 55 dB(A) bei einem Meter Abstand vom Sprecher

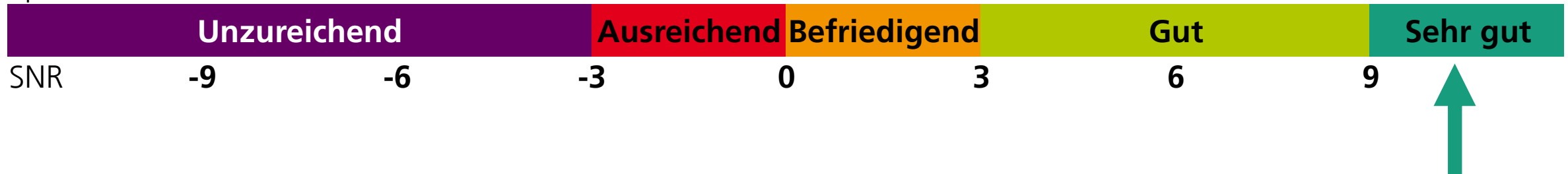
$$L_{S,A,1m} = 55 + c \cdot (L_{N,A} - 45) \text{ [dB]}$$

- Bildet man die Differenz zwischen Sprecherpegel und Hintergrundgeräusch erhält man den Signal Noise Ratio (SNR)
- SNR = 10 dB bedeutet hohe Sprachverständlichkeit

Modellierung: Sprachverständlichkeit SNR

- $\text{SNR} = \text{Sprachpegel} - \text{Störschallpegel [dB]}$ oder in Worten:
Wieviel der Sprecher lauter ist als das Hintergrundgeräusch

Sprachverständlichkeit

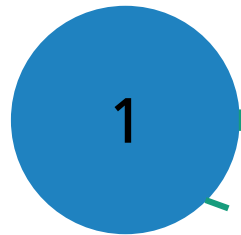


- Die Sprachverständlichkeit kann in erster Näherung durch den SNR vorhergesagt werden.

H. Lazarus, „Prediction of verbal communication in noise—A development of generalized SIL curves and the quality of communication (Part 2)“, *Applied Acoustics*, Bd. 20, Nr. 4, S. 245–261, 1987.

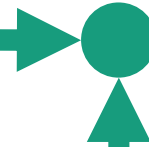
Analyse der akustischen Situation

Nutzschallquelle:
Sprechende Person

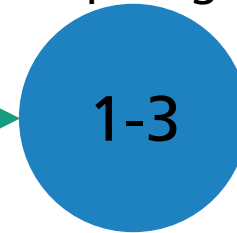


Übertragungsweg:

Raum



Empfänger



Lombard Effekt

$$c = 0,5 \text{ dB/dB}$$

$$L_{S,A,1m} = 55 + c \cdot (L_{N,A} - 45) \text{ [dB]}$$

n_s

$$n_s = N / g - g$$

Störschallquellen:
Sprechende Personen

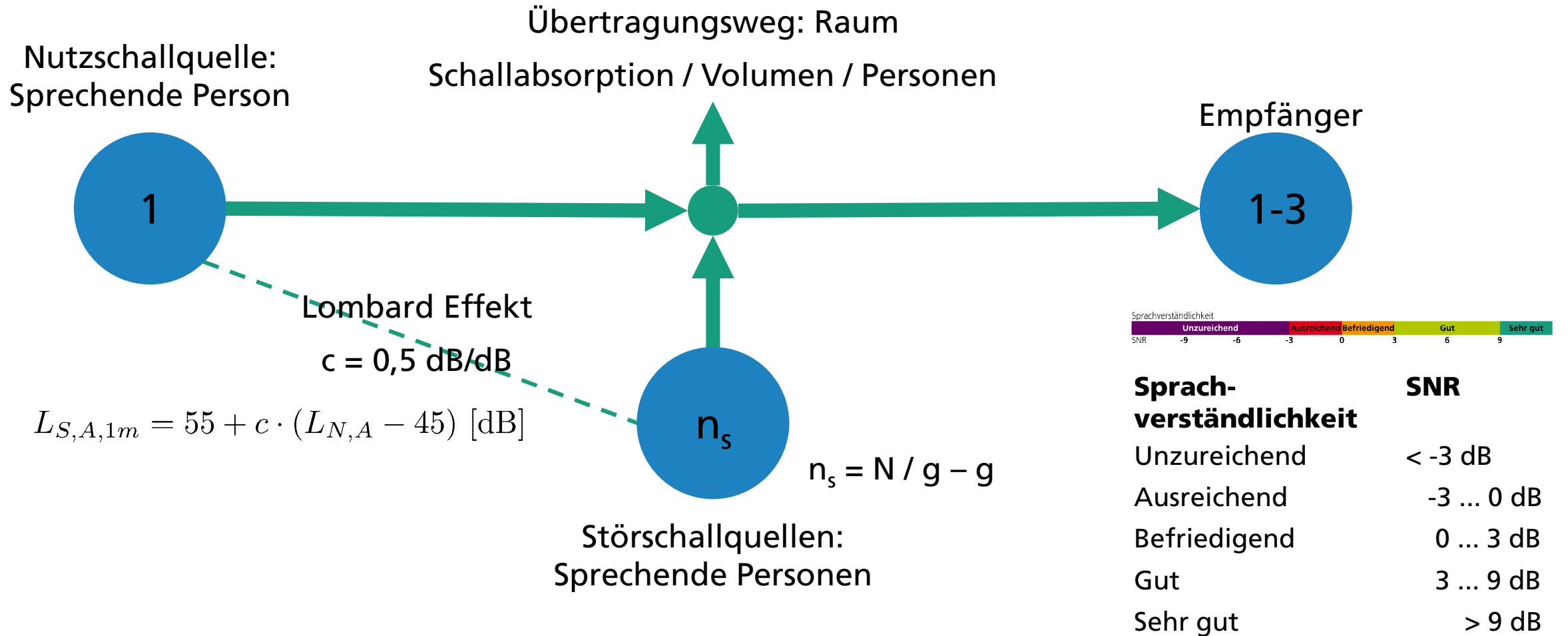


**Sprach-
verständlichkeit**

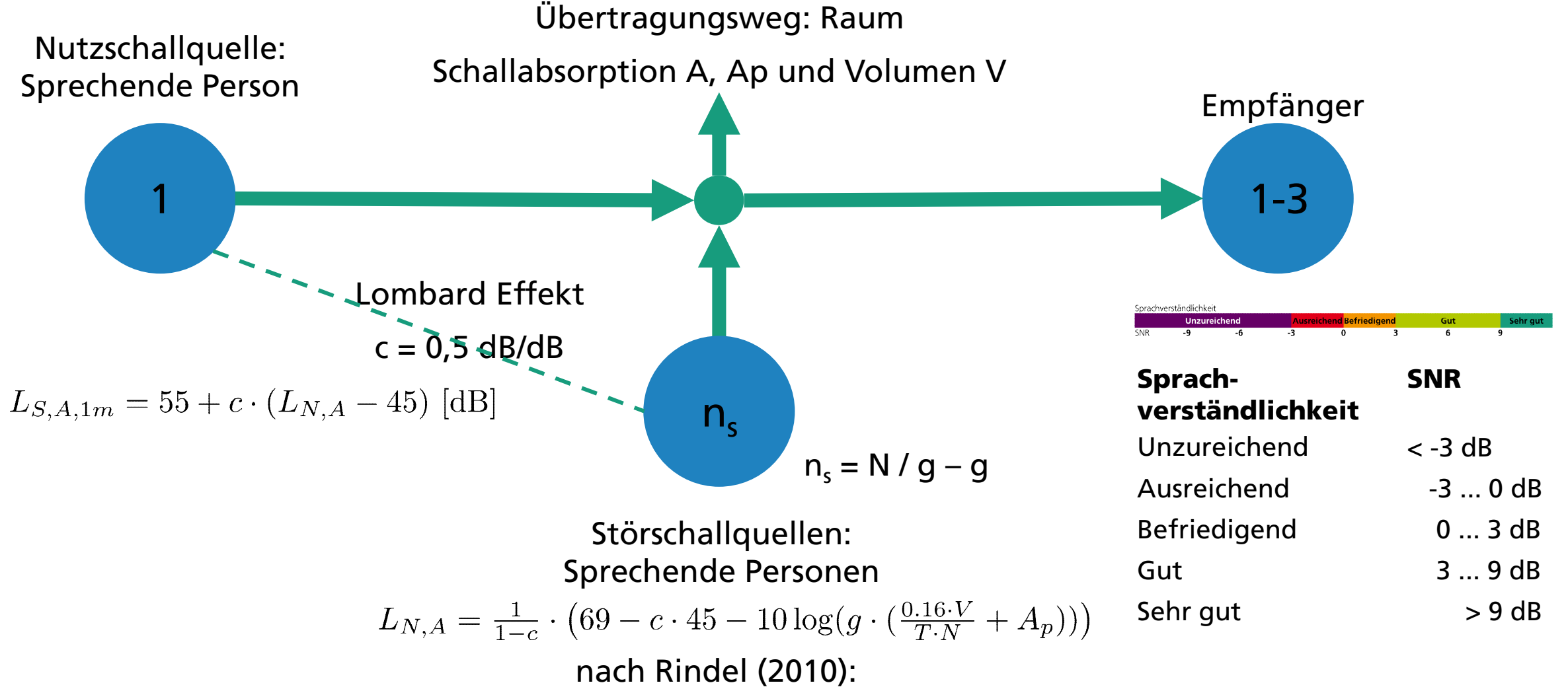
SNR

Unzureichend	< -3 dB
Ausreichend	-3 ... 0 dB
Befriedigend	0 ... 3 dB
Gut	3 ... 9 dB
Sehr gut	> 9 dB

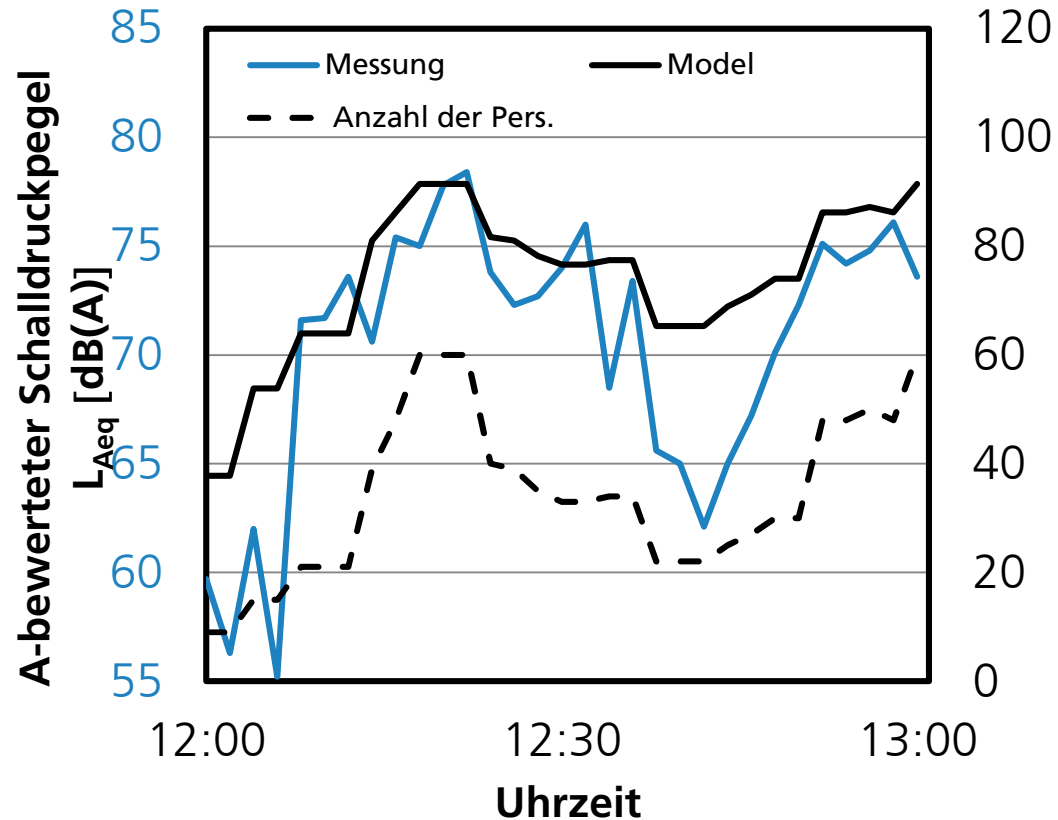
Analyse der akustischen Situation



Analyse der akustischen Situation



Modellierung

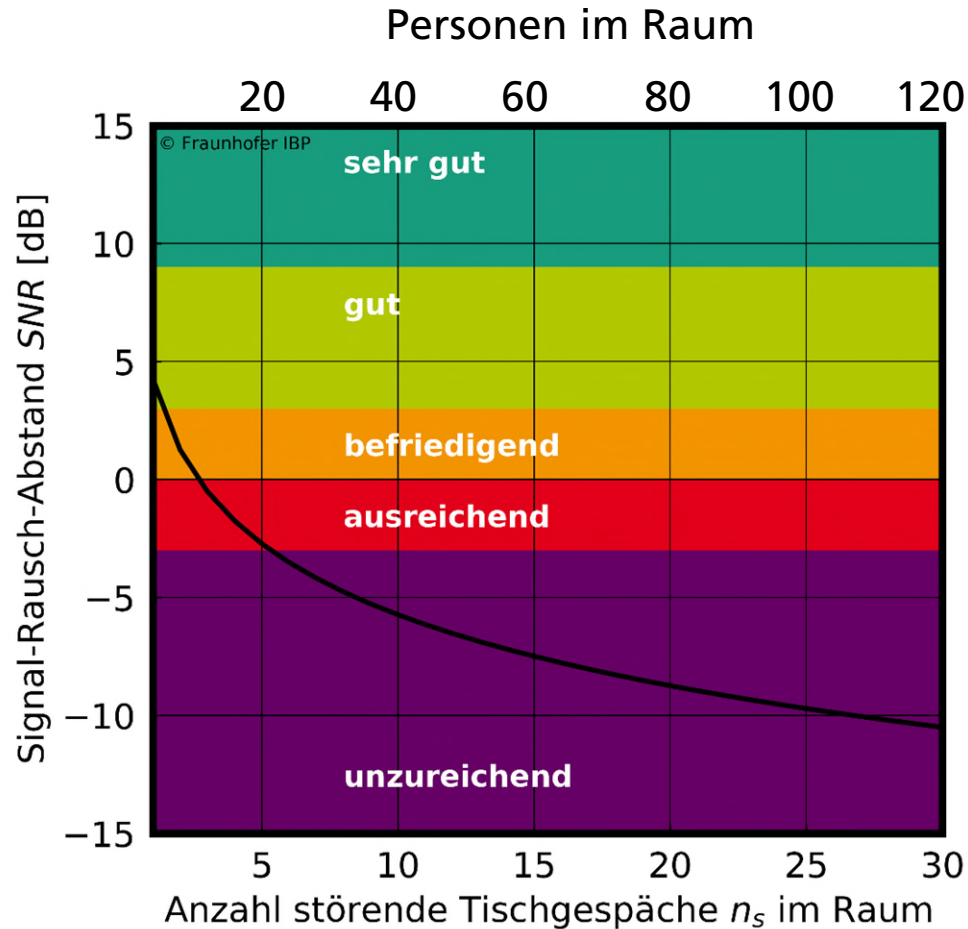


$$L_{N,A} = \frac{1}{1-c} \cdot \left(69 - c \cdot 45 - 10 \log \left(g \cdot \left(\frac{0.16 \cdot V}{T \cdot N} + A_p \right) \right) \right)$$

■ Modellierung mit Parametern:

- Lombard Slope $c = 0,5$ dB/dB
- Gruppengröße $g = 4$
- Nachhallzeit $T = 0,93$ s
- Raumvolumen $V = 324$ m³
- Absorption Personen $A_p = 0,5$ m²/Person
- Distanz Sprecher-Empfänger $r = 1$ m

Beurteilung der Sprachverständlichkeit durch SNR



■ Modellierung mit Parametern:

■ Lombard Slope $c = 0,5 \text{ dB/dB}$

■ Gruppengröße $g = 4$

■ Nachhallzeit $T = 0,93 \text{ s}$

■ Raumvolumen $V = 324 \text{ m}^3$

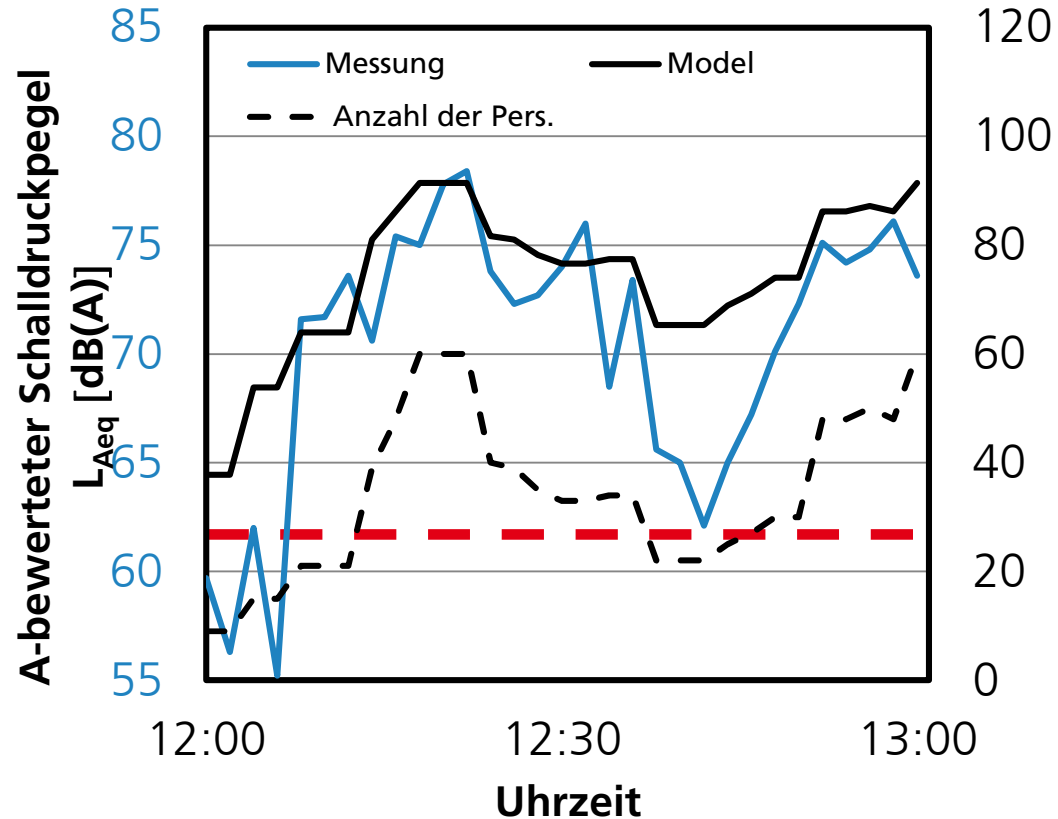
■ Absorption Personen $A_p = 0,5 \text{ m}^2/\text{Person}$

■ Distanz Sprecher-Empfänger $r = 1 \text{ m}$

■ Ab 6 störenden Gesprächen (= 28 Personen) ist die Sprachverständlichkeit unzureichend

■ Der Raum hat 124 Plätze

Beurteilung der Sprachverständlichkeit durch SNR



■ Modellierung mit Parametern:

■ Lombard Slope $c = 0,5$ dB/dB

■ Gruppengröße $g = 4$

■ Nachhallzeit $T = 0,93$ s

■ Raumvolumen $V = 324$ m³

■ Absorption Personen $A_p = 0,5$ m²/Person

■ Distanz Sprecher-Empfänger $r = 1$ m

■ Ab 6 störenden Gesprächen (= 24 Personen) ist die Sprachverständlichkeit unzureichend

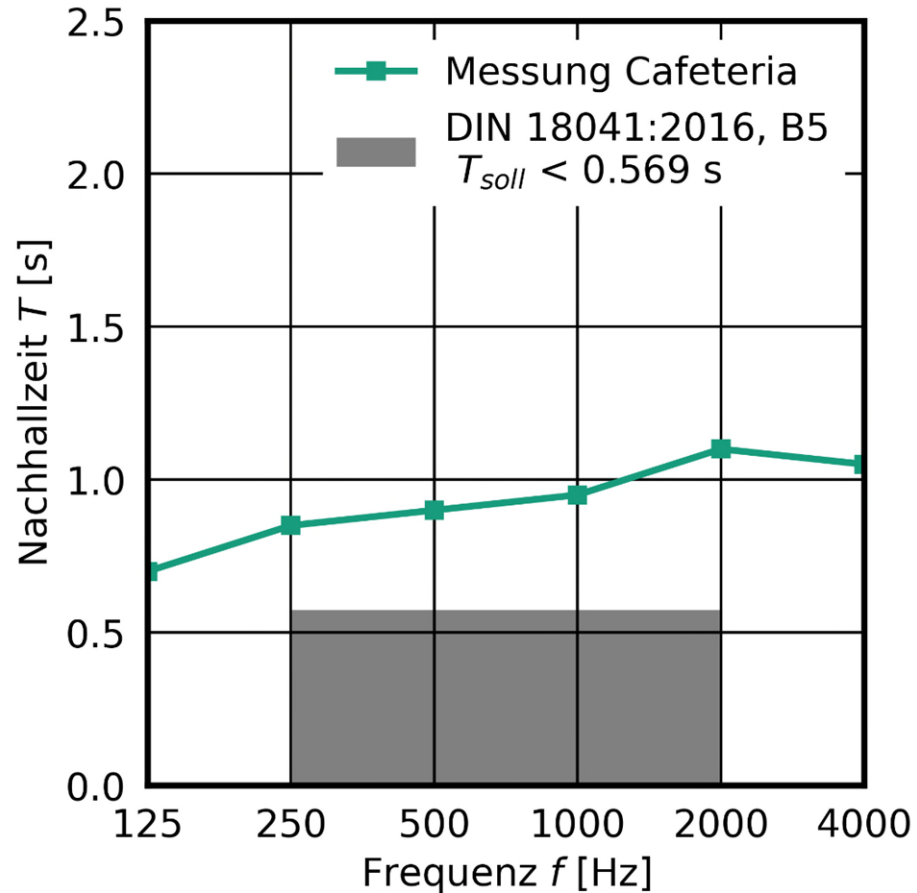
■ Der Raum hat 124 Plätze

Raumbeschaffenheit

- Gut: Decke ist abgehängt und schallabsorbierend
- Problematisch:
 - Raumhohe Glasfassade
 - Verputzte Innen- und Außenwände
 - Glattbodenbelag
 - Schallhartes Mobiliar
 - Der Raum ist eng möbliert
- Die Wahl von großen schallharten Oberflächen ist akustisch problematisch

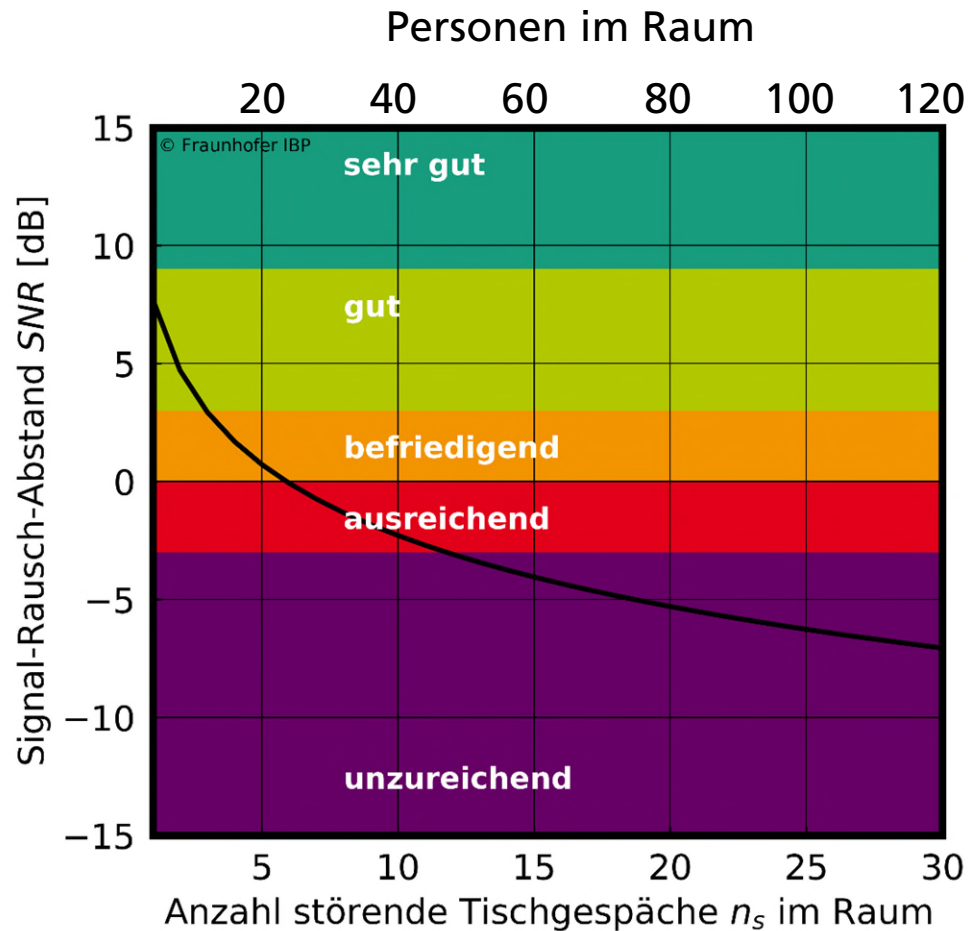


Raumbeschaffenheit



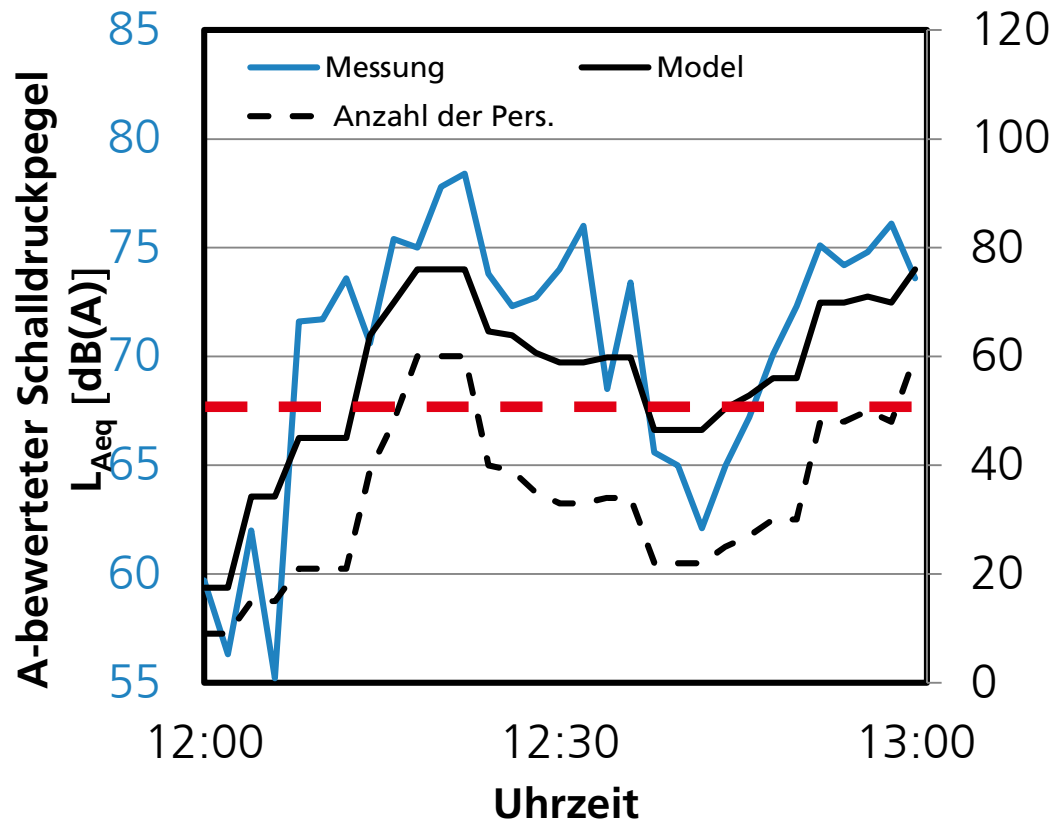
- Beschaffenheit des Raumes
 - Raumvolumen $V = 324$ m³
 - Raumhöhe $h = 2,7$ m
- DIN 18041, Raumklasse B5
... „Speiseräume und Kantinen in Schulen,“ ...
- Nach DIN 18041 müsste die Nachhallzeit im Raum etwa halbiert werden:
 $T_{neu} = 0,5$ s

Verbesserung bei Nachhallzeit nach Norm T~0,5 s



- Modellierung mit Parametern:
 - Lombard Slope $c = 0,5 \text{ dB/dB}$
 - Gruppengröße $g = 4$
 - Nachhallzeit $T = 0,5 \text{ s}$
 - Raumvolumen $V = 324 \text{ m}^3$
 - Absorption Personen $A_p = 0,5 \text{ m}^2/\text{Person}$
 - Distanz Sprecher-Empfänger $r = 1 \text{ m}$
- Ab 13 störenden Gesprächen (= 56 Personen) ist die Sprachverständlichkeit unzureichend
- Der Raum hat 124 Plätze

Verbesserung bei Nachhallzeit nach Norm $T \sim 0,5$ s



■ Modellierung mit Parametern:

■ Lombard Slope $c = 0,5$ dB/dB

■ Gruppengröße $g = 4$

■ Nachhallzeit $T = 0,5$ s

■ Raumvolumen $V = 324$ m³

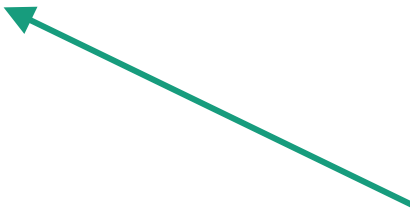
■ Absorption Personen $A_p = 0,5$ m²/Person

■ Distanz Sprecher-Empfänger $r = 1$ m

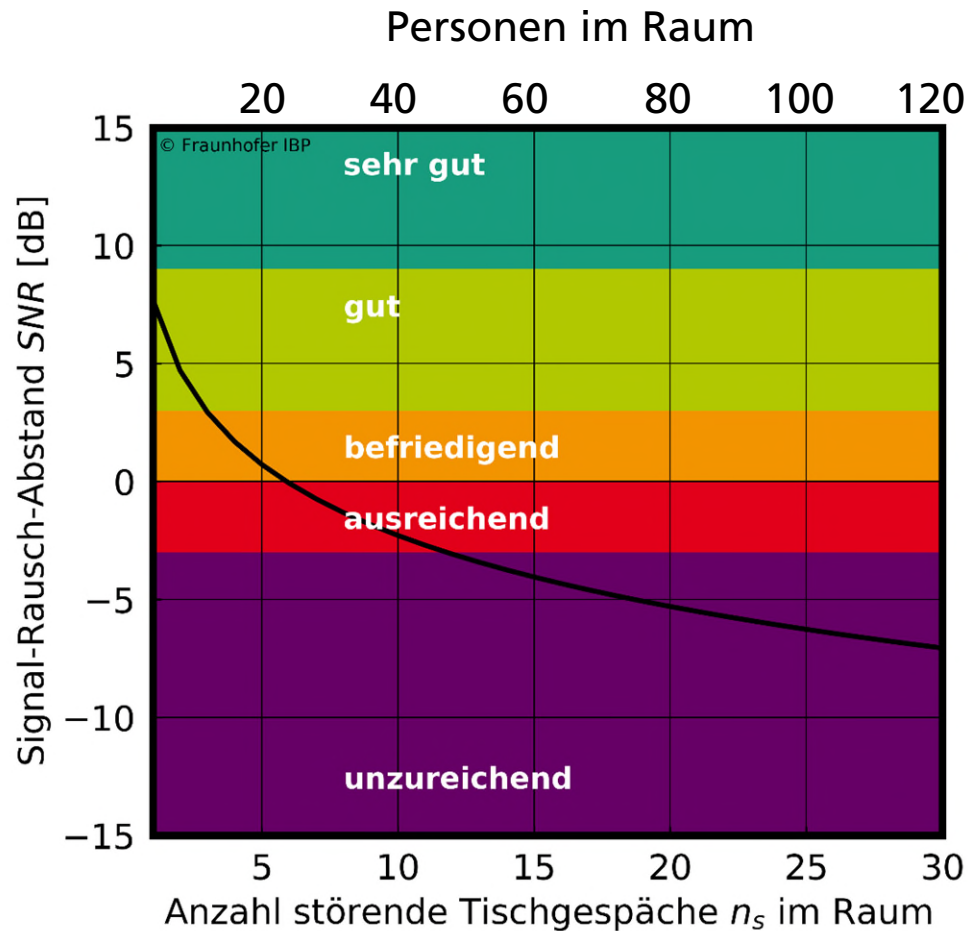
■ Ab 13 störenden Gesprächen (= 56 Personen) ist die Sprachverständlichkeit unzureichend

■ Der Raum hat 124 Plätze

Absorptionsflächen nach Messung, Norm und Modell

- Beispiel-Cafeteria: $V = 324 \text{ m}^3$, $h = 2,7 \text{ m}$, $S = 366 \text{ m}^2$, 124 Plätze, 4 Personen/Gespräch
 - Gemessen $A = 57,5 \text{ m}^2$
 - DIN 18041:2016
 - B5: $A = 92,8 \text{ m}^2$
 - Auslegung nach SNR für 80% Belegung (100 Personen)
 - **ausreichend:** $A = 169,2 \text{ m}^2$
 - **befriedigend:** $A = 230,2 \text{ m}^2$
 - **gut:** $A = 280,2 \text{ m}^2$
- Bodenfläche: 120 m^2
Deckenfläche: 120 m^2
Wandfläche: 126 m^2
(davon 85 m^2 Verglasung)
- 

Fazit



- Mit raumakustischen Pegelmodellen ergibt sich ein nachvollziehbarer Akustik-Standard auf Basis von
 - physikalischen Zusammenhängen
 - Sprachverständlichkeitsmodell SNR
- Es wird sichtbar, dass die **raumakustische Auslegung** bereits im **Grundentwurf** mitgedacht werden muss
- **Große Räume** mit **hoher Schallabsorption** sind ideal
- Die **Anzahl der Sitzplätze** und damit der Störsprecher ist entscheidend für die akustische Qualität
- Es gibt weiteren Forschungsbedarf, wie Cafeterien optimiert werden können (Modellierung, Grundrisse, akustische Maßnahmen)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Alexander Dickschen, M. Sc.

Gruppe Raumakustik

Abteilung Akustik

alexander.dickschen@ibp.fraunhofer.de

Literatur:

- A. Dickschen und M. Späh, IBP-Mitteilung 563: „Akustisches Modell zur Planung von (Betriebs-)Restaurants“.
- J. H. Rindel, „Verbal communication and noise in eating establishments“, *Applied Acoustics*, Bd. 71, Nr. 12, S. 1156–1161, 2010.
- A. Topal, „Geräuschpegel und Raumakustik in Bewirtschaftungsräumen von Schulen, Hochschulen und Betrieben (Bachelor-Arbeit)“. Universität Stuttgart, 2018.

