

Dr. Oliver Wolff, Leiter Bauphysik, Geberit International AG, Schweiz

■ GEBERIT

19. SANITÄR TECHNISCHES SYMPOSIUM

SCHALLSCHUTZ

Sanitärgeräusche, Normen, Schallprognose,
Sensor Arrays, CFD Simulationen, Psychoakustik

13.02.2019





Wellen

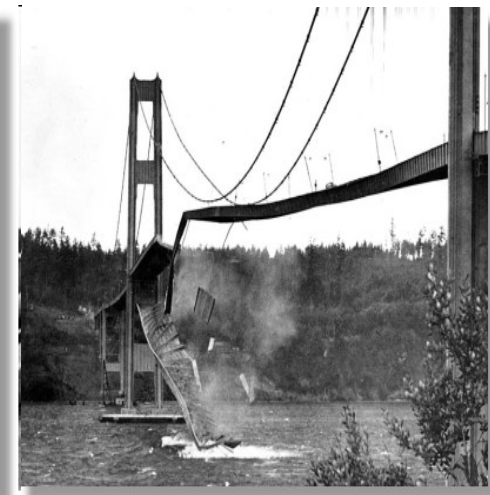
Wellen und Emotionen liegen eng beieinander.

Hängebrücke von Tacoma Narrows 7. November 1940

Eröffnungsfeier am 1. Juli 1940



Einsturz am 7. November 1940





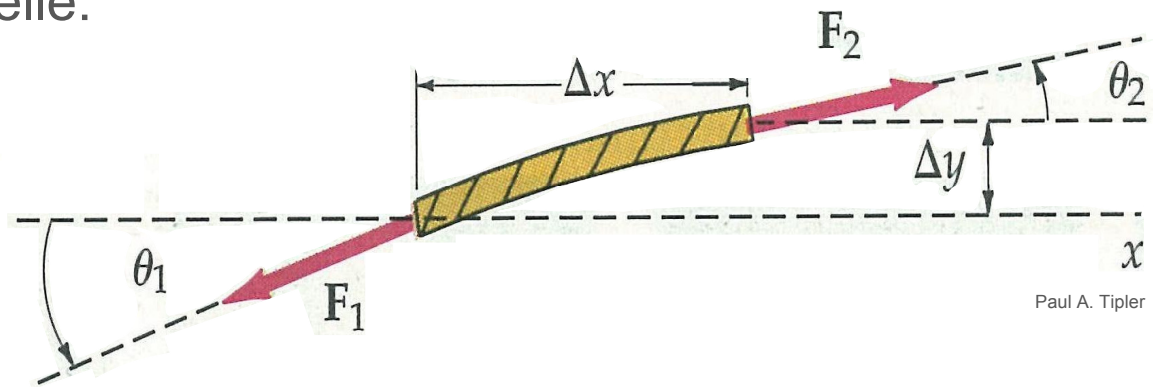
FOLIE 5
19. SANITÄR TECHNISCHES SYMPOSIUM

 **GEBERIT**

Wellen

Ansatz zur Ableitung der Wellengleichung.

Transversalwelle:



Ansatz:

$$\text{Rückstellkraft} = \text{Masse} * \text{Beschleunigung}$$

Wellen

Ableitung der Wellengleichung.

Rückstellkraft

=

Masse * Beschleunigung

$$\begin{aligned}\sum F &= F \cdot \sin \Theta_2 - F \cdot \sin \Theta_1 \approx \\ &\approx F \cdot \tan \Theta_2 - F \cdot \tan \Theta_1 = \\ &= F \cdot \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x_2} - \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x_1} \right] = \\ &= F \cdot \Delta S\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= \\ &= \mu \cdot \Delta x \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\end{aligned}$$

$$F \cdot \Delta S = \mu \cdot \Delta x \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta x} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \rightarrow$$

$$\left| \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \cdot \frac{F}{\mu} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right.$$

$$\sqrt{\frac{F}{\mu}} = c \text{ Wellengeschwindigkeit}$$



Wellen

Anwendung der Wellengleichung auf eine La Ola Welle.

La Ola (Stadionwelle):

Prof. Helbing, Lehrstuhl Soziologie ETH Zürich



$$\sqrt{\frac{F}{\mu}} = c \quad \text{Wellengeschwindigkeit}$$

➔ Bestimmung der «Werkstoffeigenschaften» einer La Ola Welle



Wellen

« Werkstoffeigenschaften » einer La Ola Welle.

Die Menschenmenge verhält sich von aussen betrachtet wie ein «Werkstoff» mit sehr ungewöhnlichen Eigenschaften.

→ $c = 50 \text{ km/h} = 14 \text{ m/s}$
→ $\mu = 80 \text{ kg/m}$ (1 Person pro Meter)



→ $F = 15'680 \text{ N}$ («soziale» Kraft)

Auf Person senkrecht nach oben wirkende Kraft:

$F * \sin(\text{Winkel zum Nachbarn}) = 15'680 \text{ N} * \sin 5^\circ$ → $F = 1'366 \text{ N}$ (nach oben wirkende Kraft)

E-Modul:

$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \rightarrow \underline{\underline{0.001366 \text{ MPa}}}$ (ca. 100 mal weicher als Schaumstoff)

«Werkstoff» zeigt keine Dämpfung, ist stark anisotrop und sehr weich senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle.

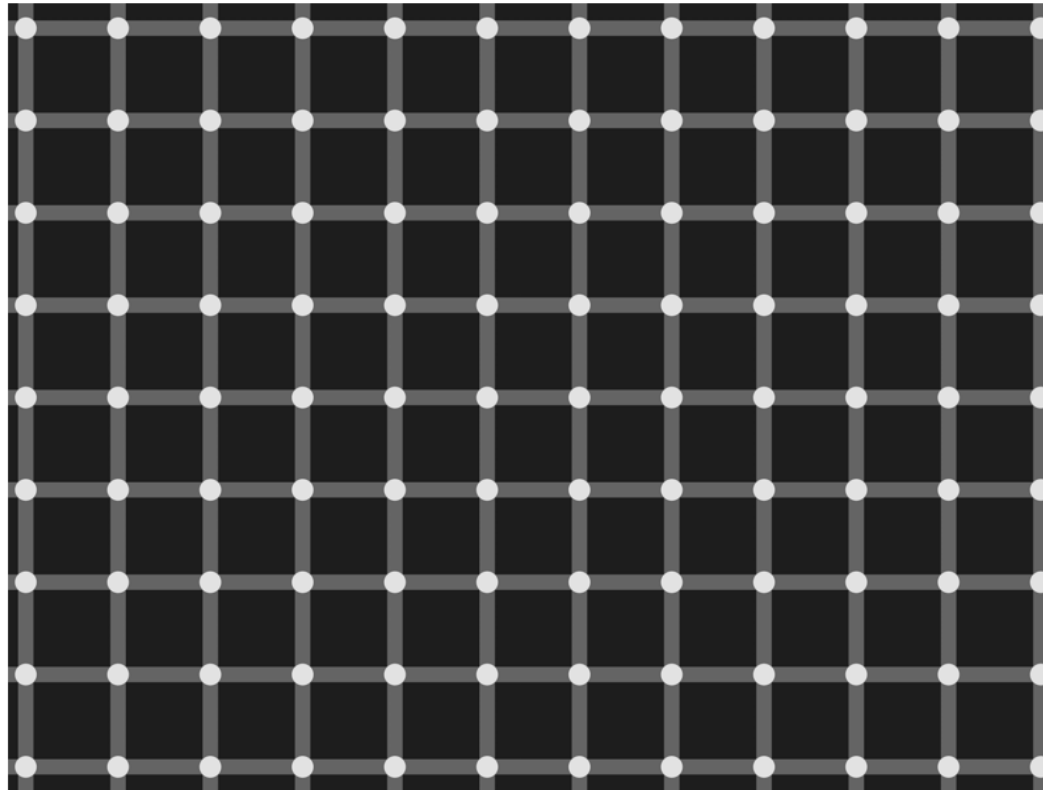






Täuschung

Wieviele schwarze Punkte sind zu sehen?



<http://www.3d-meier.de>



FOLIE 12
19. SANITÄR TECHNISCHES SYMPOSIUM

 GEBERIT

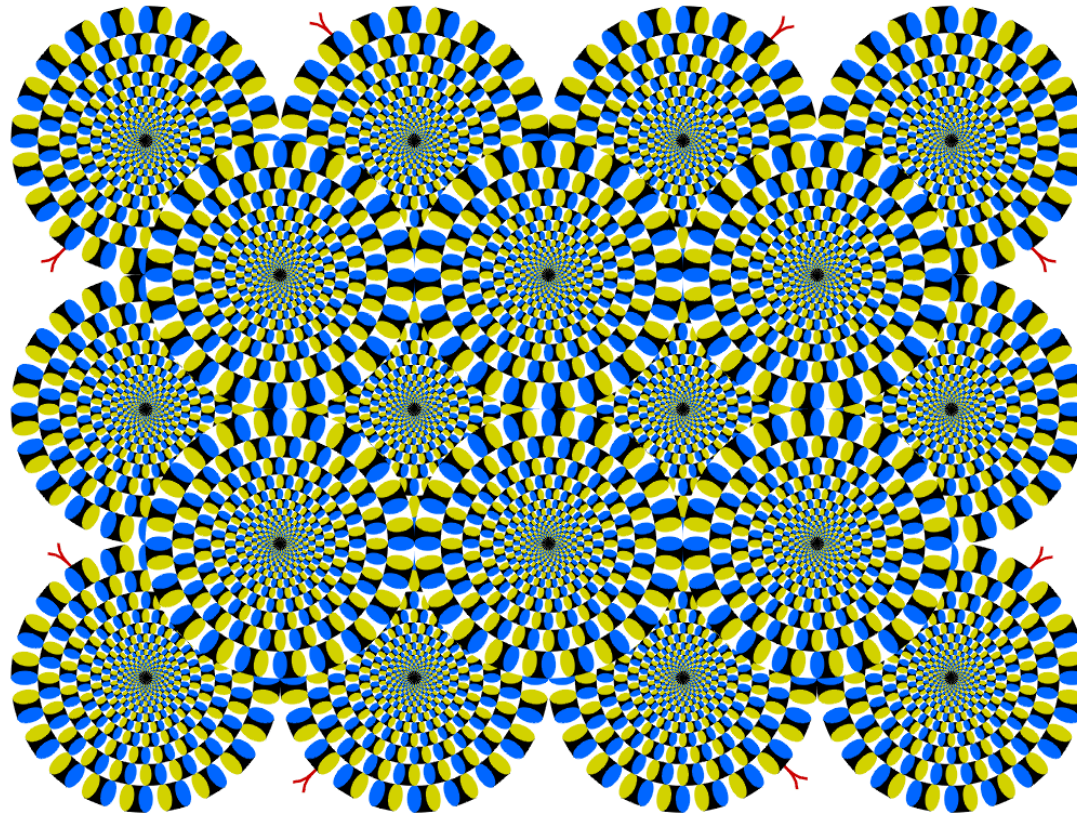
Täuschung

Wierum dreht sich die Frau? Links oder rechts herum?



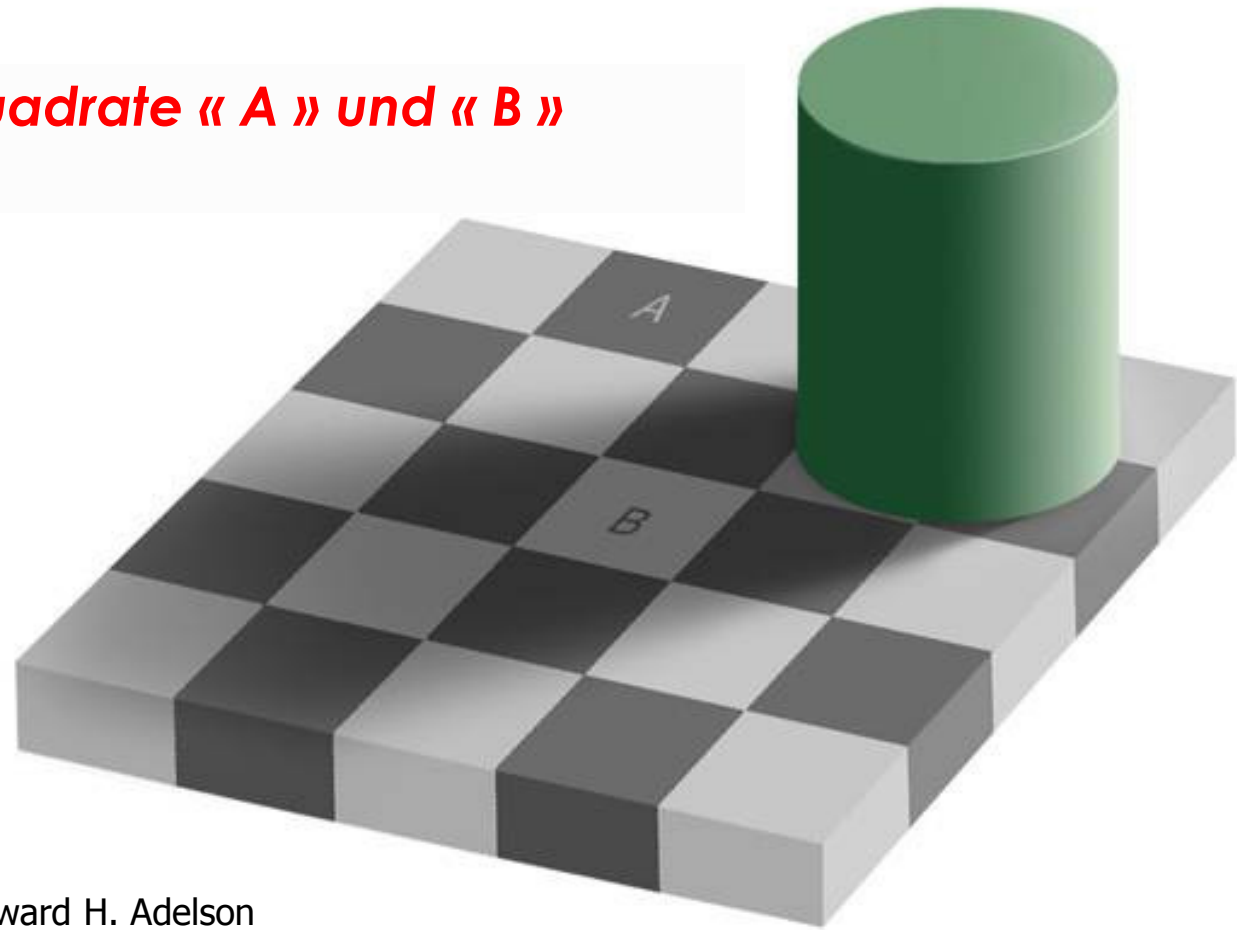
Täuschung

Rotating snakes



Täuschung

**Welches der beiden Quadrate « A » und « B »
erscheint dunkler?**

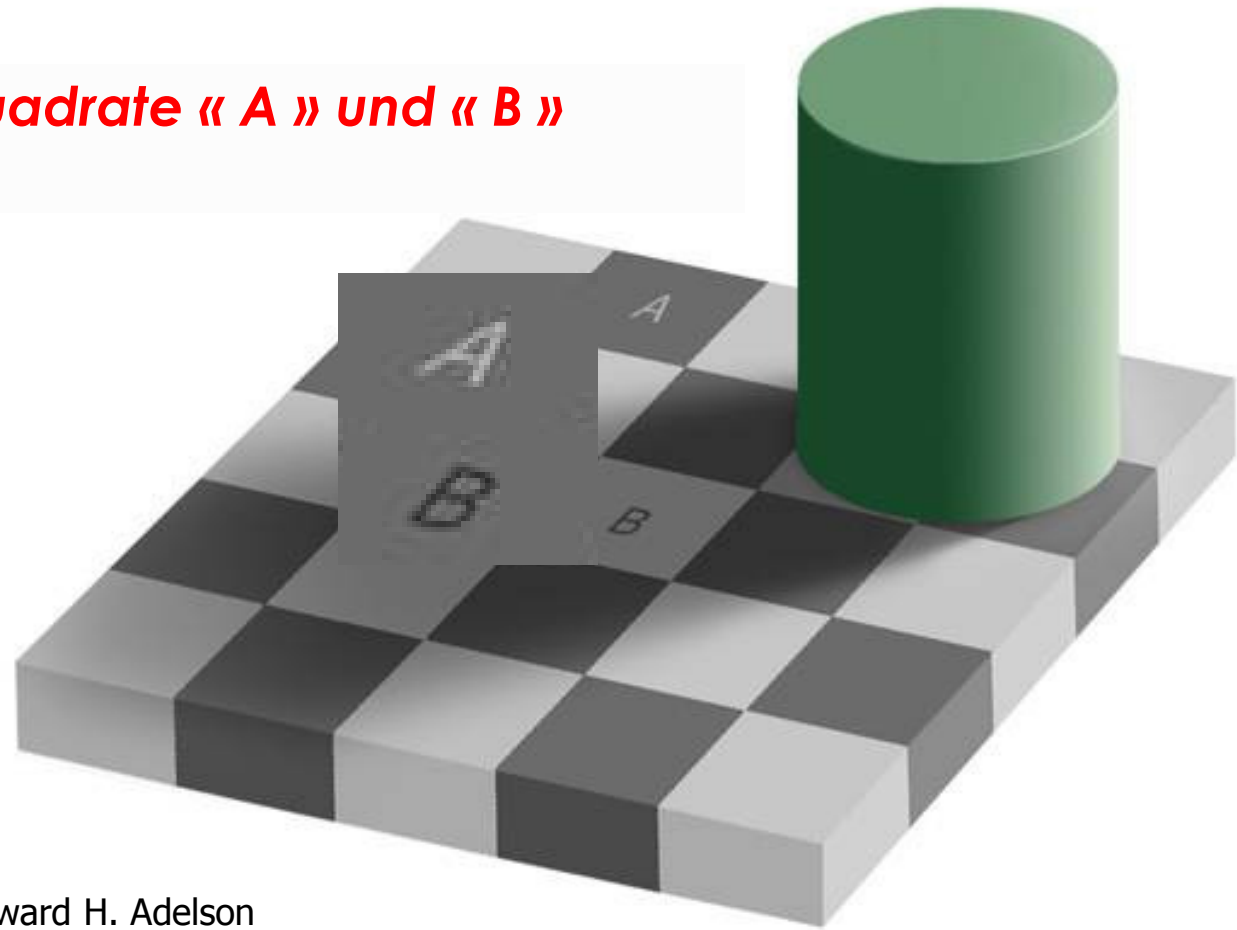


Edward H. Adelson



Täuschung

**Welches der beiden Quadrate « A » und « B »
erscheint dunkler?**



Edward H. Adelson

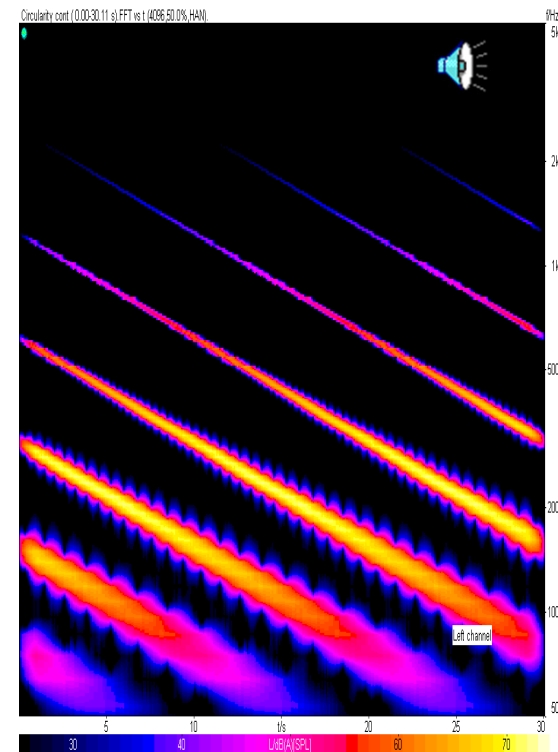
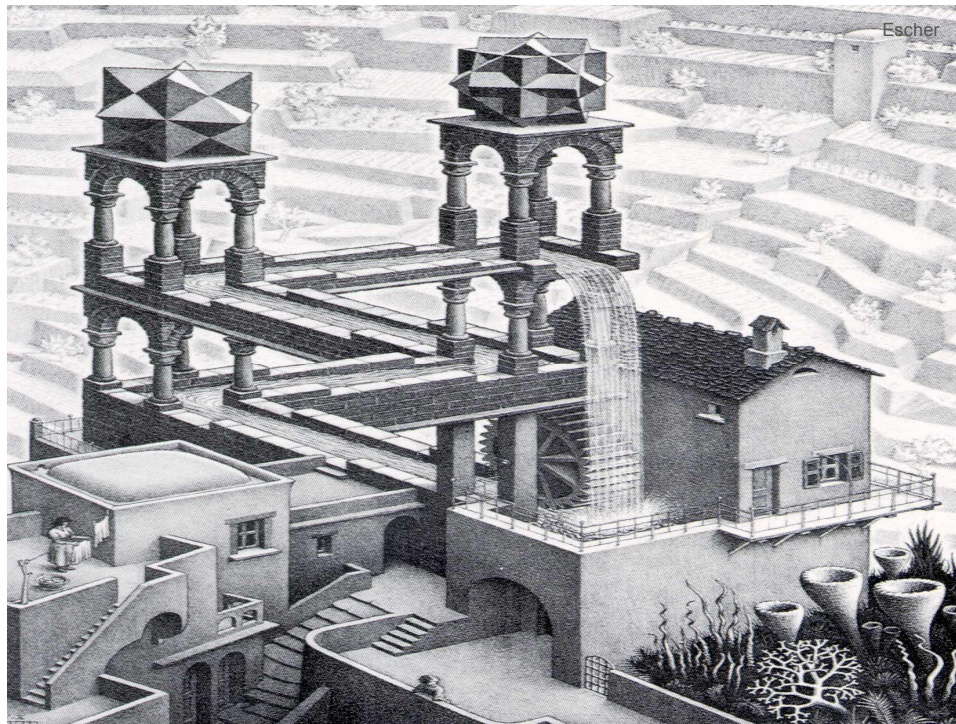






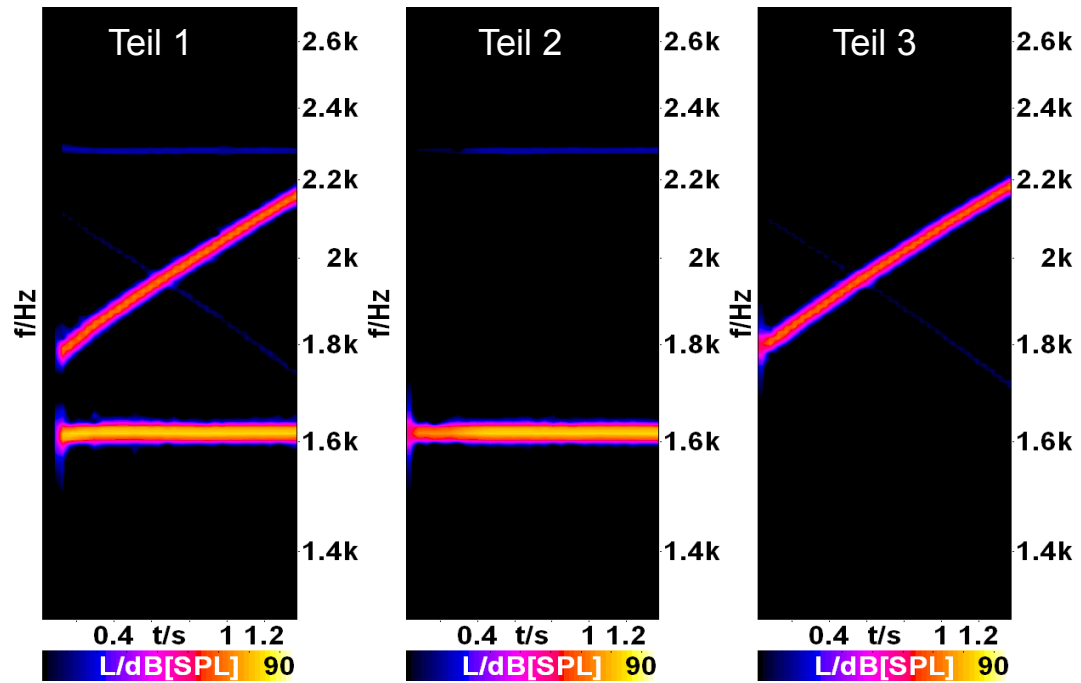
Psychoakustik

Scheinbar fallender Ton



Psychoakustik

Differenztöne







Sound Design

Sound Design am Dusch WC



Dusch WC

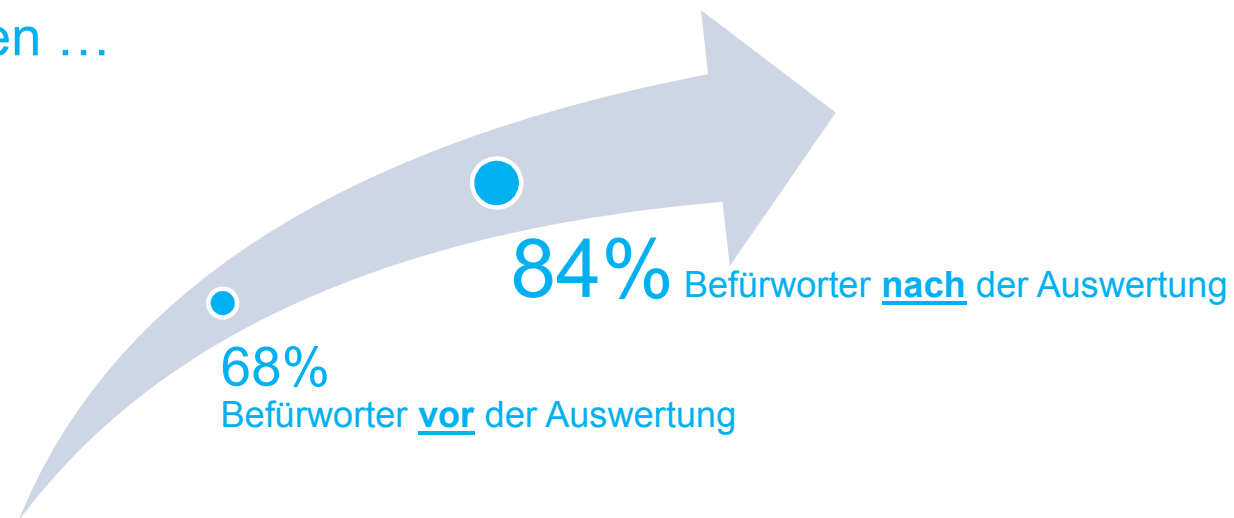


Sound Design

Marketing Potential durch Sensibilisierung

Spielt die Akustik eine Rolle für Ihre Kaufentscheidung?

„Ja“, sagten ...



Sound Design

Erwartungshaltung und Preis

Kleinwagen	Sportwagen
ca. 15 000 CHF	ca. 70 000 CHF
ca. Faktor 5	



WC	Dusch-WC
ca. 300 CHF	ca. 5000 CHF
ca. Faktor 16	



Sound Design

Bachelor Arbeit

Untersuchung von 9 Geräten

Geberit Aquaclean Sela	Geberit Aquaclean 8000+	Geberit Aquaclean 4000	TOTO NEOREST CW997	Duravit SensoWash
				
VOVO TCB 050S	Novita BD-RA770	Panasonic DL-WD60	Daelim DST-600	
				



Sound Design

Bachelor Arbeit

Hypothese:

$$\Delta \textit{Bewertung} = a * \Delta \textit{Klangqualität} + b * \Delta \textit{Pegel}$$



Sound Design

Bachelor Arbeit

Hypothese:

$$\Delta \text{Bewertung} = a * \Delta \text{Klangqualität} + b * \Delta \text{Pegel}$$



Ergebnis:

1 ± 0.5

0 ± 0.5

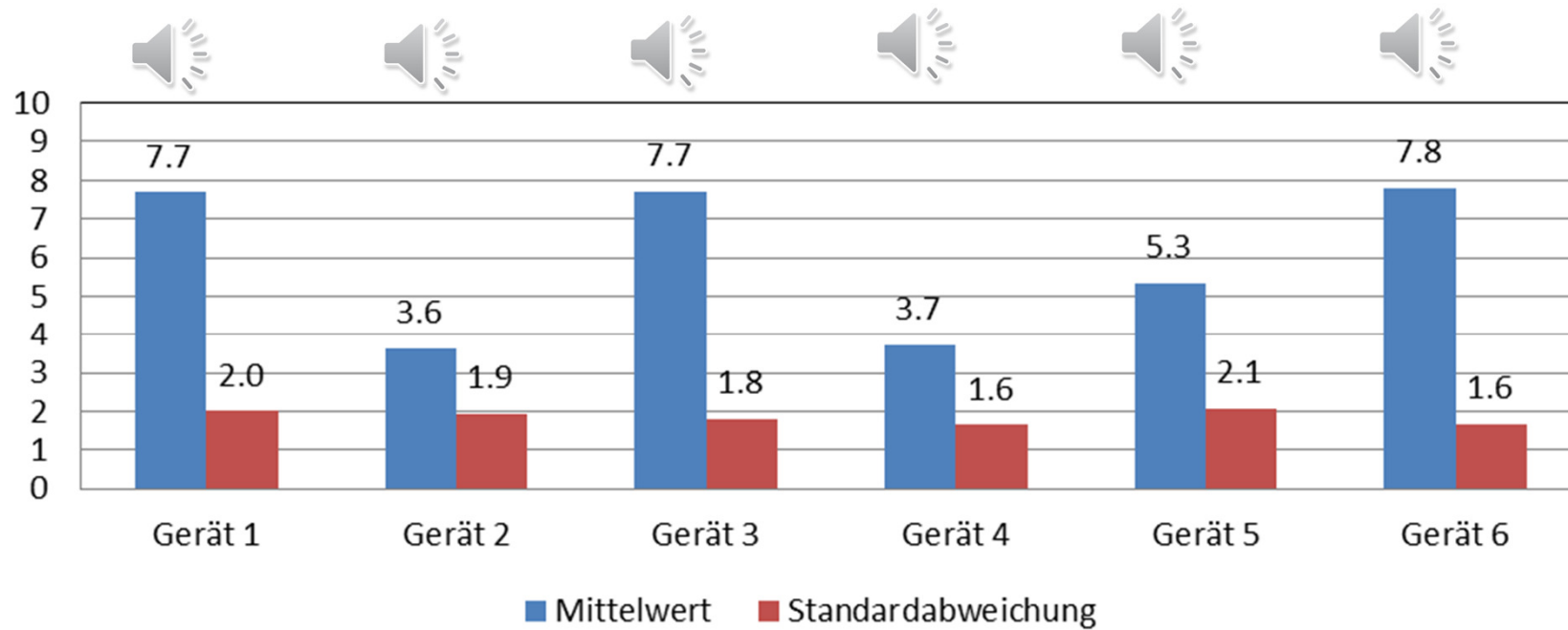
- Die Klangqualität ist im Durchschnitt wichtiger als der Pegel.
- Geschmacksbandbreite der Personen ist sehr gross.



Sound Design

Master Arbeit

Optimierung Deckelheber



Sound Design

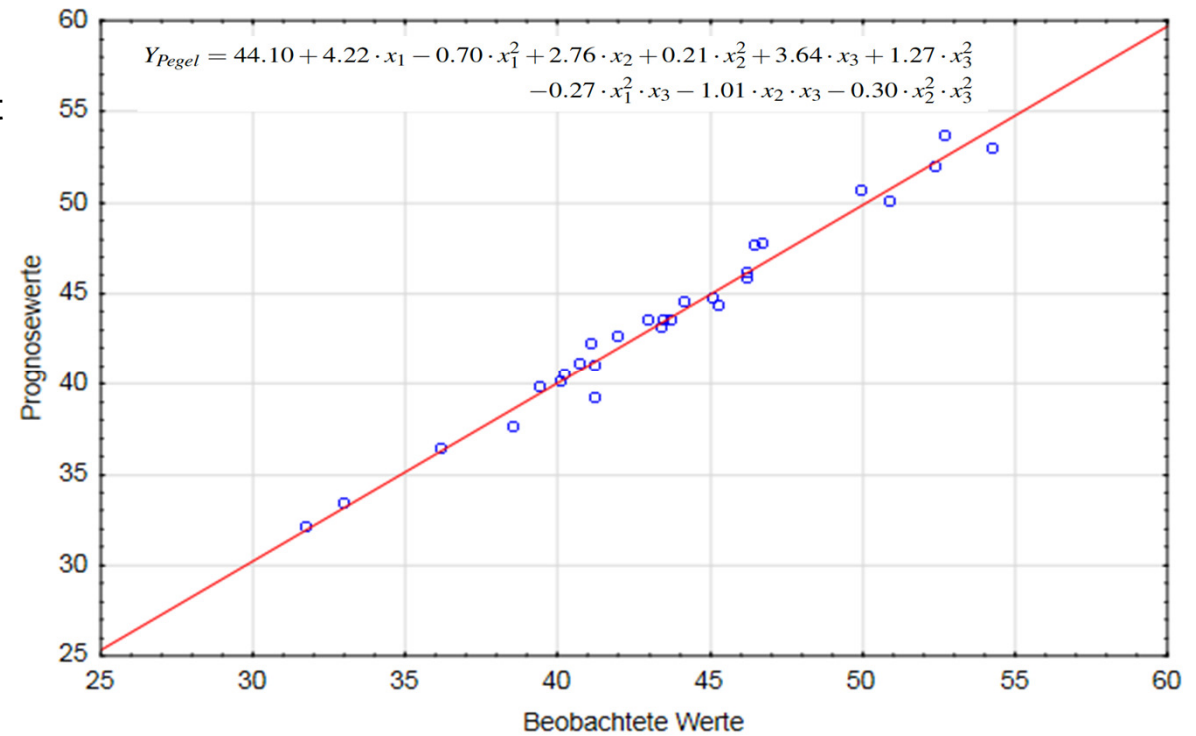
Master Arbeit

Optimierung Deckelheber

x_1 Schrittweite, x_2 Strom, x_3 Geschwindigkeit

Kontrollpunkt:

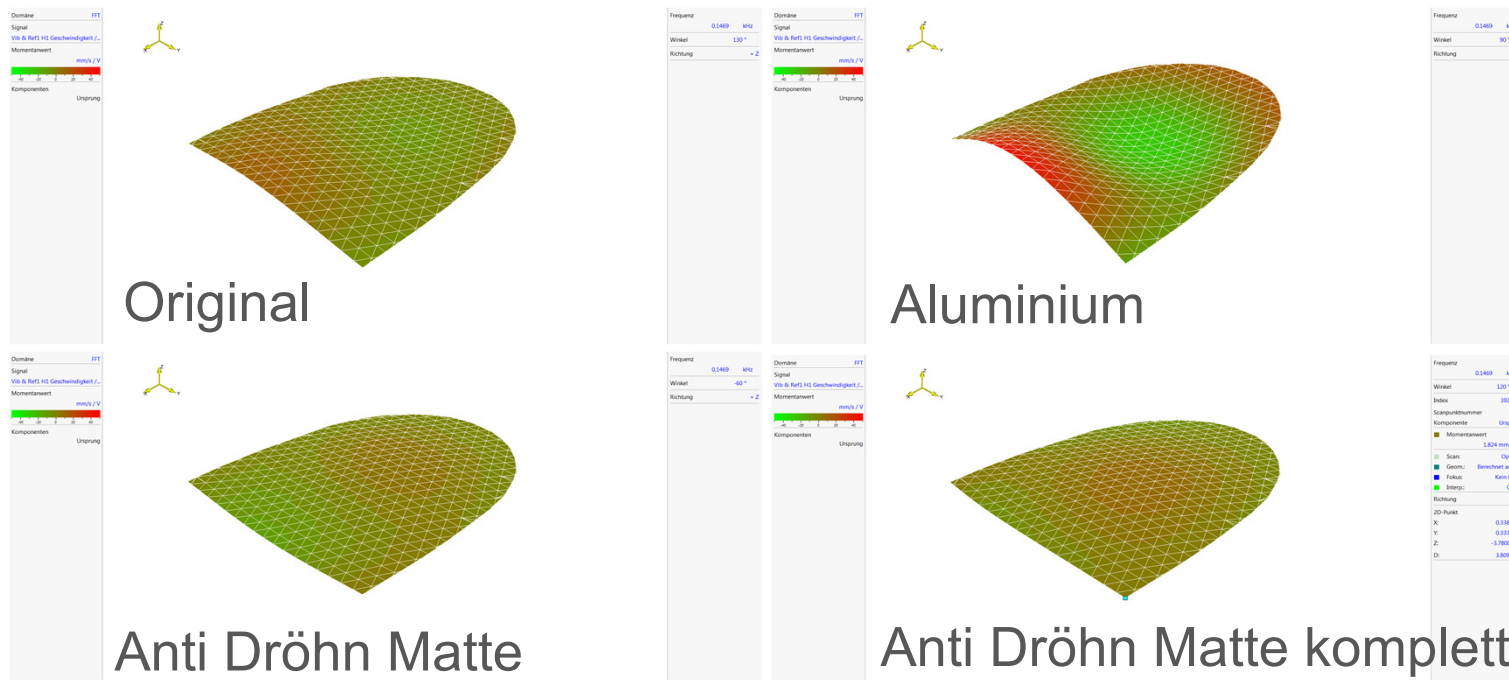
- Schrittweite: 1/16
- Strom: 32 %
- Geschwindigkeit: 4 °/s
- Gemessen: 38.7 dB(A)
- Berechnet: 39.9 dB(A)
- Differenz: 1.2 dB(A), 3 %



Sound Design

Master Arbeit

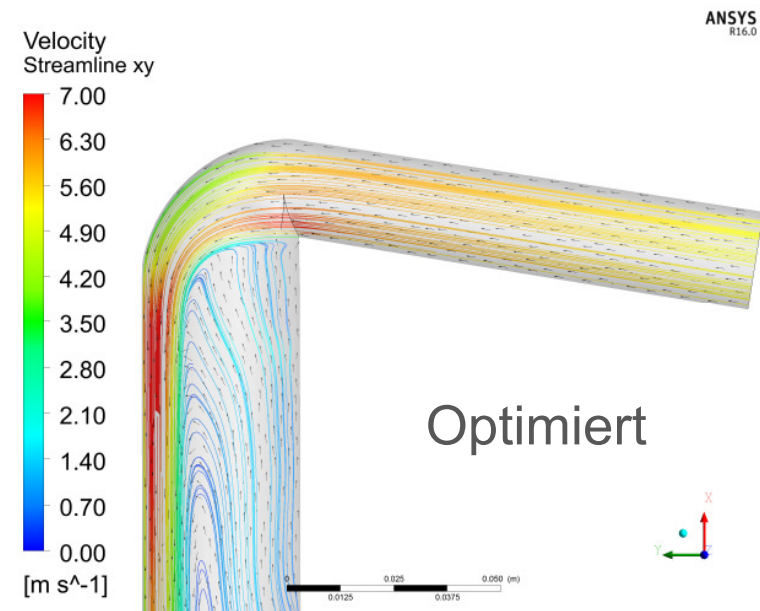
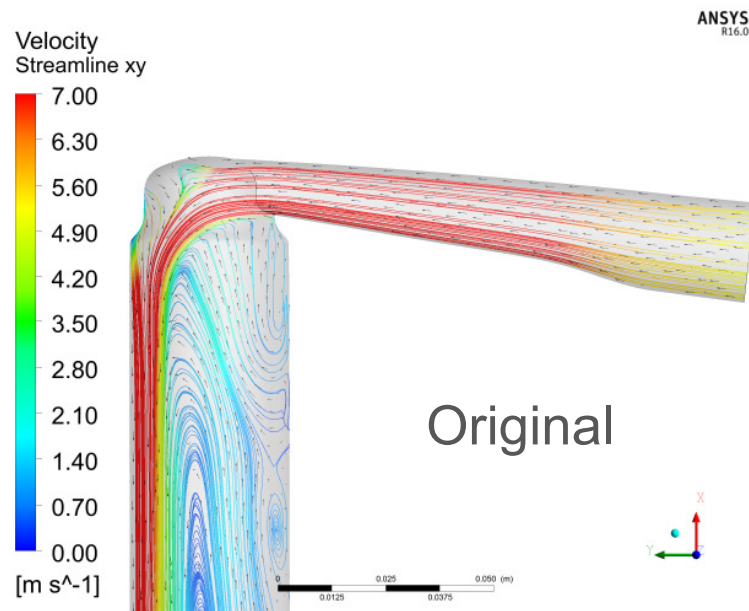
Optimierung Deckelschwingung



Sound Design

Master Arbeit

Geruchsabsaugung

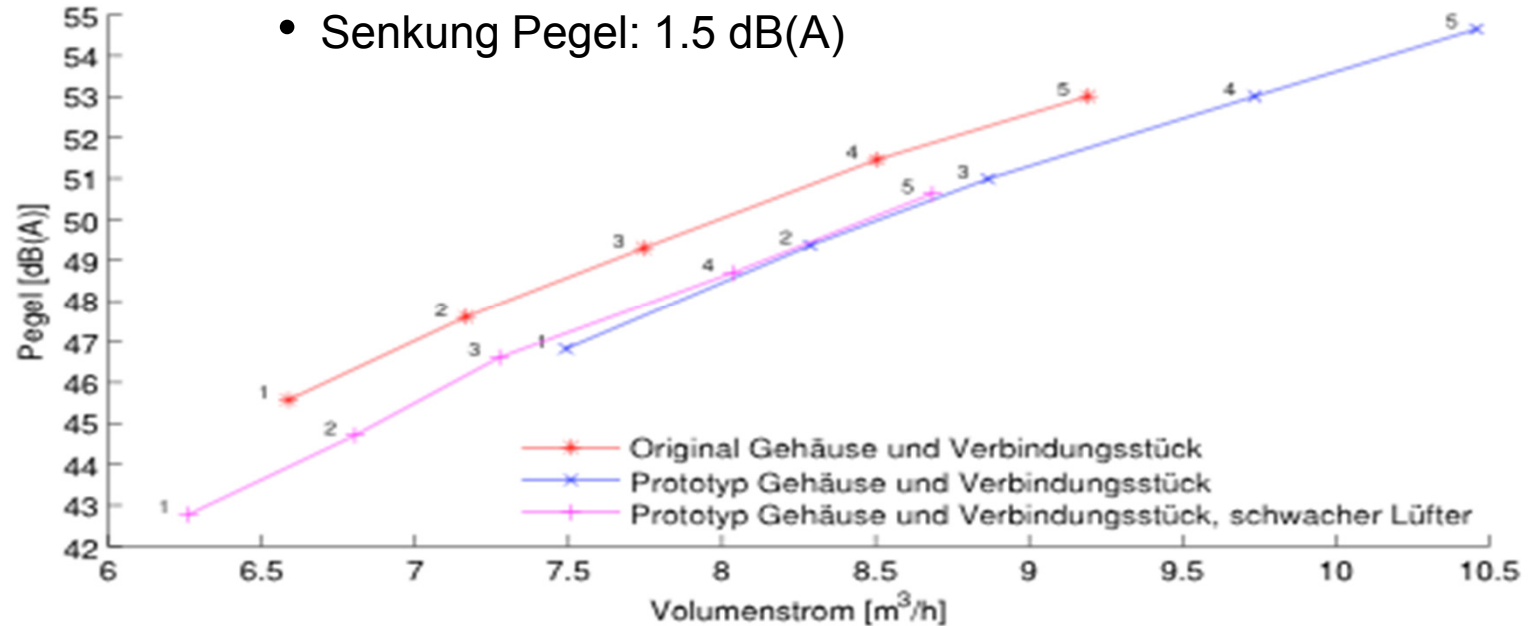


Sound Design

Master Arbeit

Geruchsaubsaugung

- Erhöhung Volumenstrom: 1.14 m³/h
- Senkung Pegel: 1.5 dB(A)



Sound Design

Master Arbeit

Virtuelles Sound Design

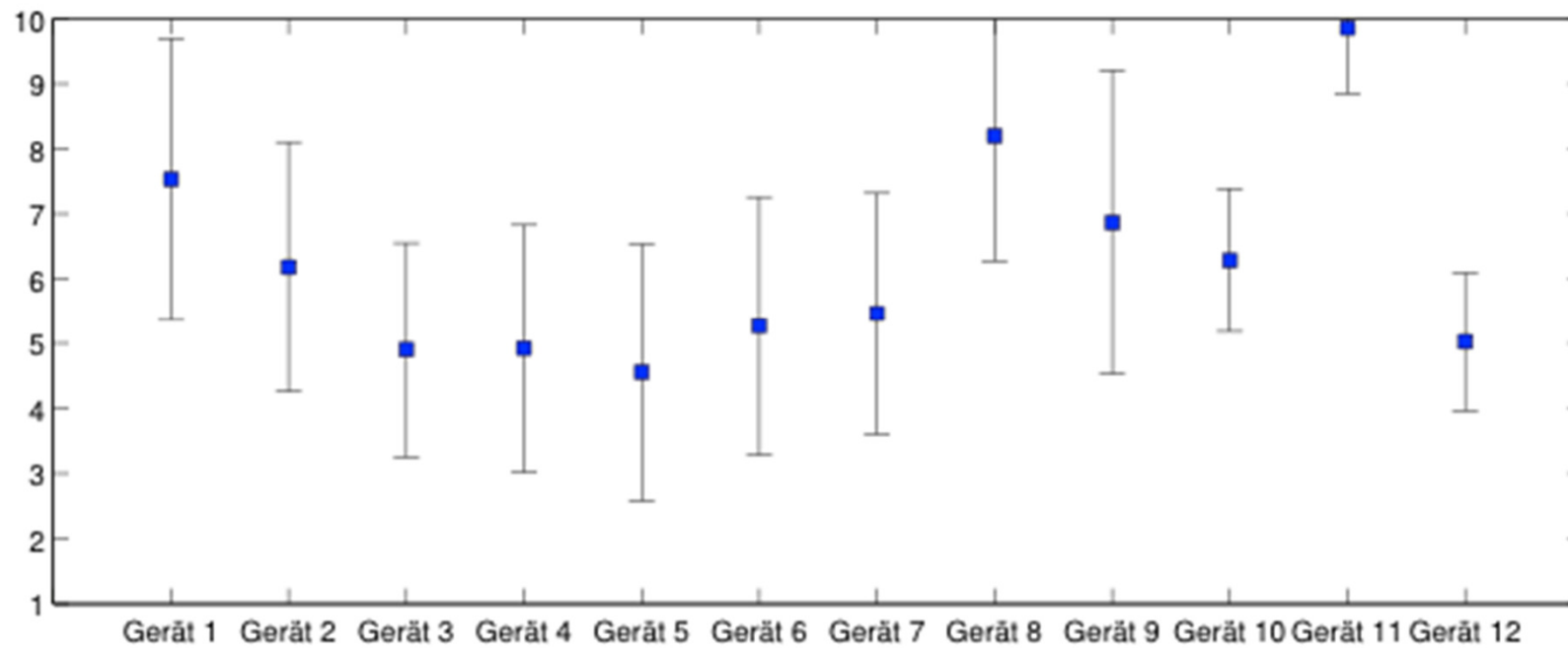
Nr.	Beschreibung der Massnahme	Verbesserung
1	Ohne Deckelheber	0.06
2	Deckel öffnen und schliessen – 2 Bewertungspunkte	0.19
3	Geruchsabsaugung – 2 Bewertungspunkte	0.65
4	Massnahme 2 + 3	0.85
5	Alle Analduschfunktionen – 2 Bewertungspunkte	0.58
6	Massnahme 2 + 3 + 5	1.42
7	Beste Bewertungen Analdusche der Konkurrenten	1.68
8	Massnahme 2 + 3 + 7	2.52



Sound Design

Master Arbeit

Virtuelles Assessment







Materialien

Drei akustische Wirkprinzipien

Dämpfung

Dämmung

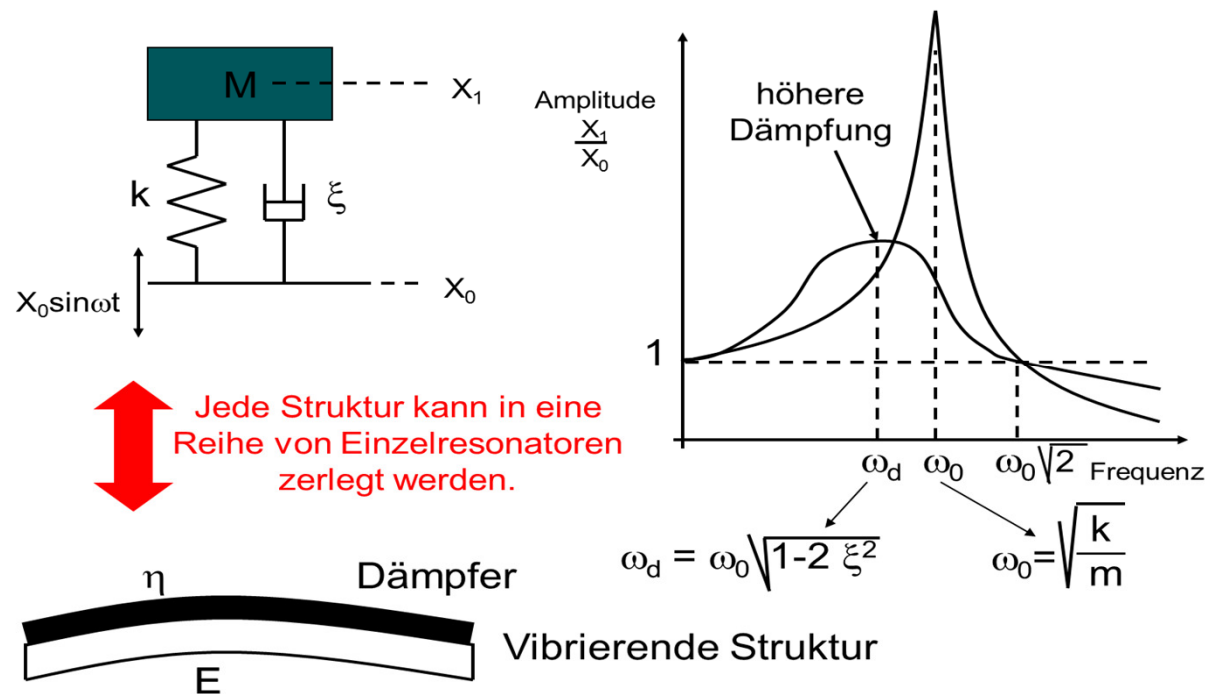
Absorption



Materialien

Dämpfung

Energieumwandlung von Körperschall in Wärme



Materialien

Dämpfung

Typische Materialien

Materialien

- Bitumen
- Polymere

Füllstoffe

- Mineralien
- Asche
- Magnetische Partikel

Deckschicht

- Anti-adhäsiv
- Adhäsivfolie

Produkte

- Dämpfungsfolie, einlagig
- Dämpfungsfolie : mehrlagig
 - Metall (Aluminium)
 - Polymer (Butyl)
- Versteifungen
- sprüh- oder extrudierbar
 - ✓PVC
 - ✓Acryl
 - ✓Epoxy
 - ✓Elastomere

Hauptanwendungen

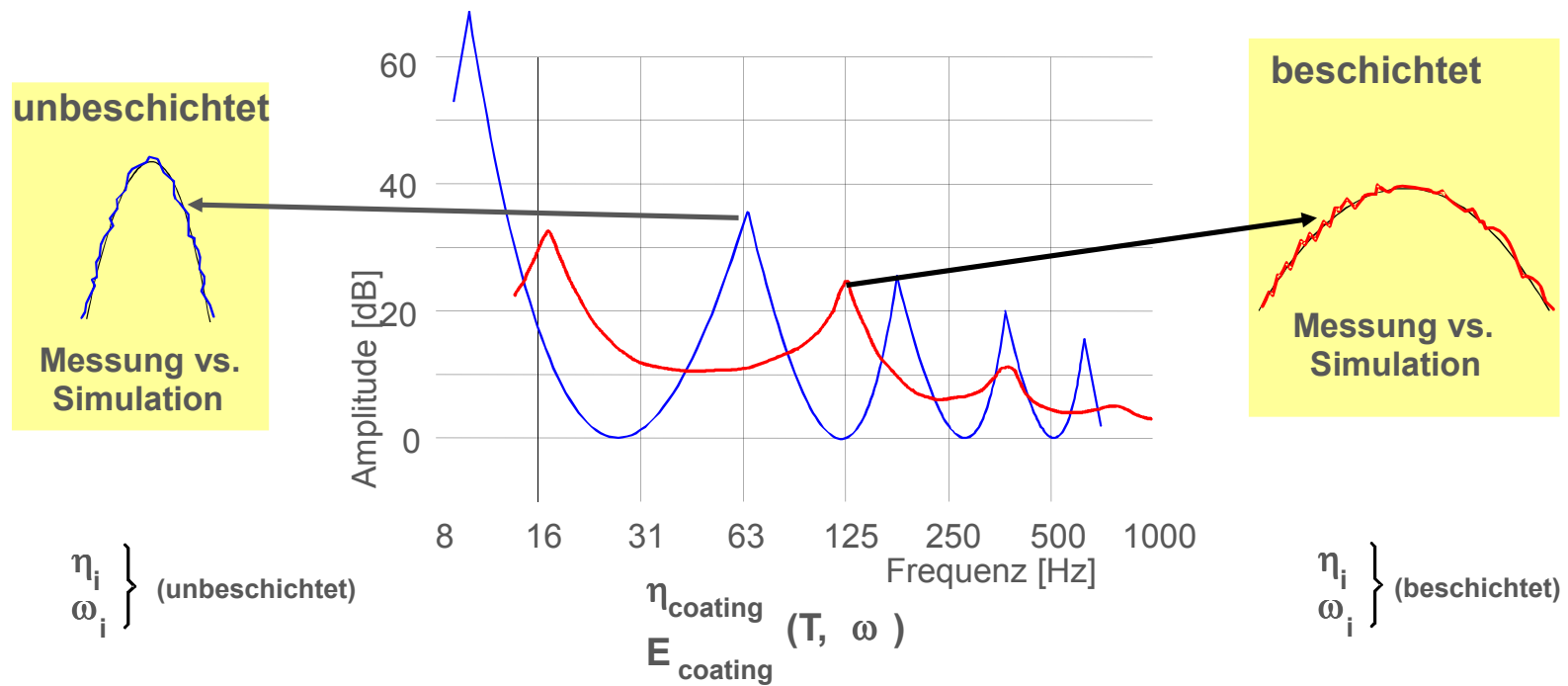
- Schmelzklebefolie
- Adhäsivfolie
- Magnetische Folie



Materialien

Dämpfung

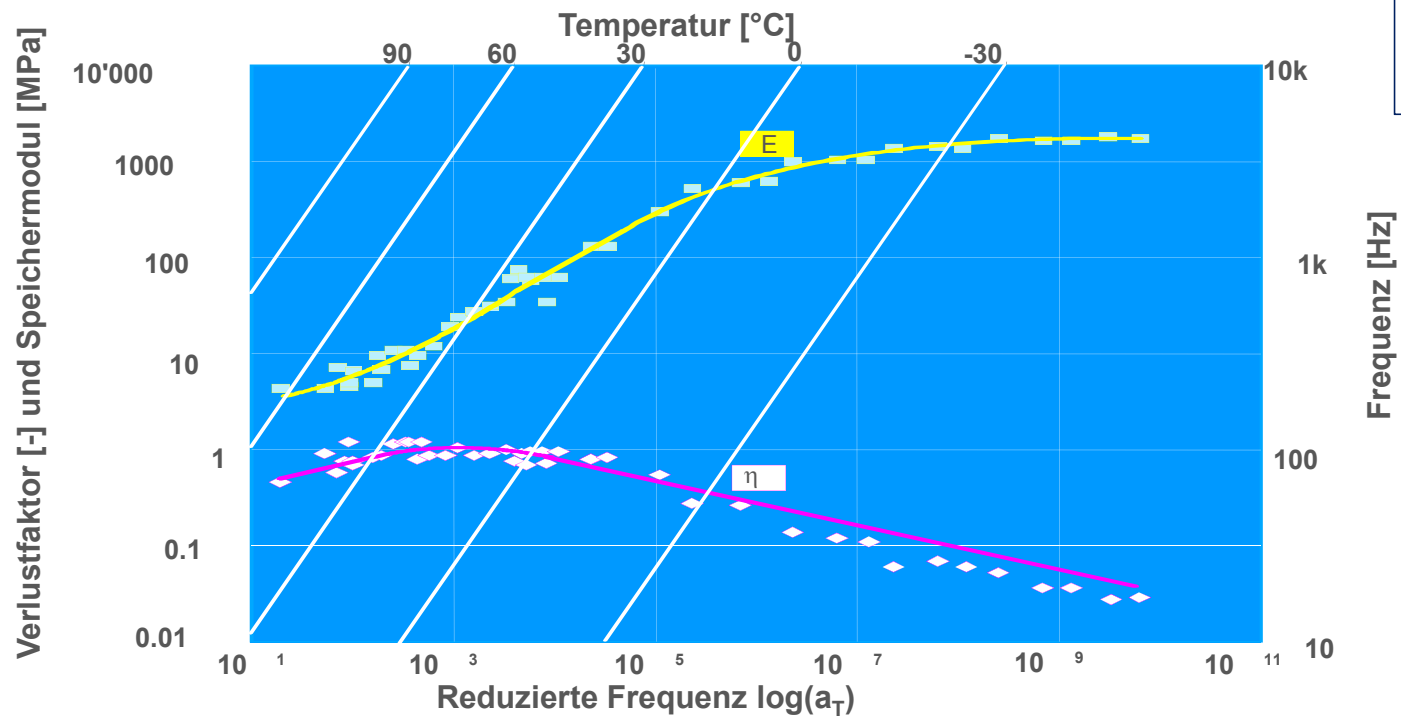
Resonanzkurven



Materialien

Dämpfung

Temperatur-Frequenz-Verhalten (WLF-Gleichung)



$$\log(a_T) = \frac{-C_1(T - T_r)}{C_2 + (T - T_r)}$$



Materialien

Dämpfung

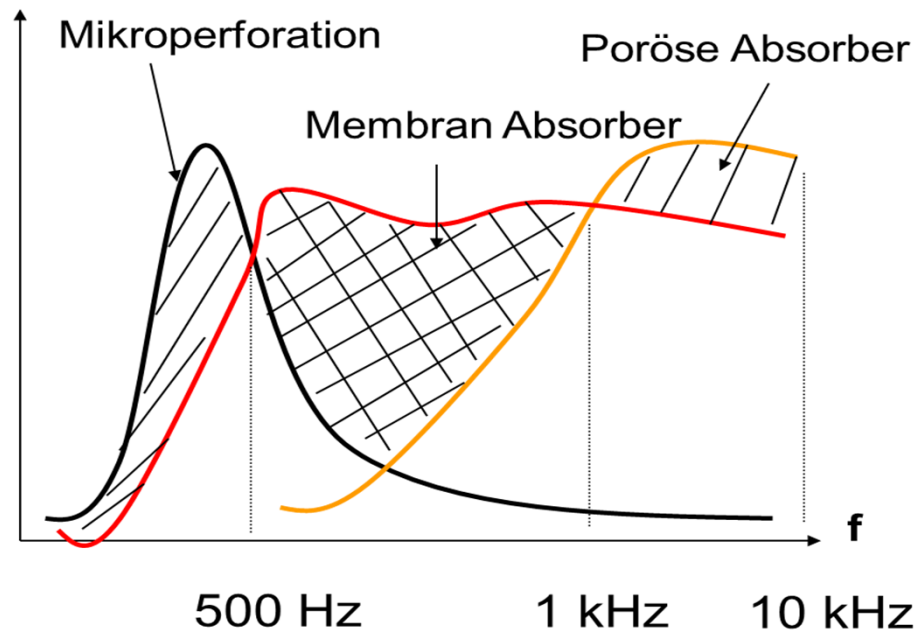
Silly Putty



Materialien

Absorption

Energieumwandlung von Luftschall in Wärme



Materialien

Absorption

Mikrostruktur

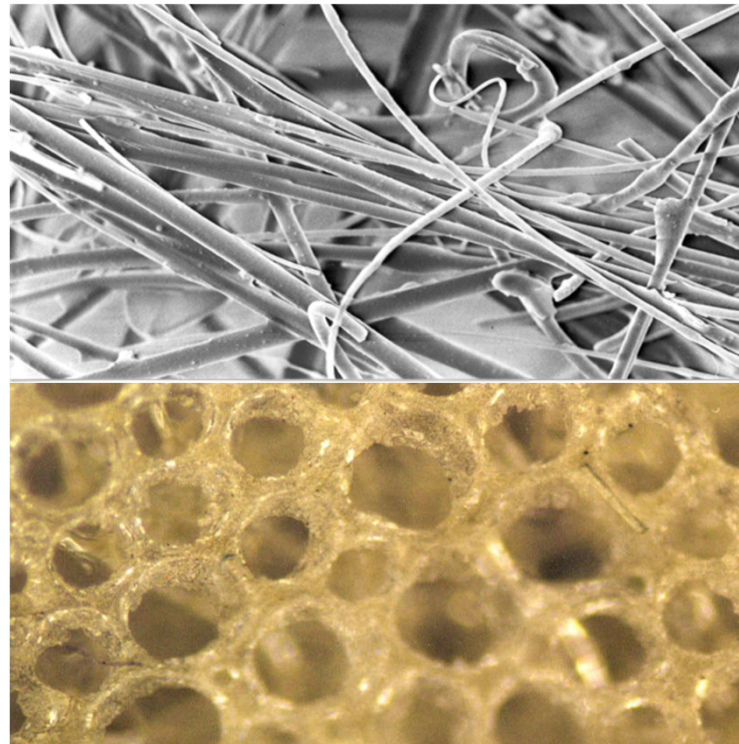
⇒ Fasern (Vlies)

⇒ Zellen

▶ 2D Wabenstruktur

▶ 3D Schaum

- Zellen offen oder geschlossen
- Gerüst flexibel oder starr

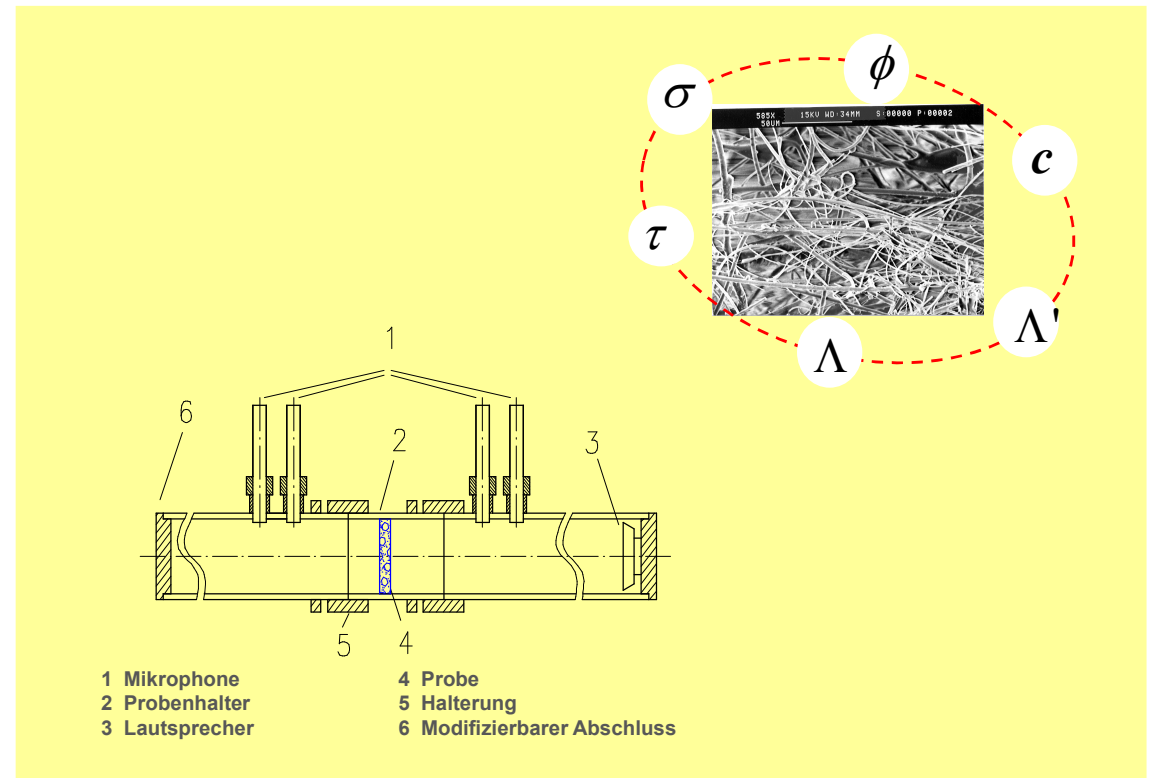


Materialien

Absorption

Charakterisierung

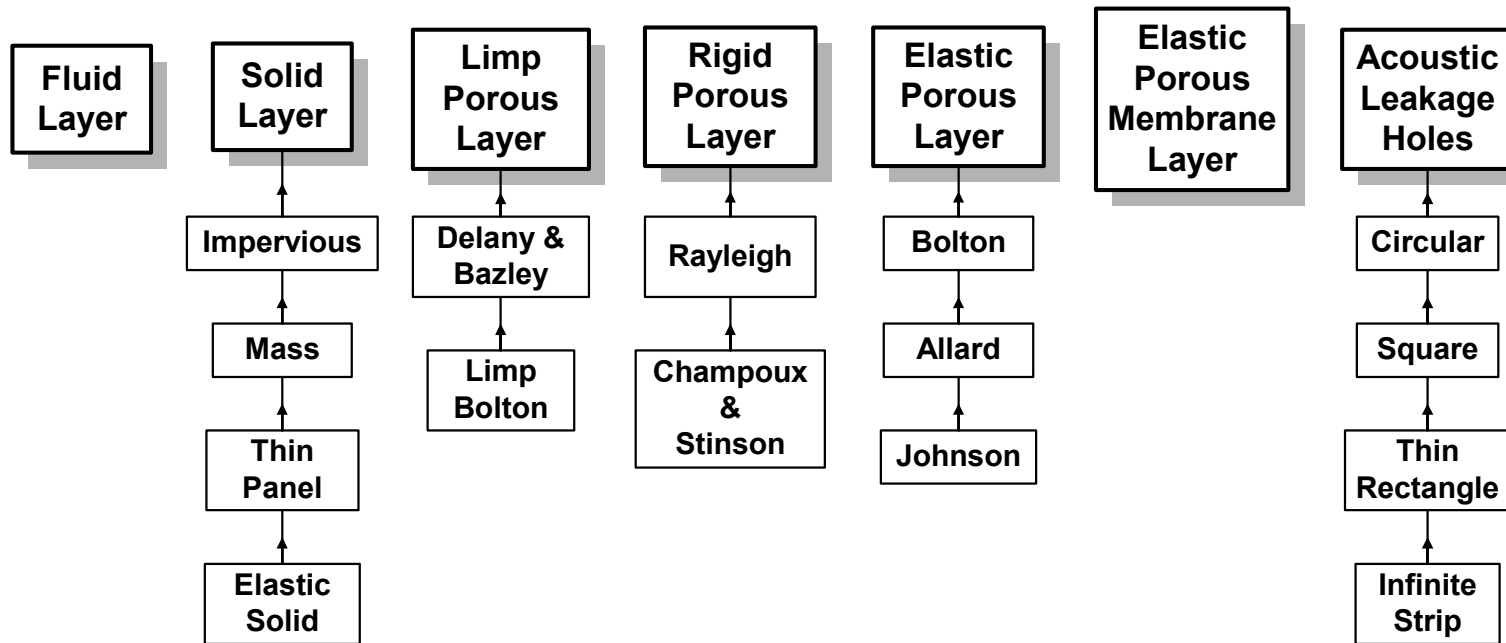
- Durchströmungswiderstand
- Tortuosität
- Formfaktor
- Viskose / thermische Länge
- Porösität



Materialien

Absorption

Simulation

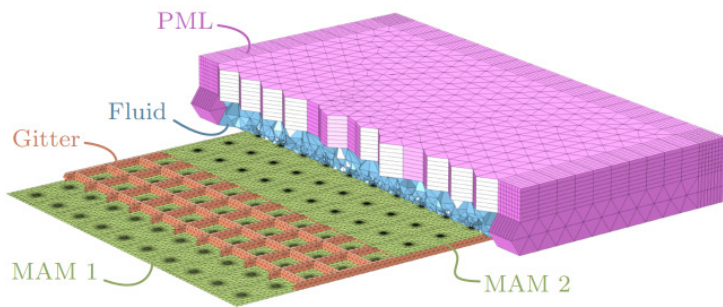


Materialien

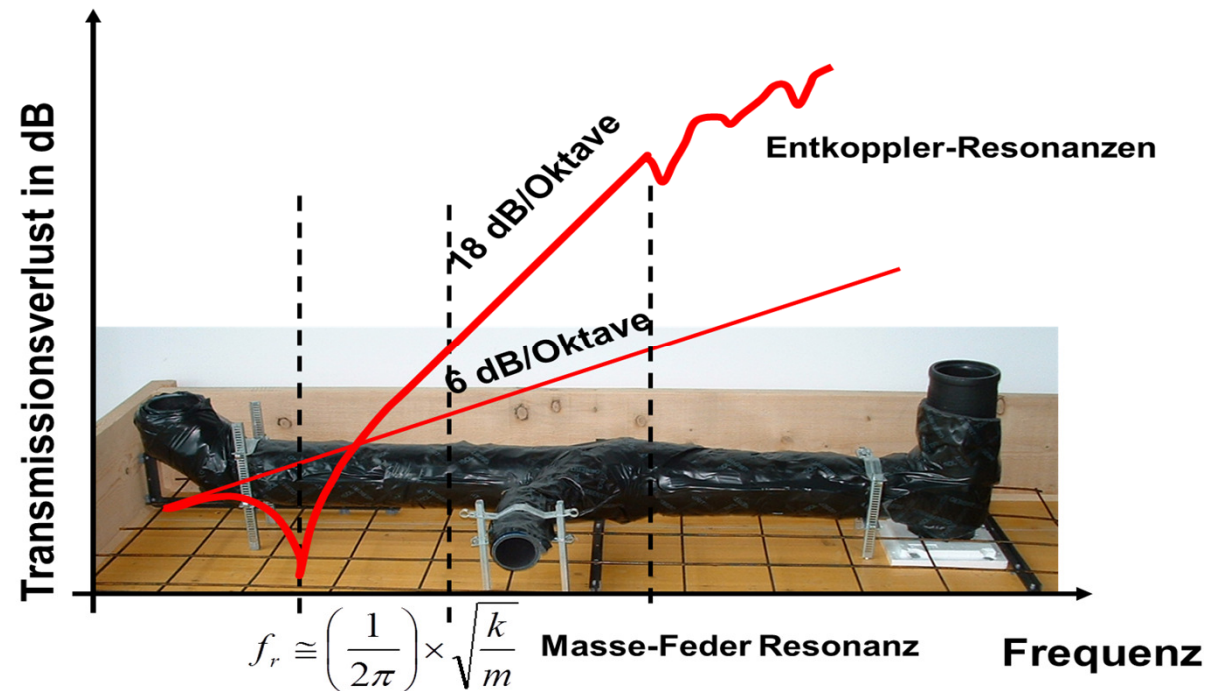
Dämmung

Mischung aus a) Reflexion und b) Energieumwandlung in Wärme

Meta Materialien



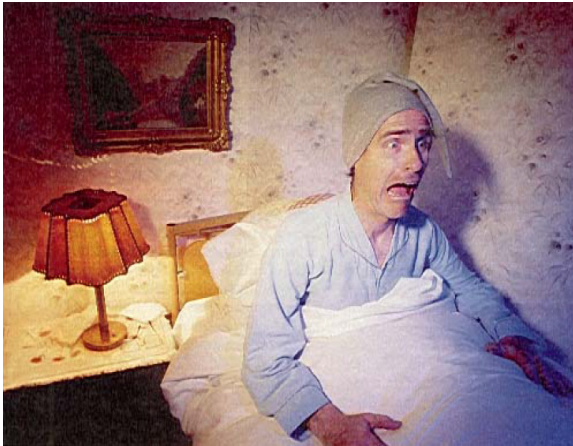
DAGA 2018 Langfeldt; Gleine



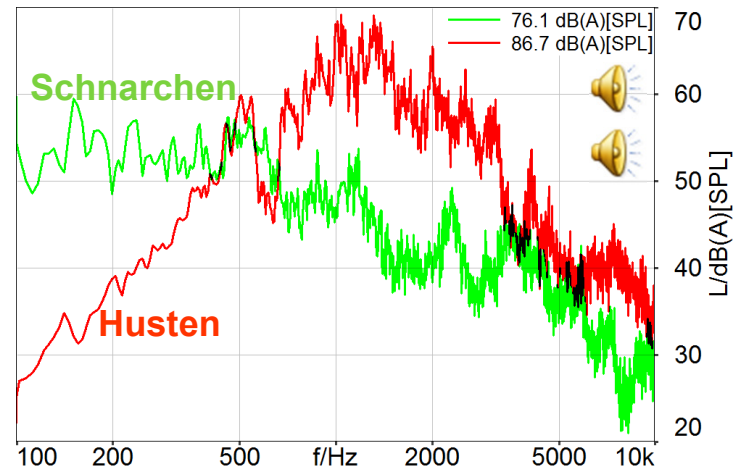
Materialien

Dämmung

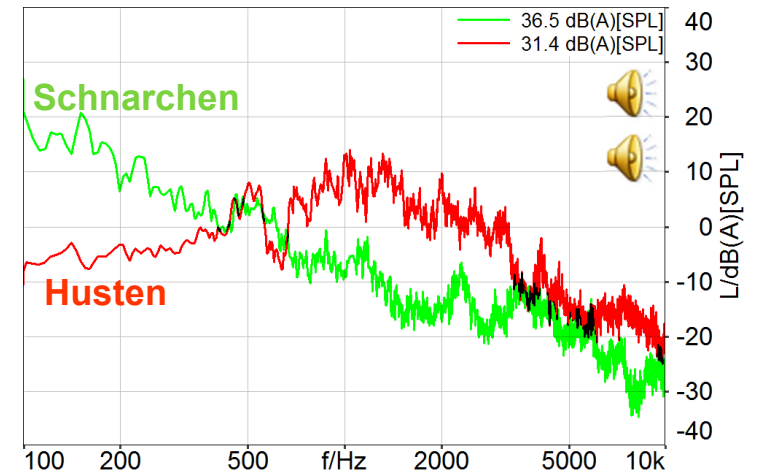
Dämmwirkung



Senderraum



Hinter der Wand



Die Dämmwirkung hängt vom Geräuschspektrum ab.

Δ Husten = 55.3 dB

Δ Schnarchen = 39.6 dB







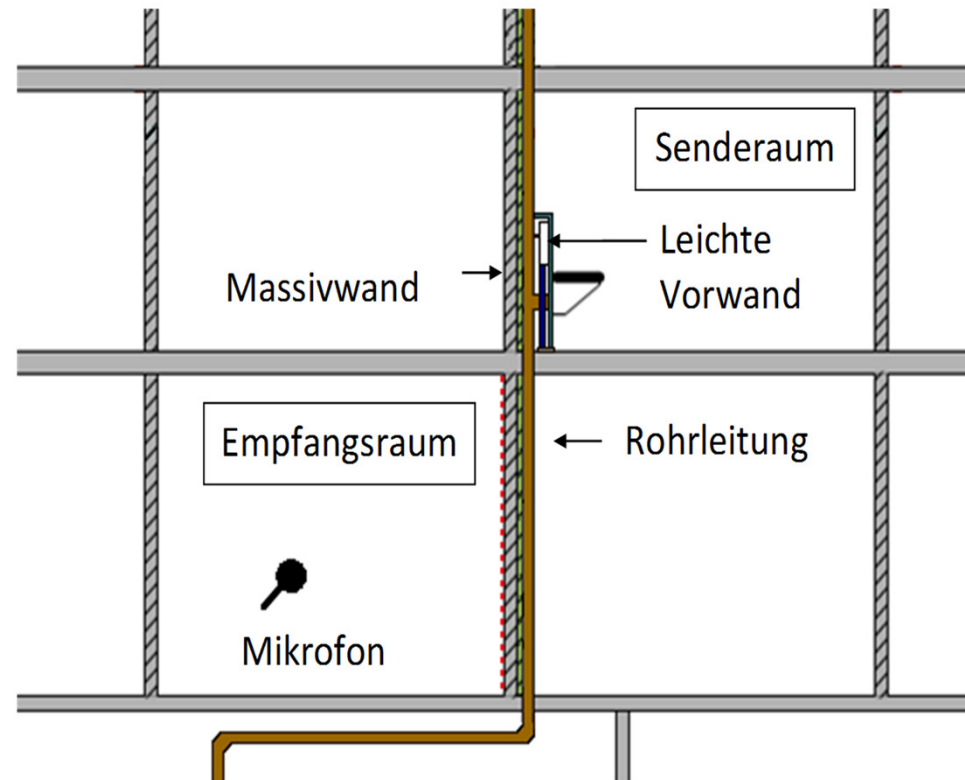
Sanitärinstallation

Hightech im Bad



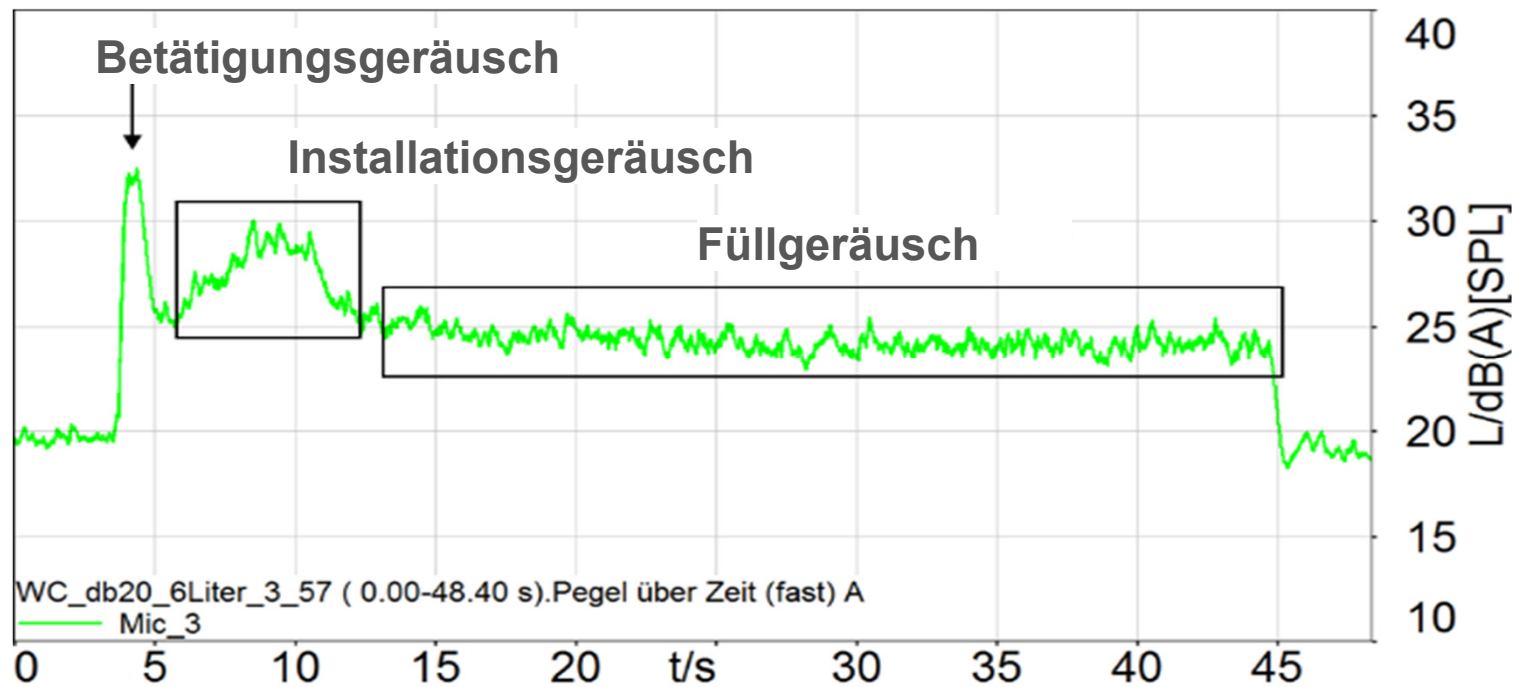
Sanitärinstallation

Installationsgeräusch



Sanitärinstallation

Das Geräusch kann in drei Phasen unterteilt werden.



Sanitärinstallation

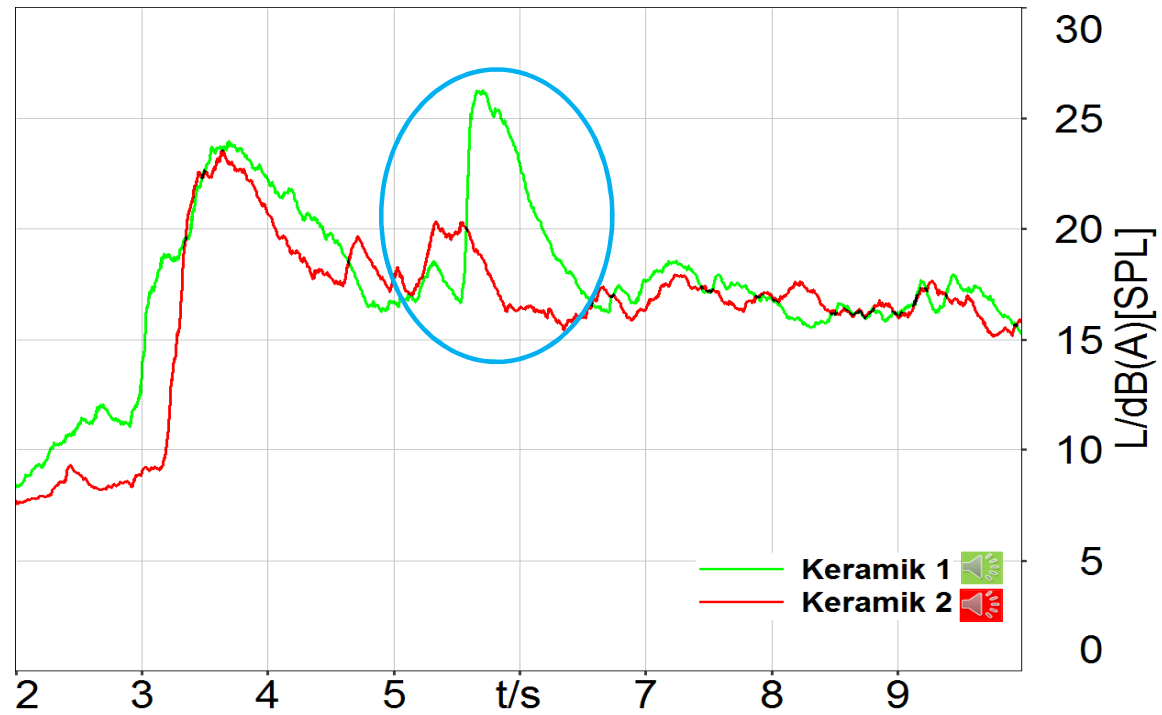
... es gibt sehr viele Einflussfaktoren

- Abwasserleitung
- Heberglocke
- Übertragung auf Ständerwerk
- Einfluss der Keramik auf Hydraulik
- Füllventil
- Eckventil
- Einfluss Versorgungsleitung (Verhältnis Druck zu Volumenfluss, Rohrschellen, etc.)
- ...



Sanitärinstallation

Einfluss Sanitärkeramik



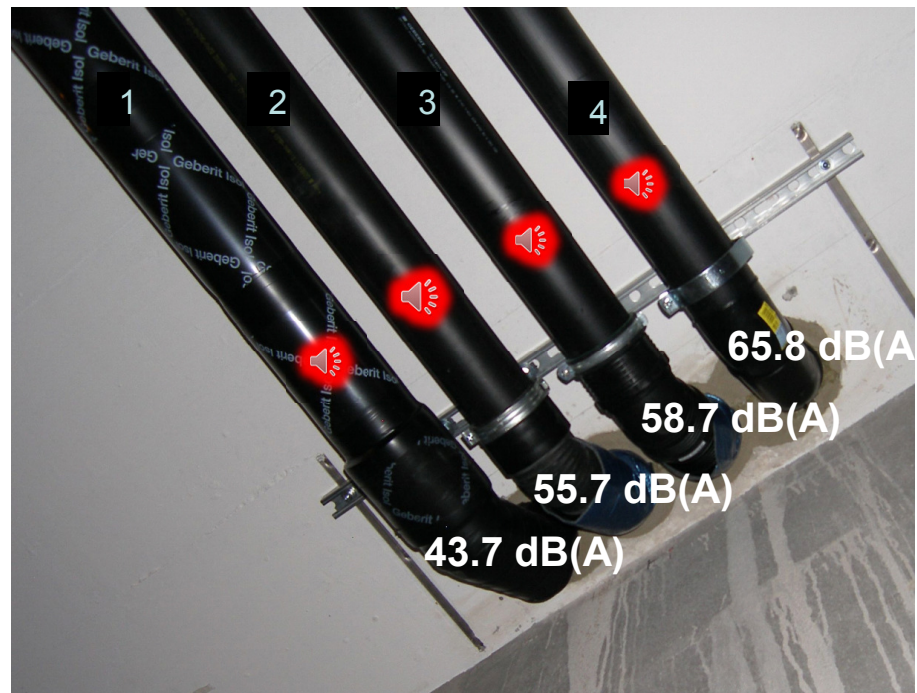
Sanitärinstallation

Einfluss Verzüge



Sanitärinstallation

Einfluss Rohrmaterial



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre

Labor Shanghai



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre

Vertikal



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre

Horizontal



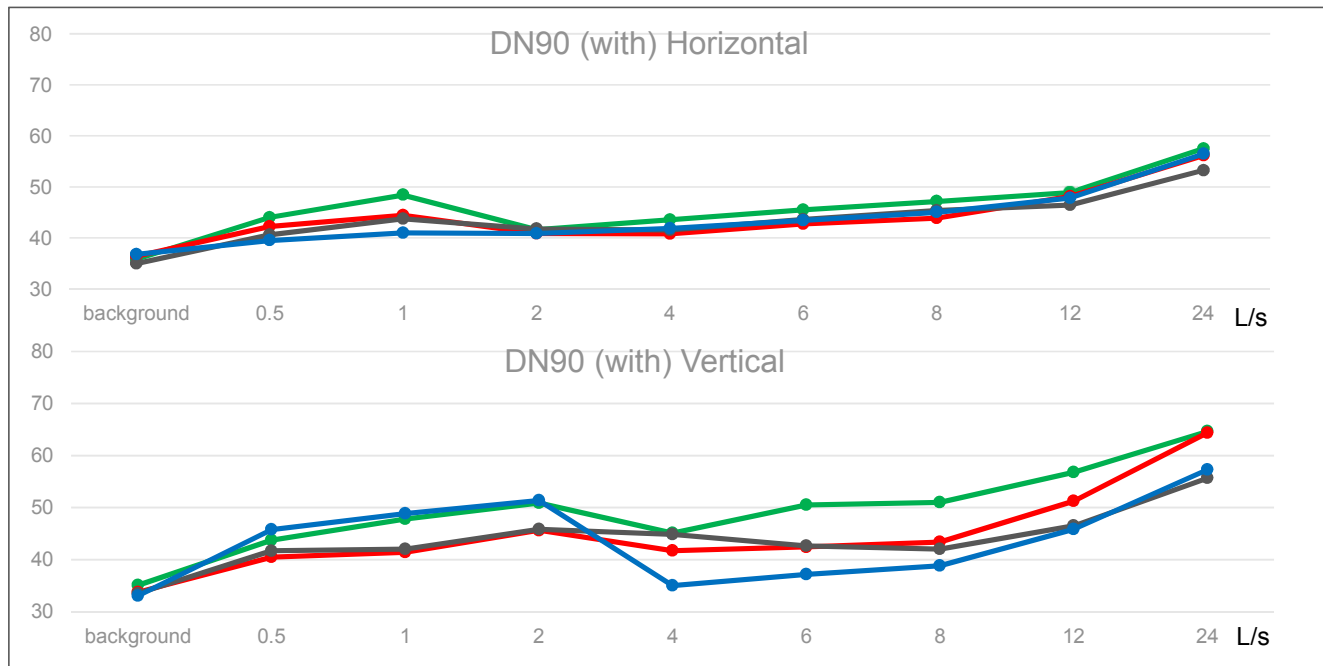
Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre mit Dämmung



Schnellepegel stark abhängig vom Luft-Wasser-Gemisch

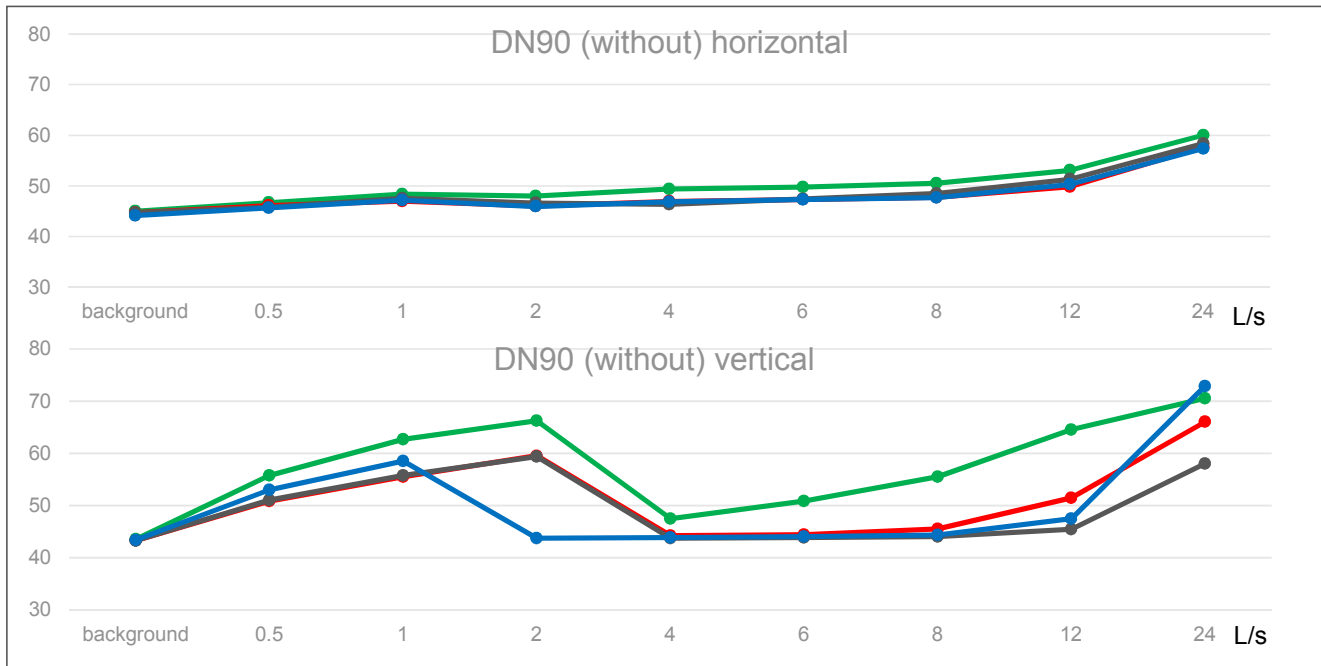
→ bis zu 10 dB!

→ hängt neben dem Material auch von der Fallhöhe, den Anschlusselementen, Umlenkungen, Verzügen und der Belüftung ab



Sanitärinstallation

Einfluss eingelegte Rohre ohne Dämmung



Schnellepegel stark abhängig vom Luft-Wasser-Gemisch

→ bis zu 20 dB!

→ hängt neben dem Material auch von der Fallhöhe, den Anschlusselementen, Umlenkungen, Verzügen und der Belüftung ab



Sanitärinstallation

Komplettinstallation

Massiwand

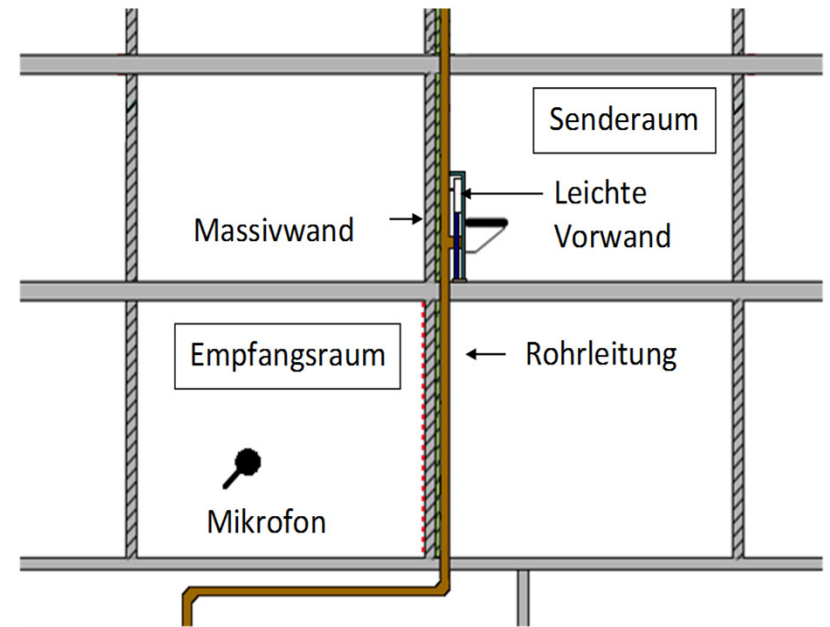


Leichtbau

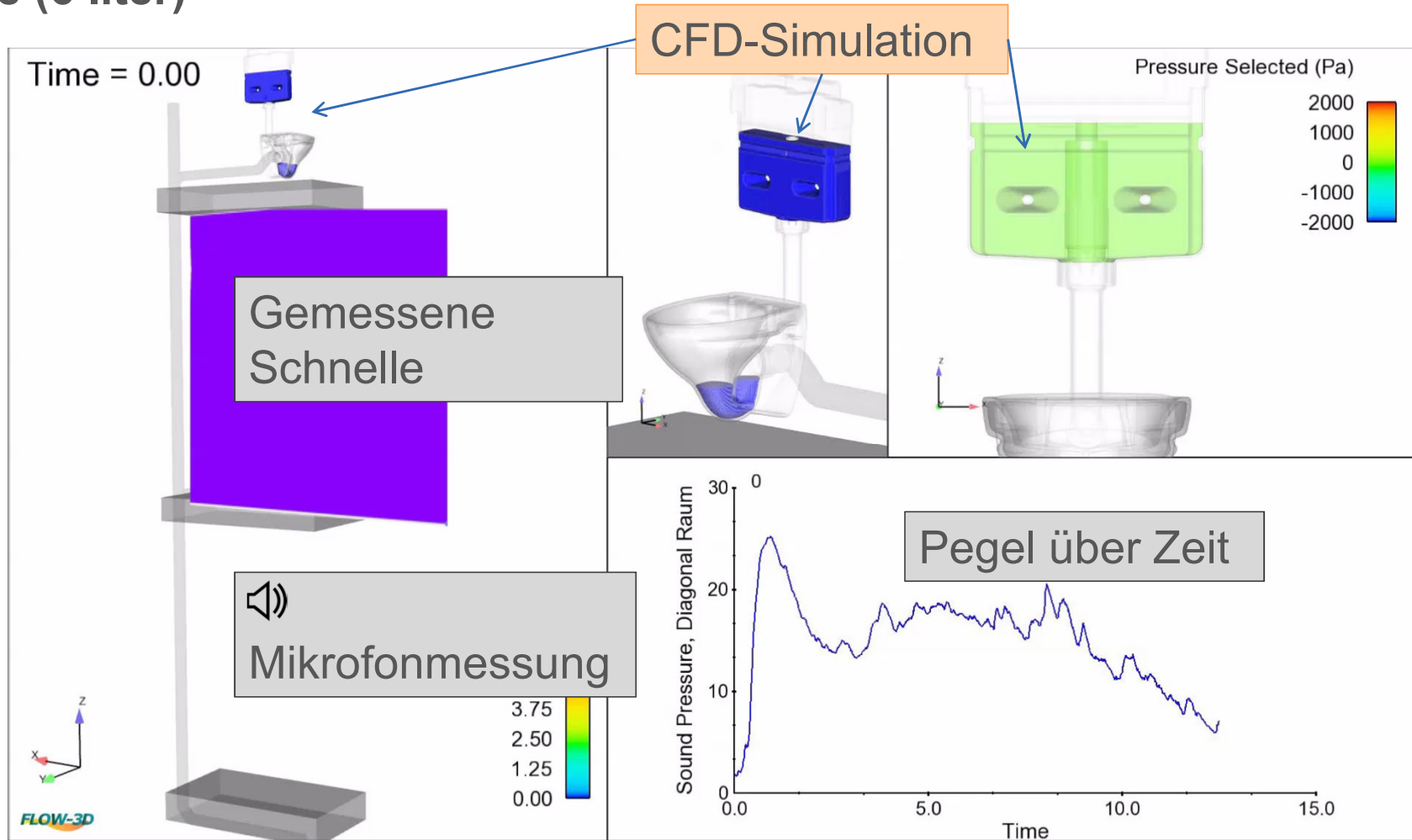


Sanitärinstallation

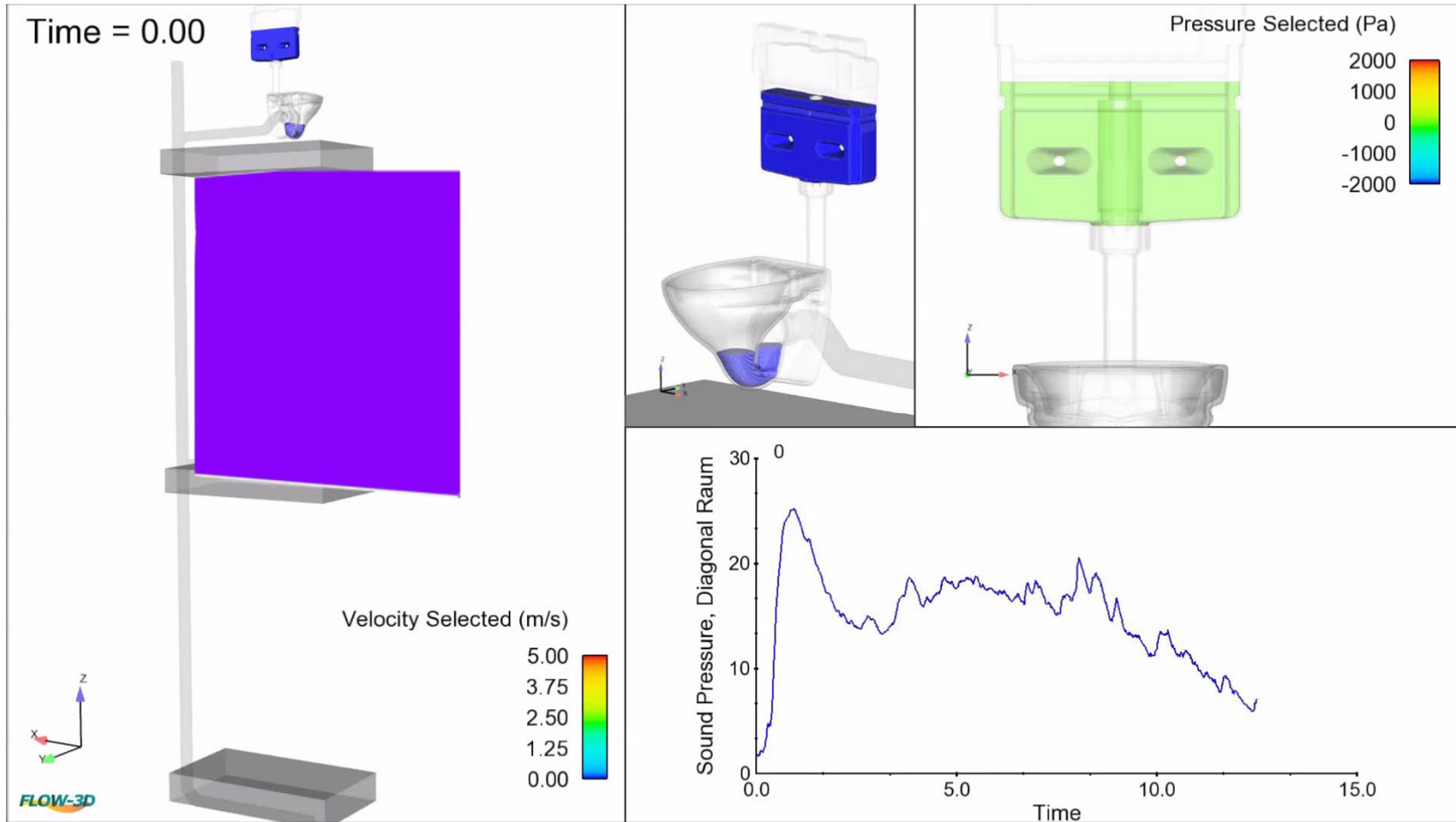
Laser Scanning Vibrometrie und Array Messungen



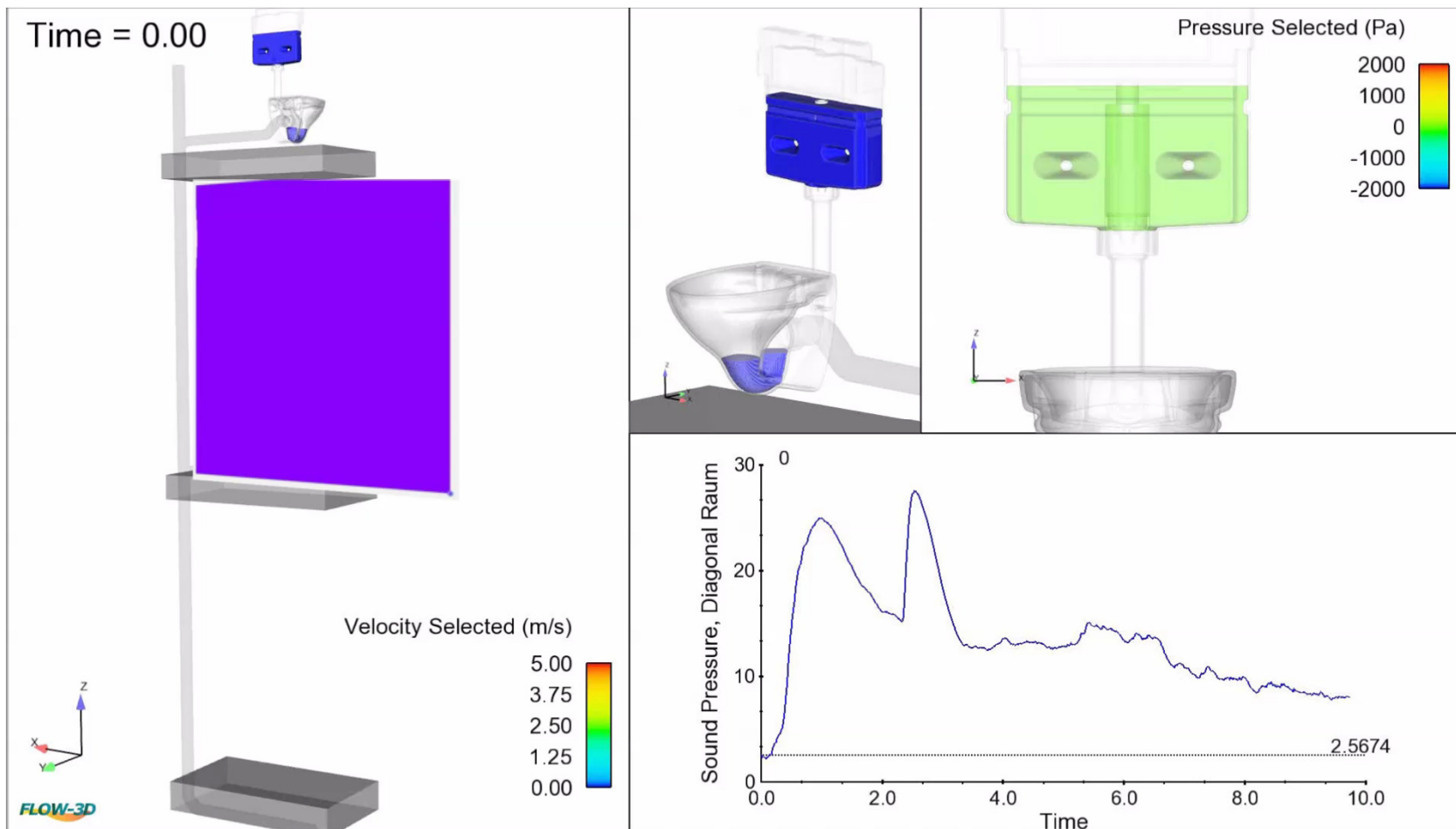
Vollmenge (6 liter)



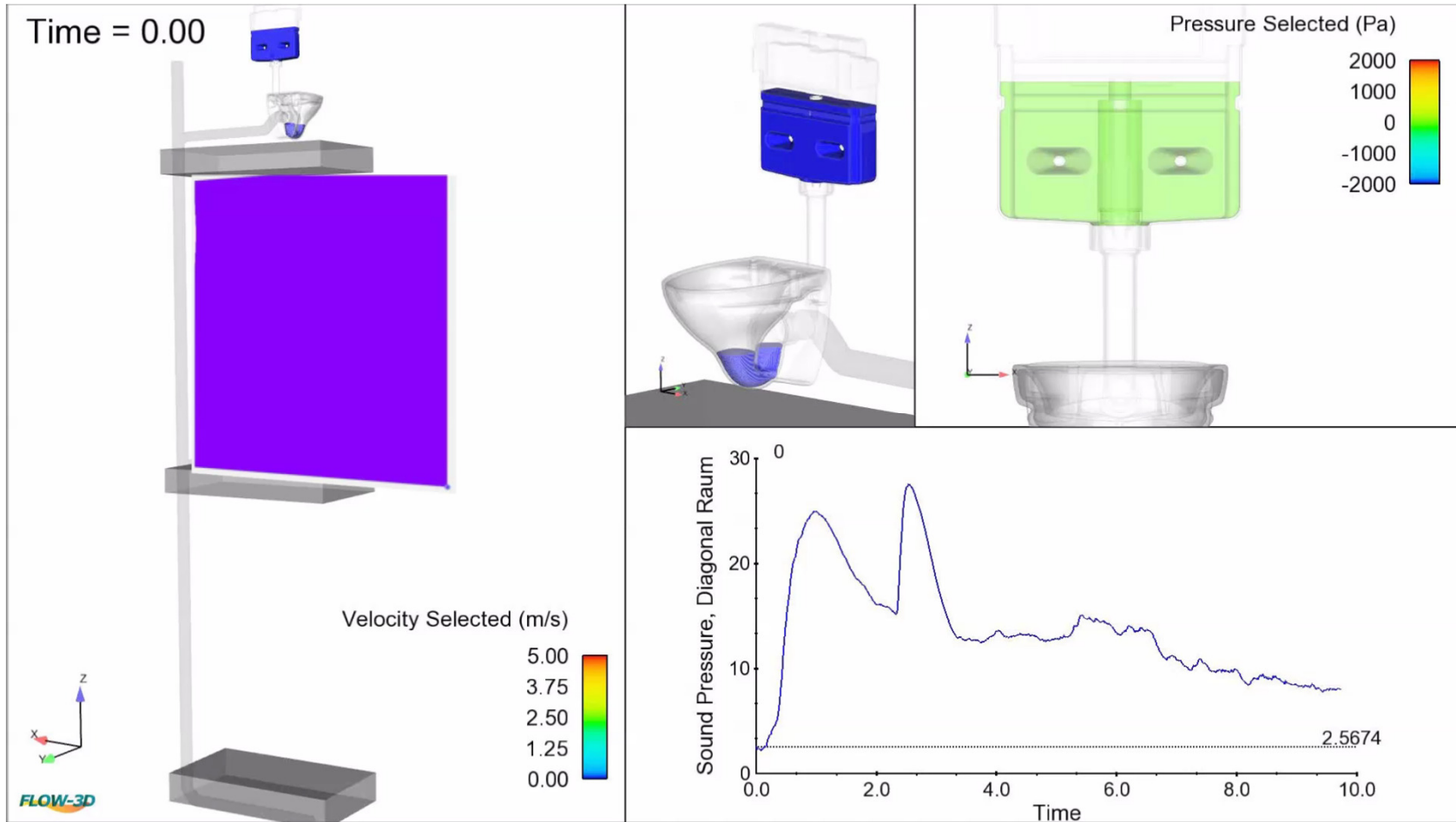
Vollmenge (6 liter)



Teilmenge (3 liter)



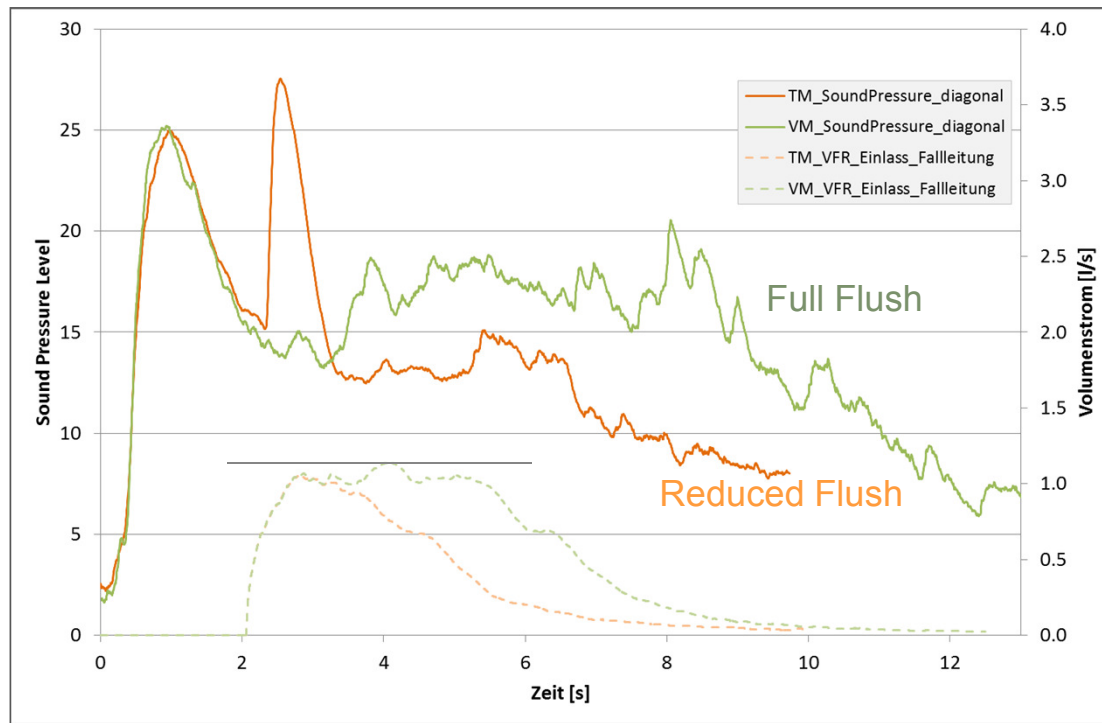
Teilmenge (3 liter)



Sanitärinstallation

Schallpegel hängt nicht in erster Linie vom Volumenfluss ab!

Schalldruckpegel



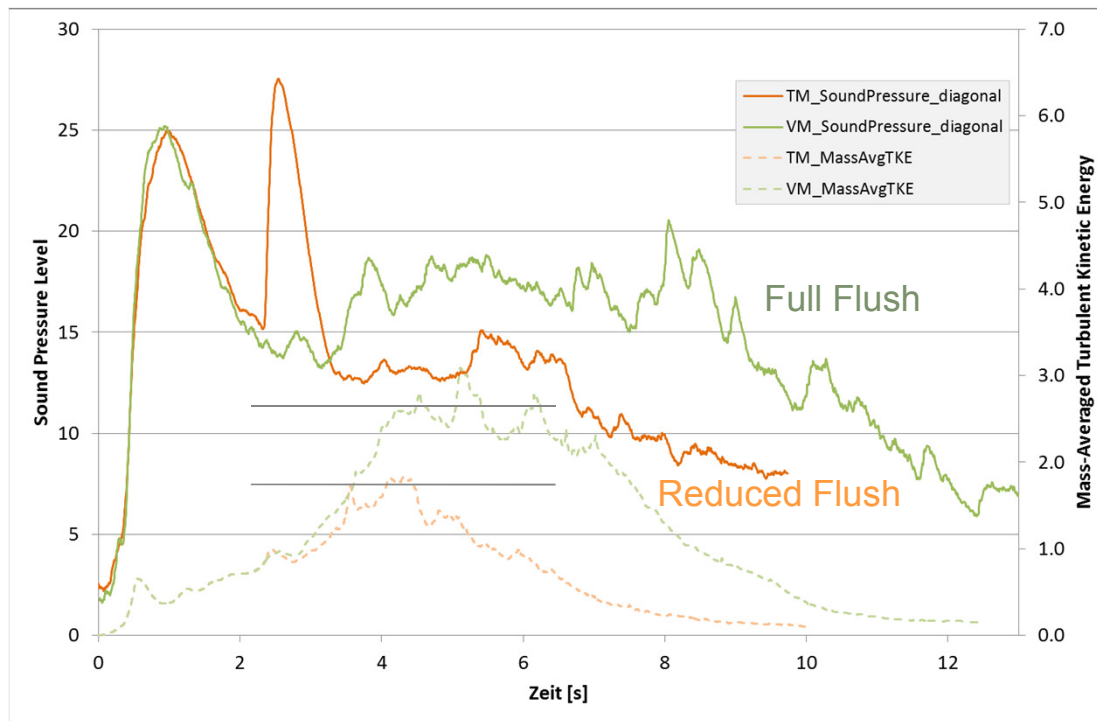
Volumenfluss



Sanitärinstallation

Schallpegel hängt in erster Linie von der turbulent kinetischen Energie ab!

Schalldruckpegel



Turbulent kinetische Energie



Sanitärinstallation

Beitragsanalyse der Einzelkomponenten



Entkopplung durch
Schaum

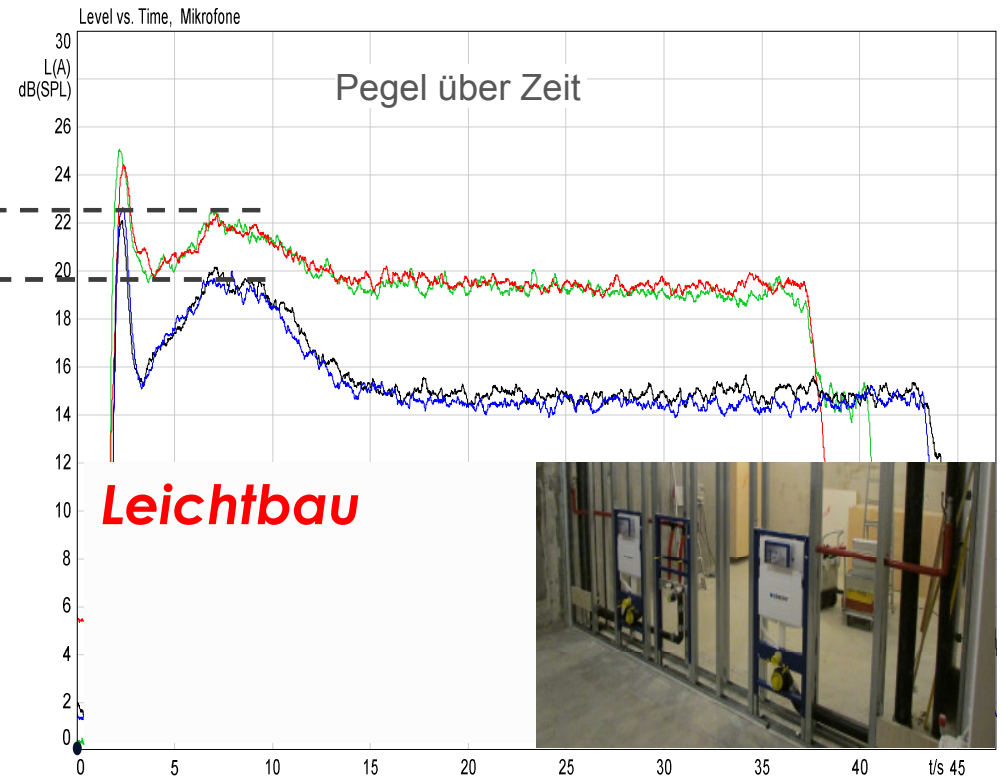
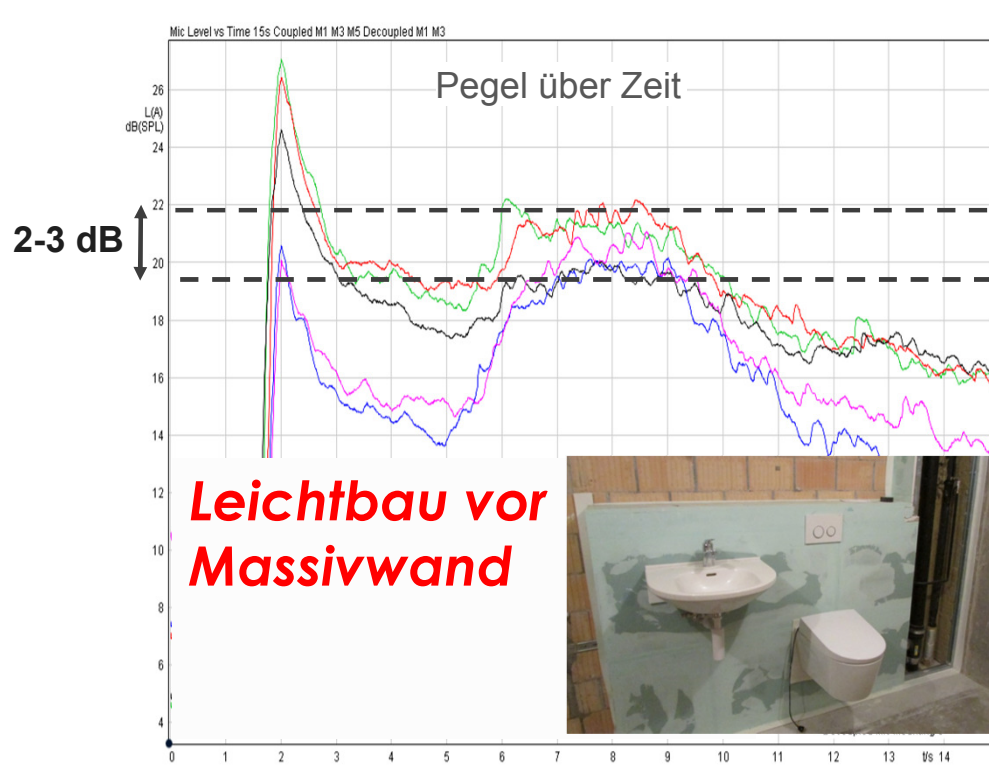
Untersuchung
verschiedener
Entkopplungsvarianten

Weiches Rohr



Sanitärinstallation

Rohrleitungen nur zu ca. 50% am Gesamtgeräusch beteiligt!







Prognose

Schallschutz in Deutschland

Aktuell

- Bauordnungsrechtlich gefordert → Mindestschallschutz → DIN 4109
- Privatrechtlich relevant → zu erwartender Schallschutz → VDI 4100, DEGA Schallschutzausweis, Beiblatt 2
- Nachweis über Prüfung oder Prognose (Berechnungsnorm EN 12354 → energiebasierte Eingangsgrößen)
- EN 15657 (Empfangsplattenprüfstand) liefert energiebasierte Eingangsgrößen



Prognose

Schallschutz in Deutschland

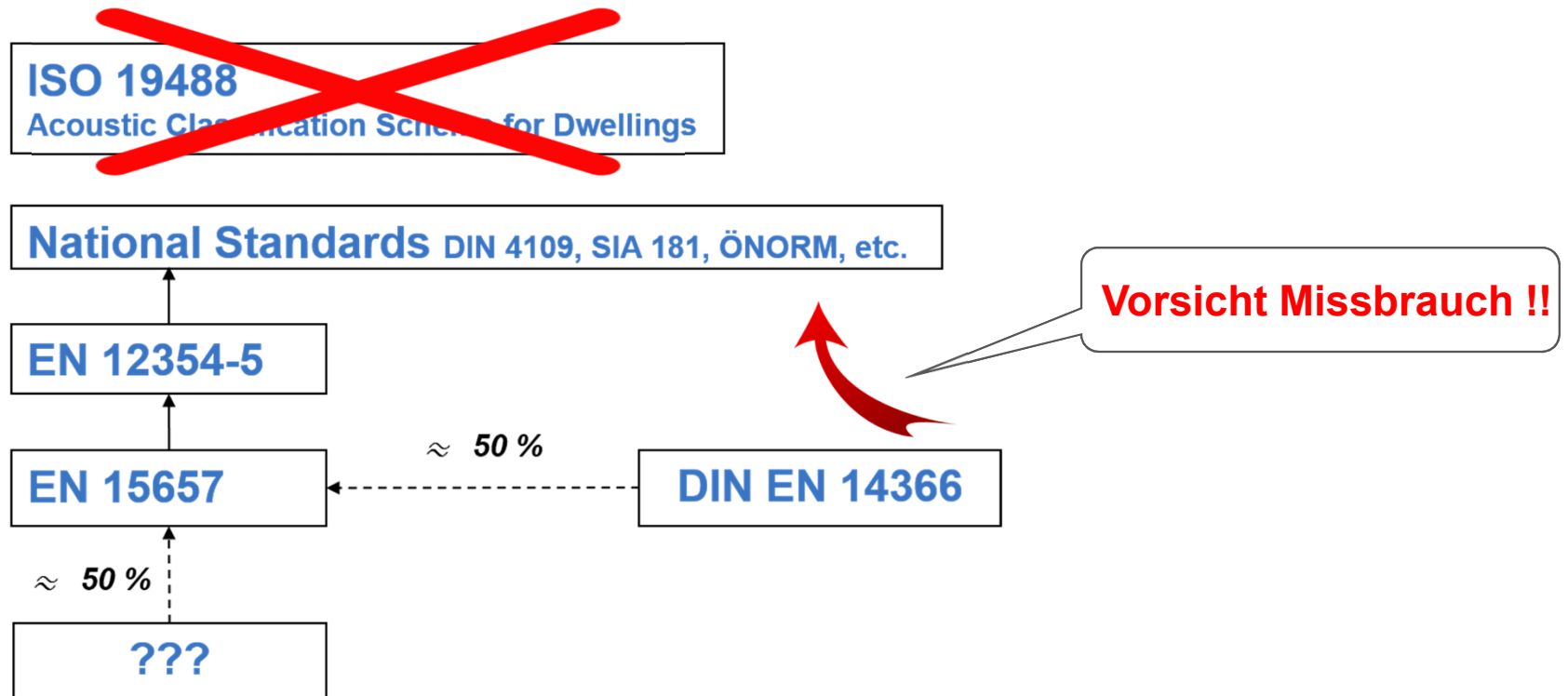
In Planung

- DIN 4109 wird ergänzt durch Teil 5 → Einbeziehung erhöhter Schallschutz
- VDI 4100 wird überarbeitet → Relevanz für Verbraucher stärken
- Neuer Zusatz (Amendment) soll Missbrauch der EN 14366 zukünftig eindämmen
- Umschreibung der EN 14366 auf energiebasierte Größen



Prognose

Schallschutz International



Prognose

Missbrauch bei EN 14366

EN 14366:2004/prA1:2018 (D)

Amendment zur EN 14366 derzeit
in der Veröffentlichungsphase

1 Änderung zum „Anwendungsbereich“

„Die erhaltenen Ergebnisse können für den Vergleich von Produkten und Werkstoffen verwendet werden. Er kann zur Einschätzung des Verhaltens von Abwassersystemen in einem Gebäude unter bestimmten Bedingungen dienen. Diese Norm liefert jedoch kein normiertes Verfahren zur Berechnung der akustischen Eigenschaften solcher Installationen in einem Gebäude.“

ersetzen durch:

„Die erhaltenen Ergebnisse können für den Vergleich von Produkten und Werkstoffen verwendet werden, können aber nicht als Werte verwendet werden, die vor Ort in Gebäuden erhalten wurden; Vor-Ort-Werte werden mithilfe der in EN 12354-5:2009, 5.5 beschriebenen Verfahrensweise prognostiziert, die Labordaten in Felddaten umwandelt, indem angenommen wird, dass die Vor-Ort-Installation genau der im Prüfbericht beschriebenen entspricht.“



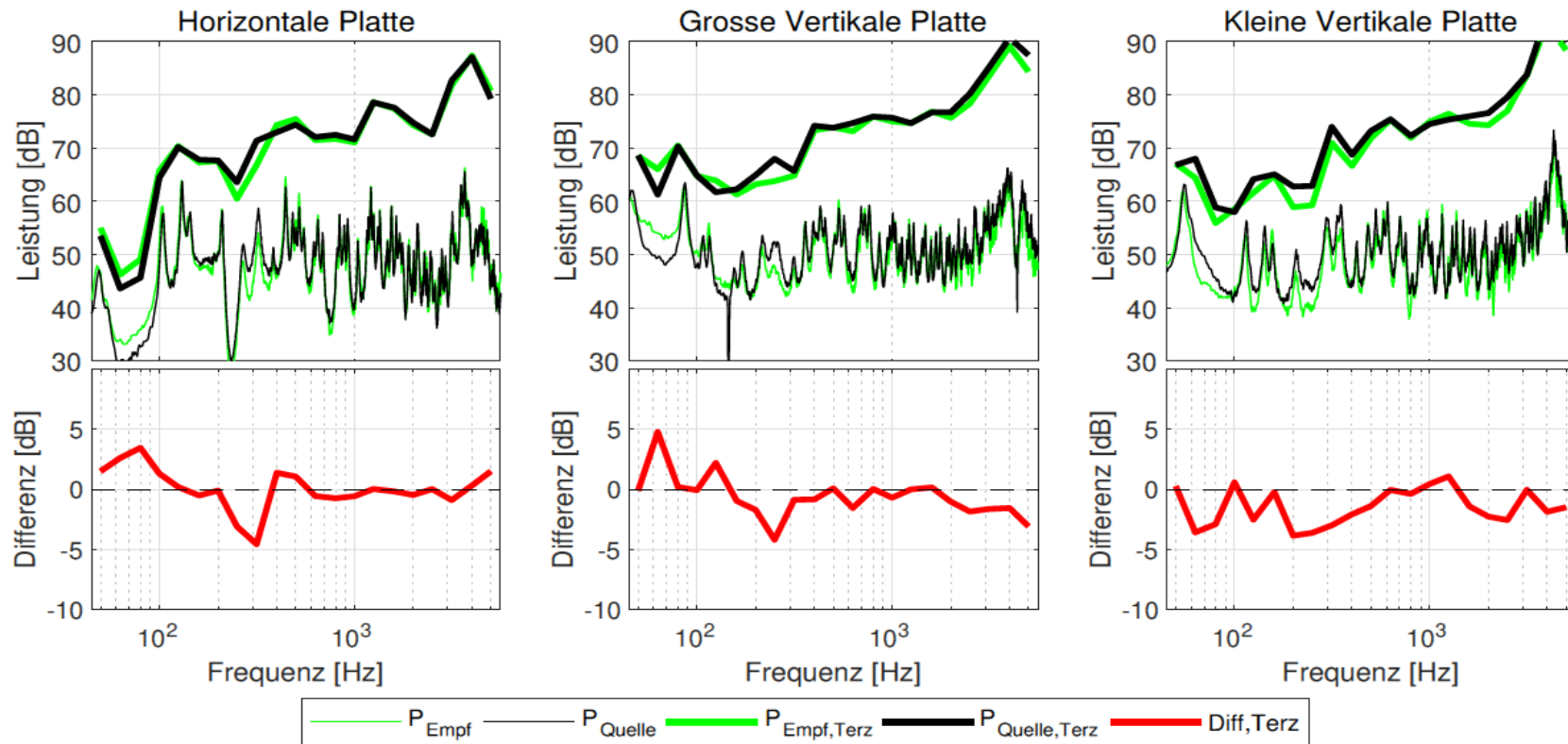
Prognose

Liefert der Empfangsplattenprüfstand (EN 15657) verlässliche Werte?



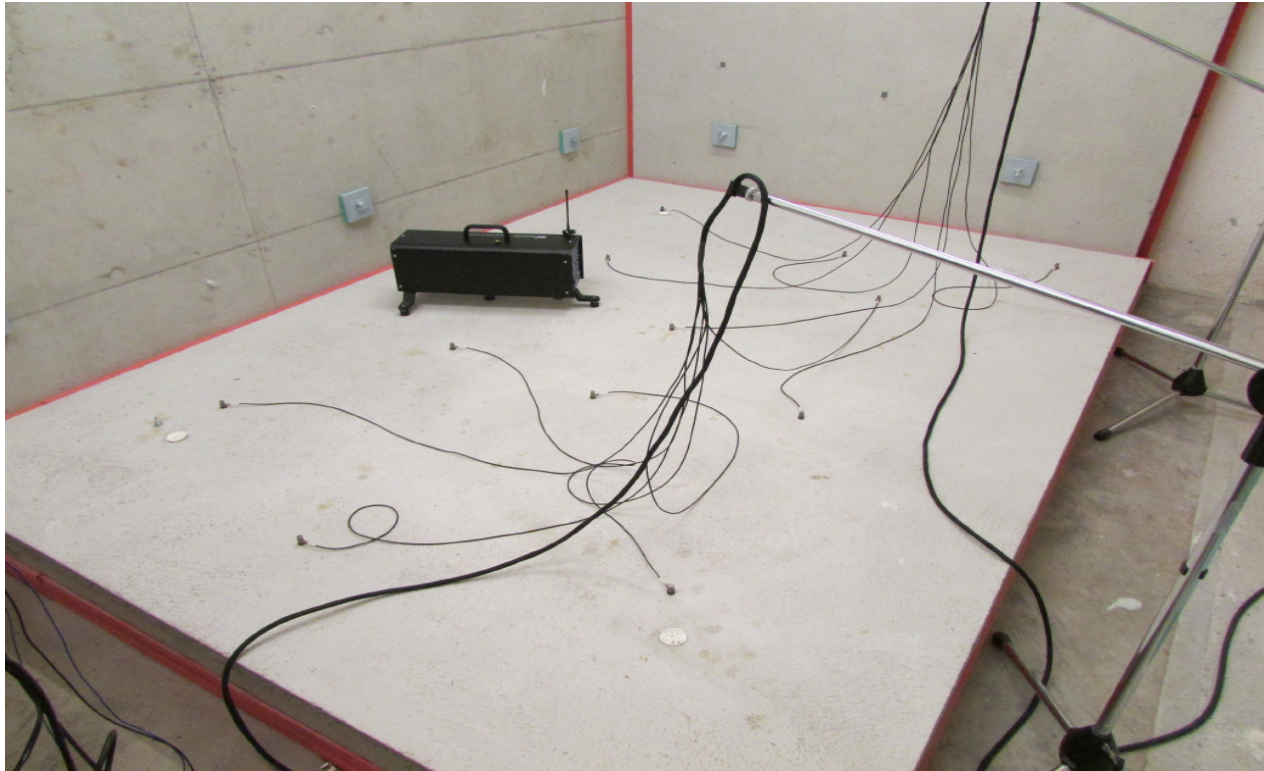
Prognose

Genauigkeit Empfangsplattenprüfstand? → Abweichungen bis +/- 5 dB



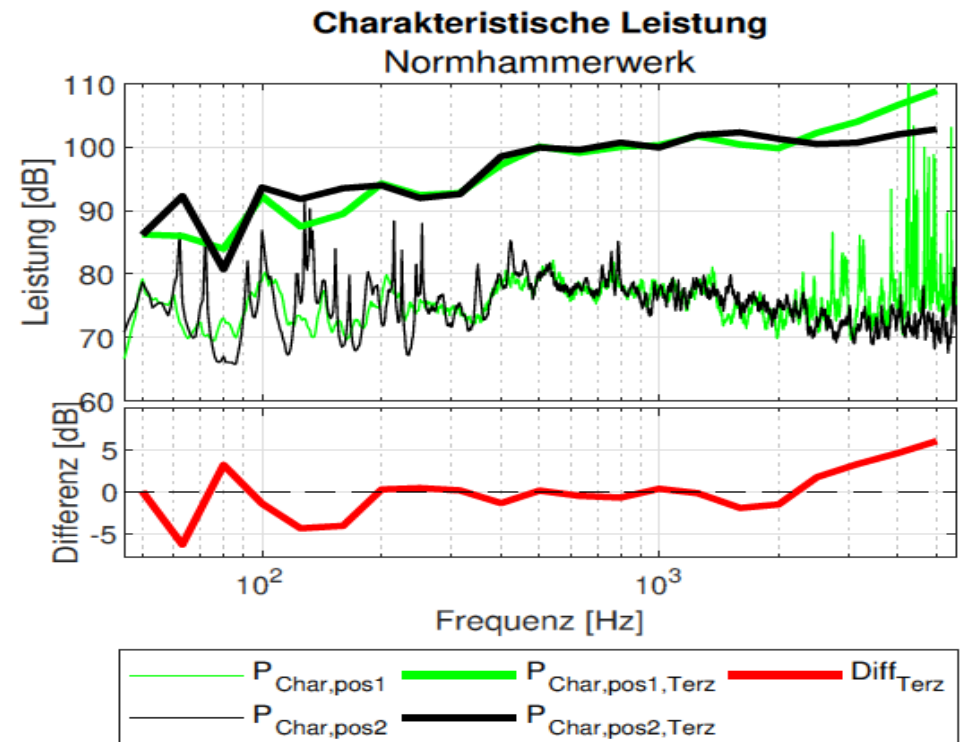
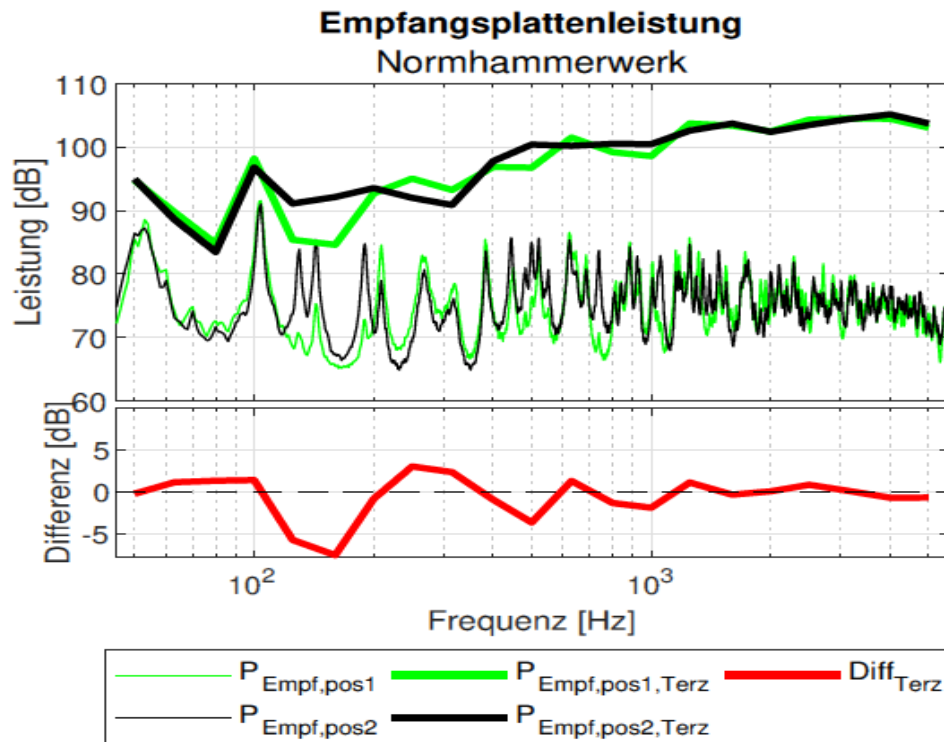
Prognose

.. und mit Normhammerwerk?



Prognose

... auch im ähnlichen Bereich.



Prognose

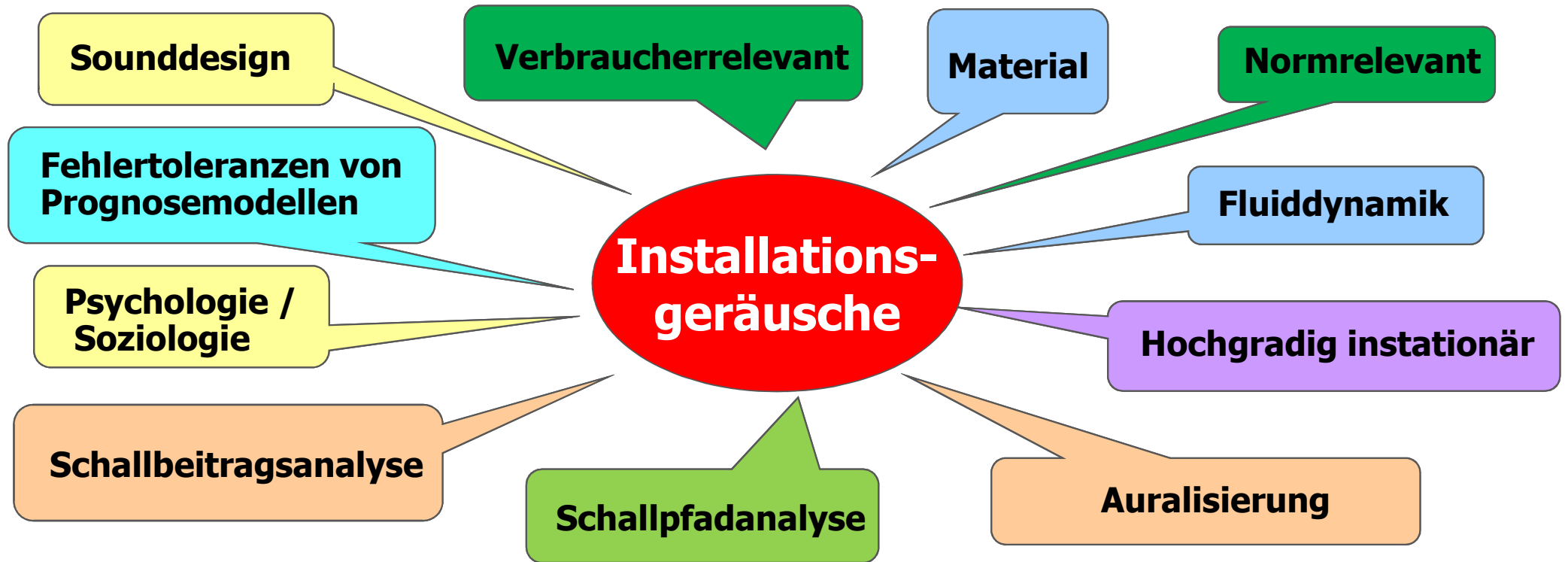
... es gibt sehr viele Einflussgrößen.

- Abwasserleitung (Luft-Wasser Gemisch, Verzüge, Einlegearten, etc.)
- Heberglocke
- Übertragung auf Ständerwerk
- Einfluss der Keramik auf Hydraulik
- Füllventil
- Eckventil
- Einfluss Versorgungsleitung (Verhältnis Druck zu Volumenfluss, Rohrschellen, etc.)
- Fehlertoleranzen beim Empfangsplattenprüfstand bis ca. 5 dB
- Fehlertoleranzen bei der Berechnungsnorm ca. 3 dB (?)



Prognose

Fazit → Es bleibt spannend!



Fragen?

