

Das Projekt RELSKG - Entwicklung eines vereinfachten Rechenverfahrens für Lärmschutzwände mit komplexer Geometrie

Holger Waubke, Christian Kasess, Heinz Hoislbauer

Projekt RELSKG (FFG 2869208)

Entwicklung eines vereinfachten **Re**chenverfahrens für **L**ärmschutzwände mit **k**omplexer **G**eometrie

ISF-ÖAW, TAS SV GmbH, Braunstein & Berndt GmbH (SoundPlan)

Finanzierung: FFG, BMVIT, ASFINAG, ÖBB

Einleitung



- Validierung des Verfahrens durch Messungen
 - Zuvor: Validierung im EU-Projekt Calm Tracks & Routes
 - 2D BEM gegen Messungen bei Strengberg, Brannenburg und im Murtal
 - Validierung an Hand von Messungen im Maßstab 1:4 (TAS)
 - Validierung durch Messung an einer Autobahn (TAS)
- Komplizierte Geometrie der Wand
 - Überblick über untersuchte Geometrien
 - Vergleich der Wirkung
- Ableitung von Korrekturfaktoren und Implementierung in SoundPlan
- Zusammenfassung

Vergleich mit Modellmessungen



- Numerische Bestimmung der Einfügedämmung
 - Spezielle Formen wurden definiert
 - Randelemente Methode (BEM) in 2D
 - Impedanz an Halbraumgrenze (Asphalt)
 - Einfügedämmung gegenüber gerader LSW
- Validierung des numerischen Verfahrens mittels Messungen im Maßstab 1:4
 - von 400 Hz bis 20 kHz
 - entspricht 100 Hz bis 5 kHz



Vergleich mit Modellmessungen



Interferenz-Effekte (durch Spiegelquellen)

- Interferenzen treten auf in
 - 2D Berechnung (kohärente Linienquelle) und in
 - Messung (Punktquelle)
- Interferenzen verschwinden, wenn
 - inkohärente Linienquelle angenommen wird (3D, 2.5D) und
 - in situ inkohärente bewegte Quellen in verschiedener Lage vorhanden sind
- Mittelung zur Reduzierung der Interferenzen
 - räumlich (zuvor verwendet in Calm Tracks & Routes)
 - spektral
 - Oktavbandmittelung in gleitenden Terzen

Vergleich mit Modellmessungen

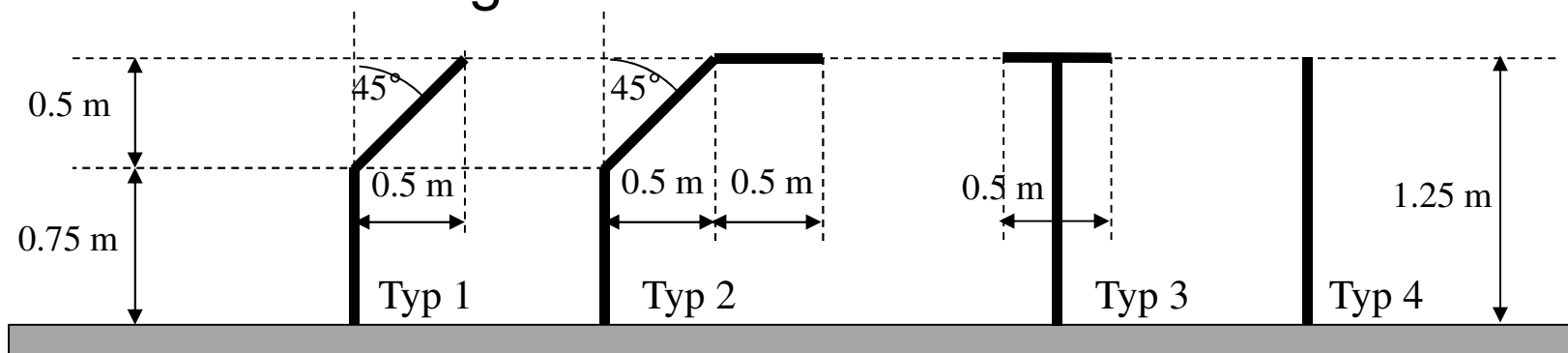


- Absorbierendes Material
 - Hochabsorbierendes Material wird mit reflektierendem Material verglichen
 - nicht um Reflexionen zur gegenüberliegenden Seite zu reduzieren, sondern
 - um den Schirmeffekt hinter der Wand zu erhöhen
- Das Absorptionsverhalten von Asphalt wurde auf Basis von Literaturwerten simuliert
 - Daten nur bis 5 kHz vorhanden



Vergleich mit Modellmessungen

- Validierung der Berechnung durch Messungen
- Maßstab zur Wirklichkeit ca. 1:4
- Durchführung: TAS SV GmbH



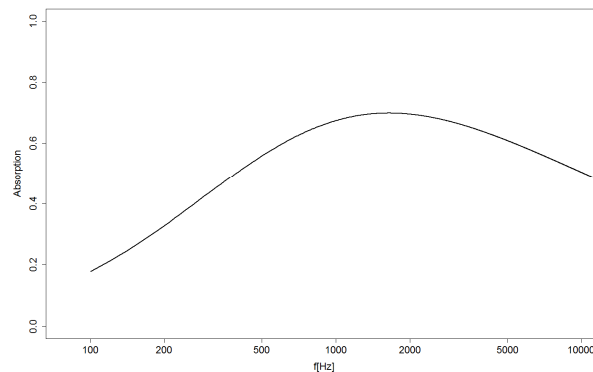
- Zwei Lautsprecherpositionen
 - Höhe 0.15 m, Abstand 1 m (links): LP1
 - Höhe 0.15 m, Abstand 2 m (links): LP2
- Typ 1 und 2 für beide Richtungen des Knicks getestet

Vergleich mit Modellmessungen



Modellannahmen

- Variation mehrerer Parameter
 - Halbraum: reflektierend gegen Impedanzrandbedingung

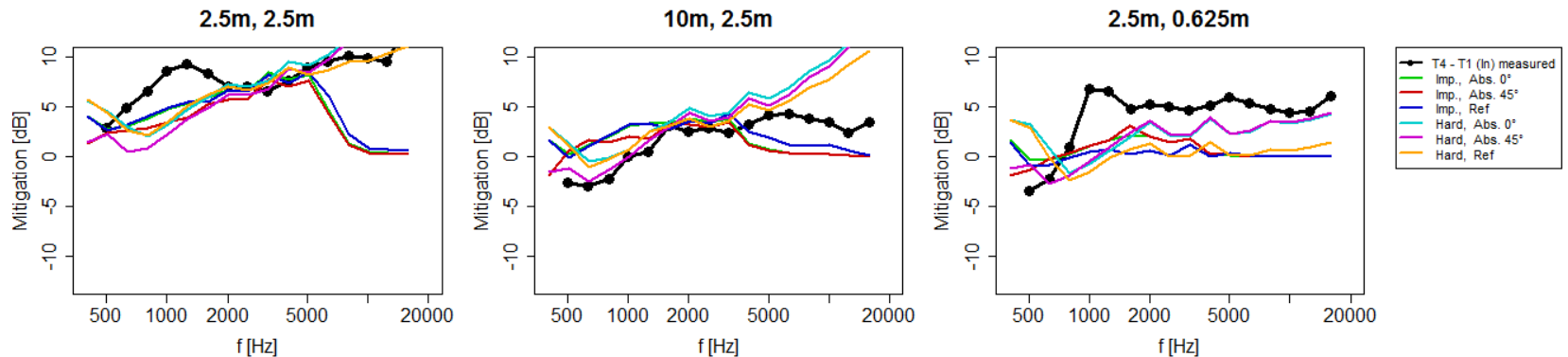
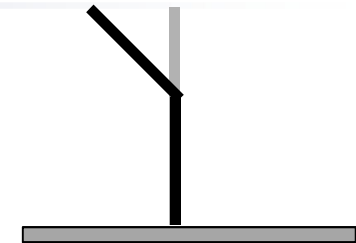


- Absorption der LSW: hoch absorbierend gegen reflektierend
 - auf Basis von Hallraummessungen
- Abschätzung der Phase der Absorption: 0° und 45°

Vergleich mit Modellmessungen



Geknickte gegen gerade LSW, LP1

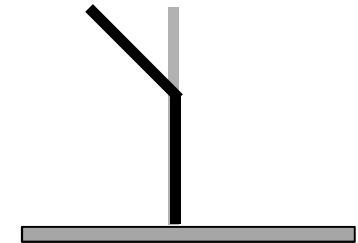
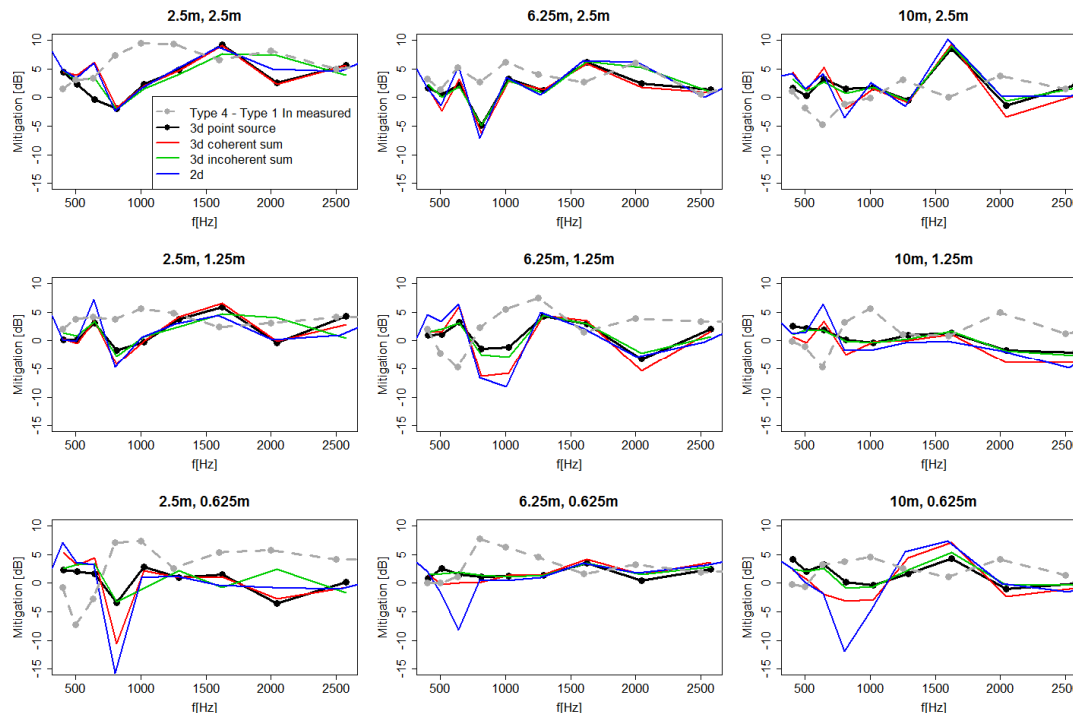


- Sehr gute Übereinstimmung von 2 bis 5 kHz
- Gilt für alle Messpositionen
- Unterschätzung des Einfügedämmmaßes nahe der Wand und nahe des Bodens ab 1 kHz

Vergleich mit Modellmessungen



Geknickte gegen gerade LSW, 3D



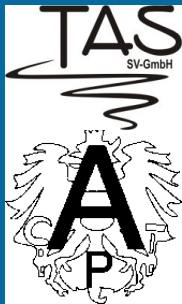
Simulation bis 3 kHz

Ca. 110.000 Knoten

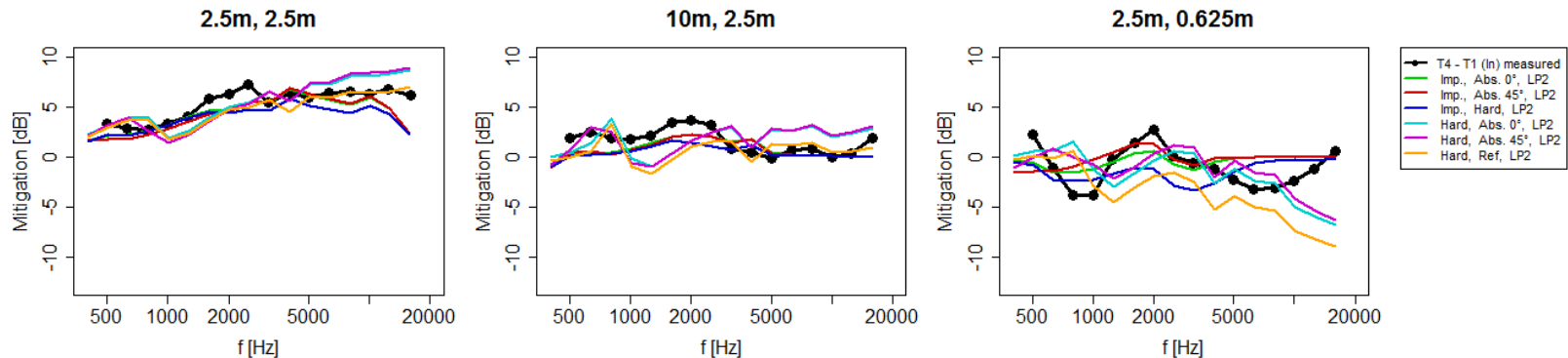
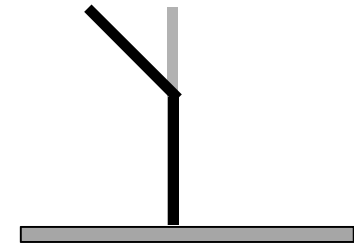
Geringe Abweichungen
2D (kohärente Linienq)
und 3D (Punktquelle)

Kohärente Super-
position von 3D ähnlich
2D (kohärente Linienq)

Vergleich mit Modellmessungen



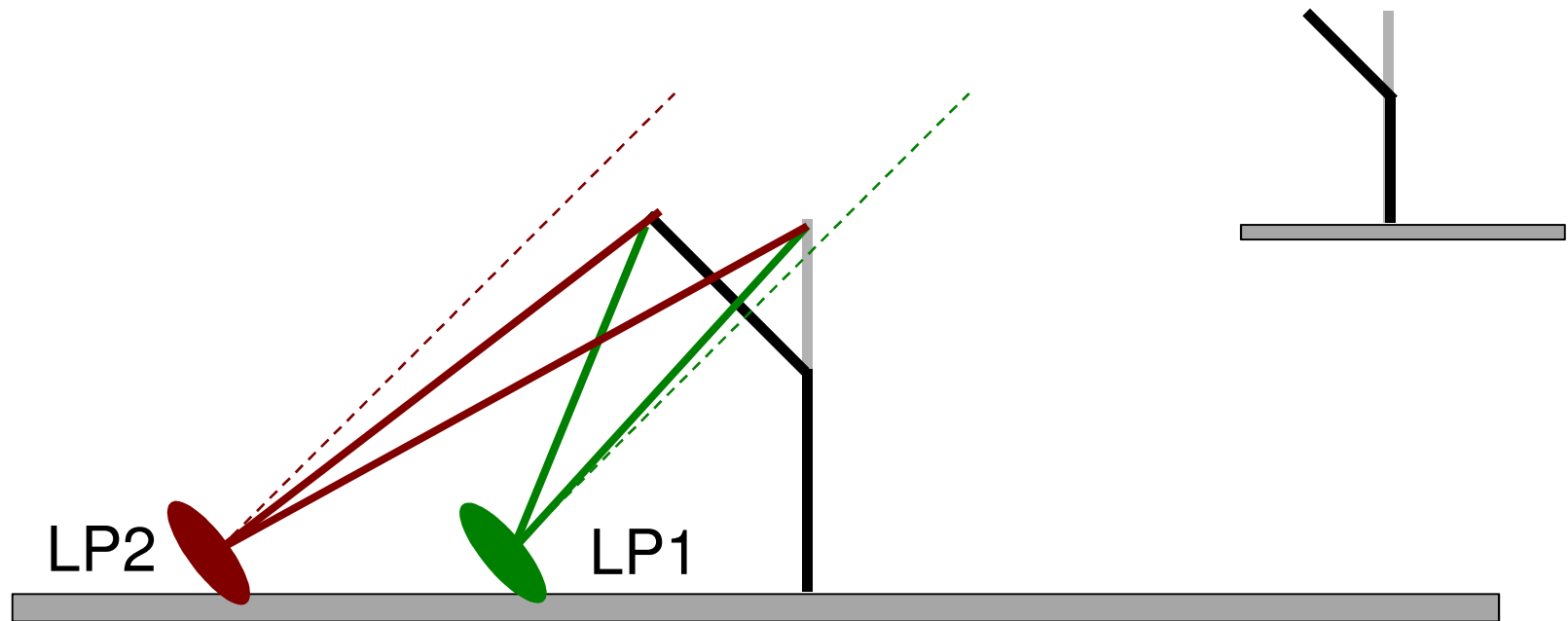
Geknickte gegen gerade LSW, LP2



- Sehr gute Übereinstimmung nahezu überall
- Größere Abweichungen sind vermutlich eine Folge der Richtwirkung des Lautsprechers

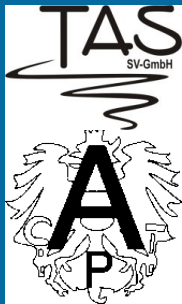
Vergleich mit Modellmessungen

Richtwirkung des Lautsprechers

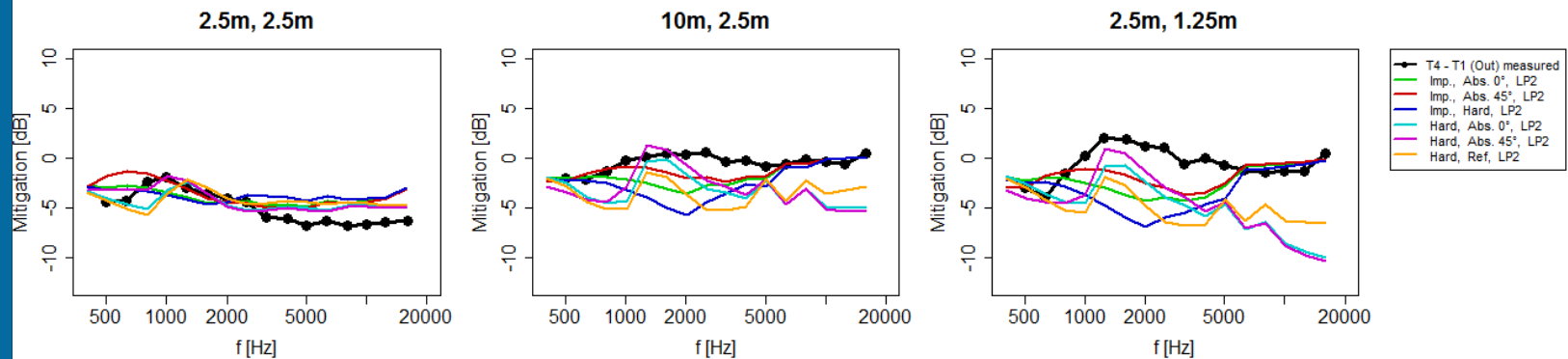


- Richtwirkung des Lautsprechers grob bekannt
- Geringere Winkeländerungen an Position LP 2

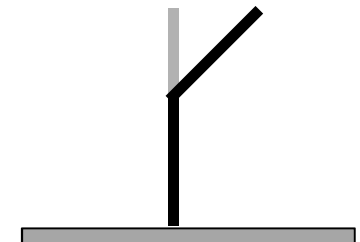
Vergleich mit Modellmessungen



• Geknickte gegen gerade LSW, LP2



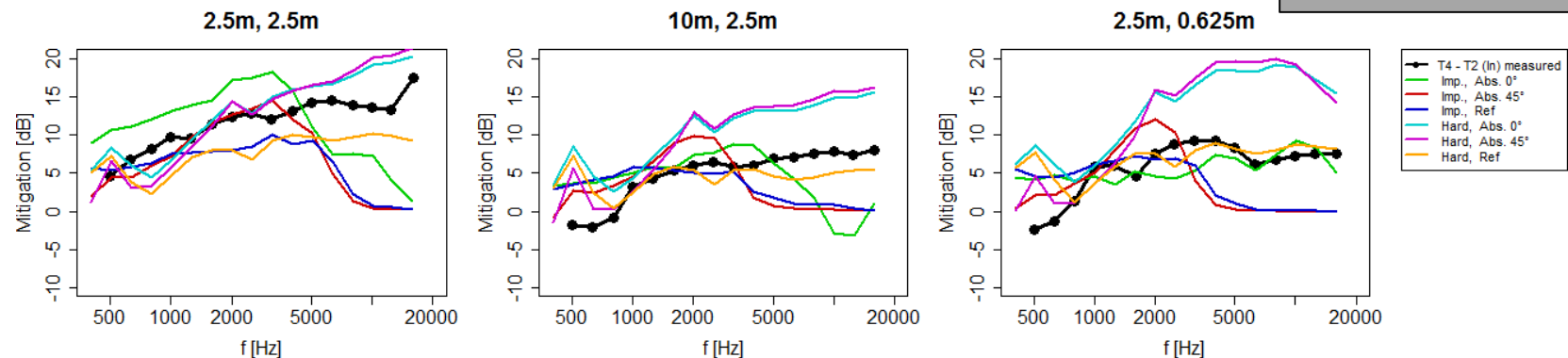
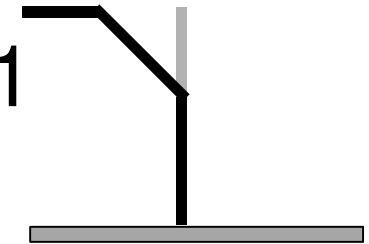
- Gute Übereinstimmung für hohe Positionen nahe der LSW
- Etwas schlechtere Übereinstimmung als LP1
- Größere Abweichungen ab 2 kHz
 - Schirmeffekt geringfügig unterschätzt
 - Ungünstigste Position (2,5m , 1,25m)



Vergleich mit Modellmessungen



- Doppelknick gegen Gerade, LP1

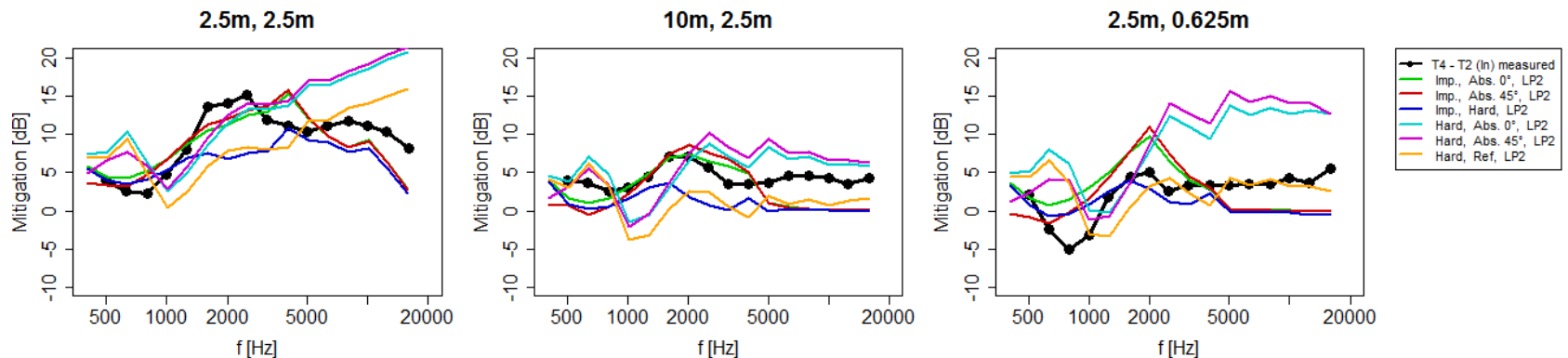


- Teilweise Übereinstimmung bis 2kHz
- Insgesamt die schlechteste Übereinstimmung
 - Wahrscheinlich wegen der großen Winkelabweichung zwischen geknickter und gerader Wand in Verbindung mit Richtwirkung des Lautsprechers

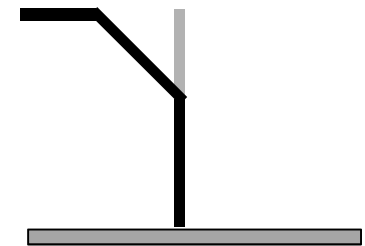
Vergleich mit Modellmessungen



• Doppelknick gegen Gerade, LP2



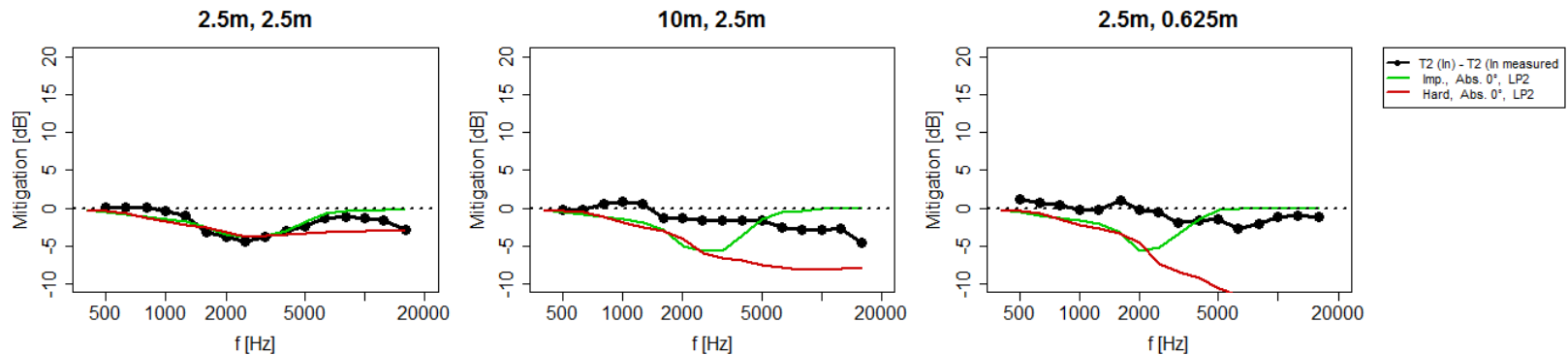
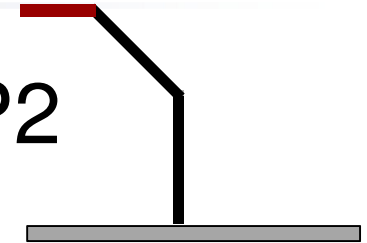
- Gute Übereinstimmung bis 2kHz
- Für hohe Positionen bis 5 kHz
- Bessere Übereinstimmung als LP1
- Reflektierende Wand zeigt große Abweichungen
 - Reduziertes Schirmmaß



Vergleich mit Modellmessungen



- Doppelknick absorb. vs. refl., LP2

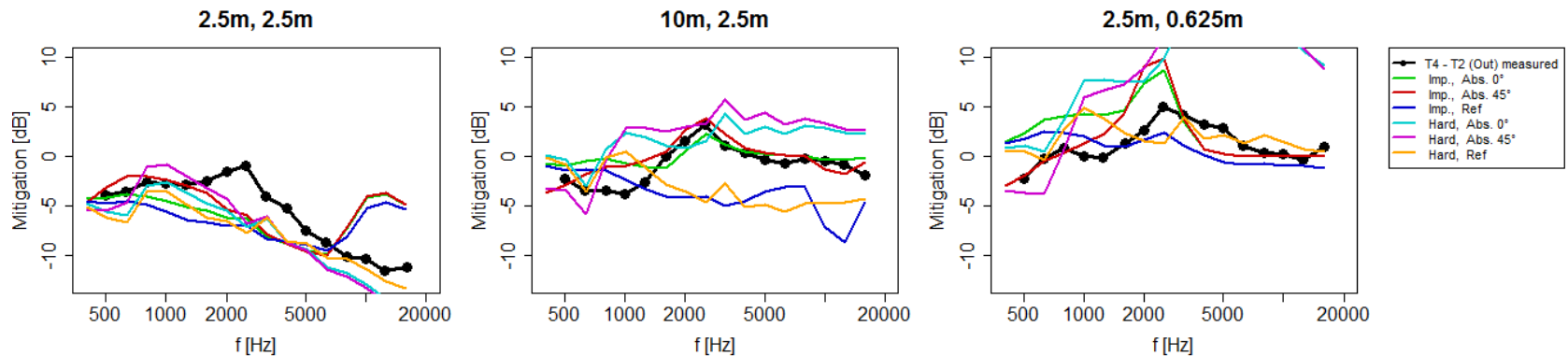
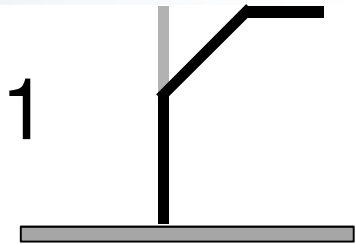


- Messung reproduziert positiven Effekt absorbierenden Materials auf die Abschirmung
- Simulation überschätzt den Effekt ein wenig
 - Größere Abweichungen zwischen Messung und Rechnung für reflektierendes Bodenmodell

Vergleich mit Modellmessungen



- Doppelknick gegen Gerade, LP1

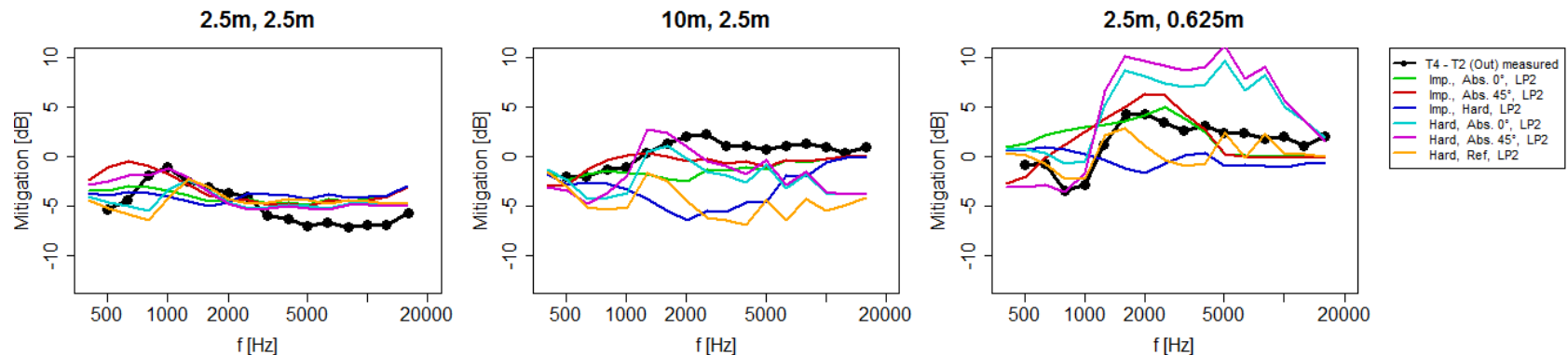
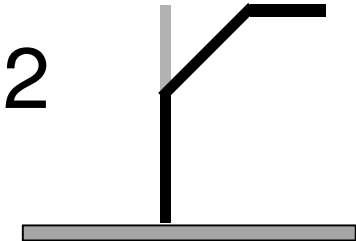


- Sehr gute Übereinstimmung an höheren Positionen
- Tiefer gelegene Positionen hängen stark vom Bodenmodell ab
- Starker Einfluss des Materials der LSW

Vergleich mit Modellmessungen



- Doppelknick gegen Gerade, LP2

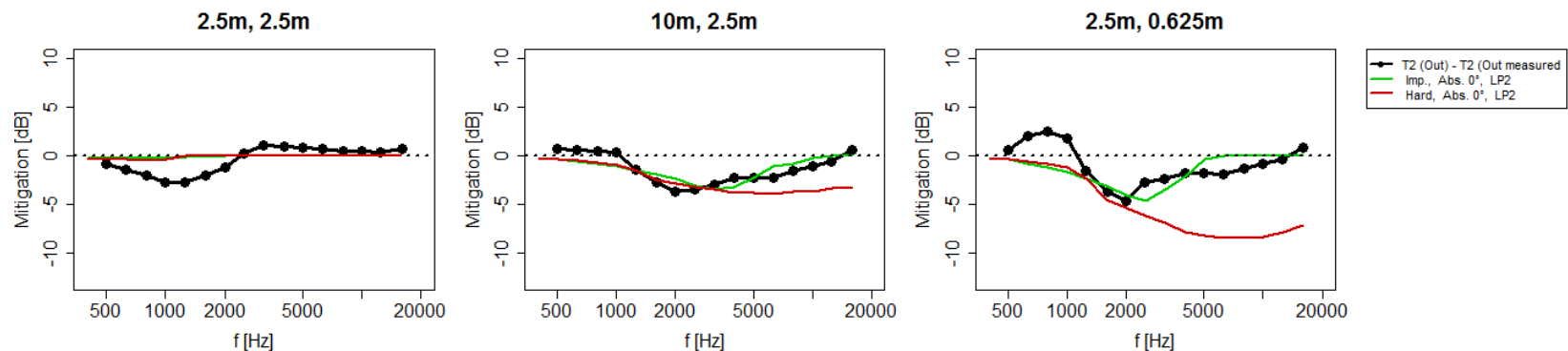
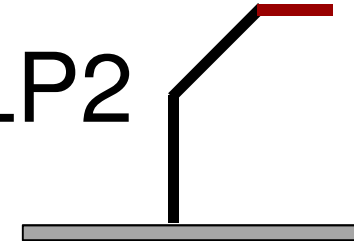


- Sehr gute Übereinstimmung
 - Bessere Übereinstimmung als LP1
- Starker Effekt des Wandmaterials

Vergleich mit Modellmessungen

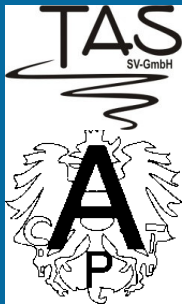


- Doppelknick abs. vs. refl., LP2

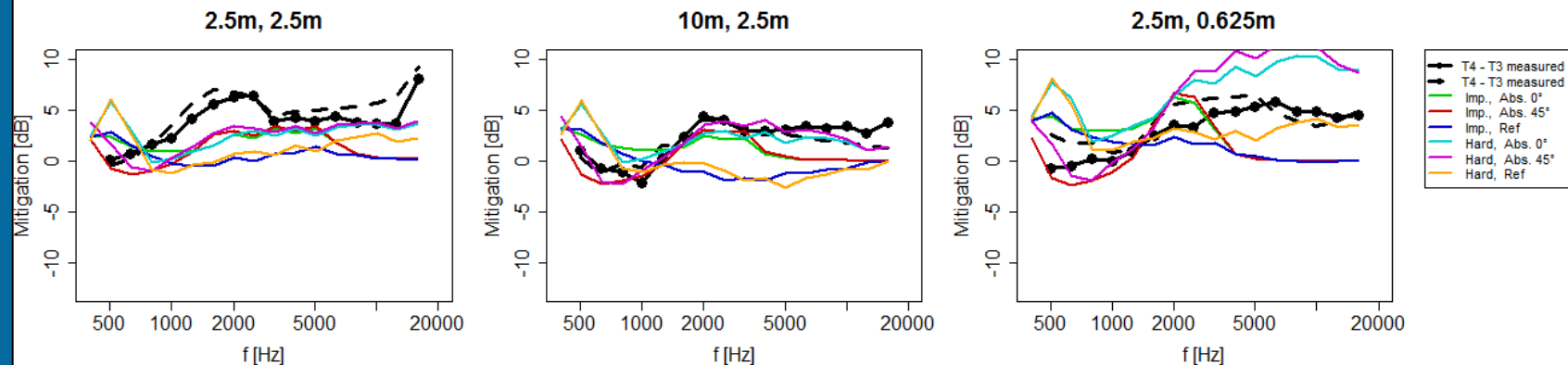


- Sehr gute Übereinstimmung
- Reflektierende Teile zeigen signifikant reduzierten Schirmeffekt

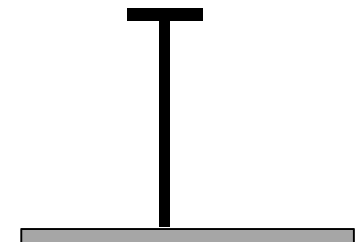
Vergleich mit Modellmessungen



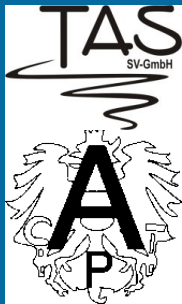
• T-Profil gegen Gerade, LP1



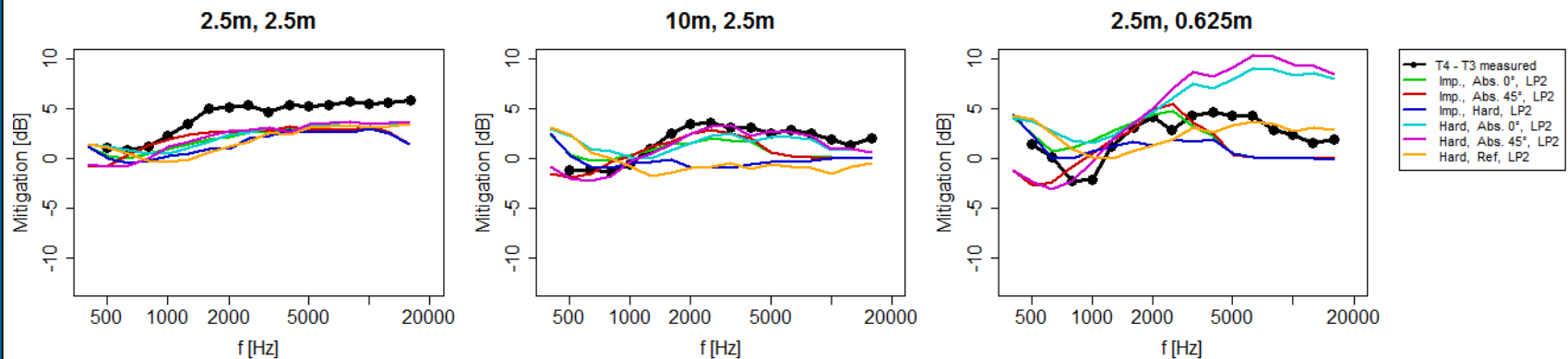
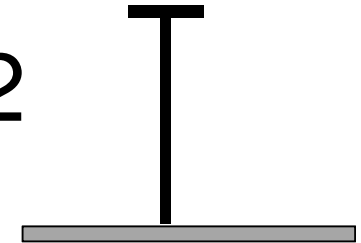
- Sehr gute Übereinstimmung der hohen Positionen
- Bodennahe Positionen hängen stark vom Bodenmodell ab
- Starker Einfluss des Materials der LSW



Vergleich mit Modellmessungen



- T-Profil gegen Gerade, LP2

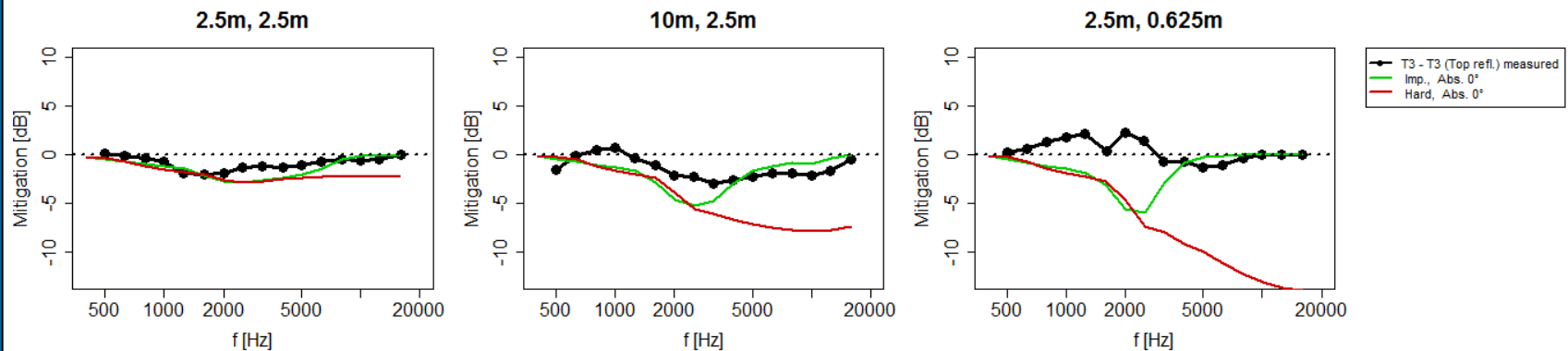
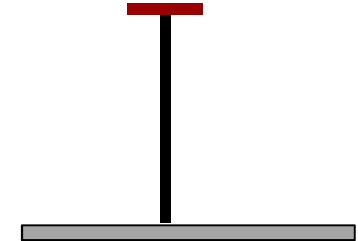


- Ähnliche Ergebnisse aber bessere Koinzidenz für Position LP2
- Ebenfalls starker Einfluss des Materials der LSW

Vergleich mit Modellmessungen

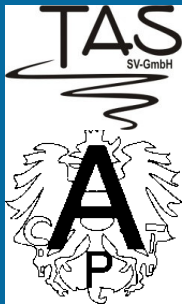


- T-Profile absorb. vs. refl., LP1

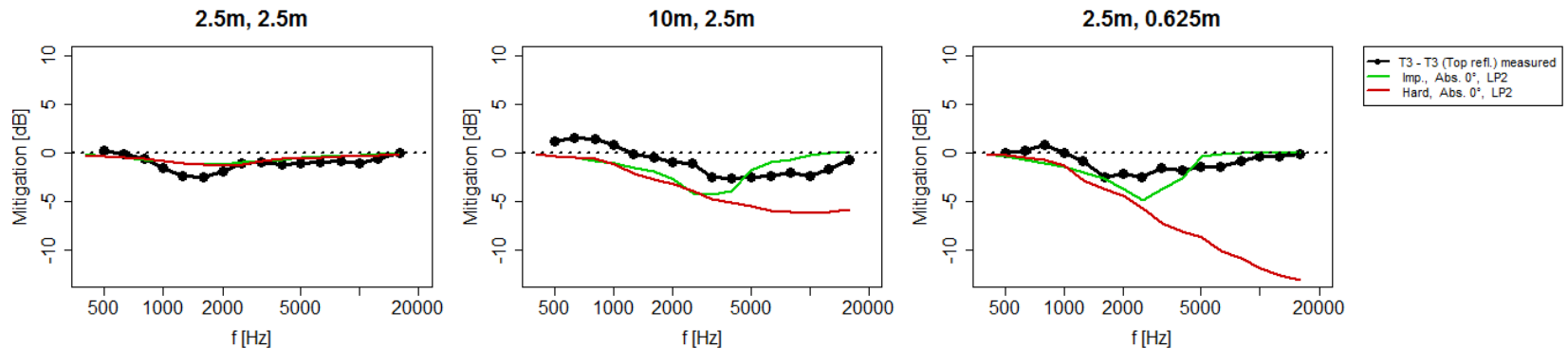
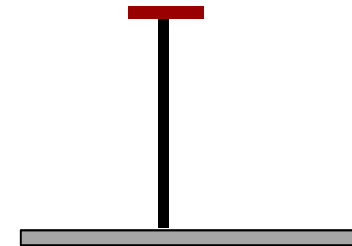


- Messungen zeigen eine deutliche Verbesserung für absorbierende Kopfausbildung
- Simulation überschätzt den Effekt
- Ergebnisse vom Bodenmodell abhängig

Vergleich mit Modellmessungen



- T-Profile absorb. vs. refl., LP2



- Messungen zeigen eine deutliche Verbesserung für absorbierende Kopfausbildung
- Simulation überschätzt den Effekt
 - Bessere Übereinstimmung als LP1
- Ergebnisse vom Bodenmodell abhängig

Zusammenfassung (Modellmessungen)



- Eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung konnte bis 5 kHz festgestellt werden.
- Unsicherheiten bei höheren Frequenzen
 - Materialdaten, Richtwirkung der Quelle.
- Die Richtwirkung des Lautsprechers führt zu Unsicherheiten v. a. für Wand-nahe Positionen
- Fragen in Zusammenhang mit Bodeninterferenzen konnten durch Mittelung weitgehend gelöst werden.
- Eine Quellposition auf Höhe des Bodens reduziert die Interferenzeffekte.
- Das T-Profil scheint die optimale Form zu sein.



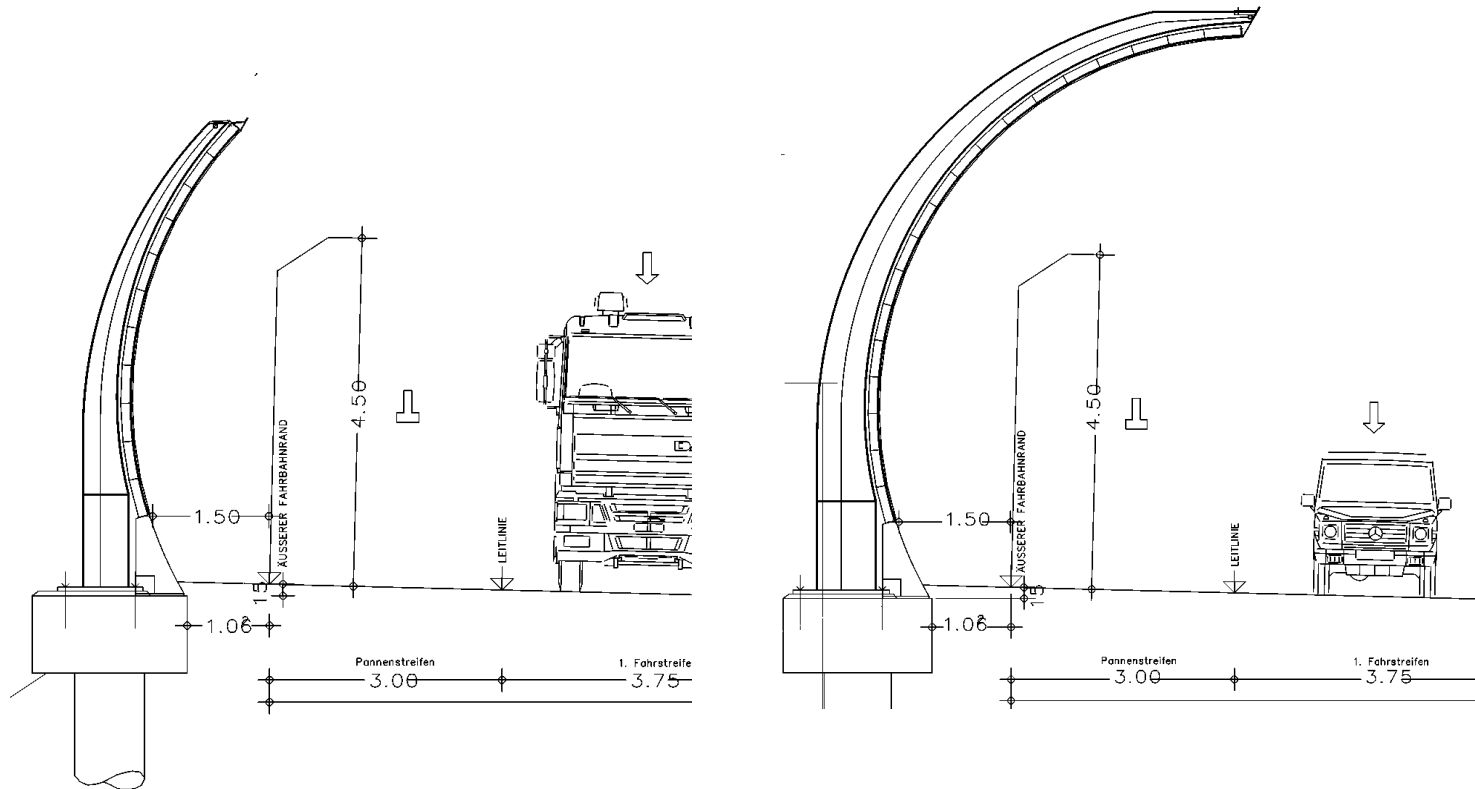


OAW
Austrian Academy
of Sciences



24/45

Mannswörth (TAS SV GmbH)



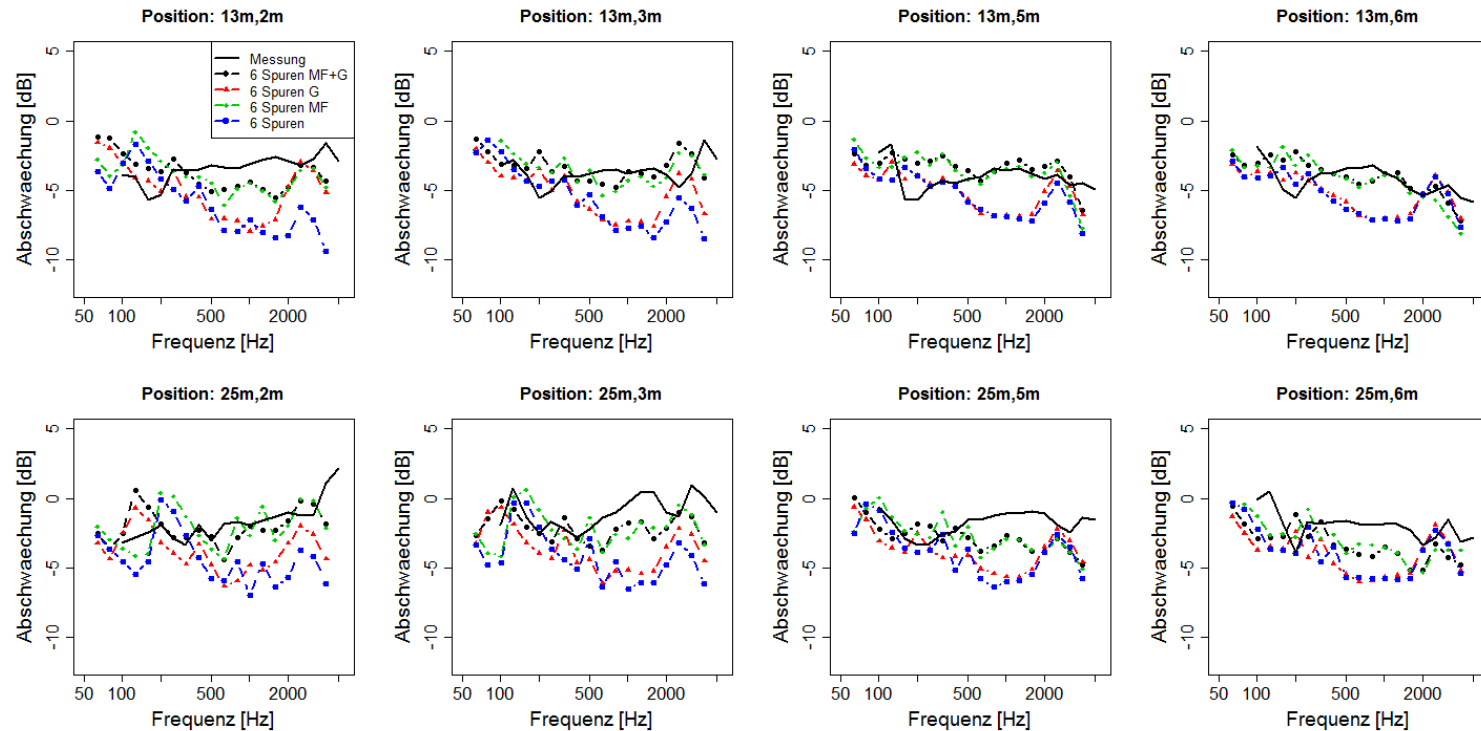
- Simulation: Mit und ohne 1 m Geländeabfall
- Simulation mit Rand- und Mittelflächenelementen
- Quellhöhe 0.15 m

Mannswörth II



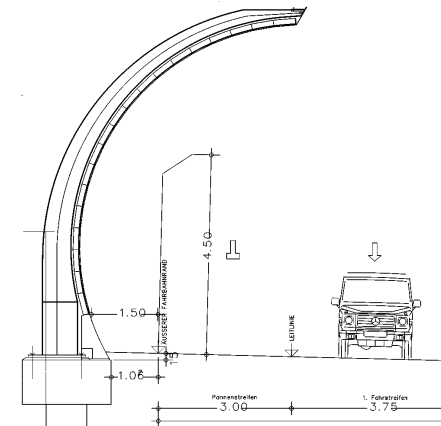
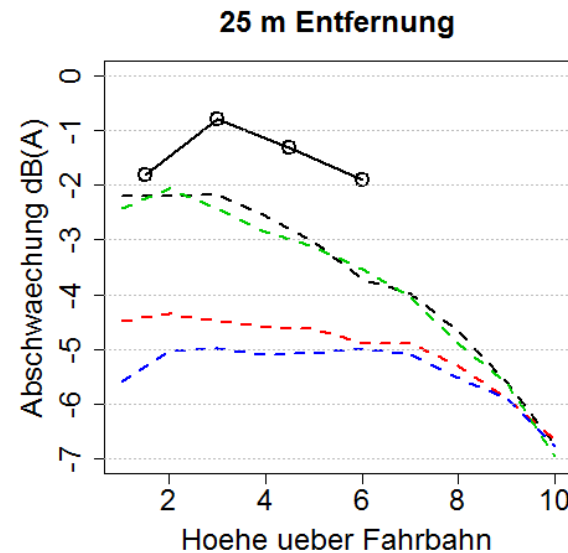
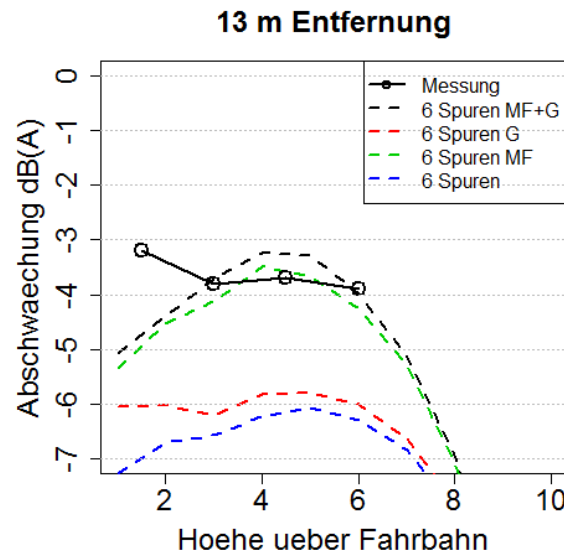
- 2D Berechnung mit Linienquellen
 - 6 Abstände: 4.8, 8.5, 12, 19.6, 23.3, 27.1 m
 - 1 Quellhöhe (0.15 m)
- Reflektierender Boden
- Mit und ohne 1 m Geländeabfall (G)
 - Boden hinter der LSW auf Fahrbahnhöhe
 - Boden hinter der LSW 1 m unter Fahrbahnhöhe
- Vergleich der Lärmschutzwände
- Anpassung der Quellstärken an Referenzmessung ohne Wand
 - Bestimmung von Einzahlwerten dB(A)

Differenz der Profile 2 vs. 36



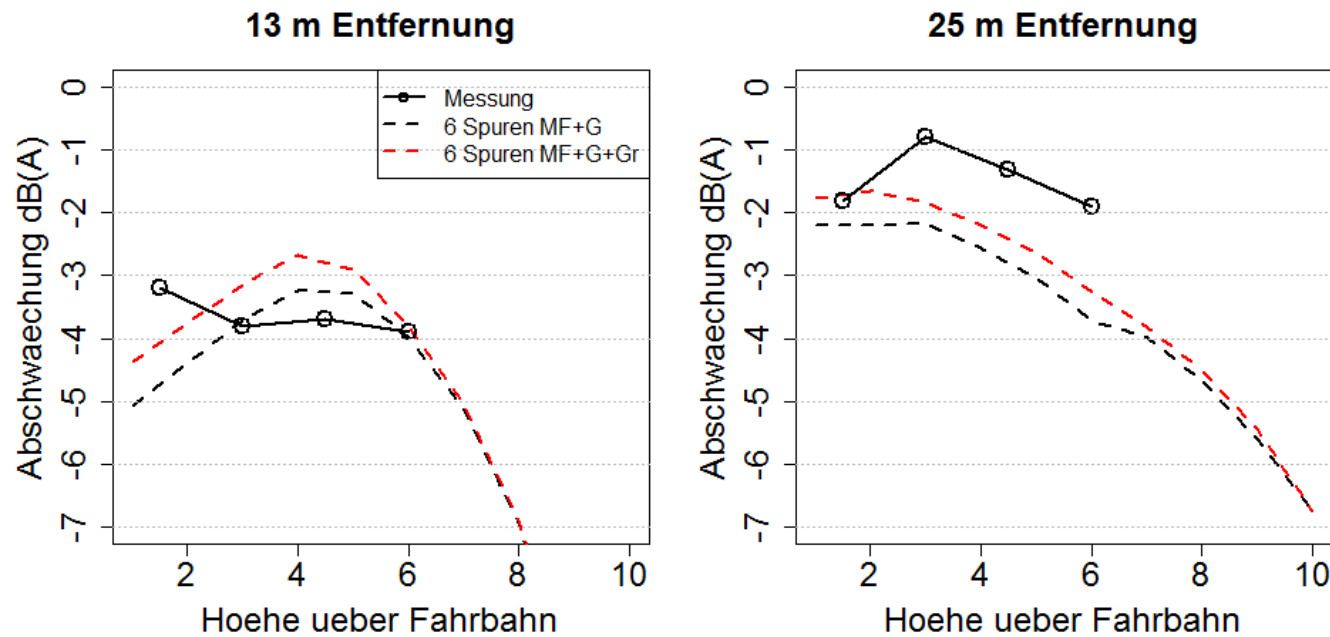
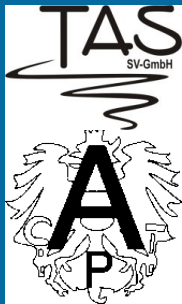
- Gute Übereinstimmung mit Mittelflächenelementen (MF)

Schallpegel in dB(A)



- Gute Übereinstimmung mit Mittelflächen-elementen (MF)
- Kleine Abweichungen in der Geometrie sind von Bedeutung für die Schirmwirkung

Grasland-Modell



- Einfluss des Graslandmodells auf das Ergebnis vernachlässigbar
- Hohe Empfängerpositionen nahe der LSW

Zusammenfassung (Mannswörth)



- Teilweise sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung
- Mittelflächelemente zeigen eine sehr gut Übereinstimmung
 - Exakte Reproduktion des Kopfes ist wichtig
- Bodenmodell hat nur geringfügigen Einfluss
 - Nahe der Wand in hohen Positionen

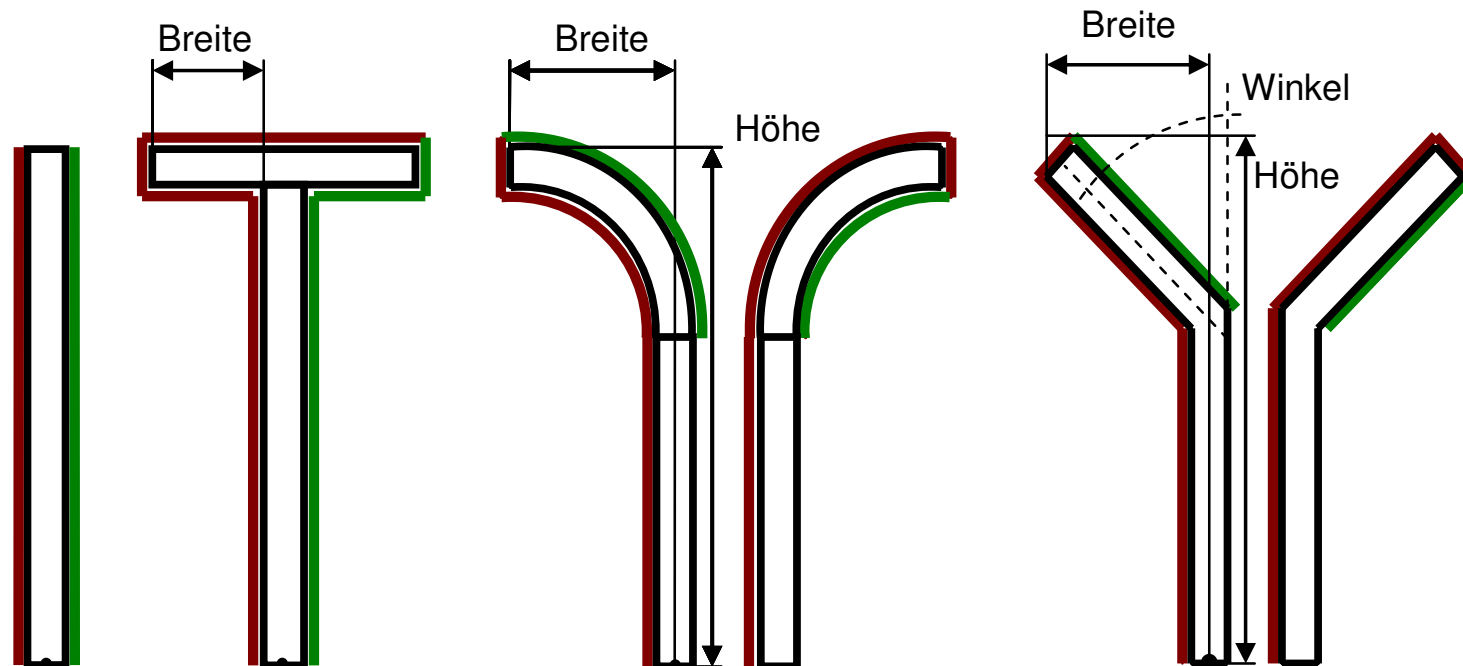


Simulation



- Berechnung von Wandtypen mit
 - unterschiedlichem Absorptionsverhalten,
 - variabler Geometrie,
 - mehreren Quellpunkten und Empfängerpositionen
- Berechnungen erfolgten auf 10 Core-i7 Rechnern mit jeweils 64 GByte RAM und einem NAS Server zur Datenspeicherung
 - Rechenprogramm AcouBEM (proprietär)
 - Eingabe vereinfacht mit FORTRAN Programmen
 - Datenaufbereitung in R

Wandtypen in der Simulation



1. Voll reflektierend
2. + Absorption in Richtung Straße / Bahn
3. + Absorption auf der Rückseite

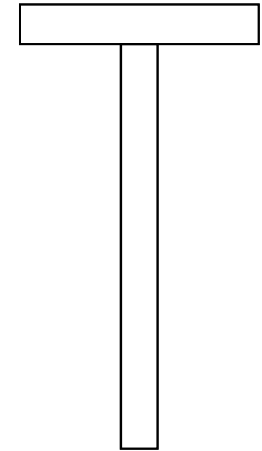
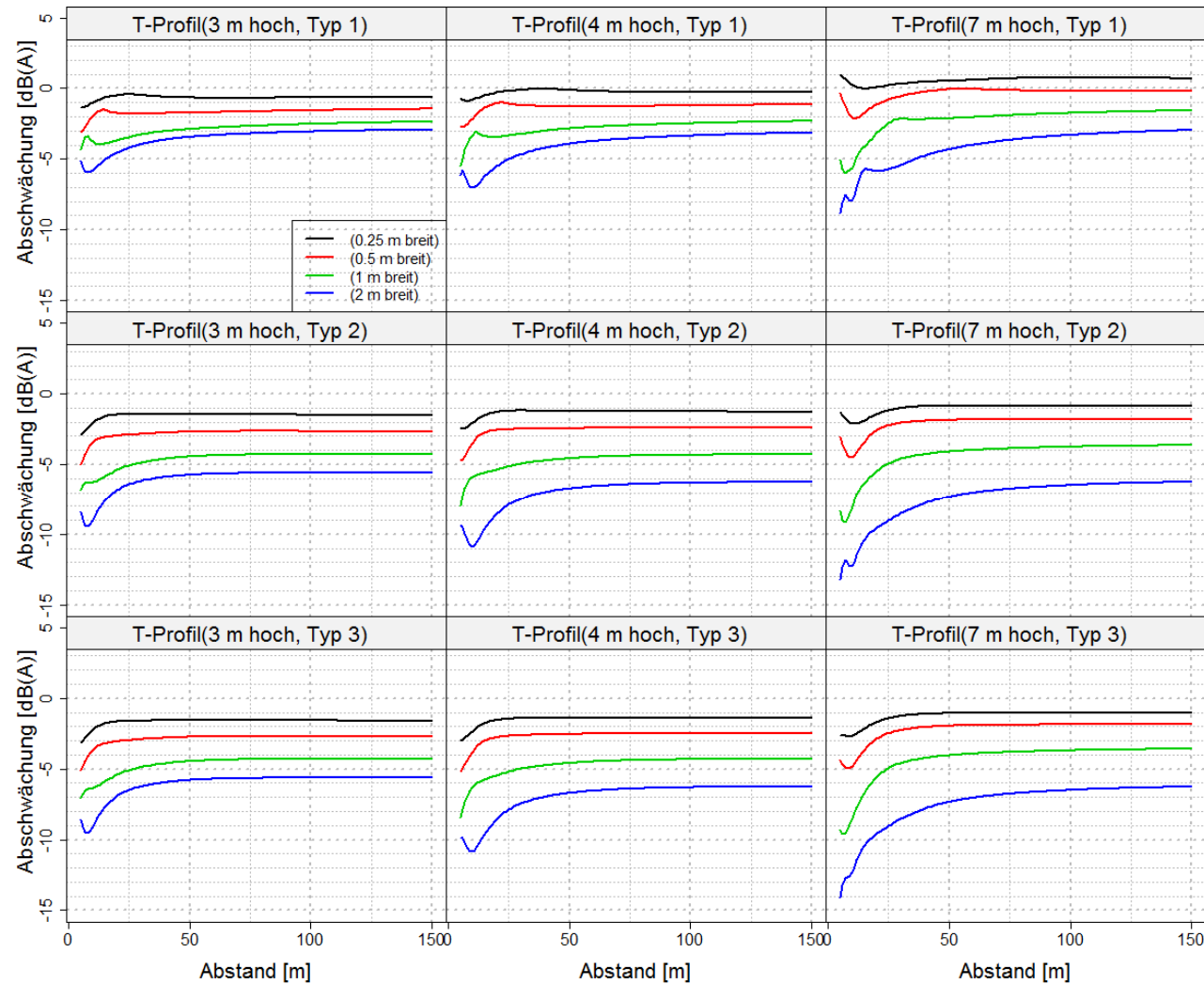


OAW
Austrian Academy
of Sciences



32/45

T-Profil



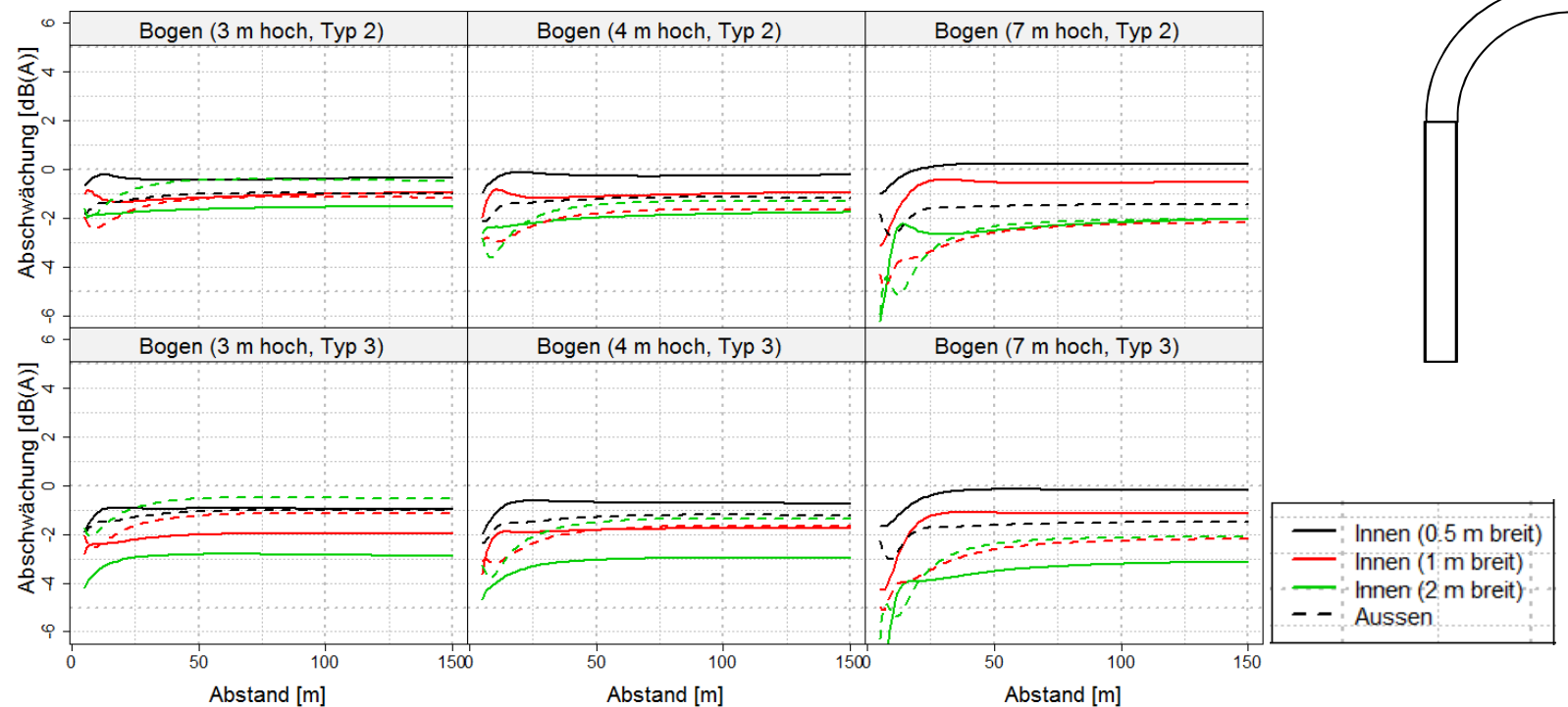


OAW
Austrian Academy
of Sciences



33/45

Gekrümmtes Profil



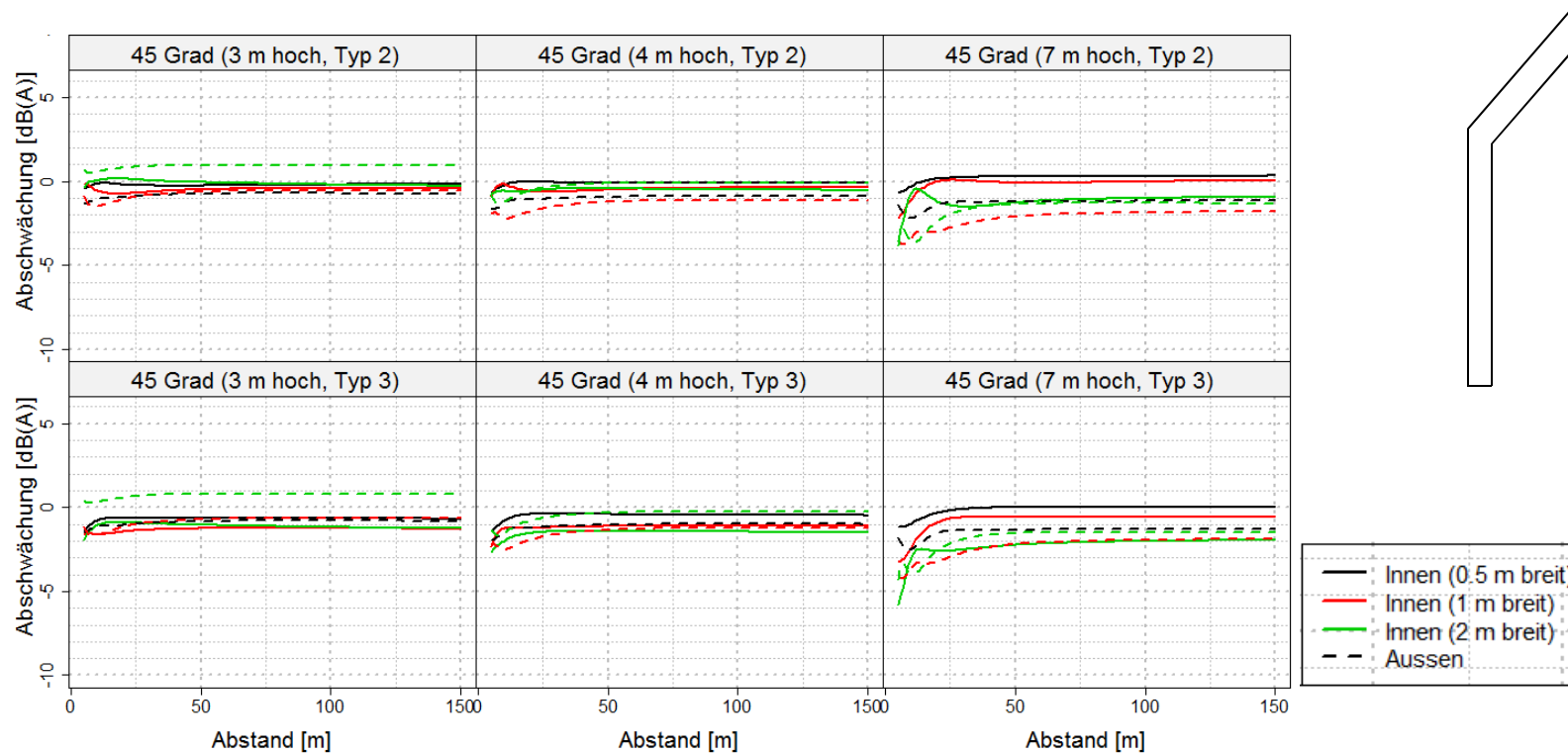


OAW
Austrian Academy
of Sciences



34/45

45°-geknicktes Profil



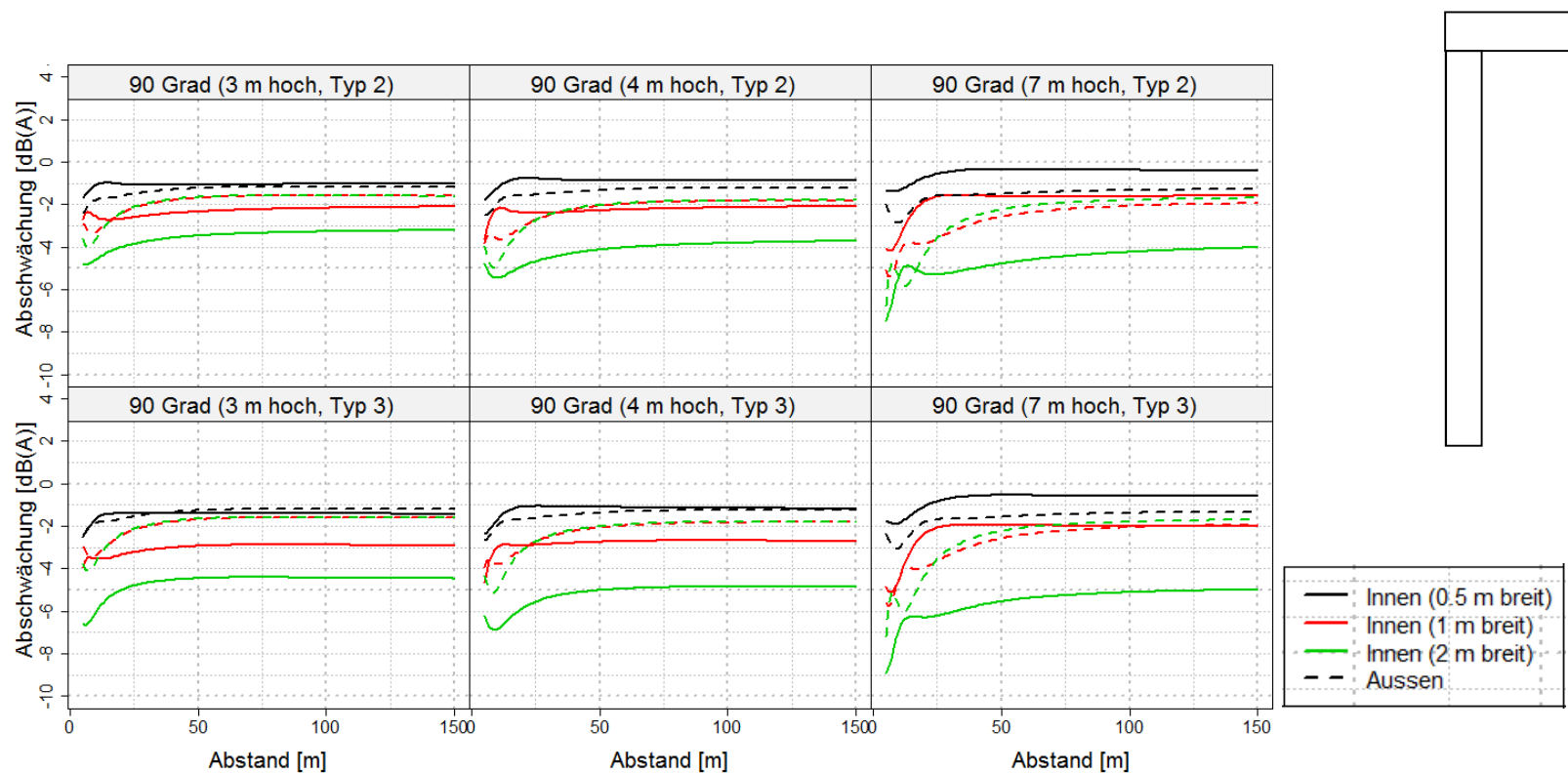


OAW
Austrian Academy
of Sciences

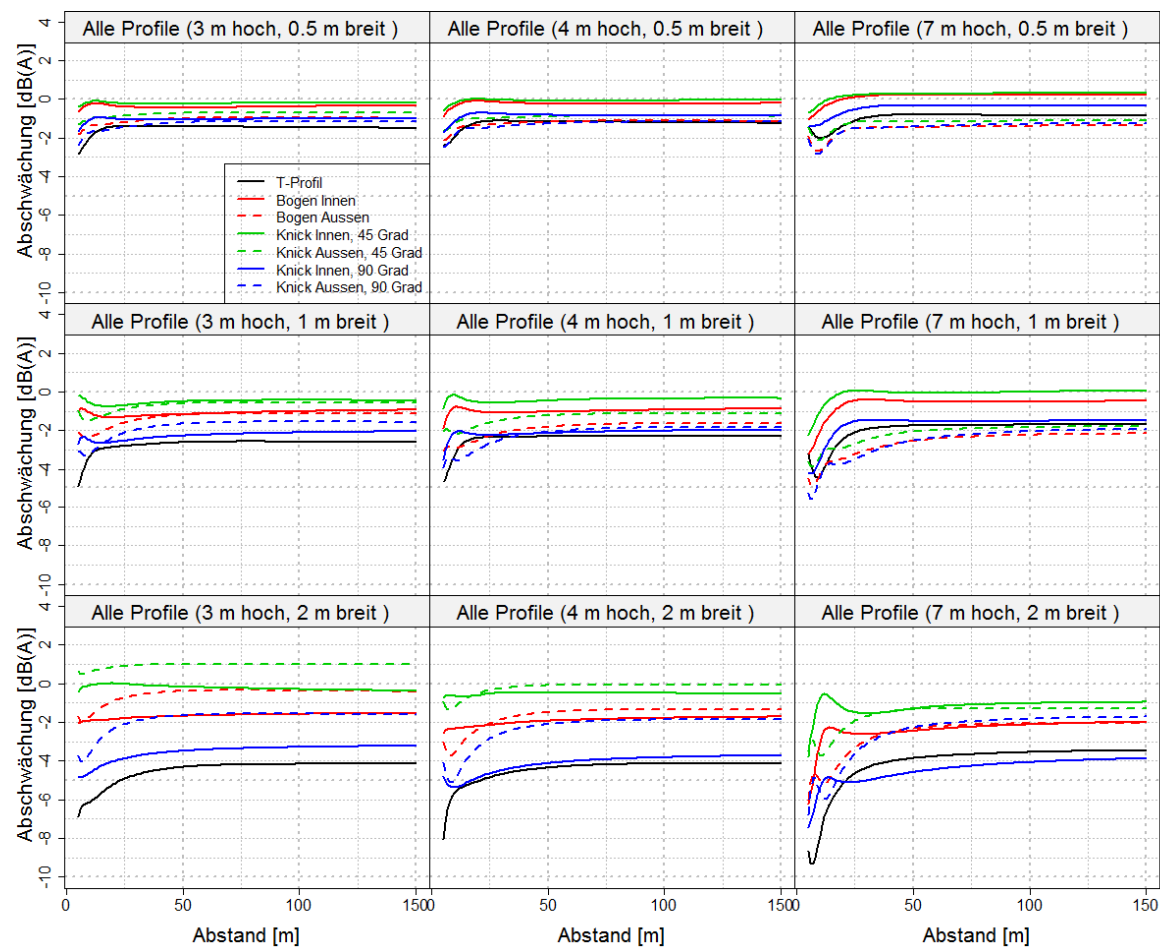


35/45

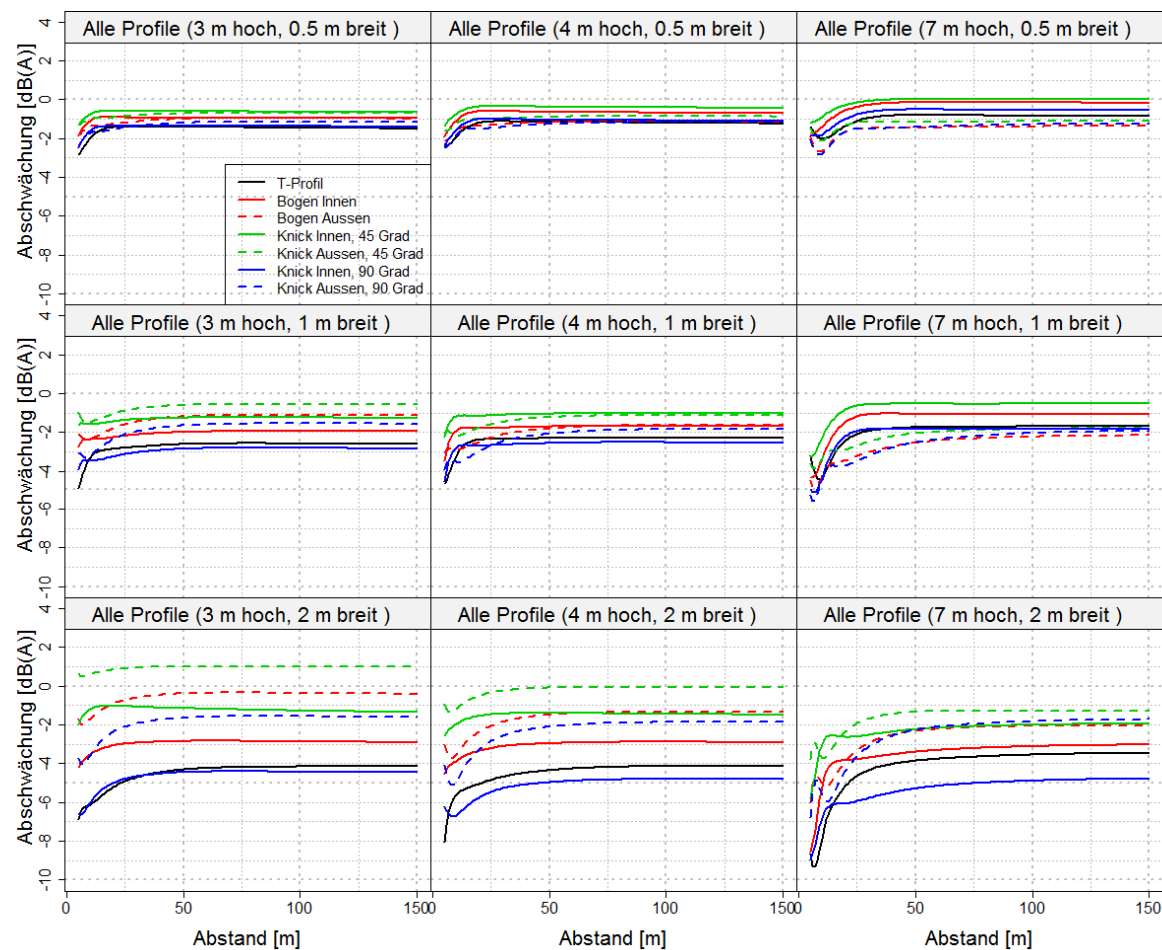
90°-geknicktes Profil



Vergleich aller Profile (Typ 2)



Vergleich aller Profile (Type 2+3)



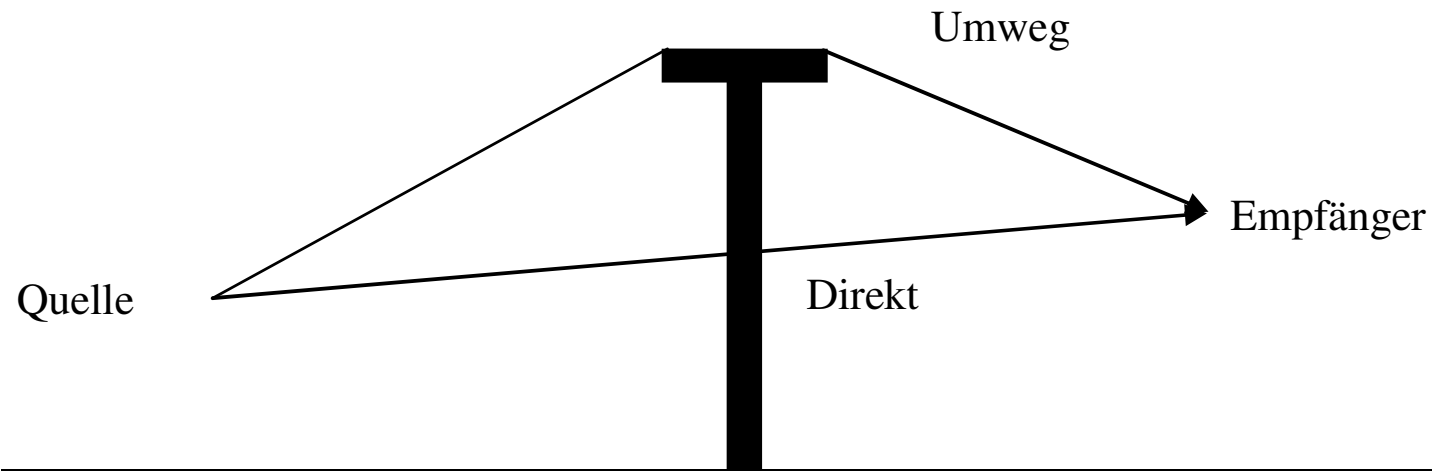
Zusammenfassung (Simulationen)



- Absorbierendes Material im Schallweg ist wichtig
 - Die Wirkung der Kopfausbildung wird stark verbessert
- T- und L-Kopf mit absorbierenden Material zeigen die beste Wirkung
 - L-Profil in Richtung der Quelle und T-Profil sind am effektivsten
- Wenn nur Absorption in Quellrichtung verwendet wird ist eine Krümmung oder ein Knick weg von der Quelle effektiver
 - Wenn Absorption auf der Rückseite verwendet wird, sind beide Wandtypen etwa gleichwertig.
 - Bei breiten Aufsätzen nach innen liegendes Profil besser



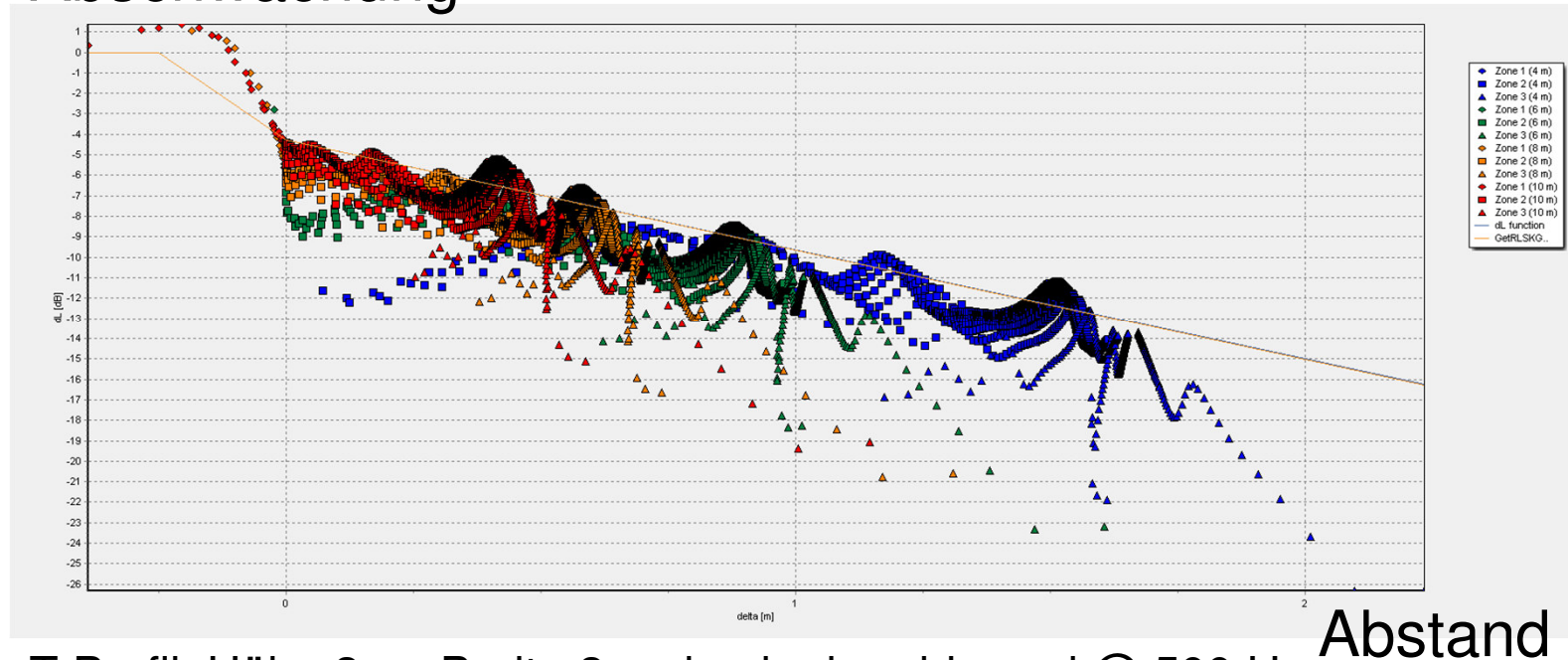
Korrekturfaktoren (SoundPLAN)



- Durchführung: Braunstein & Berndt GmbH
- Verschiedene Parameter getestet
- Umweg bezogen auf den direkten Weg zeigt die beste Übereinstimmung

Korrekturfaktoren II

Abschwächung



T-Profil, Höhe 3 m, Breite 2 m, hoch absorbierend @ 500 Hz

- Stückweise lineare Regression
 - Mittelwertgerade um Standardabweichung verschoben
 - Alle Positionen Quelle und Empfänger in einem Diagramm

Korrekturfaktoren III



- Implementiert und getestet
- Kohärente Linienquelle und Punktquelle verhalten sich ähnlich bei Normalprojektion
- Für eine Punktquelle ist eine schräge Projektion über die LSW notwendig
 - Schräger Einfall mittels Korrekturfunktionen
 - Schräger Einfall verlängert absorbierende Kante
 - Interpolation zwischen Korrekturfunktionen basierend auf veränderlicher Geometrie
- **Normal Projektion der LSW wird verwendet**
 - **Korrekturfunktionen aus der BEM**

Zusammenfassung und Ausblick



- Simulation und Messung stimmen gut überein
- Eine große Zahl an Geometrien wurden simuliert
- Glättung der Spektren durch Mittelung über Oktaven
- Ableitung einfacher Korrekturfunktionen
- Korrekturfunktionen in SoundPlan implementiert



Danksagung



- Danksagung an unsere Projektpartner:
 - TAS SV GmbH
 - DI Heinz Hoislbauer und Ing. Gerhard Strohmayer
 - Braunstein und Berndt GmbH
 - Dipl. Phys. Dieter Zollitsch
- Danksagung an unsere Auftraggeber
 - FFG: Pr.Nr. 2869208 (DI Dr. Christian Pecharda)
 - BMVIT
 - ASFINAG (DI Gernot Guttman, Ing. Gerald Hütter)
 - ÖBB (Dr. Günter Dinhl, Ing. Harald Meidl)

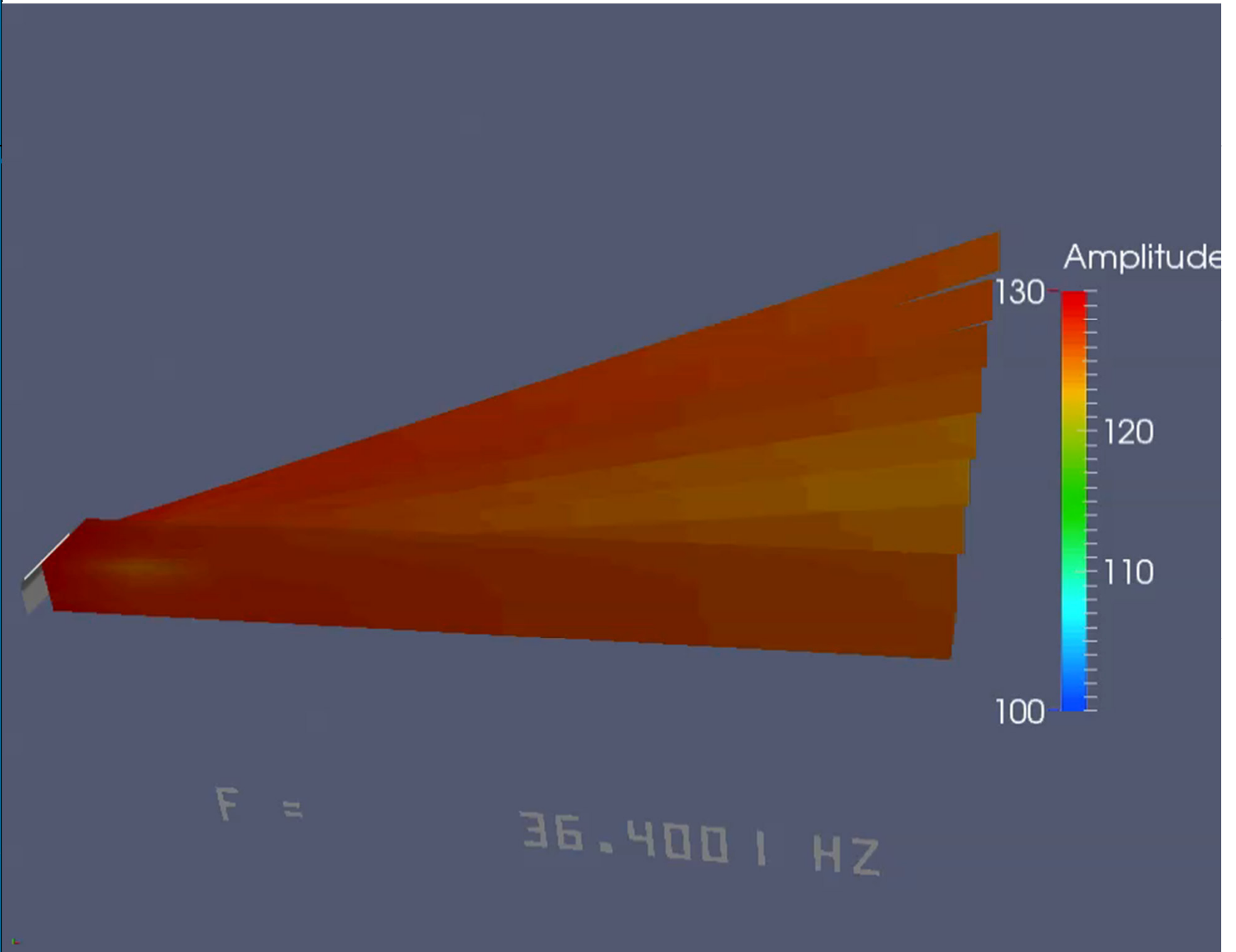




OAW
Austrian Academy
of Sciences



44/45



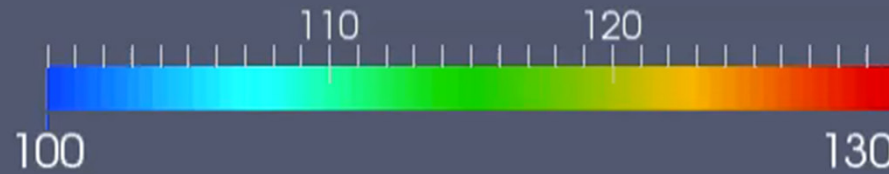


OAW
Austrian Academy
of Sciences



45/45

Amplitude



$F = 36.400 \text{ Hz}$