

Raumakustik mit SoundPLANnoise: Methoden, Validierung, Workflow und Anwendungen

Schweizer Gesellschaft für Akustik, Herbsttagung 2023, Trafo Baden

Raum- und bauakustische Simulationen – ihre Möglichkeiten und
Grenzen

22.11.2023

Stefan Weigand

SoundPLAN GmbH, Deutschland



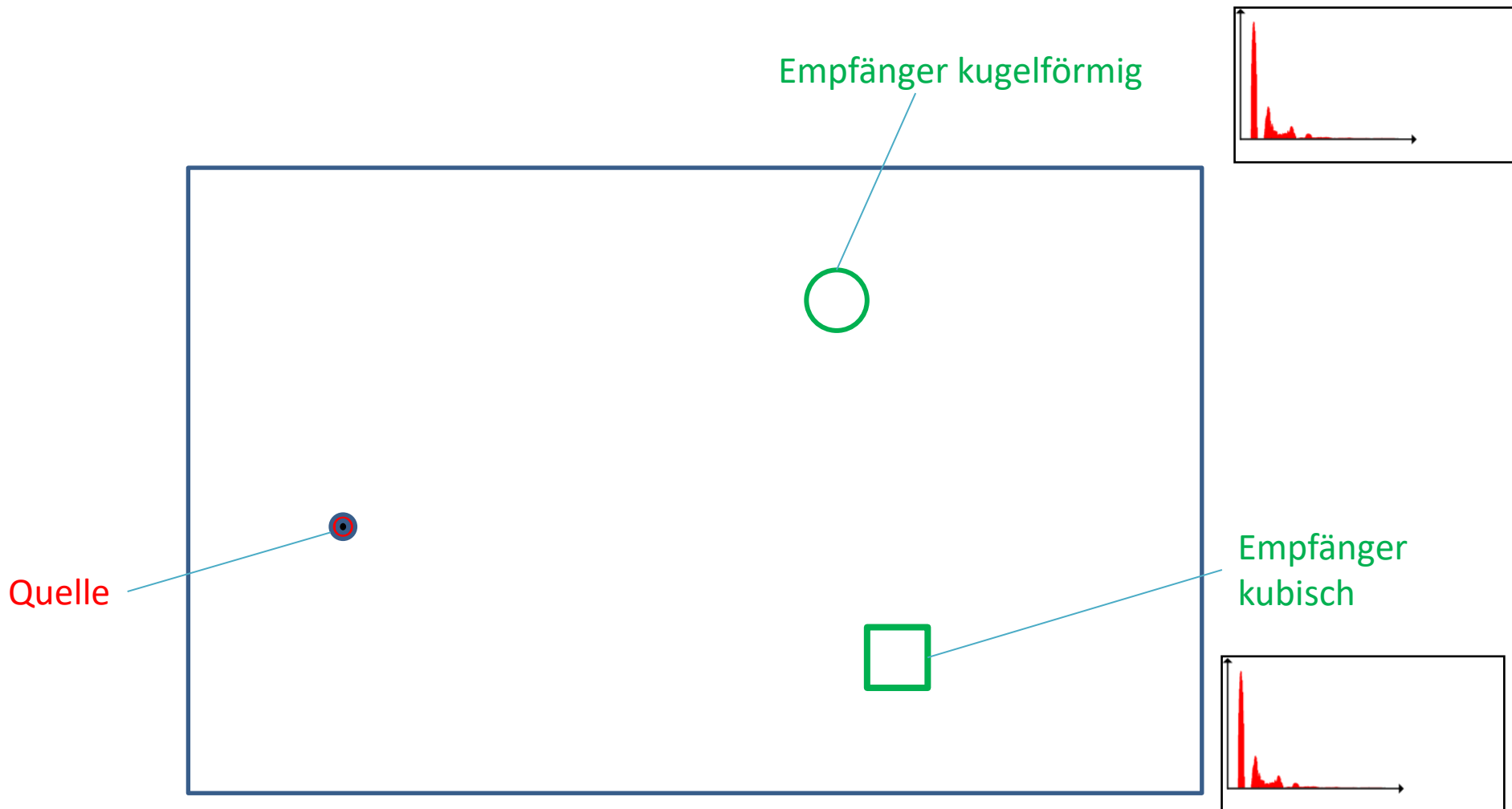
Inhaltsverzeichnis

1. Algorithmen: Eine schnelle Einführung
2. Validierung der Software: Wesentliche Auszüge
3. Workflow: Vom Modell zum Ergebnis
4. Fallbeispiele: Möglichkeiten und Grenzen
5. Zusammenfassung und Ausblick

Wie funktioniert das Verfahren und die Berechnung: Ein Crashkurs

1. DAS SCHALLTEILCHEN-VERFAHREN – EINE KURZEINFÜHRUNG

1.1. Schallteilchenverfahren als Animation



1.1 Prinzip des Schallteilchen-Verfahrens

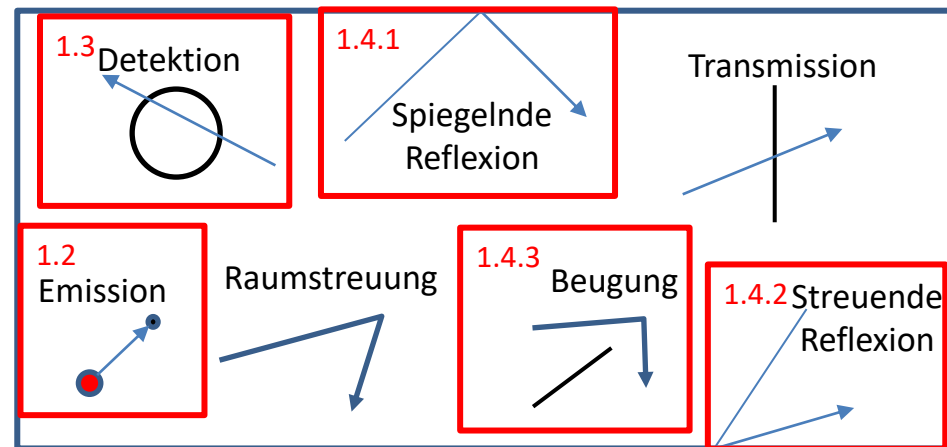
Sound Particle Diffraction ist Verwandte des Ray-Tracing (Strahlenverfolgung)

Schallteilchen sind Energieträger, die mit Schallgeschwindigkeit auf geradlinigen Strahlen „fliegen“

Schallteilchen repräsentieren Teil ebener Wellenfront

3 Schritte:

- 1) Schallteilchenausendung (Quelle)
- 2) Schallteilchenverfolgung (Ausbreitung)
- 3) Schallteilchendetektion (Empfänger)



Ergebnis ist ein Intensitäts-Echogramm

1.2 Die Schallteilchen-Quelle

N gleichmäßig verteilte Schallteilchen aussenden

Quelleistung/ Quellenergie in N gleichgroße „Portionen“ aufteilen

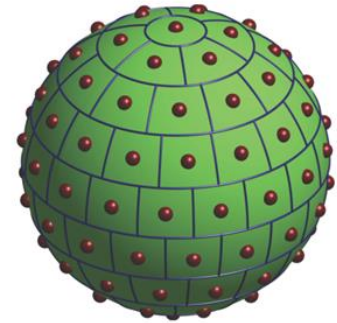
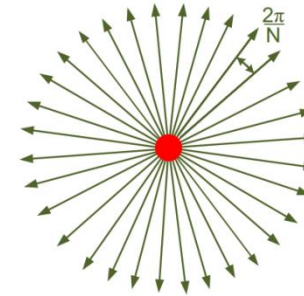
Simulation kann multi-frequent oder getrennt erfolgen

eignet sich sehr gut für Parallelisierung

Richtwirkungen umsetzbar:

Veränderung der Energie von Teilchen in einem gewissen Raumwinkel

Praktisch: CommonLoudspeakerFormat-Import oder Eigendefinition



CLF reader/viewer - Speaker Maker Inc_Sin two-way.CF2

Model
Name: 8in two-way Weight: 23,00 kg
Descr.: A two-way full range speaker
Colors: paintable
Radiation: fullsphere Mo
Type: passive

Manufacturer
Name: Speaker Maker

Measurement
Contact: Jeremy Johnston
Date: 2005-FEB-07 Info: -
Distance: 8,000 m Env.: -

Inp. voltage: 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 2,830 Vrms

Electro-acoustical (EA) data

Sensitivity	77,3	81,2	84,8	88,0	90,6	92,5	92,3	90,6	92,1	dB
Impedance	12,0	22,7	49,1	34,2	13,2	11,0	12,4	15,4	17,4	Ohm
-5dB w. hor.	360	360	360	360	360	360	360	360	187	°
-5dB w. ver.	(360)	(360)	(360)	(360)	(360)	(360)	360	360	193	°
Axial DI	(0,6)	(0,7)	(0,6)	(0,8)	(0,9)	(1,2)	1,6	2,9	4,0	dB
Ax. Spect.	77,3	81,2	84,8	88,0	90,6	92,5	92,3	90,6	92,1	dB

Impedance (derived)
Nom: 9,0 Min: 5,3 Avg: 15,6 Ohm
Max input voltage: 20,0 Vrms
Equiv. amp. size: 100 W
Gain: 17,0 dB

Cabinet 3D representation
 Rectangular Trapezoidal Edges Faces+Edges DXF

CLF2 version: 1 final

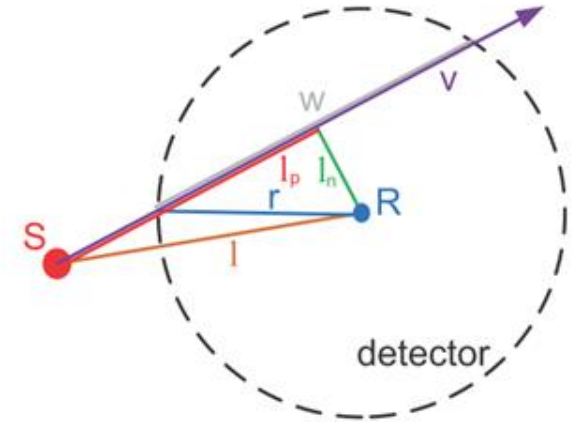
File created by: ETC, Inc., 8780 Rufing Road, Greenville, IN, US (3rd Party)

1.3 Detektion

Detektion in räumlich ausgedehnten Empfängern

$$I = \frac{P}{N \cdot V_D} \sum_{i=1}^{N_0} e_i \cdot w_i,$$

Anzahl det. Teilchen: N_0
 Energieverlust eines Teilchens seit Aussendung: e_i
 Durchquerstrecke: w_i
 Quellleistung: P
 Anzahl ausgesandter Teilchen: N
 Detektorvolumen: V_D

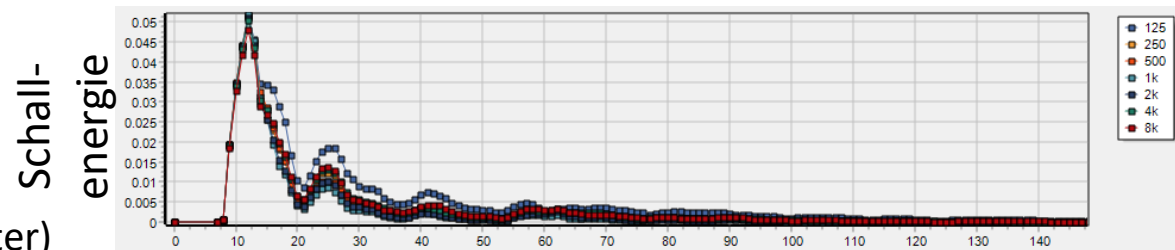


Berücksichtigung der Durchquerstrecke w

➤ Empfängerform irrelevant

Typisch:

- Kugelempfänger
- Kubische Empfänger (Gitter)



1.4.1 Teilchenausbreitung: Spieglende Reflektion

Spiegelung an Wänden gemäß Reflexionsgesetz (Snellius)

Gültig für Wände die

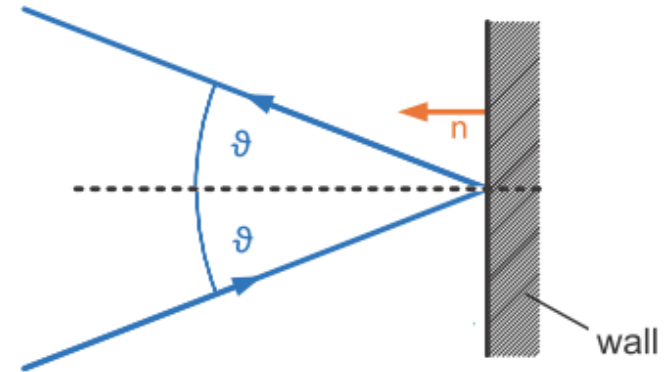
- 1) unendlich ausgedehnt
- 2) hinreichend glatt sind

Energie:

- Berücksichtigung der Luftabsorption
- Berücksichtigung des Reflexionsgrads

Luftabsorptionsgrad (von f)

$$e^{-mr} \cdot (1 - \alpha)$$



Richtung:

$$\vec{v}_r = \vec{v}_i - 2 (\vec{v}_i \circ \vec{n}) \cdot \vec{n},$$

1.4.2 Teilchenausbreitung: Streuende Reflektion

Richtcharakteristik der gestreuten Energie i.A. hoch komplex und frequenzabhängig

Oberfläche beschrieben über Streugrad s

$$s(f) = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{refl}} = \frac{E_{scat}}{E_{refl}}$$

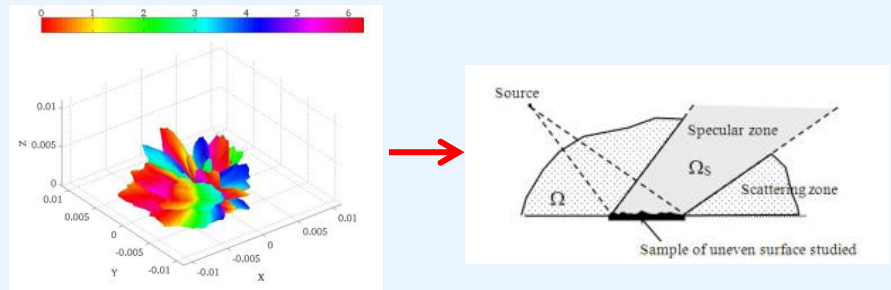
Gute allgemeine Näherung:

Lambert'sches Gesetz

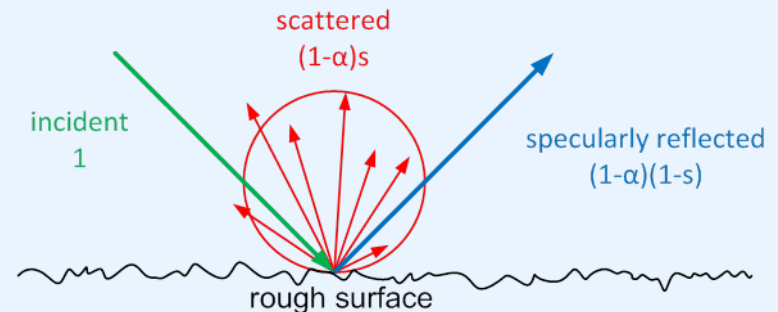
Numerische Umsetzung:

1. Vergleich Streugrad mit Zufallszahl:
2. Richtung des gestreuten Schallteilchens: Zufallsverteilung gemäß Lambert'schen Verteilung

Streuungs-Modellierung gemäß Lambert

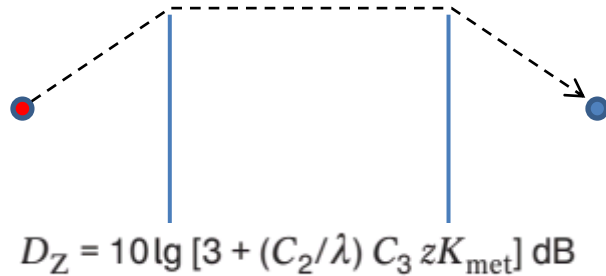


$$W'(\delta) = \frac{dW}{d\Omega} = \frac{\cos \delta}{\pi}$$



1.4.3 Beugung im Rahmen der energetischen Verfahren

Umweg Methoden wie in ISO 9613-2



- Ausgehend von Maekawa Untersuchungen (1968)
- Einfügedämmmaß abhängig von Umweg bezogen auf Wellenlänge
- Andere Formel für einfach
- Kein *Richtungswechsel* erlaubt
- Kein Einfluss „auf dem Weg“

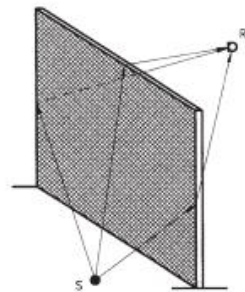
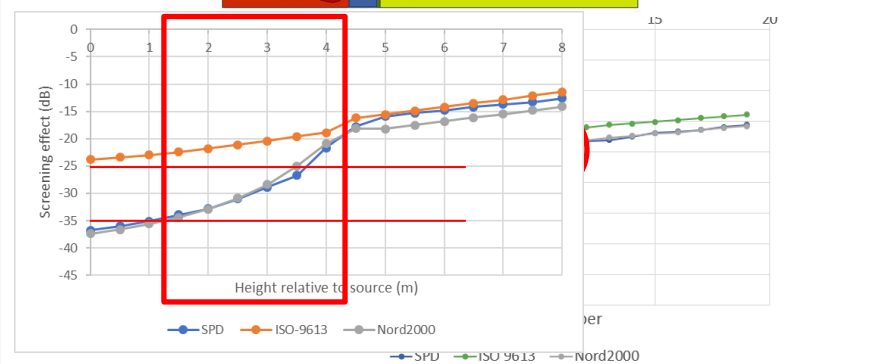
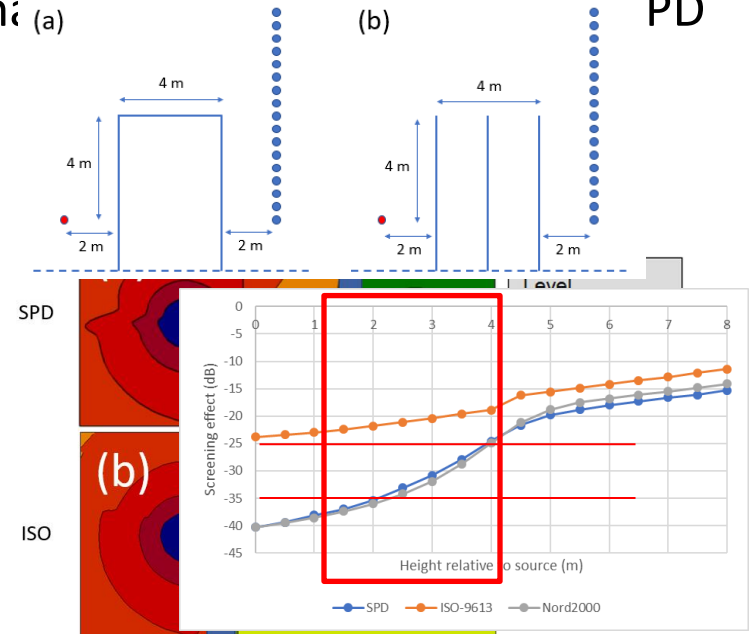


Bild 5: Verschiedene Schallausbreitungswege an einem Schirm

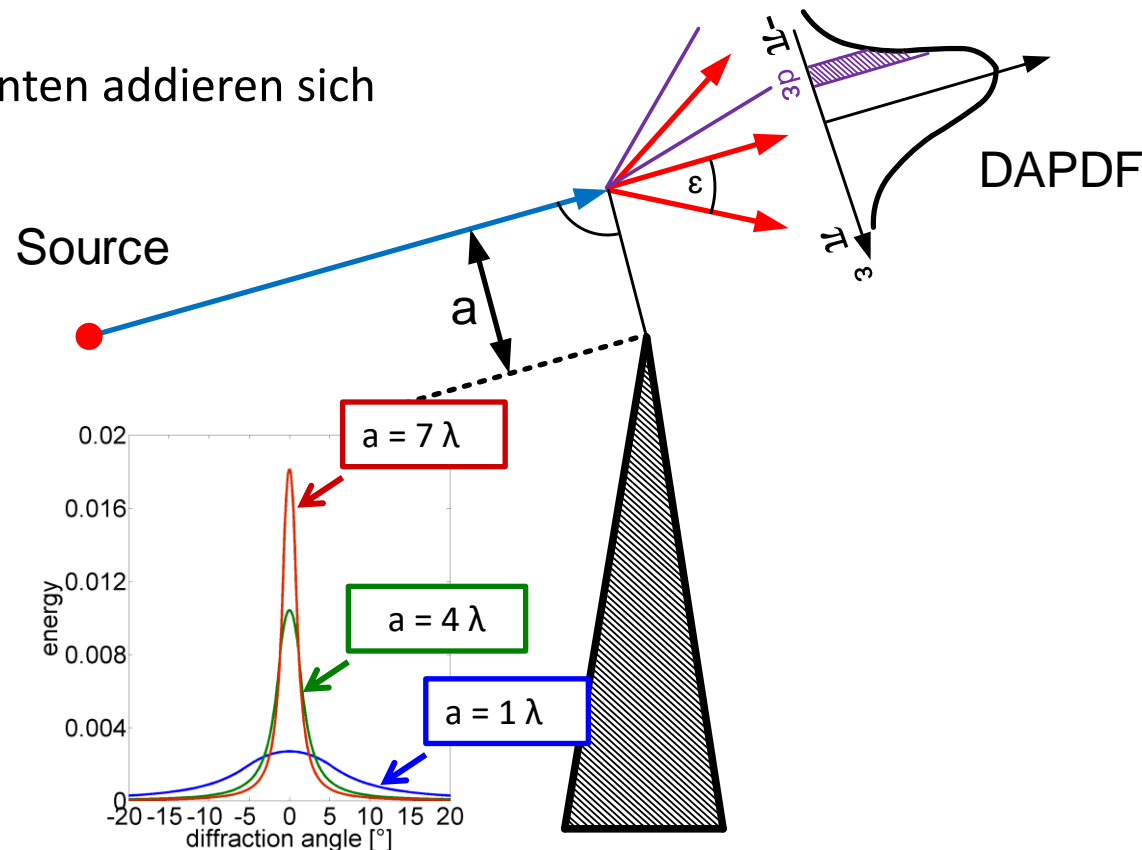
Unschärfe (a) PD



1.4.4 Schallteilchen Beugung: Generelle Idee

- Je näher ein Schallteilchen an einer Kante vorbei „fliegt“, desto größer wird die Richtungsunschärfe und damit die Ablenkung (größerer Beugungswinkel)
- Kanten haben eine „Beugungsstärke“ (edge diffraction strength, EDS)
- Die Kantenstärken mehrerer Kanten addieren sich

1. Der Kantenvorbeiflug-Abstand a wird in eine „effektive Spaltbreite“ b uminterpretiert
2. Die Verteilungsfunktion ist von der Fraunhofer Beugung am Spalt abgeleitet

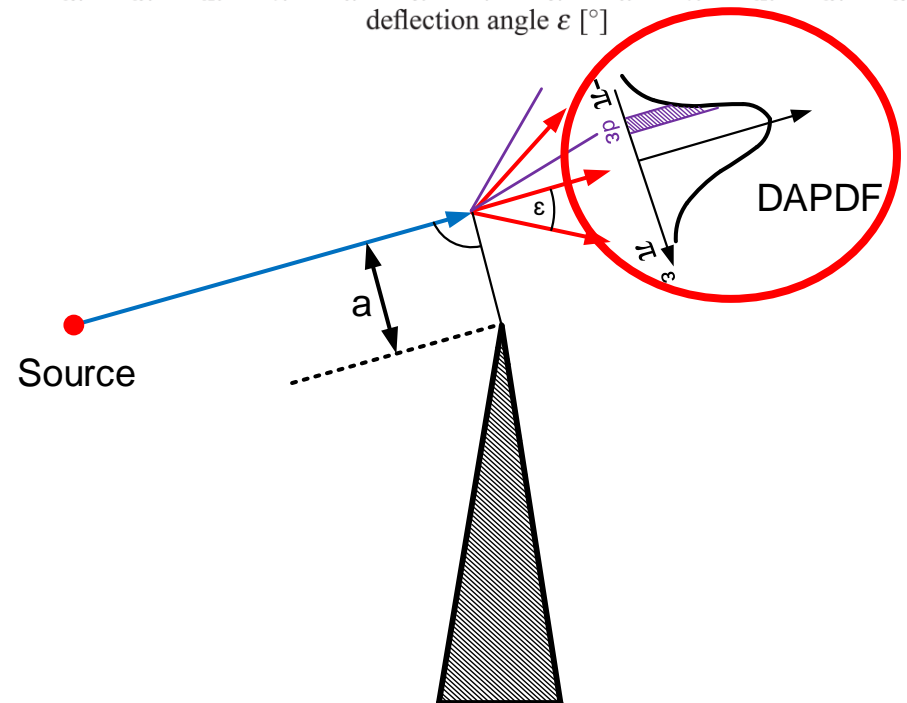
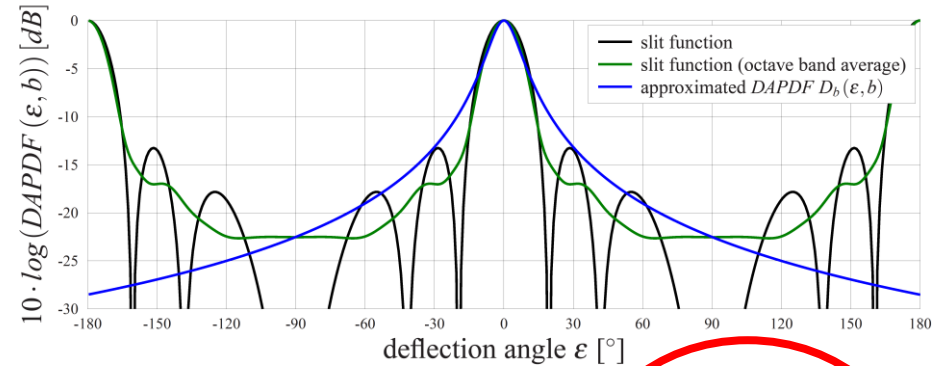


1.4.4 Ablenkwinkel-(Wahrscheinlichkeitsdichte-) Funktion

Diffraction Angle Probability Density Function (DAPDF):

Beugung gemäß der Fourier-Transformation der Öffnungsfunktion, also der Spalt der Breite b

- Oktavband gemittelt



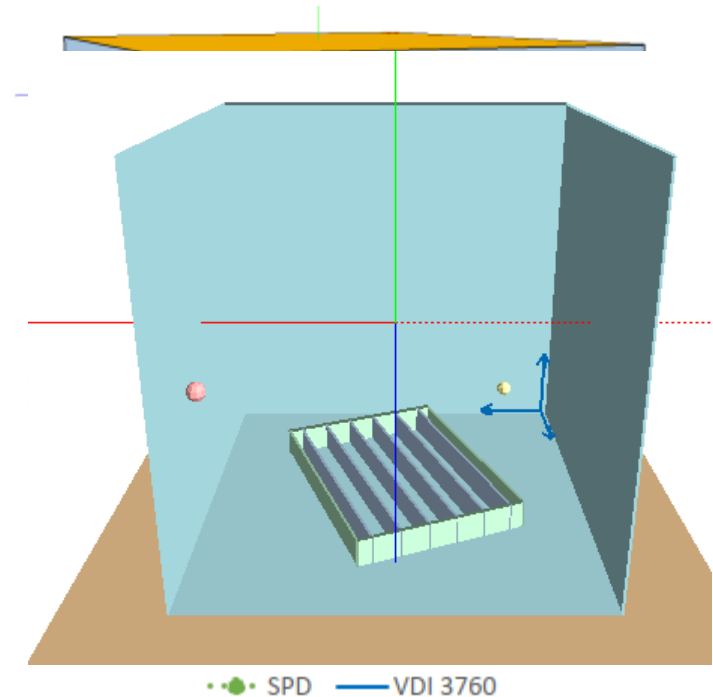
Warum vertrauen wir unserem Verfahren? Wie haben wir das validiert?
Wo liegen die Grenzen?

2. VALIDIERUNG DER SOFTWARE: WESENTLICHE AUSZÜGE

2.0 Validierungsübersicht

Welche Validierung haben wir bereits vorgenommen?

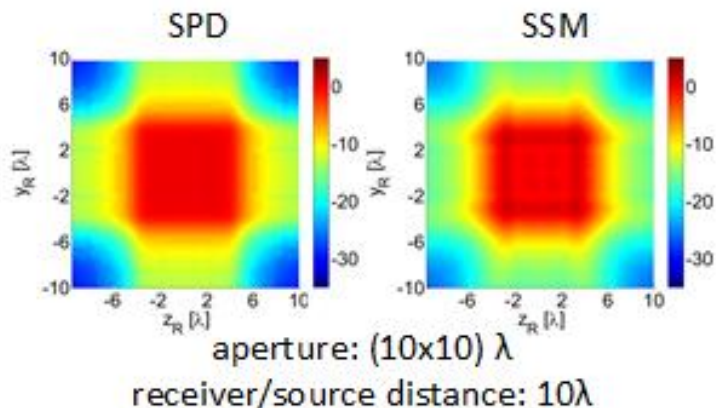
- ✓ Quellenabstrahlung (Isotropie)
- ✓ Freifeldberechnung
- ✓ Halbfreifeldraum
- ✓ Flachraum nach VDI 3760
- ✓ Pegel und Nachhall im Hallraum
- ✓ Absorption im Hallraum
- ✓ Gekoppelte Räume
- ✓ Beugung ←



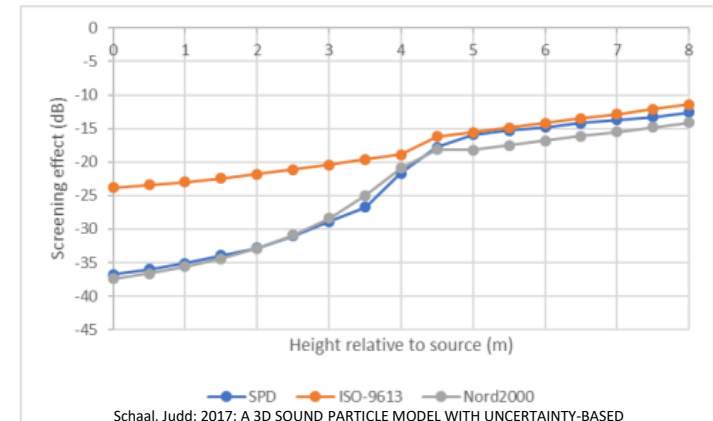
2.1 Motivation und Einführung

Ziel: Validierung der Schallteilchen-Beugung (SPD)

Kernfrage: Wie kann man Ergebnisse überprüfen?
Wie kann man wissen, ob *anders* besser ist?



haben Beschrän-
kennbar
de liegende Ann



Pohl, Stephenson; 2014: Extension of the Uncertainty relation based
Diffraction to polygonal holes

Schaal, Judd; 2017: A 3D SOUND PARTICLE MODEL WITH UNCERTAINTY-BASED
DIFFRACTION FOR GENERAL GEOMETRIES

2.1.1 Zielgrößen und Methodik der Messvalidierung

Zielgröße:

Insertion loss (IL, Einfügedämmmaß):

$$IL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{E_{with\ screen}}{E_{without\ screen}} \right) = L_{J,with} - L_{J,without}$$

Vergleiche IL zwischen Simulationen mit SoundPLANnoise SPD und Messungen

- Jede Messung muss für jedes Szenario zweimal gemacht werden:
 1. Mit Schirmaufbauten
 2. Ohne Schirmaufbauten
- Kontrollierte Messbedingungen (Halb-Freifeldraum)
- Single Input Multiple Output (SIMO):
1 Quell- \longrightarrow 31 Empfängerpositionen
- Identisches Vorgehen für die Simulationen
- **Mehrere Szenarios mit verschiedenen:**
Schirmbreiten, -höhen -formen und Anzahl
- Variiere Boden- & Schirmabsorption: $\alpha \in [\approx 0, \approx 1]$
- Variiere Quellposition (Höhe & Platzierung)
- Signalverarbeitung: $p(t, \vec{r}) \rightarrow L_J \rightarrow IL$

Mit Schirm



Ohne Schirm



$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ L_{I,with,i} & i = 1 \dots 31 & L_{I,without,i} \\ & \searrow \quad \swarrow & \\ & IL_i = L_{J,with,i} - L_{J,without,i} & \end{array}$$

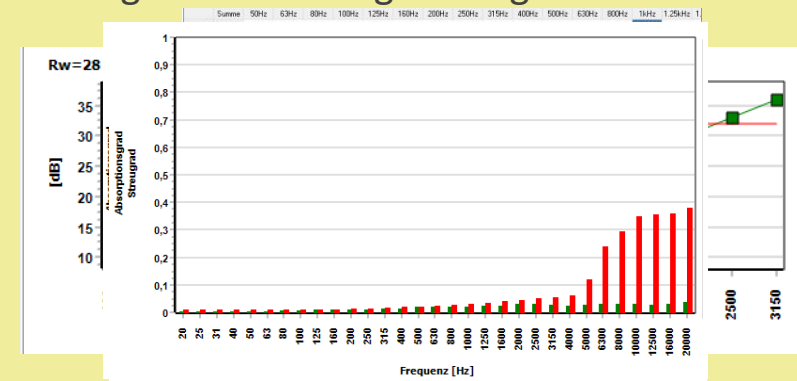
2.1.2 Versuchsaufbau und –durchführung: Messungen und Simulation

Messung: Aufbau und Ablauf

- Messungen im Semi-RAR des ITA, RWTH Aachen¹
 - Halb-Freifeld oberhalb ca. 150 Hz
- Aufbau modularer Schirme aus 25mm MDF
 $m' = 18,56 \text{ kg/m}^2$
- Abmessungen eines Schirmmoduls: 1,38m x 1,50m
- SIMO-Messungen: Je Quelle 31 Empfänger,
 - Gruppirt in 4 Mikrofonarrays (Säulen A bis D)
 - Abstand der Mikrofone im Array: 25cm
- Messung der Impulsantwort mittels sweep
- Jede Messung gemittelt über 4 sweeps
- Quelle: Genelec 8020c
- Empfänger: Sennheiser KE4-Kapseln, Frequenzgang entzerrt, kalibriert
- Auswertung mittels ITA toolbox und eigenen Matlab Routinen

Simulation: Modellierung und Ablauf

- Simulation mit SoundPLANnoise SPD
- Absorptionsdaten aus Impedanz-Rohr-Messungen
- Transmission der MDF-Platten über Massengesetz
- Berücksichtigung der Quell-Richtwirkung mit 5° Auflösung
- Wände des Semi-RAR als ideale Absorber modelliert
- Streugrad über Rauigkeit abgeschätzt



¹ Dank an Lukas Aspöck & Jonas Stienen

2.1.4 Methodik

Systematische Unterschiede und Fehlerursachen

Systematische Unterschiede

Messung

- Messungen von Druckwerten im Wellenfeld $p(t, \vec{r})$
- **Druckempfänger**
kohärente Amplitudenaddition (Interferenz)
- Messung an einem Punkt
- Realer Messraum, nur näherungsweise Freifeld (Reflexionen/ Moden)

Simulation

- Simulation mit Schallsteilchen
- **Energieempfänger**
inkohärente Energieaddition
- Ausgedehnter Kugelempfänger
- Ideales Freifeld dank idealer Absorber

Gewisse (Wellen-) Effekte werden in Simulation nicht abgebildet

Ursachen für Abweichungen

- Systematische Unterschiede (Welleneffekte: Interferenz)
- Unsicherheiten bei der Reproduzierbarkeit zwischen Beugungs- und Referenzmessung
- Unterschiede zwischen Modellierung realem Versuchsaufbau
 - Ortspunkte/ Koordinaten
 - Quelleigenschaften
 - Absorptionsgrade und Transmissionsgrade
 - Einfluss von Störkörpern wie Stative
- Resonanzeffekte in den MDF-Schirmen
- Beugung bei Simulation hängt u.a. von Vorbeiflugabstand in Wellenlängen ab, diese hängen bei den Messungen von Temperatur ab

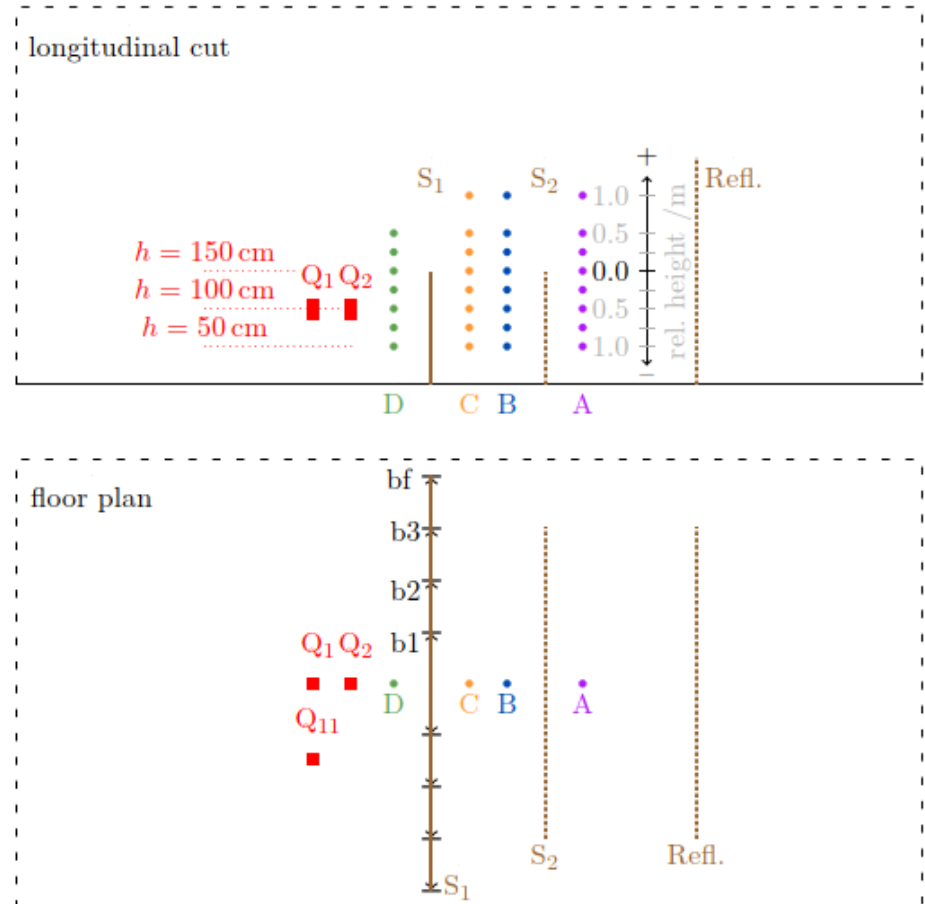
Vertrauensintervall Messungen: $< \pm 0,7$ dB

Vertrauensintervall Simulationen: $\approx \pm 0,6$ dB

2.2. Ergebnisse des Vergleichs Messung / Simulation

Überblick: Szenarienauswahl und Motivation

- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)



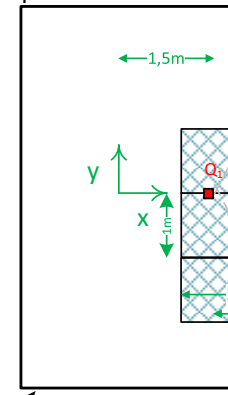
2.2.1 Ergebnisse des Vergleichs Messung / Simulation

Einzelschirm ohne Bodenreflektion

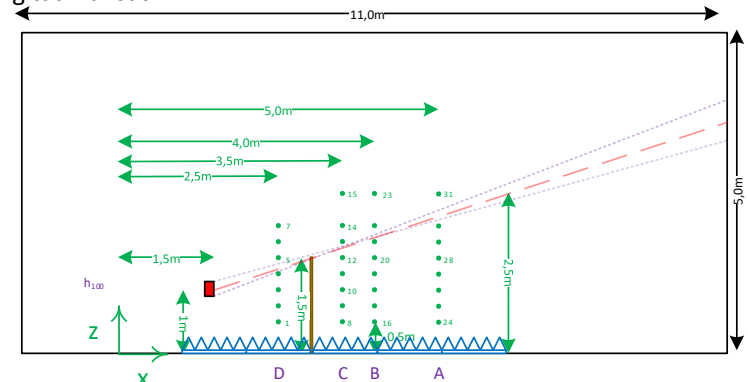
- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)
- Auswahl für diesen Vortrag:
 - Fokus auf Szenarien, die zeigen, dass SPD in der Lage ist die relevanten Beugungseffekte zu behandeln
- **Einzelschirm Szenarios**
 - Mit oder **ohne Bodenreflektion**
- **Doppel-Schirm Szenarios**
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- **Komplexere Szenarios**
 - Schirm vor Wand
 - M-Schirm
 - „Zick-Zack“-Schirme

Single screen, full width absorptive floor

1S_bf_Fabs_Srefl_Q1_100cm
footprint bf

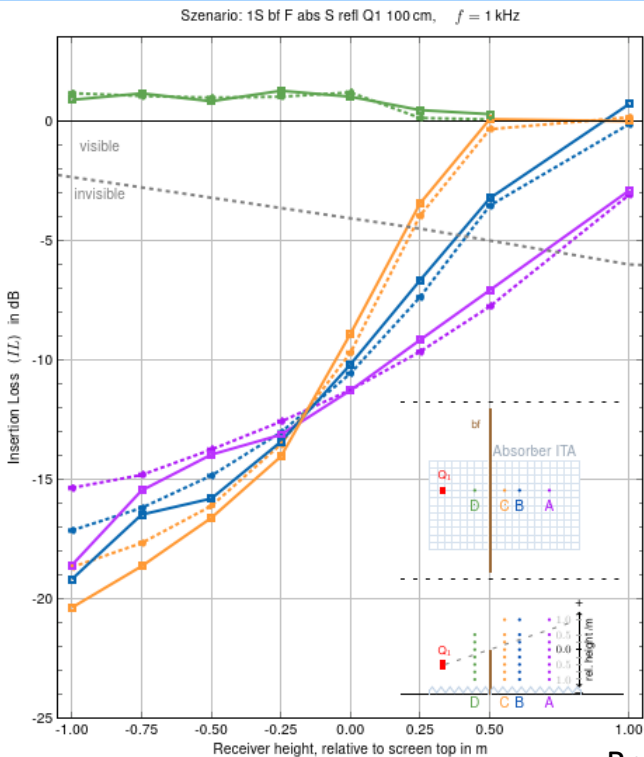


longitudinal cut

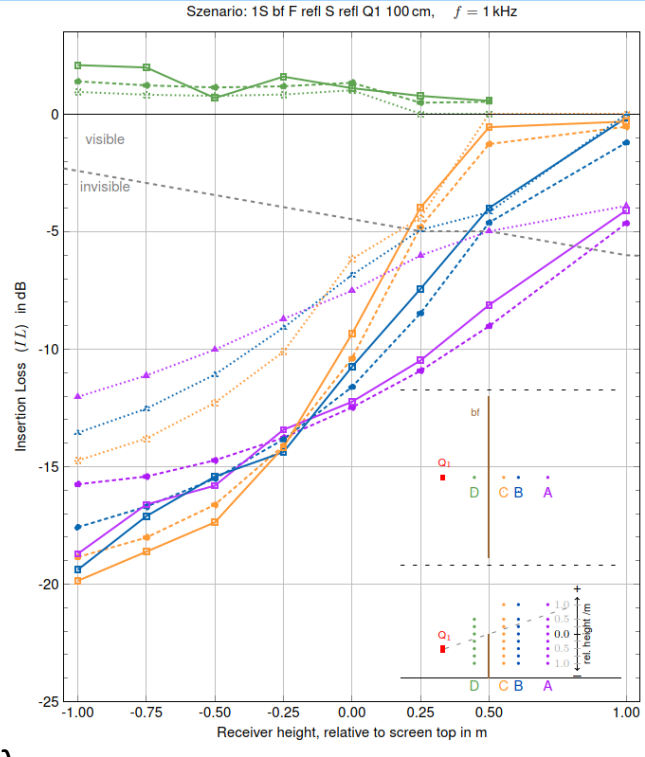


2.2.1 Ergebnis-Vergleich Messung / Simulation

Einzelschirm, volle Breite **ohne/mit Bodenreflektion?**



f = 1 kHz



Breite bf: 5,52 m $\approx 16 \lambda$

Ergebnisse:

- Simulationen können die Messergebnisse qualitativ und quantitativ reproduzieren
- Beugung mit und ohne Bodenreflektion wird abgebildet
- Simulationen tendieren dazu, das Einfügedämmmaß zu überschätzen: $IL_{sim} < IL_{meas}$, außer Empfänger im Tief-schatten

column microphone array A, B, C, D: Measurement
 column microphone array A, B, C, D: Simulation
 column microphone array A, B, C, D: Calculation (ISO 9613-2)
 line of sight, above receivers are visible

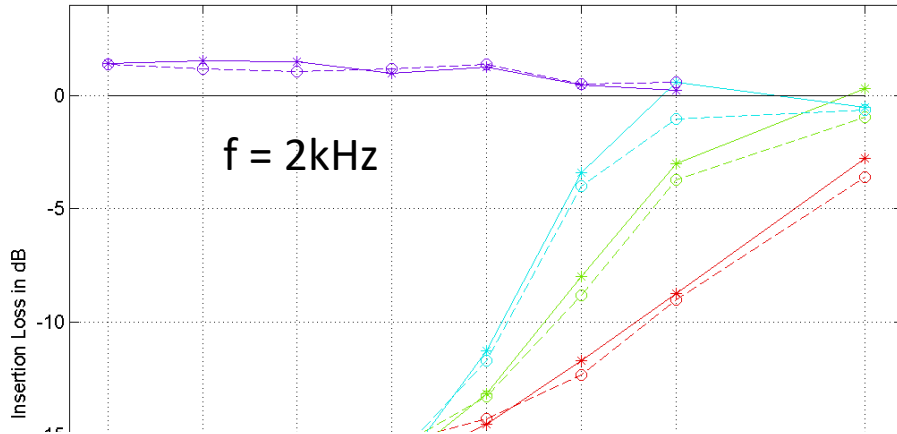
Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	avg [dB]
-1.09	0.66	1.20	0.80	1.38	0.72	1.93	1.03	0.82
-3.02	-0.51	-1.94	-0.21	-1.90	-0.27	0.37	0.04	-0.25



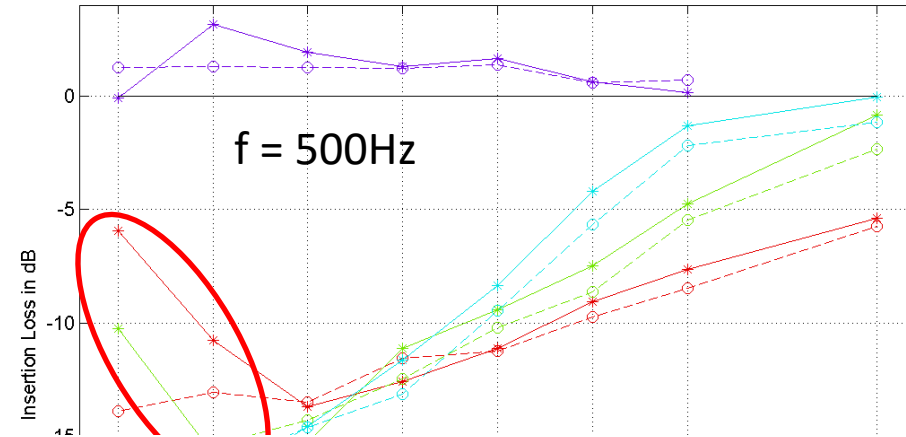
2.2.1 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Ein kleiner Exkurs zu anderen Frequenzen

Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 2000Hz (Band 7/10)
4 mic array columns.

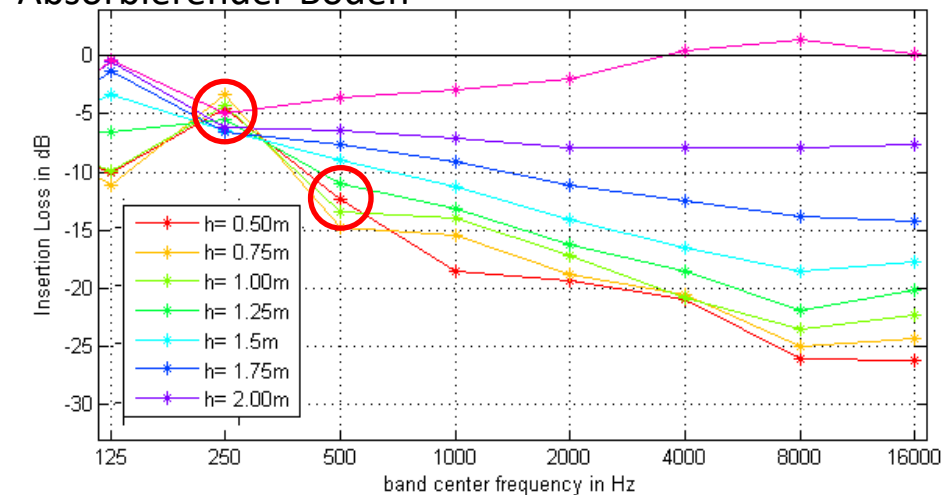


Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 500Hz (Band 5/10)
4 mic array columns.



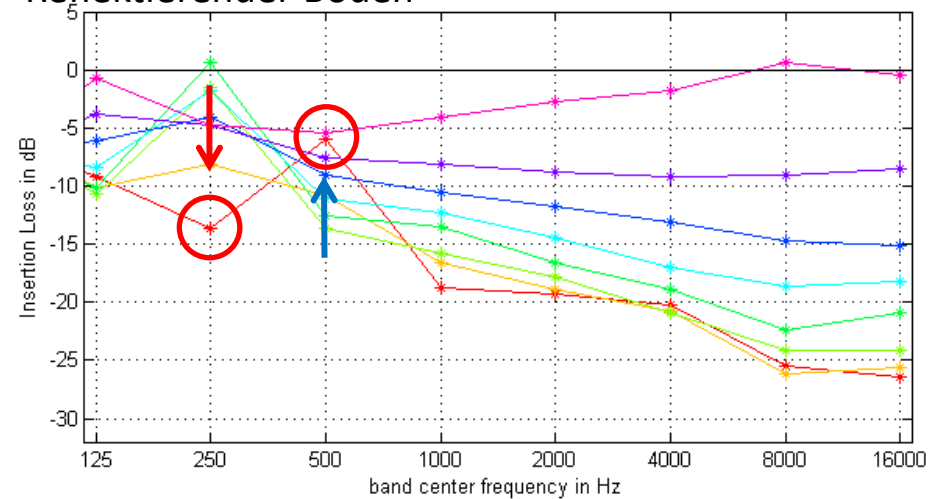
Szenario 1S_bf_Fabs_Srefl_Q1_100cm : micarray: A.
In 1-octave bands

Absorbierender Boden



Szenario 1S_bf_Frefl_Srefl_Q1_100cm : micarray: A.
In 1-octave bands

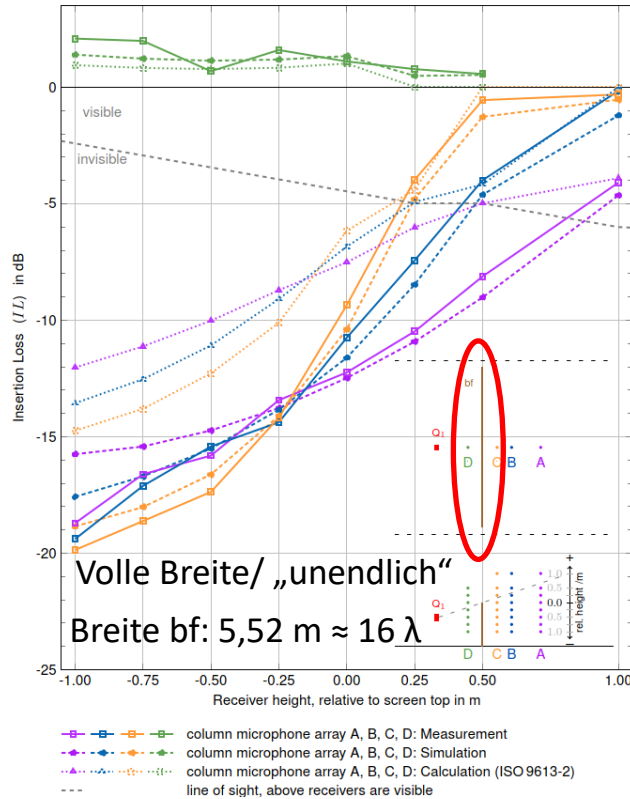
Reflektierender Boden



2.2.1 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Exkurs zu **anderen Schirmbreiten**, Bodenreflektion

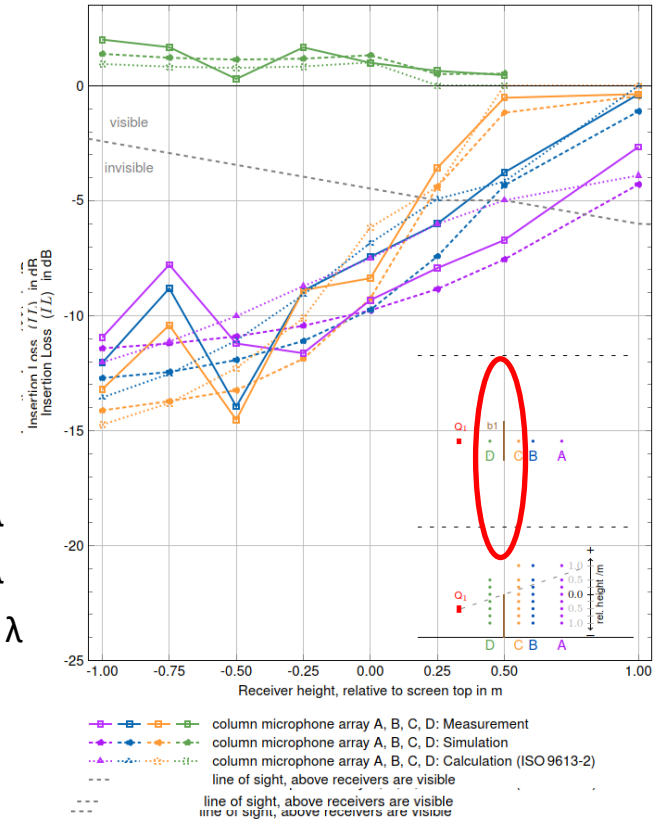
Szenario: 1S bf F refl S refl Q1 100 cm, $f = 1$ kHz



$f = 1$ kHz

Breite b1: 1,38 m $\approx 4 \lambda$
Breite b2: 2,76 m $\approx 8 \lambda$
Breite b3: 4,14 m $\approx 12 \lambda$

Szenario: 1S b1 F refl S refl Q1 100 cm, $f = 1$ kHz

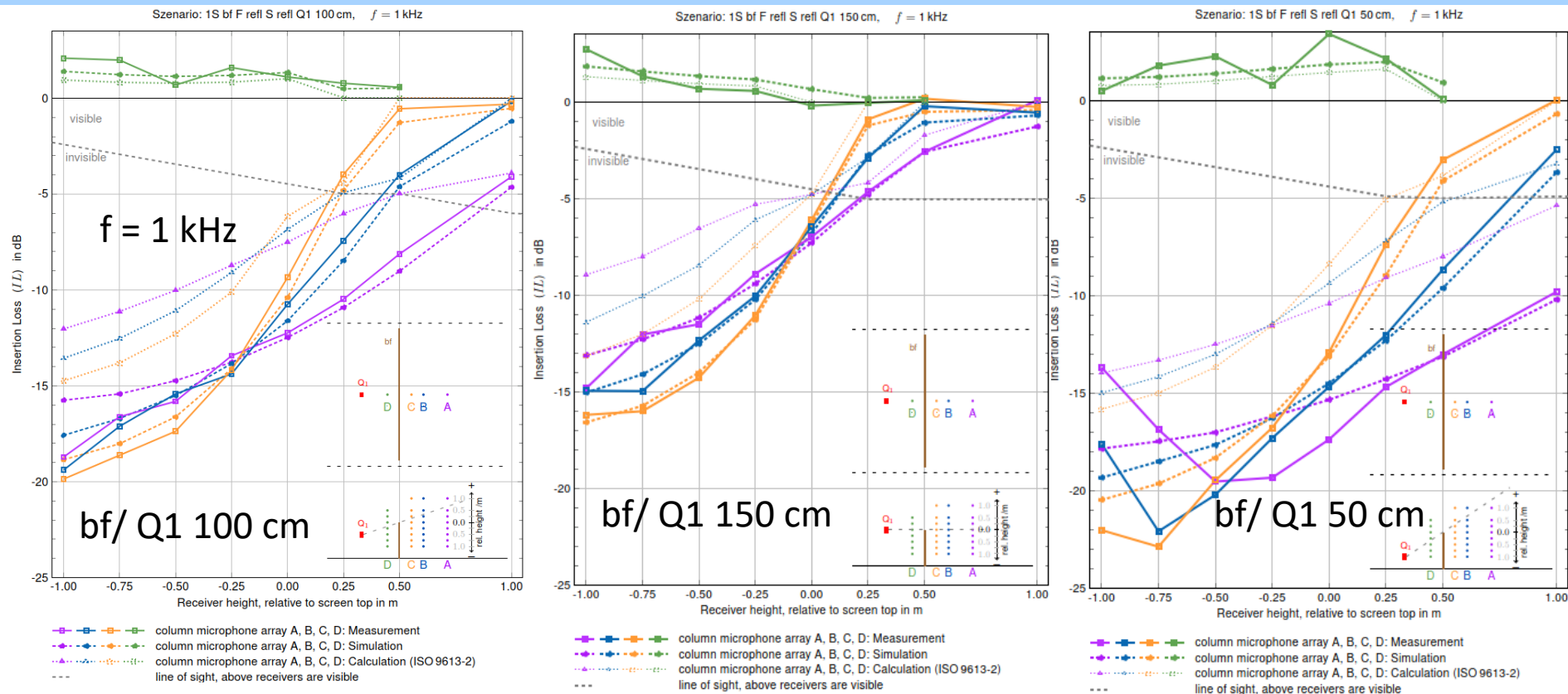


Ergebnisse:

- SPD kann auch endliche Schirmbreiten korrekt abbilden, wichtig für die reale Welt: z.B. Großraumbüros etc.

2.2.1 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Exkurs zu **anderen Quellpositionen**, mit Bodenreflektion



Ergebnisse:

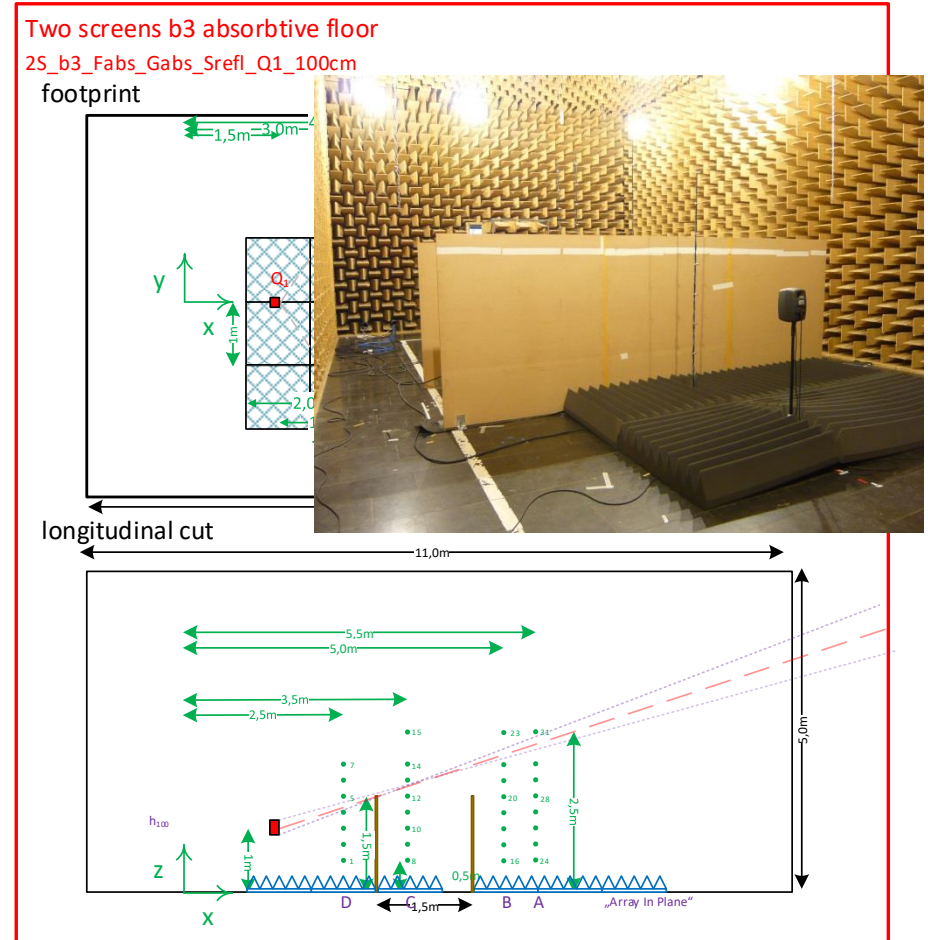
Breite bf: 5,52 m $\approx 16 \lambda$

- SPD-Verfahren kommt Bandbreite an Quellpositionen (verschiedene Höhen) klar, wie im realen Leben
- Für manche Quell- und Empfangspositionen (in Bodennähe) größere Abweichungen

2.2.2 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

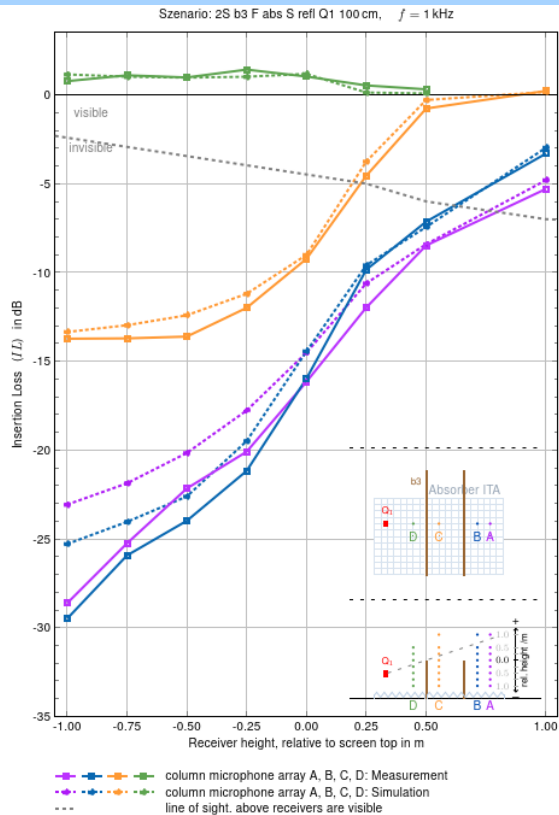
Doppelschirm, Breite b_3 , mit/ ohne Bodenreflektionen

- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)
- Auswahl für diesen Vortrag:
 - Fokus auf Szenarien, die zeigen, dass SPD in der Lage ist die relevanten Beugungseffekte zu behandeln
 - Einzelschirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
 - **Doppel-Schirm Szenarios**
 - **Mit** oder **ohne Bodenreflektion**
 - Komplexere Szenarios
 - Schirm vor Wand
 - M-Schirm
 - „Zick-Zack“-Schirme

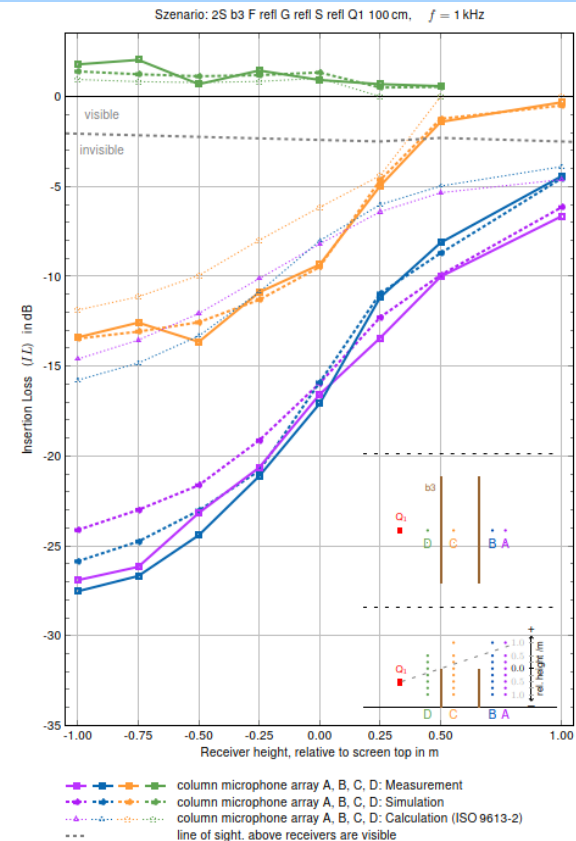


2.2.2 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Doppelschirm, Breite b3, ohne und mit Bodenreflektion



$f = 1$ kHz



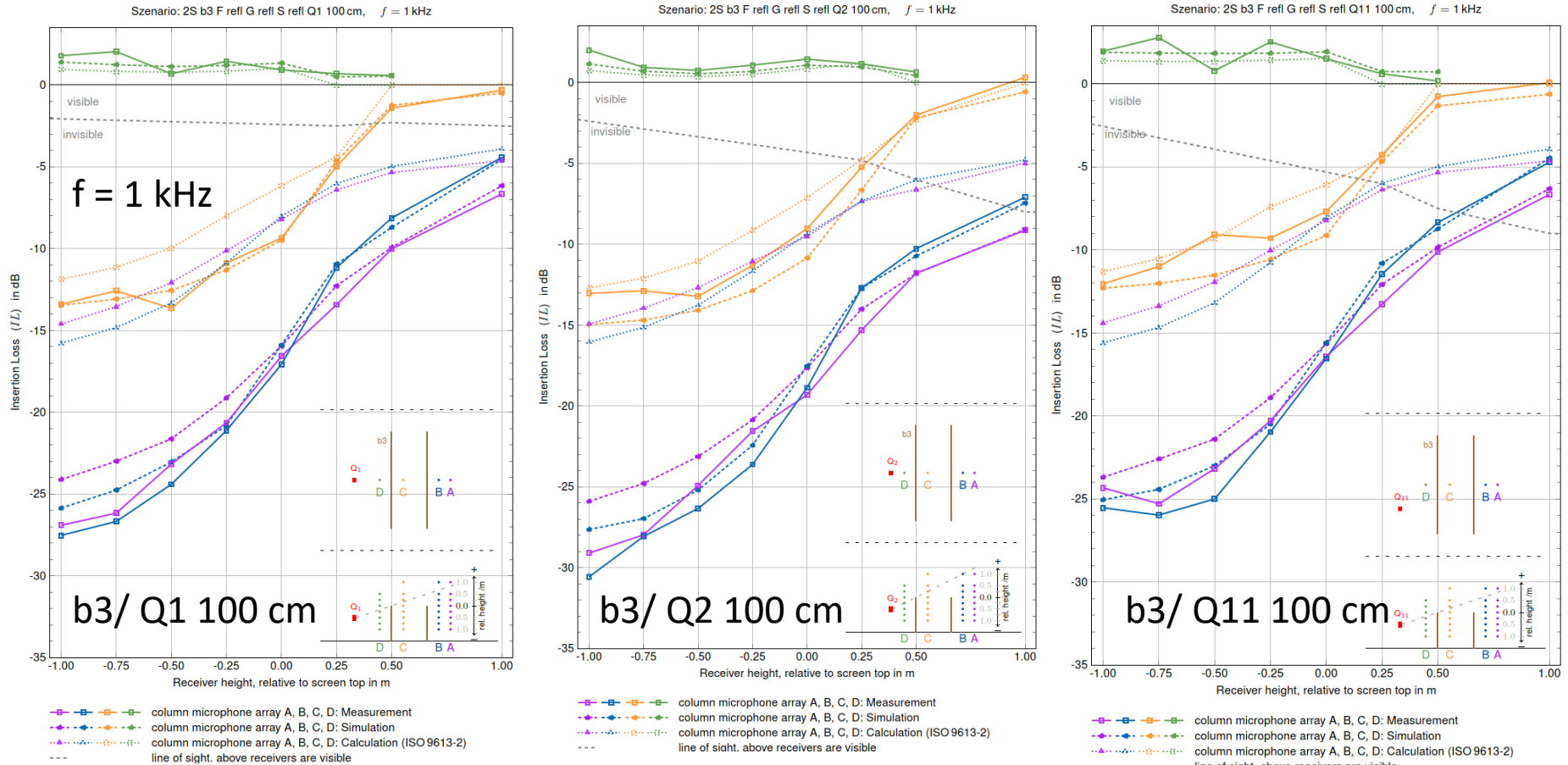
Ergebnisse:

- SPD kann auch Mehrfachbeugung abbilden, auch in Kombination mit Reflektionen
- SPD unterschätzt leicht den IL, insbesondere für entfernte Empfänger im Tiefschatten

	Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	avg [dB]
refl.	-3.57	-1.46	-2.09	-0.75	-1.17	-0.05	0.80	0.12	-0.56
abs.	-5.73	-2.18	-4.00	-1.37	-1.26	-0.59	0.42	0.09	-1.05

2.2.2 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Exkursion zu **anderen Quellpositionen**, Bodenreflektionen



Breite b_3 : 4,14 m $\approx 12 \lambda$

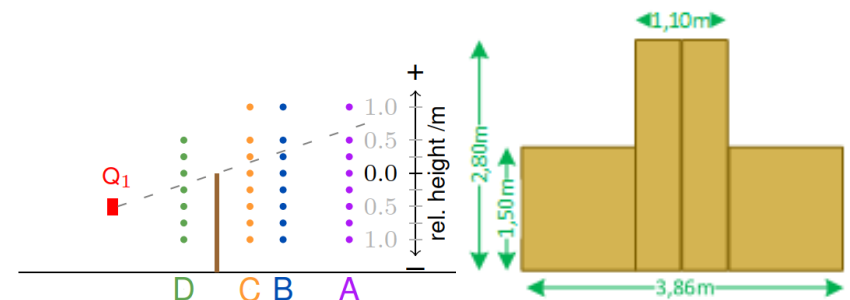
Ergebnisse:

- Gute Übereinstimmung, auch bei verschiedenen Quellen (verschiedene Höhen und außerhalb der Empfangsebene) mit 2 Schirmen, Abweichungen nehmen zu

2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

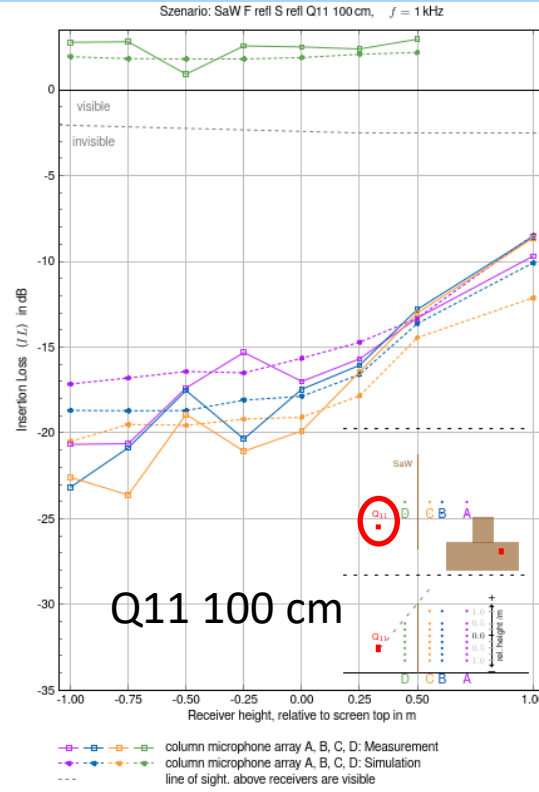
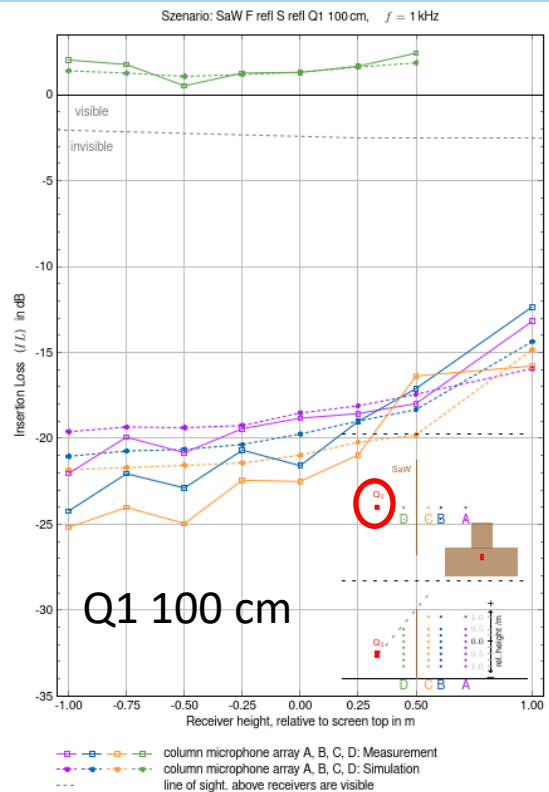
Komplexere Schirmformen und Szenarien

- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)
- Auswahl für diesen Vortrag:
 - Fokus auf Szenarien, die zeigen, dass SPD in der Lage ist die relevanten Beugungseffekte zu behandeln
- Einzelschirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- Doppel-Schirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- **Komplexere Szenarios**
 - **Schirm vor Wand**
 - M-Schirm
 - „Zick-Zack“-Schirme



2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Komplexe Szenarien, Schirm vor Wand, **Bodenreflektion**



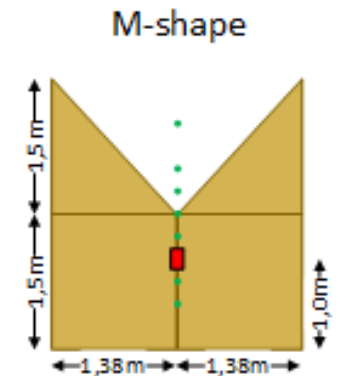
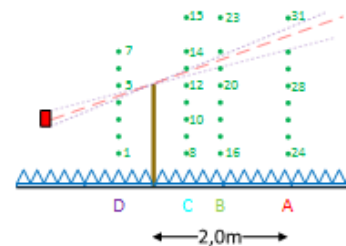
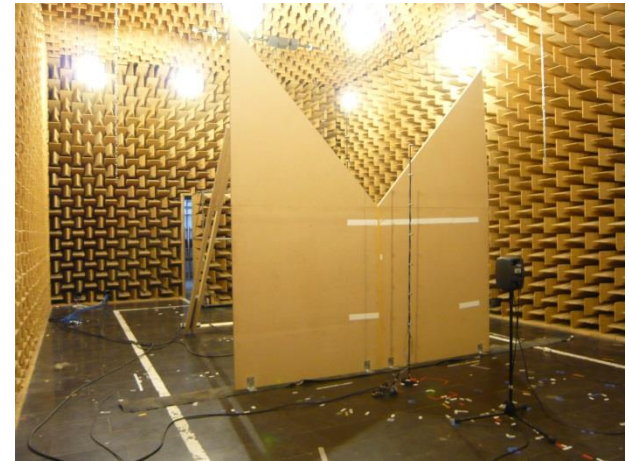
Ergebnisse:

- Hinreichende Übereinstimmung auch mit diesen deutlich komplexeren Szenarien, mit komplizierteren und willkürlichen Schirmformen, bei denen **Umwegmethoden versagen**

2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Komplexe Szenarien, M-Schirm, **Bodenreflektion**

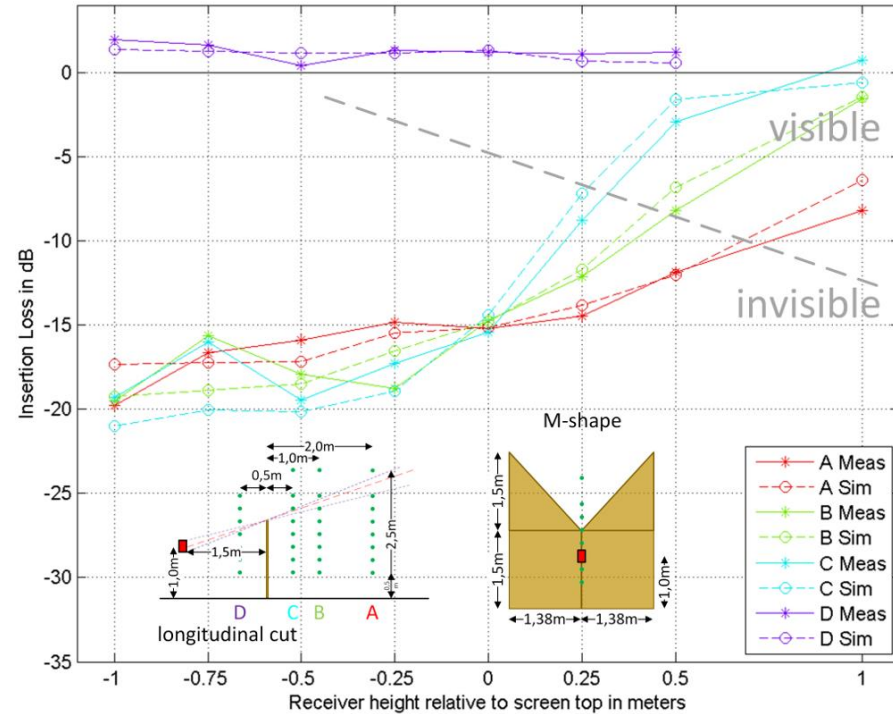
- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)
- Auswahl für diesen Vortrag:
 - Fokus auf Szenarien, die zeigen, dass SPD in der Lage ist die relevanten Beugungseffekte zu behandeln
- Einzelschirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- Doppel-Schirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- **Komplexere Szenarios**
 - Schirm vor Wand
 - **M-Schirm**
 - „Zick-Zack“-Schirme



2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Komplexe Szenarien, M-Schirm, **Bodenreflektion**

Szenario MS_Frefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



Ergebnisse:

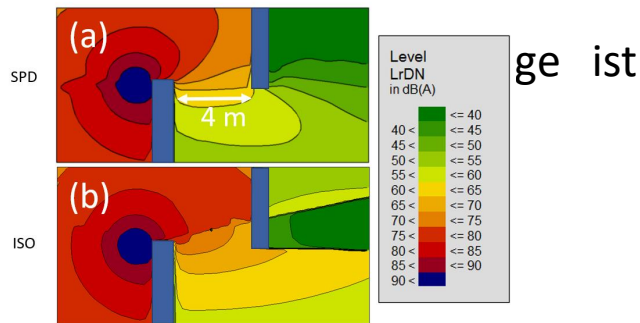
- Gute Übereinstimmung, sogar für komplexe Schirm-Formen, bei denen Umwegmethoden versagen

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	avg [dB]
-2.48	-0.29	3.27	-0.08	4.06	0.68	-0.73	0.19	0.12

2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Komplexe Szenarien, Zick-Zack-Schirm, **Bodenreflektion**

- 30 Szenarios, je mit bis zu 12 Quellpositionen (28 GB Daten)
- Auswahl für diesen Vortrag:

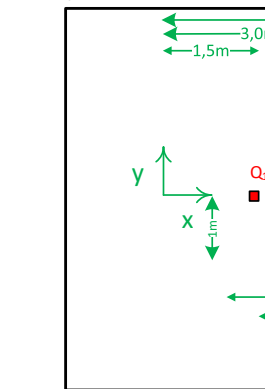


- Mit oder ohne Bodenreflektion
- Doppel-Schirm Szenarios
 - Mit oder ohne Bodenreflektion
- **Komplexere Szenarios**
 - Schirm vor Wand
 - M-Schirm
 - „Zick-Zack“-Schirme

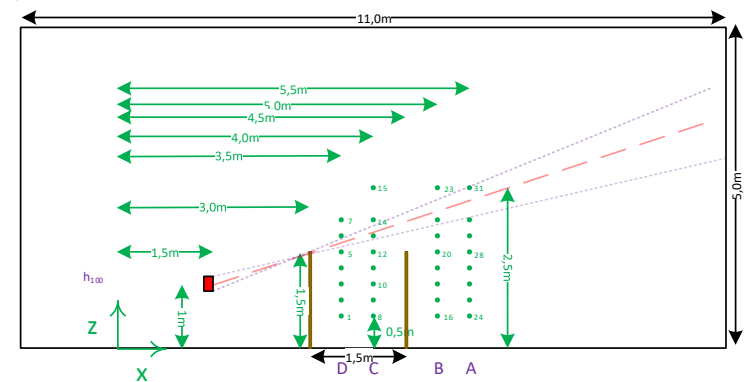
Two screens „zig zag“

2SZZ_Frefl_Srefl_Q1_100cm

footprint

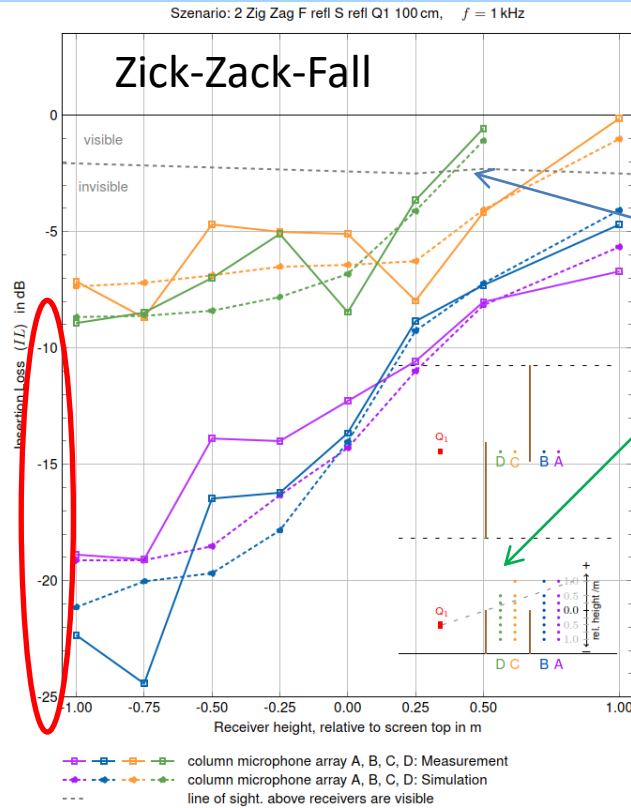


longitudinal cut

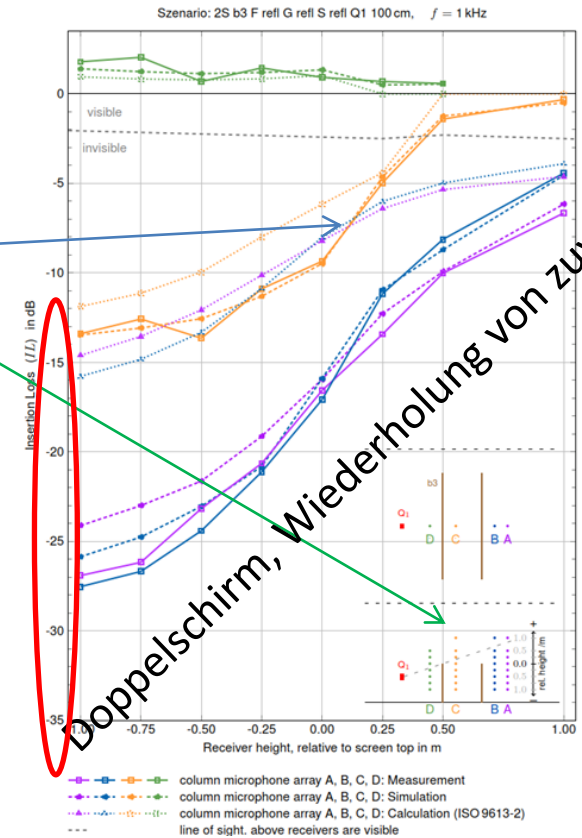


2.2.3 Ergebnis-Vergleich Messung/ Simulation

Komplexe Szenarien, Zick-Zack-Schirm, **Bodenreflektion**



Achtung!
 Array D = Array C



Doppelschirm, Wiederholung von zuvor

Ergebnisse:

- „Zick-Zack“-Pfad in der Mitte ist dominant, verursacht deutlich geringeres IL
- Trotz der zunehmenden Komplexität kann SPD auch dieses Szenario qualitativ nachbilden
- Abweichungen größer als bei einfachen Szenarien

Column A		Column B		Column C		Column D		A - D
max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	avg [dB]
3.65	1.10	-4.78	-0.48	2.11	0.26	2.74	0.41	0.32

2.3. Validierung: Zwischenfazit

- Beugungs-Einfügedämmmaß wird von dem Verfahren mit wenigen Ausnahmen (Interferenzeffekte) korrekt prognostiziert
- Auch die Kombination mit Reflektionen funktioniert
- Der **mittlere Fehler über alle Empfänger** (bei 1kHz) beträgt $\leq \pm 1$ dB
- Das Verfahren ist nicht auf eine Anzahl an Beugungs-Vorkommnissen oder Beugungskanten beschränkt sondern berücksichtigt implizit Beugung
- Auch komplizierte Schirmformen können bedient werden
- Das Verfahren ist somit allgemein anwendbar, auch bei Geometrien, bei denen Umwegmethoden versagen.

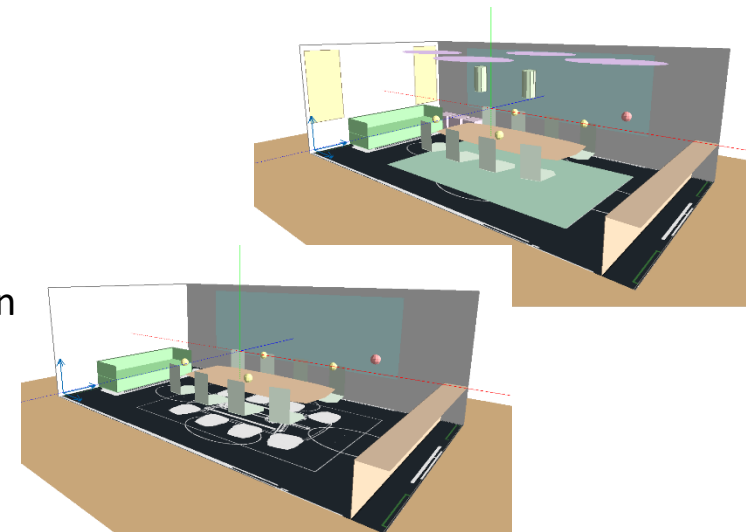
Wie bringen wir das nun in die Praxis? Wie gehen Sie mit der Software um? Wie erstellen Sie Ihr Modell? Wie erhalten Sie Ergebnisse?

3. WORKFLOW: VOM MODELL ZUM ERGEBNIS

3. Workflow in SoundPLANnoise: Möglichkeiten

Im Folgenden werden wir den Arbeitsablauf vom Modell bis zum Ergebnis nachgehen:

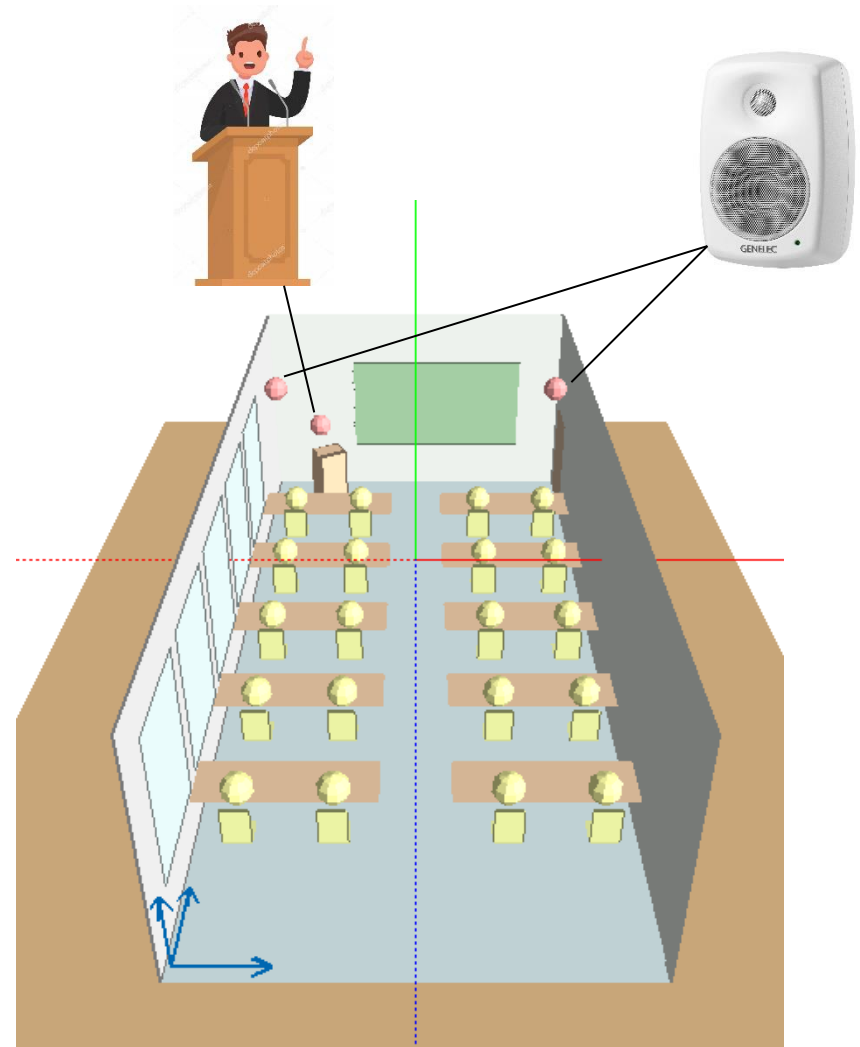
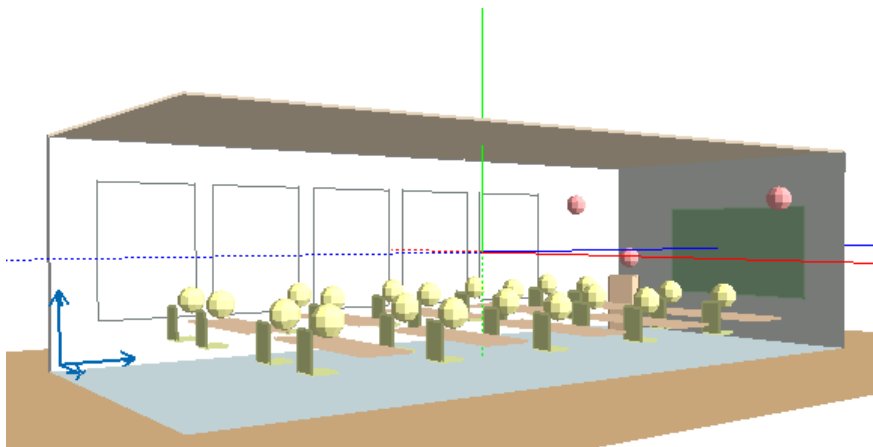
- Modellierung des Szenarios:
 - Image Mapping erlaubt Räume ausgehend von (pdf-) Plänen (Grundriss und Ansichten) zu modellieren
 - Varianten erlauben das schnelle und einfache Modellieren von Änderungen
 - Verwendung und Definition von Absorbern,
 - Verwendung der Sarooma Datenbankschnittstelle zum Import von Absorbern aus der Sarooma Datenbank (3400 Produkte, marktaktuell)
 - Verwendung und Import von CLF-Dateien
- Erstellen von Rechenläufen
- Betrachten von Ergebnissen in den Ergebnistabellen
- Auralisation von Ergebnissen
- Erstellung von Graphiken



Das Projekt in SoundPLAN

Seminarraum: Akustik- und ELA-Bewertung

Typischer kleiner Seminarraum
Größe: 6,5m x 14,0m x 4,3 m
20 Sitzplätze
Rednerpult mit kleiner ELA-Anlage
Akustikdecke,
Evaluation ob ELA nötig und
weitere Wandabsorber nötig



Das Projekt in SoundPLAN



Was Sie damit in der Praxis machen können: Wo liegt Ihr Mehrwert?

4. FALLBEISPIELE: MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

4.0 Fallbeispiele: Übersicht

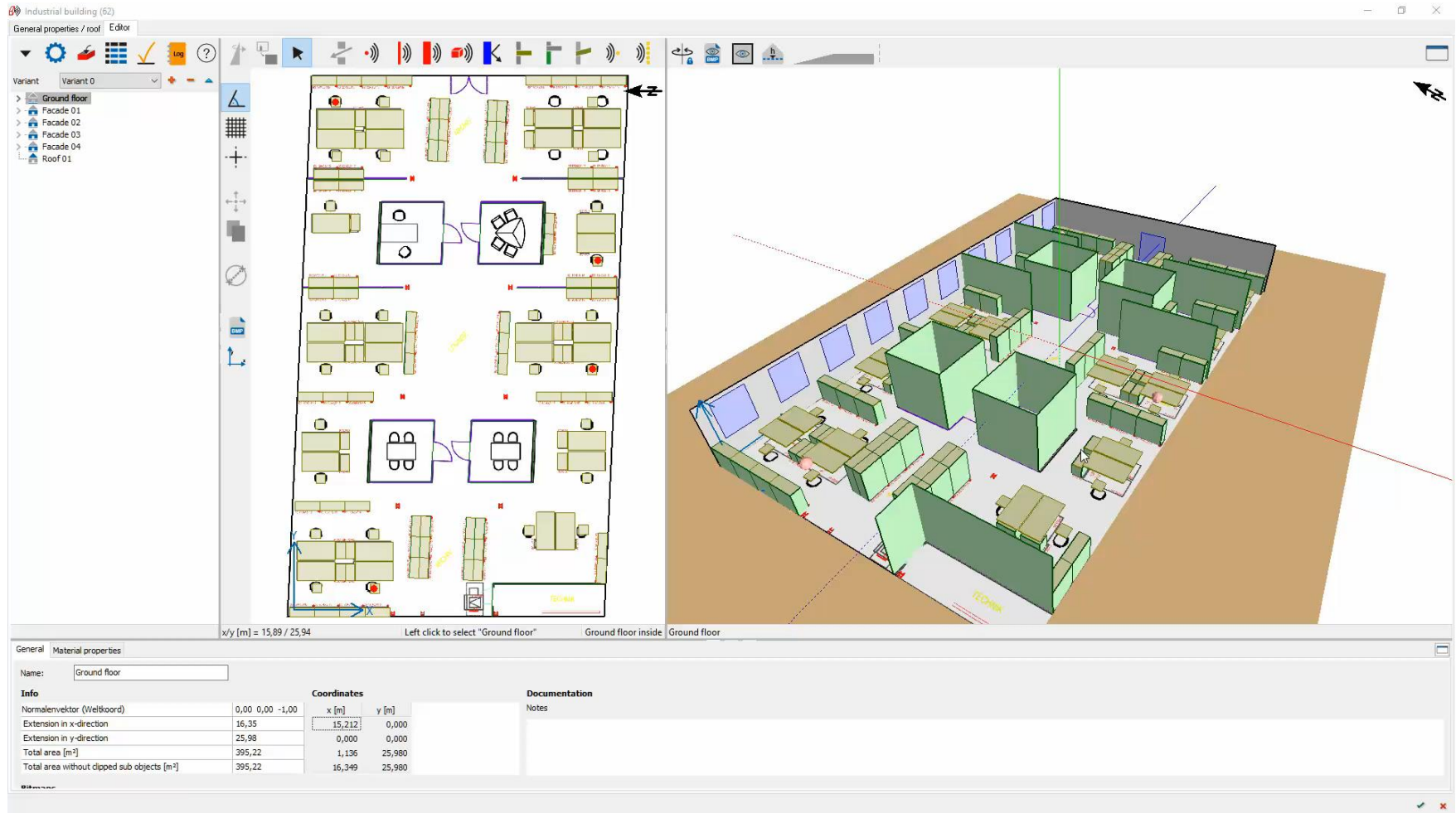
Wir betrachten 3 Fallbeispiele:

- Großraumbüro,
 - Zielsetzung: raumakustische Ertüchtigung, Variantenvergleich

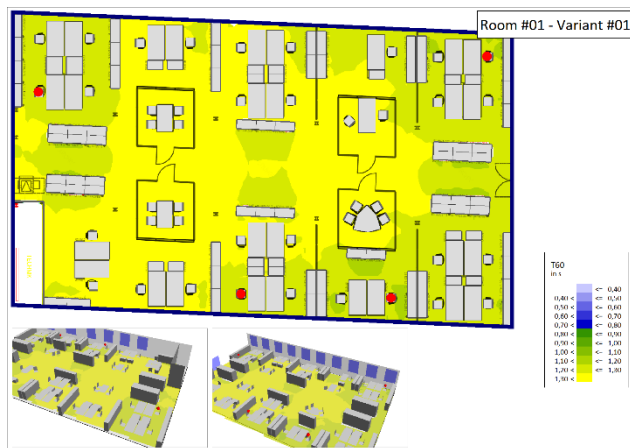
- Bahnhof
 - Zielsetzung: Überprüfung einer ELA für Ansagen

- Seminarraum
 - Zielsetzung: Raumakustische Ertüchtigung und Überprüfung der ELA

4.1.1 Großraumbüro: Ein Eindruck

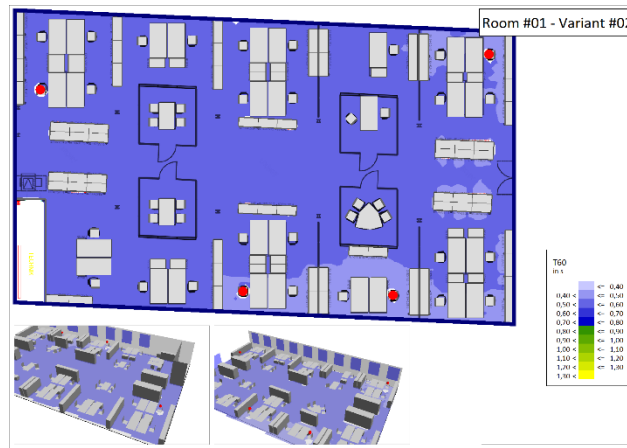


4.1.2 Großraumbüro: Nachhallzeiten



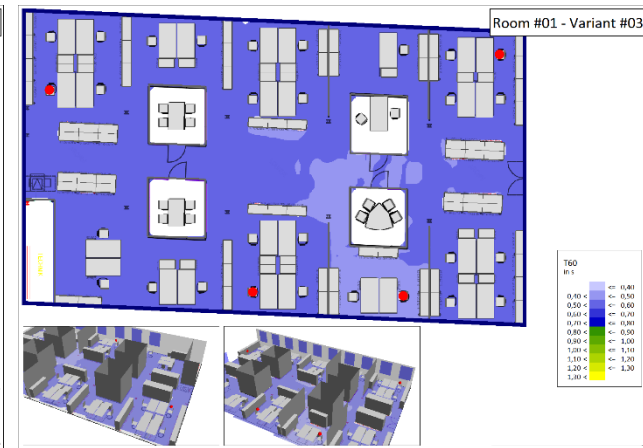
Variante V1:

- Büro im Ausgangszustand
- keine Akustikdecke
- keine Raumtrenner



Variante V2:

- mit Akustikdecke
- keine Raumtrenner



Variante V3:

- mit Akustikdecke
- mit Raumtrenner
- mit „Think Tanks“

4.1.3 Großraumbüro: Schalldruckpegel



Variante V1:

- Büro im Ausgangszustand
- keine Akustikdecke
- keine Raumtrenner

Variante V2:

- mit Akustikdecke
- keine Raumtrenner

Variante V3:

- mit Akustikdecke
- mit Raumtrenner
- mit „Think Tanks“

4.1.4 Großraumbüro: Sprachverständlichkeit STI



Variante V1:

- Büro im Ausgangszustand
- keine Akustikdecke
- keine Raumtrenner

Variante V2:

- mit Akustikdecke
- keine Raumtrenner

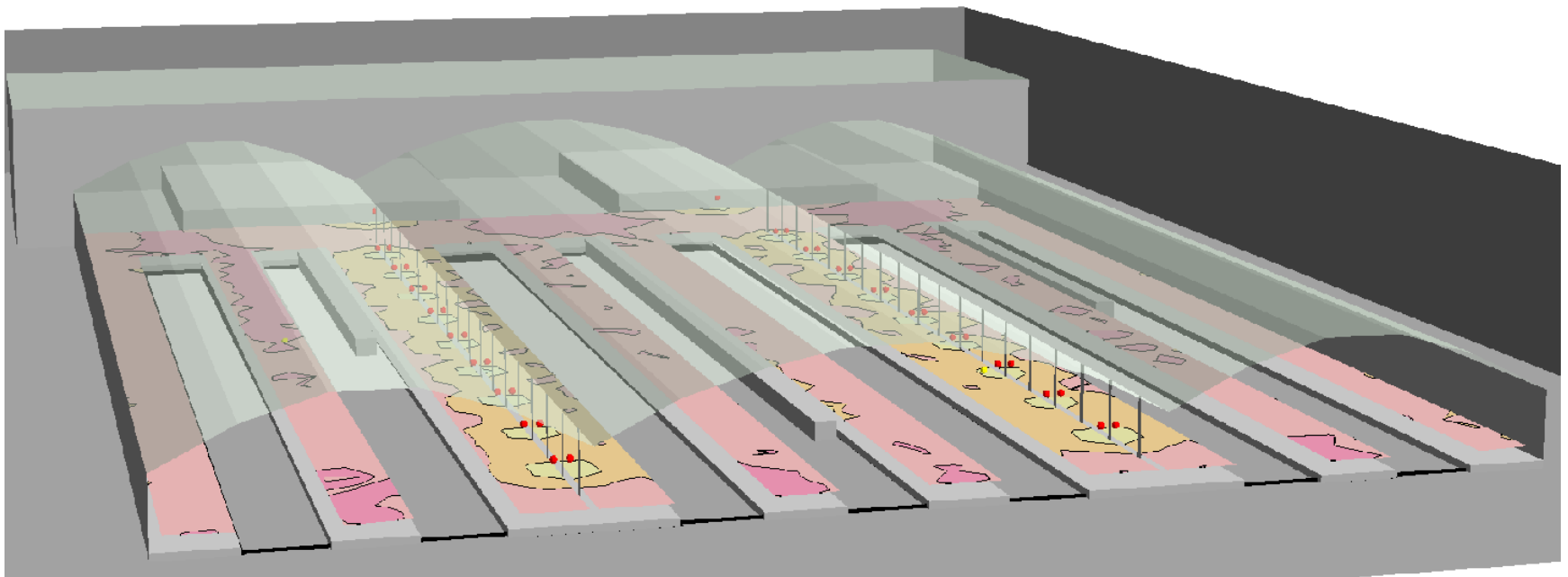
Variante V3:

- mit Akustikdecke
- mit Raumtrenner
- mit „Think Tanks“

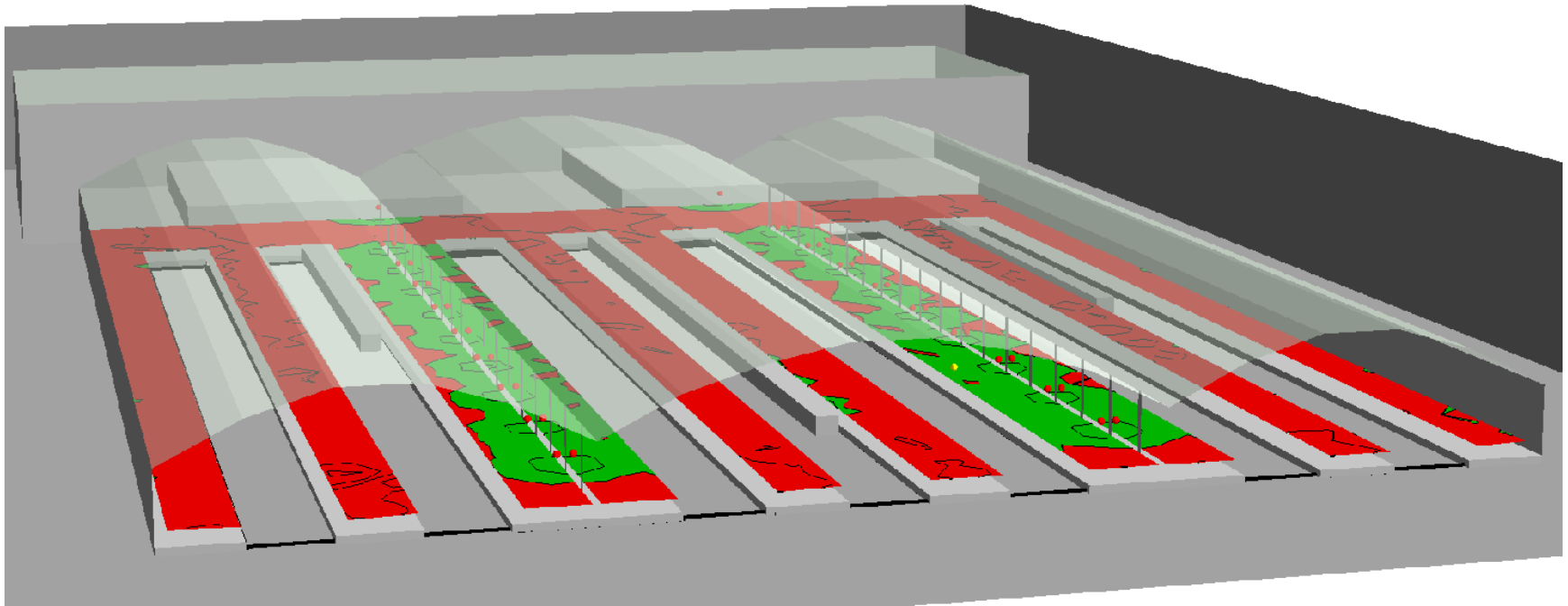
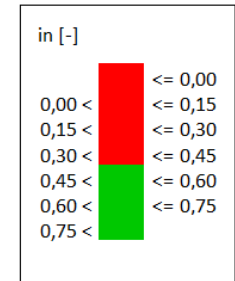
4.2.1 Bahnhof: Nur Lautsprecher an Doppelplattformen

Bewertung STI nach EN 60849 auf den Plattformen






STI	
Speech Transmission Index	
0,00 - 0,30	unverständlich
0,30 - 0,45	schwach
0,45 - 0,60	angemessen
0,60 - 0,75	gut
$\geq 0,75$	ausgezeichnet

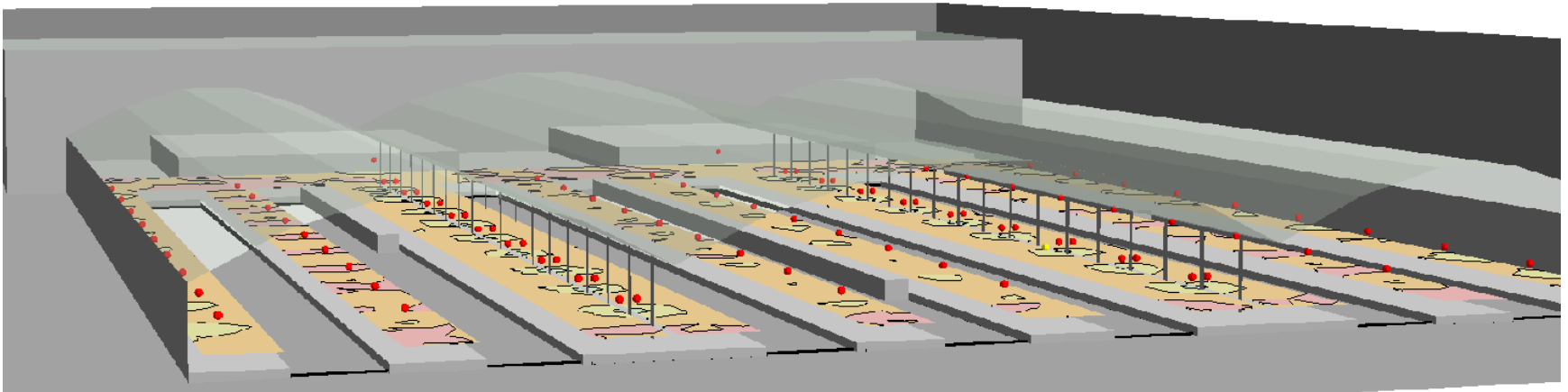


4.2.1 Bahnhof: Nur Lautsprecher an Doppelplattformen

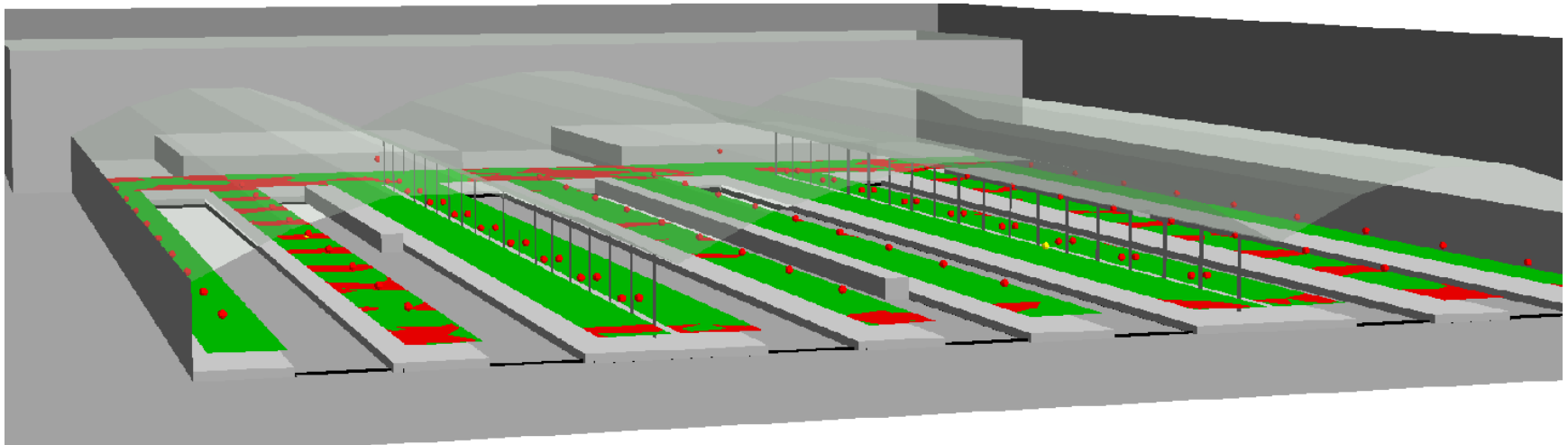
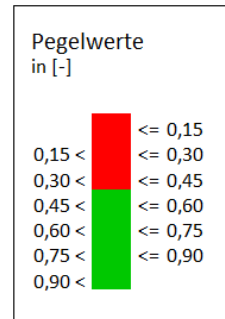


4.2.2 Bahnhof: Lautsprecher an allen Plattformen

STI Speech Transmission Index	
	0,00 - 0,30 unverständlich
	0,30 - 0,45 schwach
	0,45 - 0,60 angemessen
	0,60 - 0,75 gut
	$\geq 0,75$ ausgezeichnet



4.2.2 Bahnhof: Lautsprecher an allen Plattformen



4.2.3 Seminarraum: Akustik- und ELA-Bewertung

Typischer kleiner Seminarraum

Größe: 6,5m x 14,0m x 4,3 m

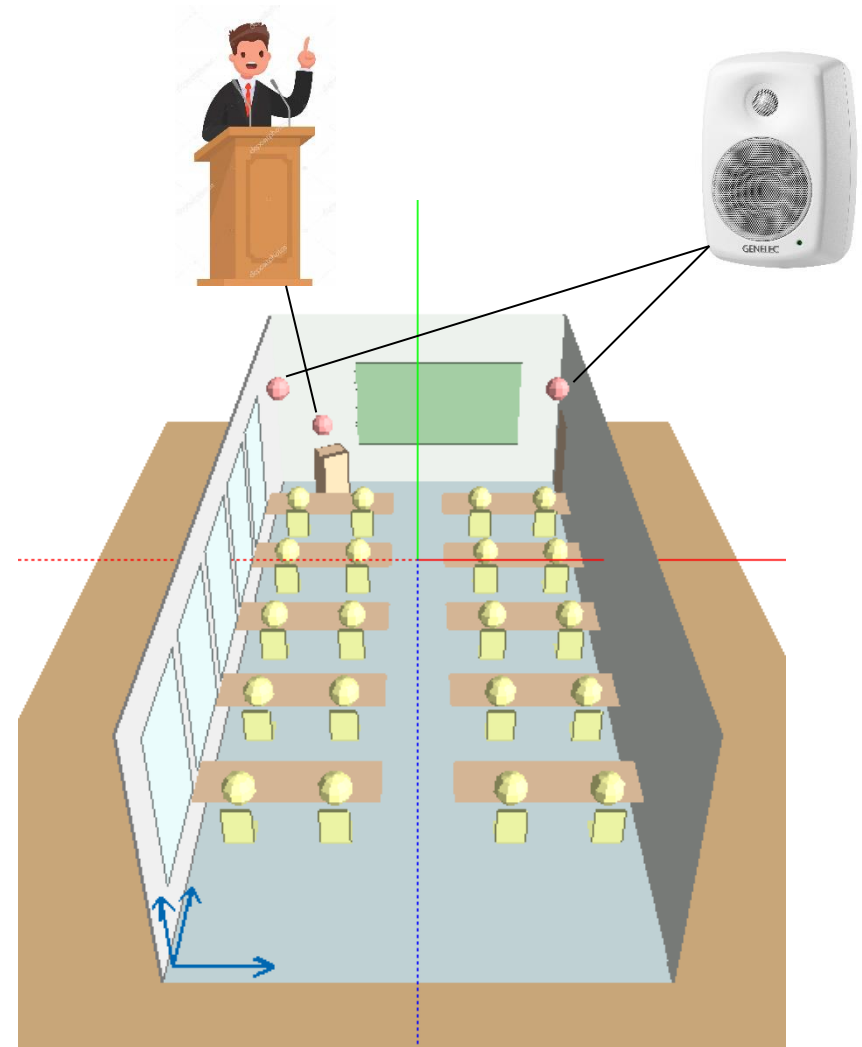
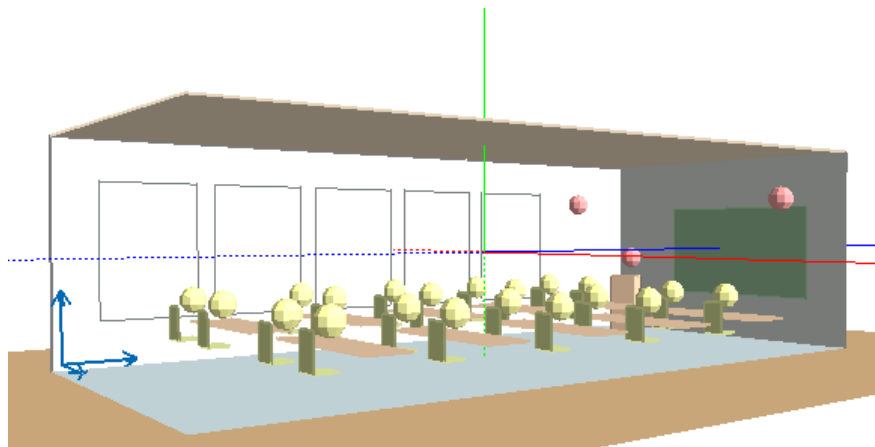
20 Sitzplätze

Rednerpult mit kleiner ELA-Anlage

Akustikdecke,

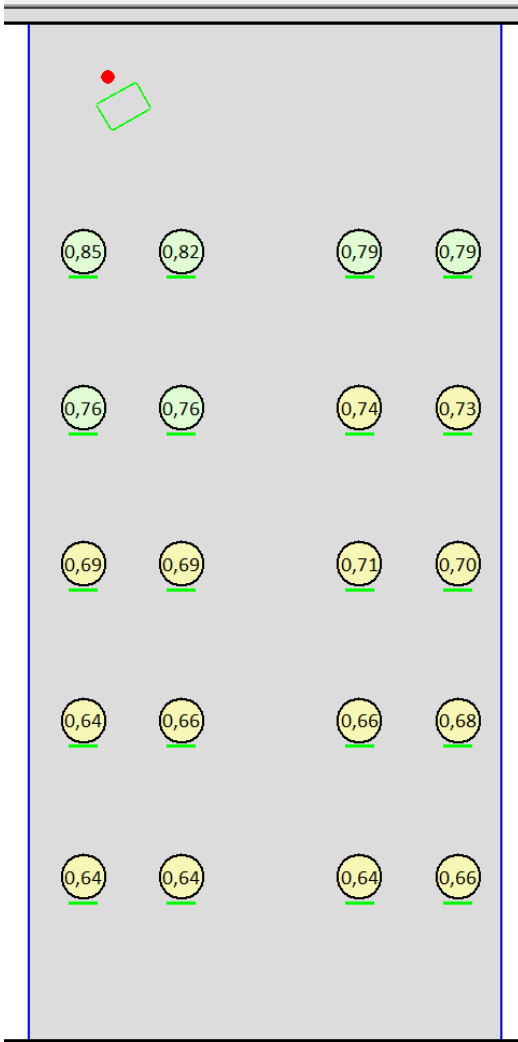
Evaluation ob ELA nötig und

weitere Wandabsorber nötig

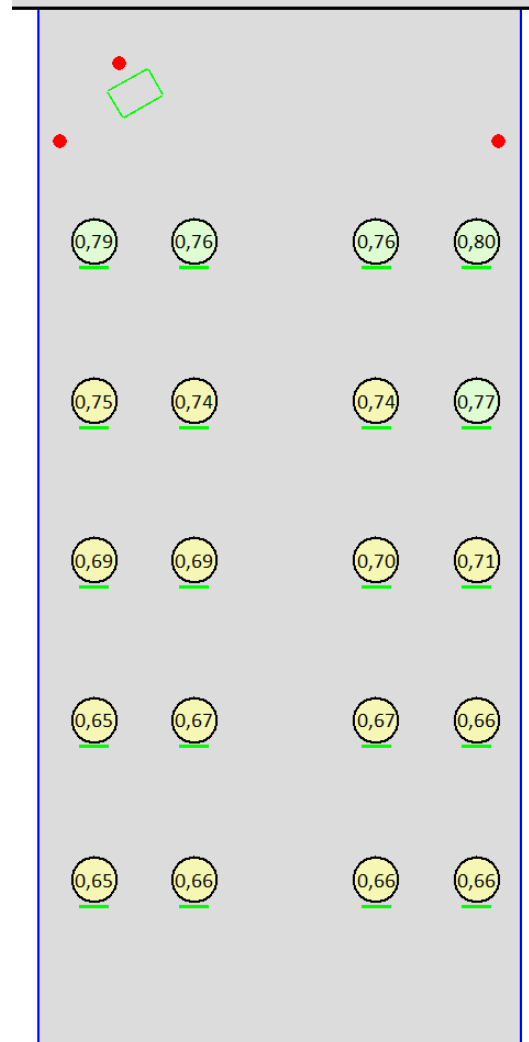


4.2.3 Seminarraum: Akustik- und ELA-Bewertung

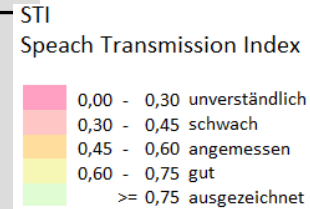
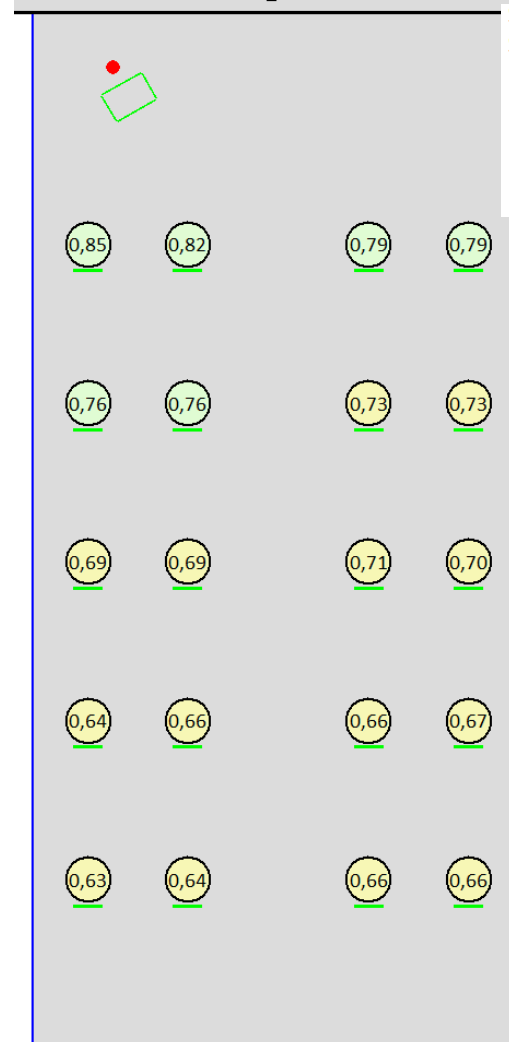
Nur Sprecher, Akustikdecke



Sprecher + ELA, Akustikdecke



Nur Sprecher, Akustikdecke+ Wandabsorber



Was Sie mit nach Hause nehmen sollten

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

5. Zusammenfassung und Ausblick

Raumakustiksimulationen: Ihre Möglichkeiten und Grenzen

Möglichkeiten

1. Schnelle, einfache Raumakustik-Prognosen und Evaluation raumakustischer Ertüchtigungen
2. Gut Validierter Algorithmus, einzigartige Beugung
3. In Zukunft:
Geometrie-Import
bessere Administrationsmöglichkeiten von komplexeren Quellverteilungen und akustischen Varianten
Rechnen mit Phase

Grenzen

1. Nach wie vor energetische Akustik, keine Interferenz und andere Wellen-/Phasenphänomene
2. Keine Magie, nicht der „Superknopf“:
Der User muss über Fachwissen verfügen zur:
 1. Sinnvollen Modellierung
 2. Sinnvollen Überwachung und Interpretation der Ergebnisse

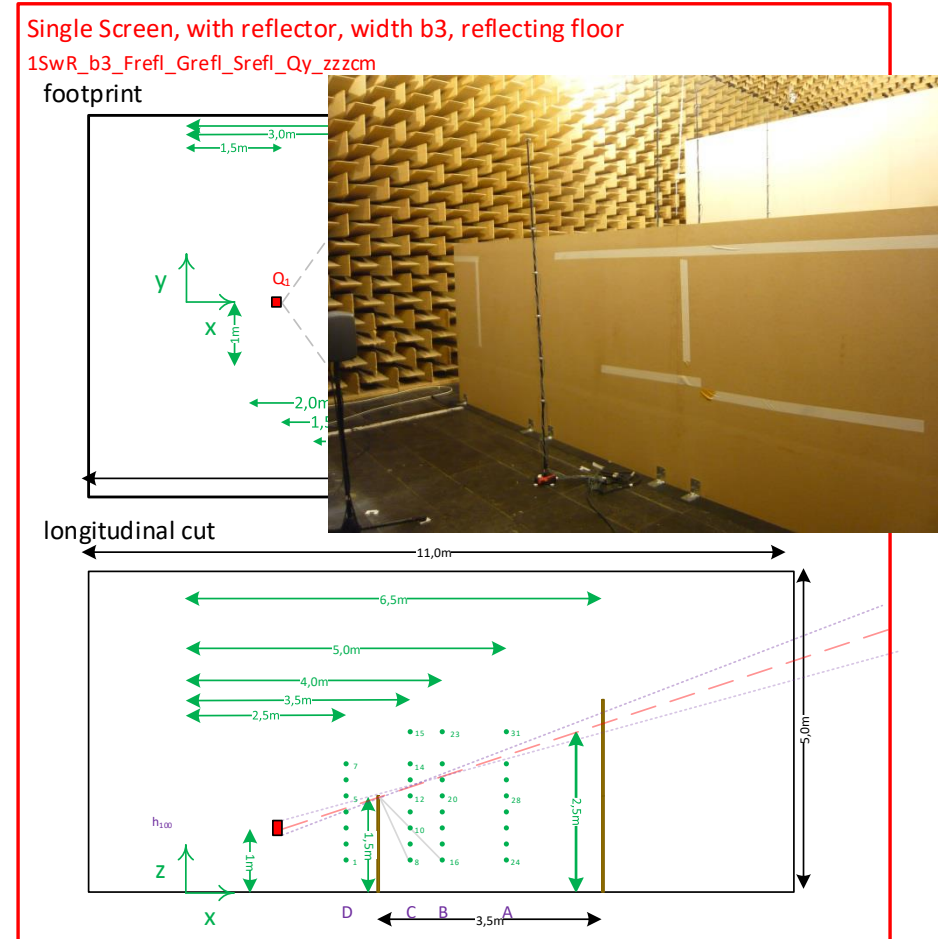
Danke! Jetzt sind Sie an der Reihe: Zeit für Ihre Fragen

**DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!
FRAGEN?**

4. Results of comparison meas./ simulations

1. Overview: Choice of scenarios and reasons why

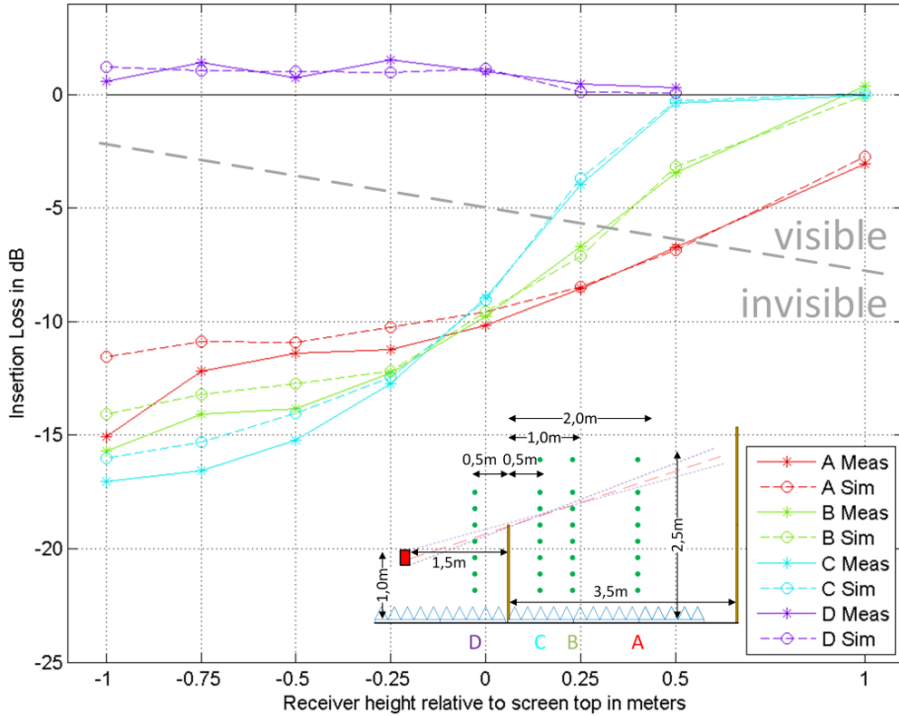
- 30 scenarios, up to 12 source positions each (28 GB data)
- Selection for this talk:
 - Proof SPD capable to govern most relevant diffraction effects and scenarios
- **Single screen scenarios**
 - With or without floor reflection
 - In **combination with back wall** - with or without floor **reflections**
- Double screen scenarios
 - With or without floor reflection
- More complex scenarios
 - Screen and wall
 - M-shaped screen
 - „Zig Zag“ screens



4. Results of comparison meas./ simulations

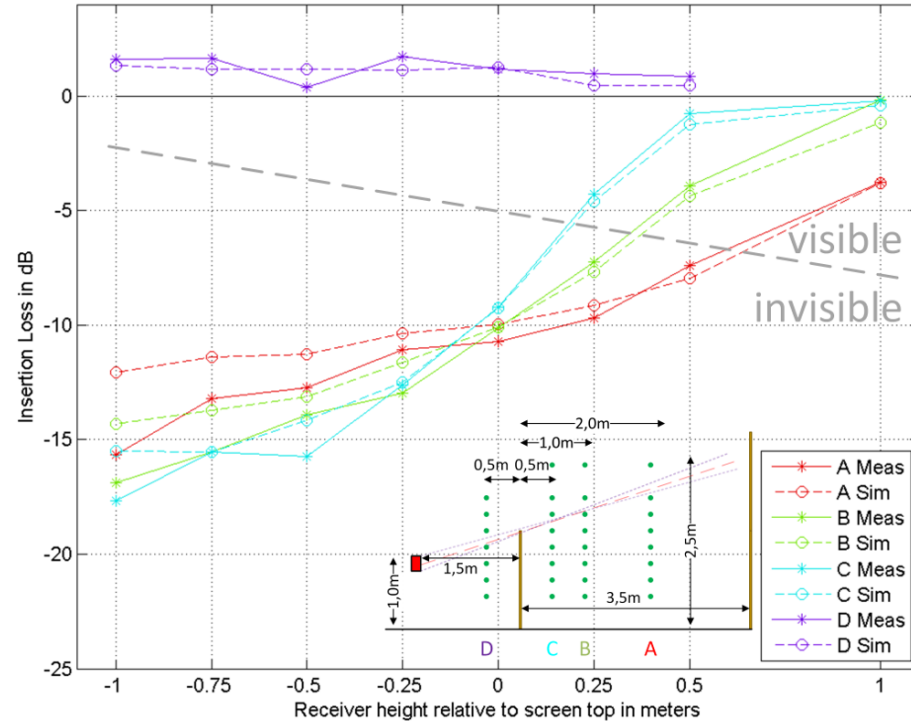
2.4. Diffraction + back reflection, width 3, refl. vs abs. floor

Scenario 1SwR_b3_Fabs_Gabs_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



f = 1 kHz

Scenario 1SwR_b3_Frefl_Grefl_Srefl_Q1_100cm Frequency: 1000Hz (Band 6/10)
4 mic array columns.



Results:

- Effect of back reflector is reproduced correctly
- Less IL than without reflector (ca. 5 dB less)
- Deviations especially for furthest receiver, close to the surfaces

	Column A		Column B		Column C		Column D		A - D	
	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]	max [dB]	avg [dB]
refl	-3.57	-1.02	-2.60	-0.59	-2.16	0.36	-0.79	0.19	0.47	