



Materials Science & Technology

# Reflexionen an Wald und Fels

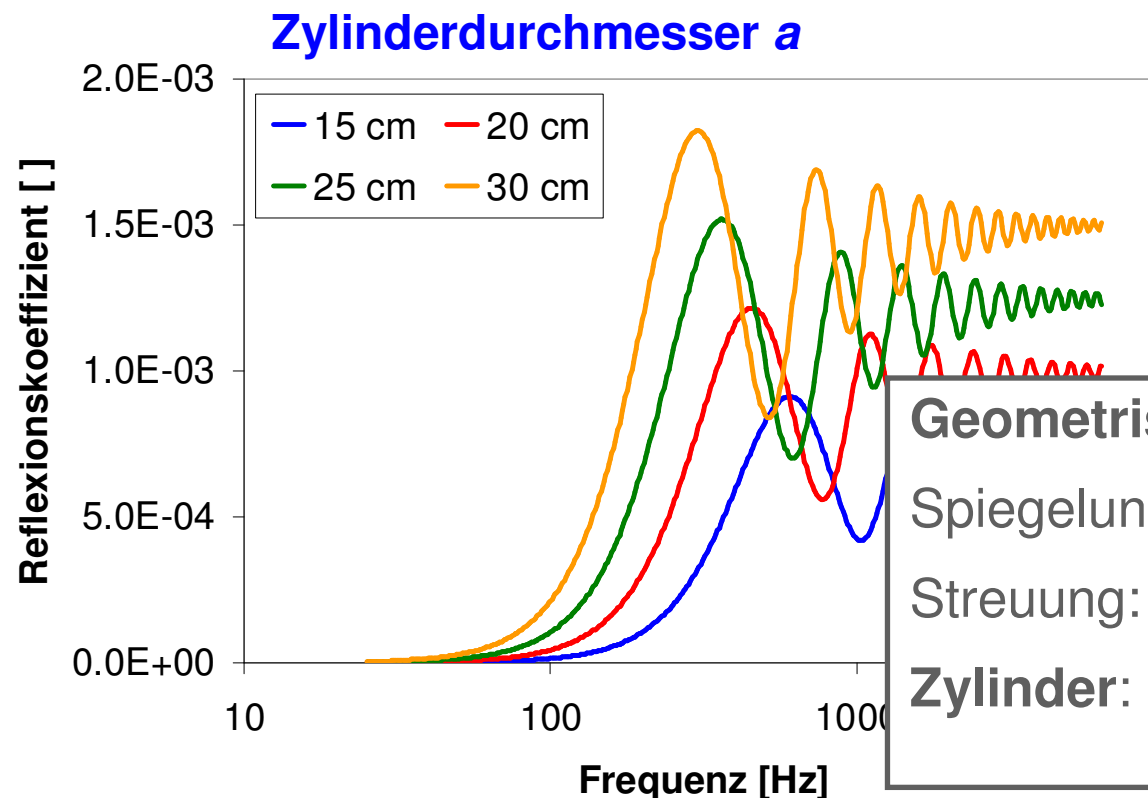
Herbst-Tagung der Schweizerischen Gesellschaft  
für Akustik

Empa Dübendorf, 5./6. November

# Reflexion an einem einzelnen Baum

- Ein einzelner Baum kann als stehender Zylinder modelliert werden.

- Analytische Lösung: 
$$\rho = \left[ \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m \cos(m\phi) (-i)^m H_m^{(1)}(\underline{kr}) \frac{J'_m(ka)}{H_m^{(1)'}(ka)} \right]^2$$



$$\rho \sim \frac{1}{r}$$

## Geometrische Dämpfung:

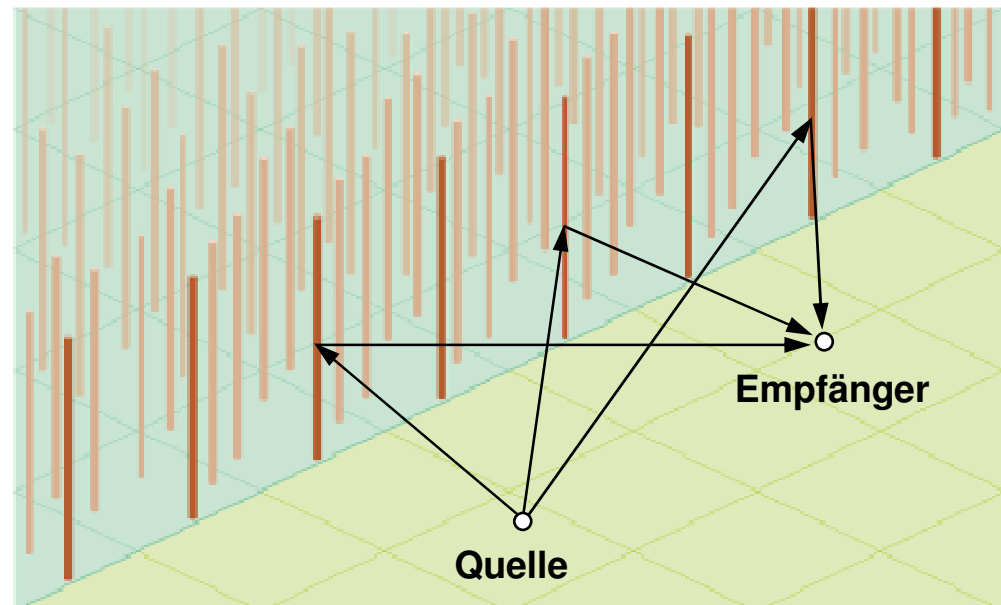
Spiegelung:  $20 \cdot \log[r_Q + r_E]$

Streuung:  $20 \cdot \log[r_Q] + 20 \cdot \log[r_E]$

**Zylinder:**  $20 \cdot \log[r_Q + r_E] + 10 \cdot \log[\text{Min}(r_Q, r_E)]$

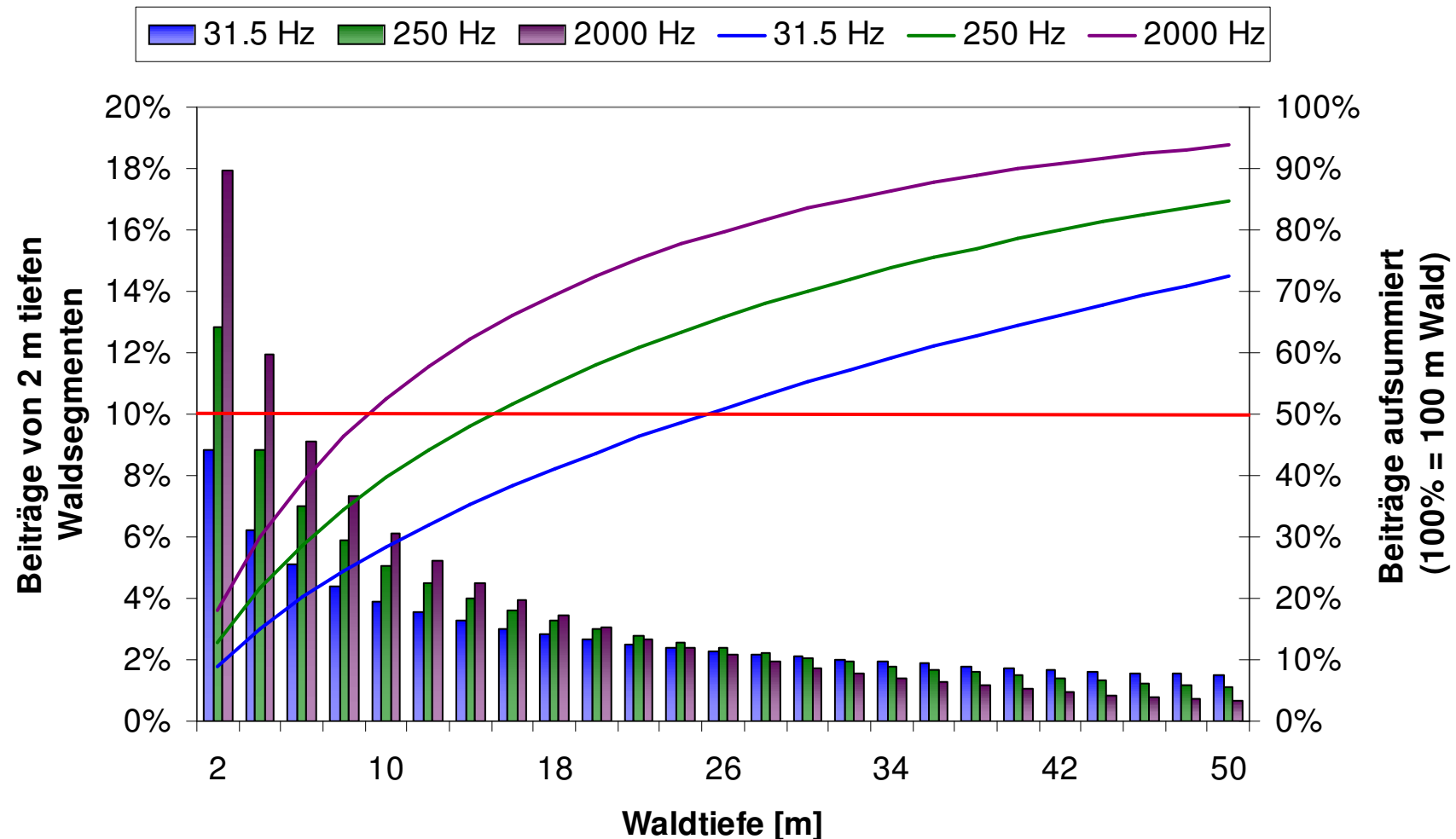
# Reflexion an einem gesamten Wald

- Ausbreitungsrechnung für jede Kombination Quelle-Zylinder-Empfänger
- Ausbreitung im Wald zusätzlich  $A_{fol}$  gemäss ISO 9613-2
- Gesamte Waldreflexion als energetische Überlagerung der Beiträge der einzelnen Zylinder
- Rechenzeitorientierungen
  - Nur Zylinder am Rand
  - Segmentierung (25 m)
  - Keine Hinderniswirkung, nur Sichtbarkeitskontrolle
  - Tabellierter Bodeneffekt
  - Look-up-table für  $\rho$



# Repräsentative Anzahl Bäume

→ Bestimmung in Funktion von Geometrie und Frequenz



# Korrekturen und Erweiterungen

- Korrektur für endliche Zylinderhöhe
- Korrektur für kurze Distanzen
- Vertikale Abstrahlcharakteristik
- Beiträge vom Walddach

# Statistische Kenngrössen für Wald

**Waldstatistik: Wald bis 1000 m über Meer – nur Waldrand bis 30 m**

| Waldtyp          | Anz. Bäume<br>[N/100 m <sup>2</sup> ] | Durchmesser<br>[cm] | Höhe<br>[m]      |
|------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------|
| > 90% Nadelbäume | 6.11 ± 14%                            | 27.5 ± 14%          | 22.1 ± 14%       |
| > 50% Nadelbäume | 5.26 ± 10%                            | 28.5 ± 11%          | 22.5 ± 11%       |
| > 50% Laubbäume  | 4.75 ± 12%                            | 27.7 ± 13%          | 21.8 ± 13%       |
| > 90% Laubbäume  | 4.50 ± 9%                             | 26.4 ± 10%          | 20.2 ± 10%       |
| <b>Mittel</b>    | <b>5.01 ± 5%</b>                      | <b>27.5 ± 6%</b>    | <b>21.5 ± 6%</b> |

**Standardwerte**

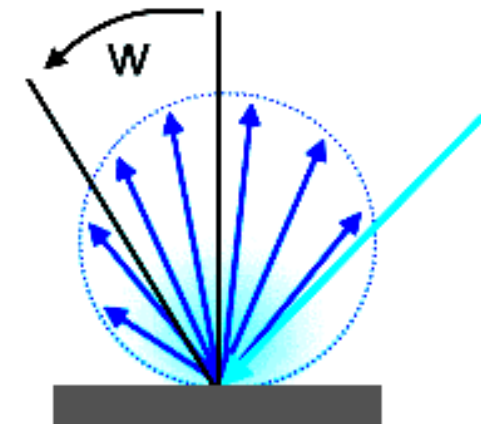
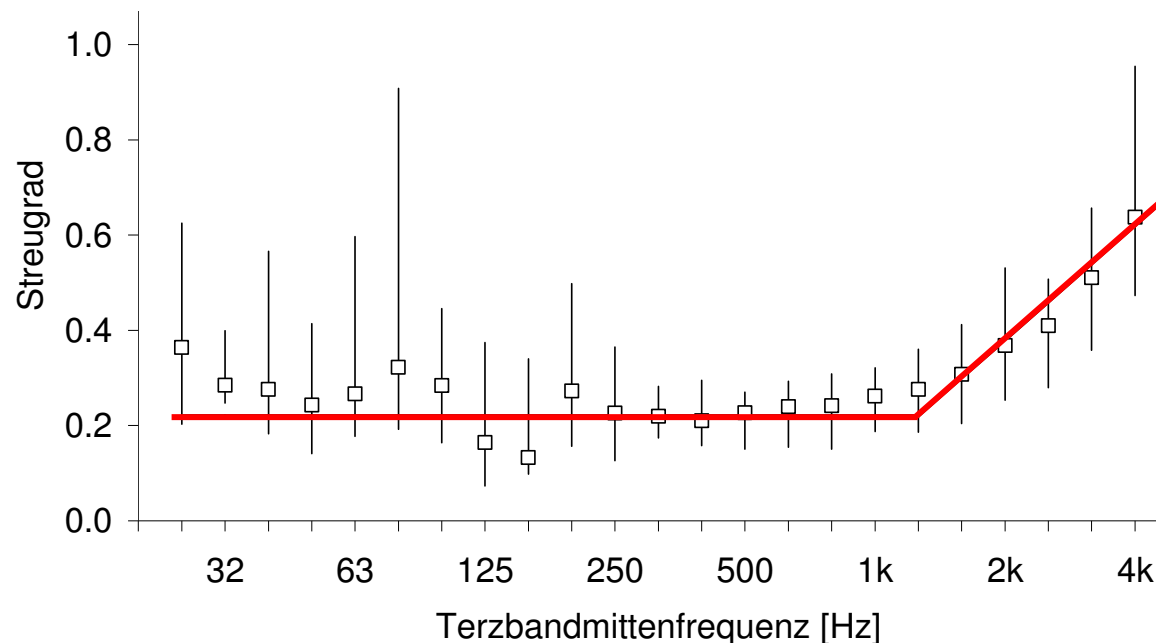
**5**

**27.5**

**20**

# Felsreflexionen

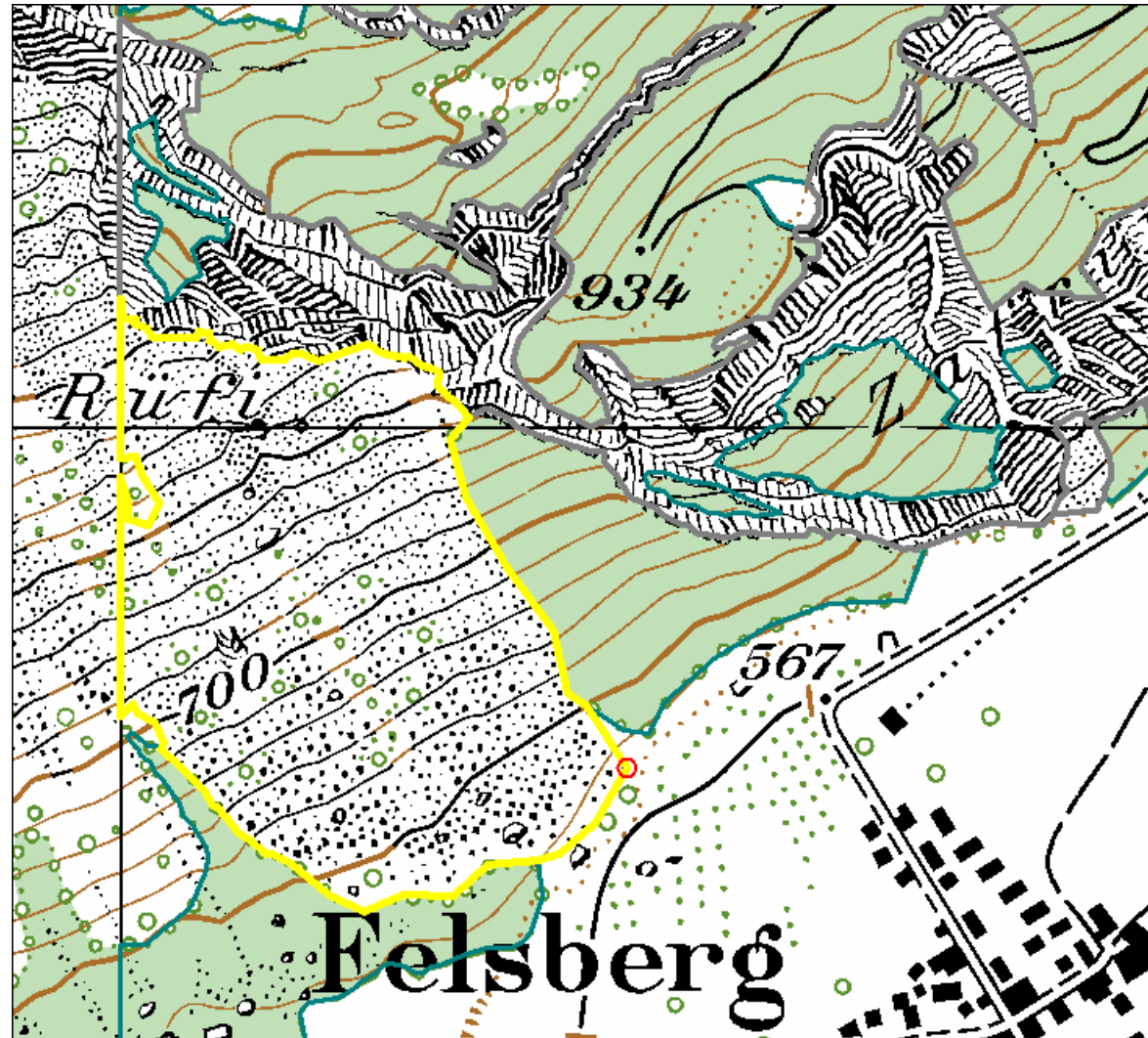
- Darstellung von Felsflächen durch Reflektorelemente
- Vernachlässigung spiegelnder Reflexionen
- Aus Messungen abgeleiteter Streugrad
- Abstrahlung gemäss Gesetz von Lambert
- Energetische Superposition sämtlicher Streuquellen
- Vereinfachte Berechnung der Schallausbreitung



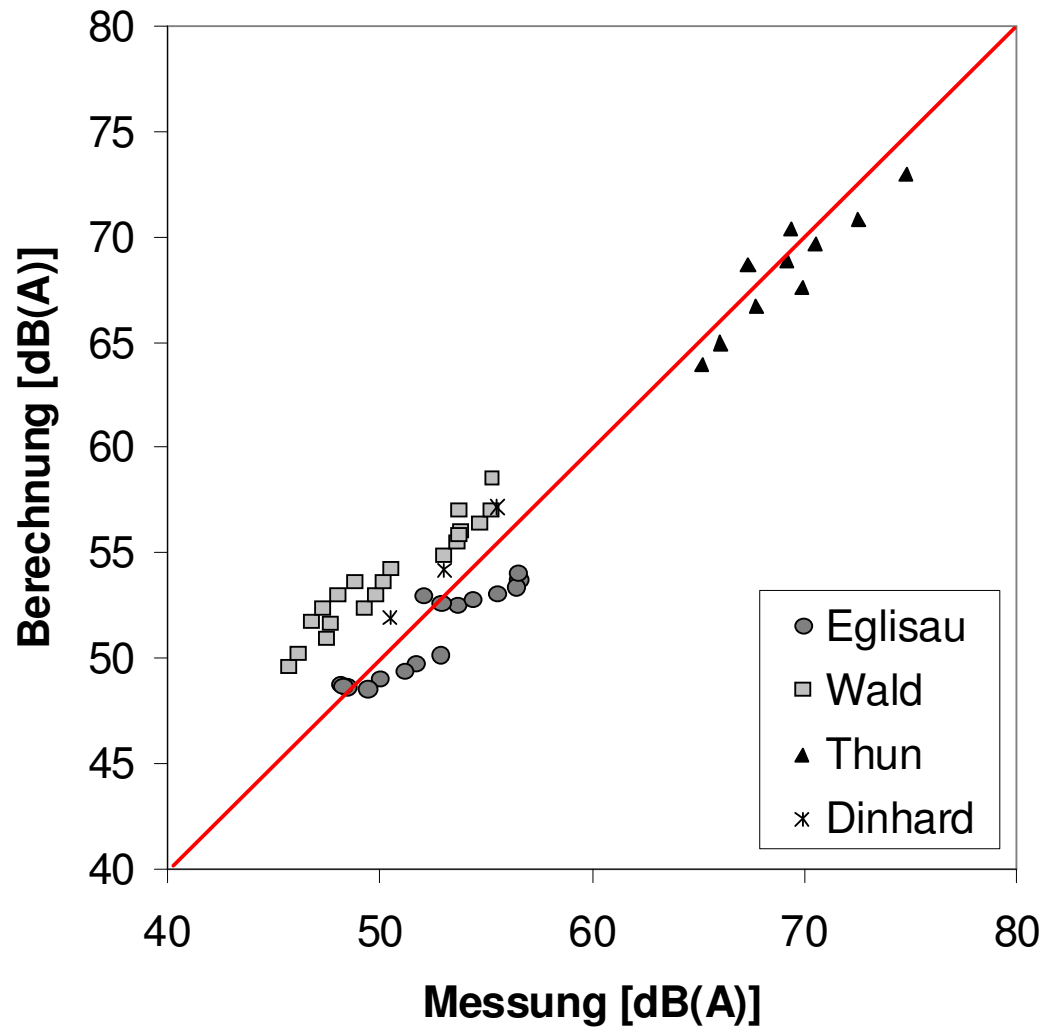
# Identifikation von Wald und Fels

Vektor 25-Modell

- Wald
- Fels
- Geröll

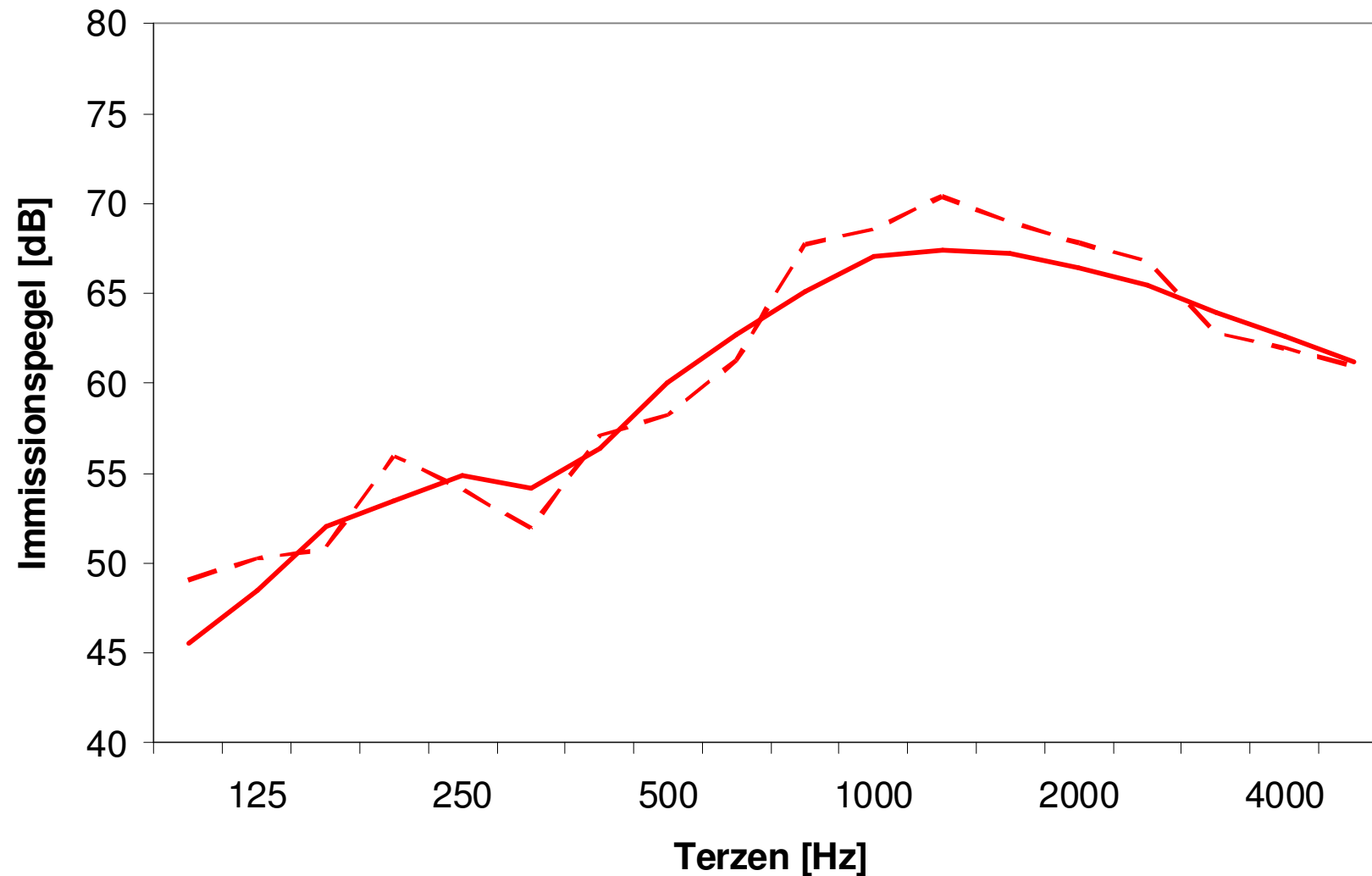


# Validierung des Waldreflexionsmodells



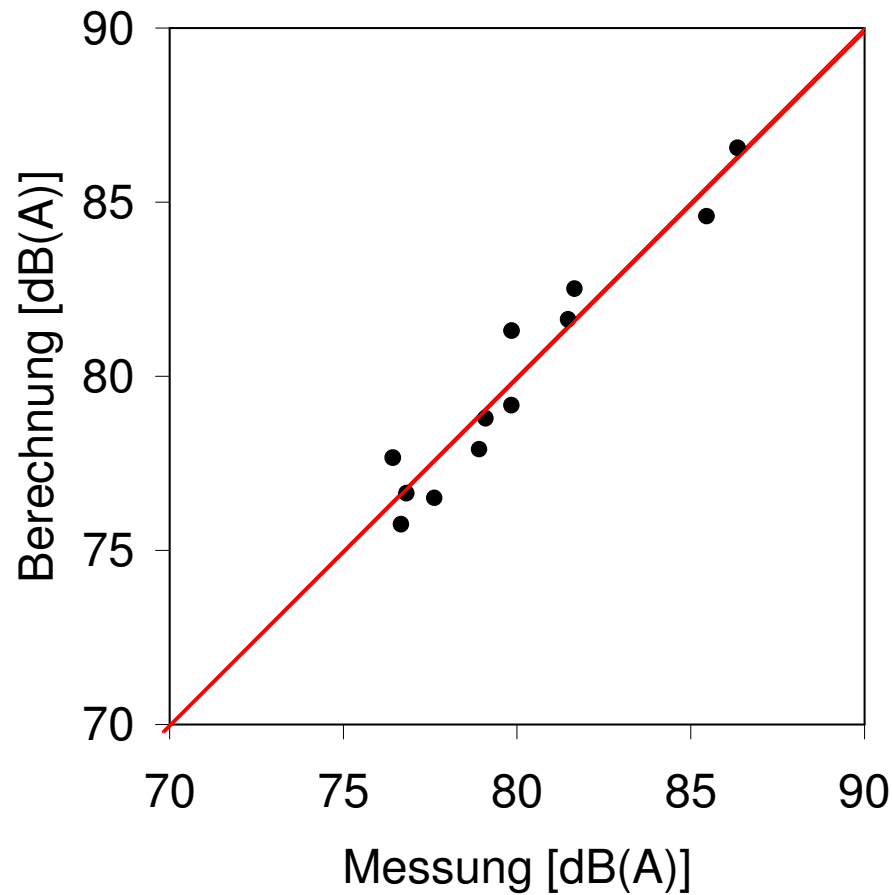
**Mw: - 0.9 dB**  
**Stabw: 2.5 dB**

# Validierung des Waldreflexionsmodells



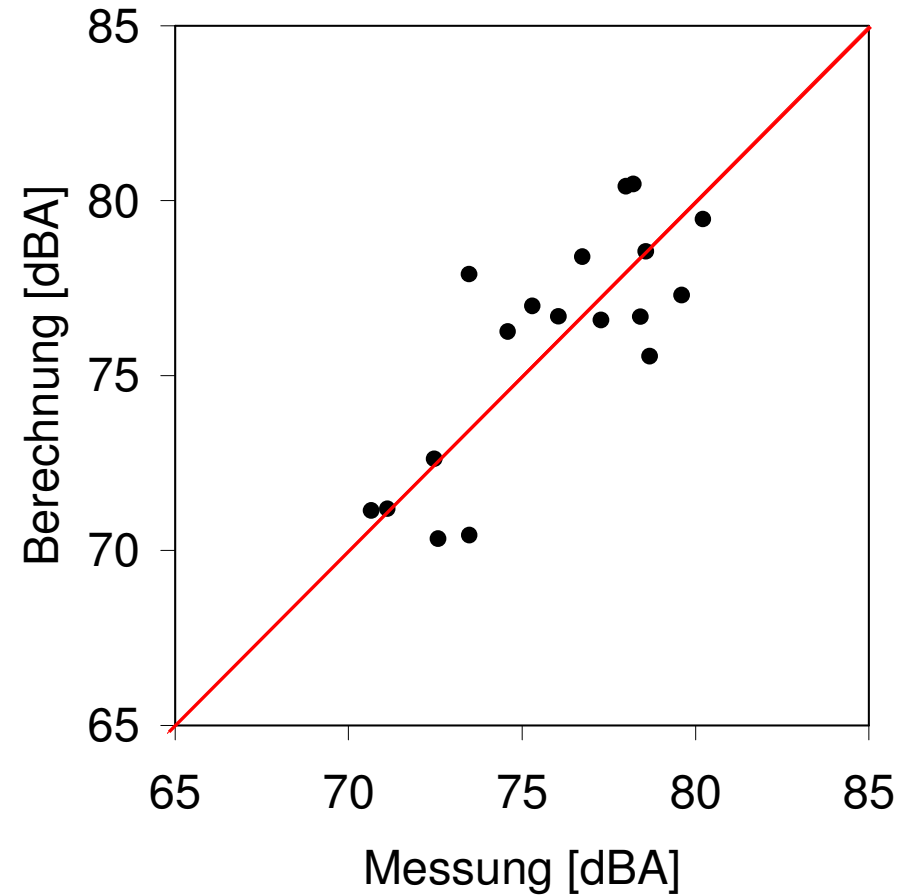
# Validierung des Felsreflexions-Modells

## Chur



**Mw: 0.1 dB(A)**  
**Stabw: 0.9 dB(A)**

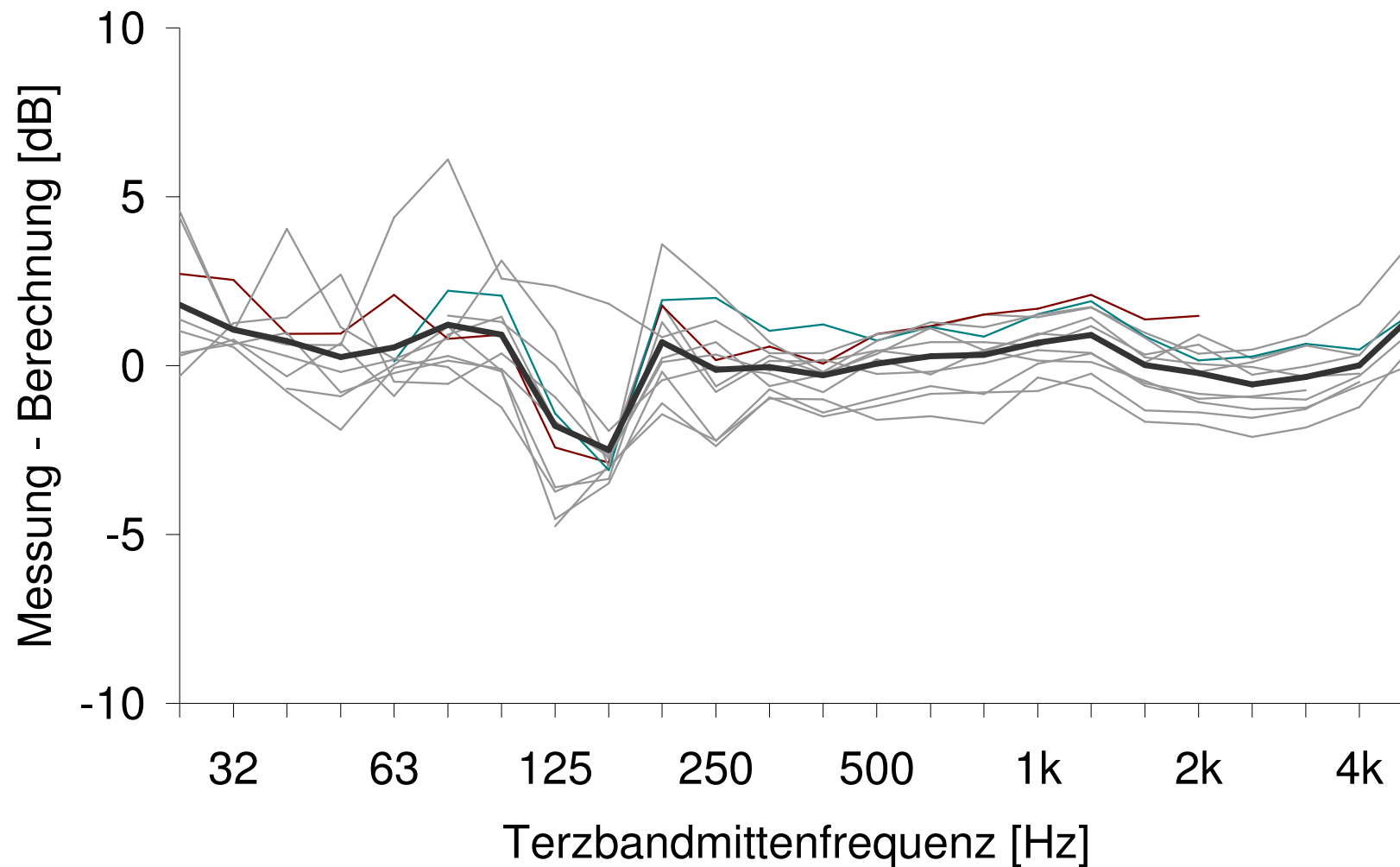
## Val Cristallina



**Mw: - 0.1 dB(A)**  
**Stabw: 2.1 dB(A)**

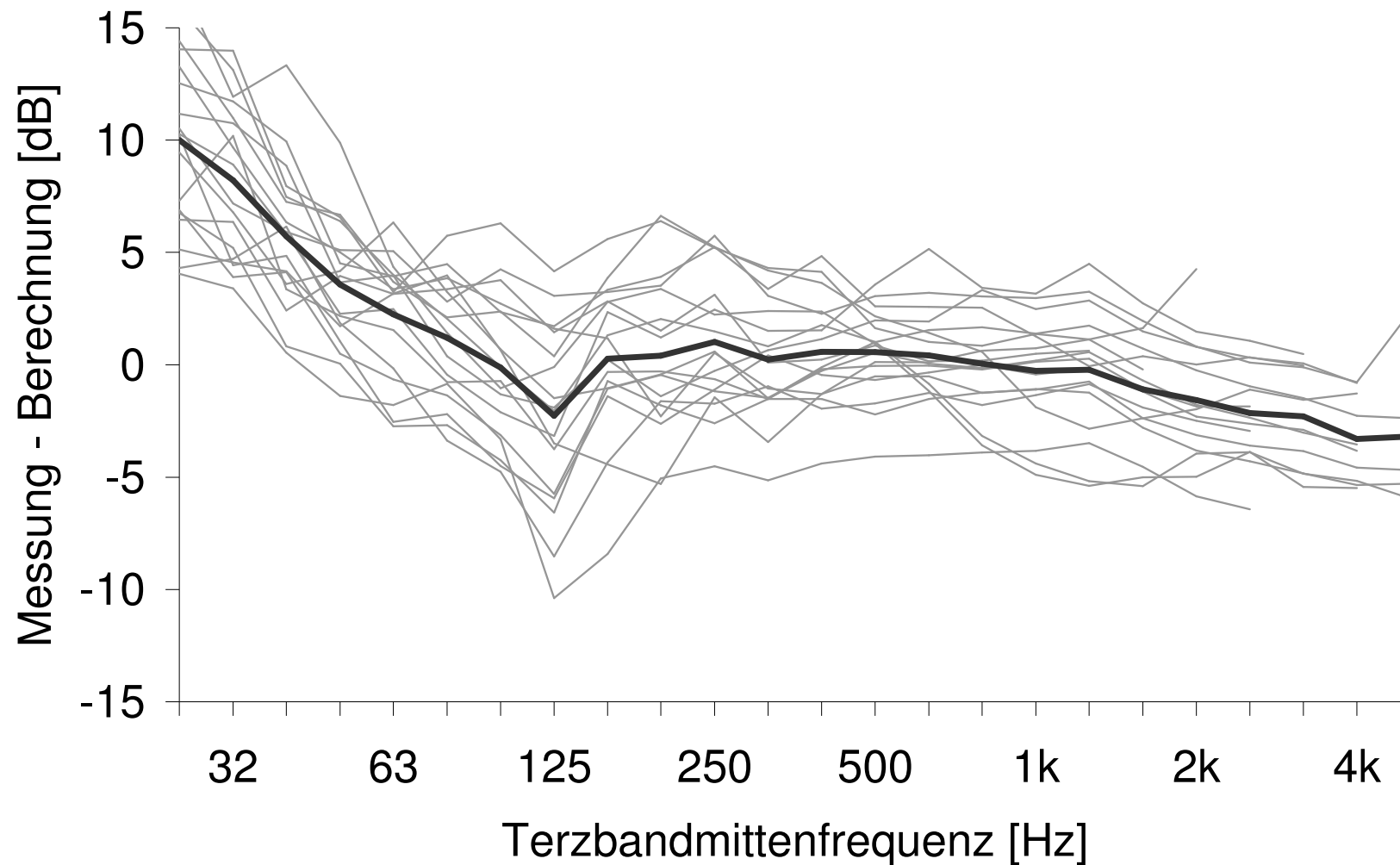
# Validierung des Felsreflexions-Modells

Chur



# Validierung des Felsreflexions-Modells

Val Cristallina



# Schlussbemerkung

- Die Berechnungsmodelle für Wald und Fels erreichen eine ansprechende Genauigkeit.
- Die notwendigen Inputdaten für einen flächendeckenden, automatisierten Einsatz sind vorhanden.
- Dank einer vereinfachten Ausbreitungsrechnung und weiterer Optimierungen ist der Rechenzeitaufwand auch für Engineering-Modelle vertretbar.