



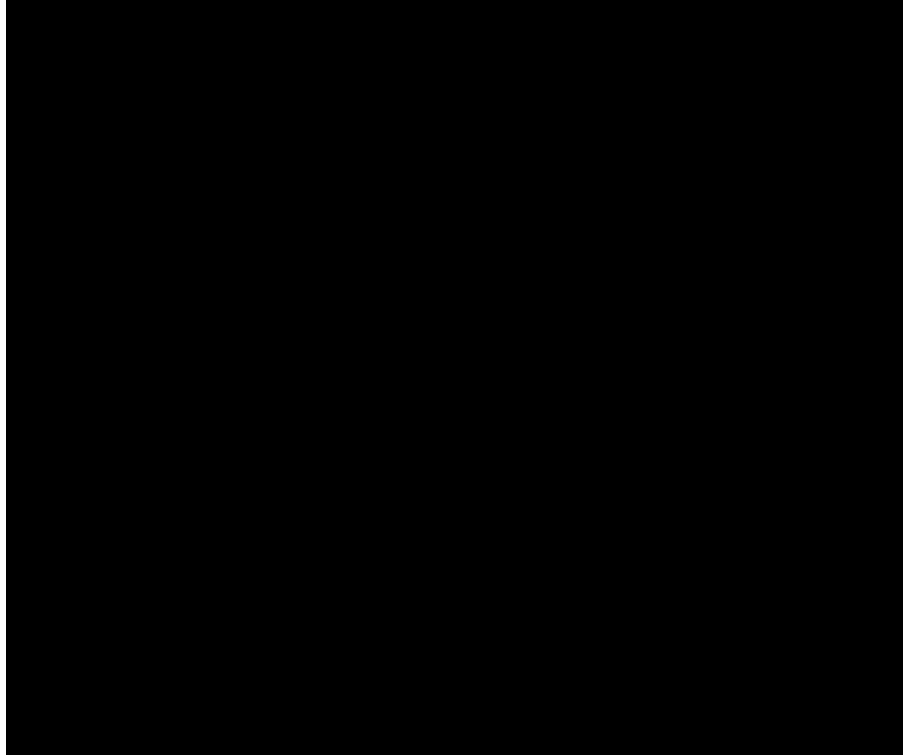
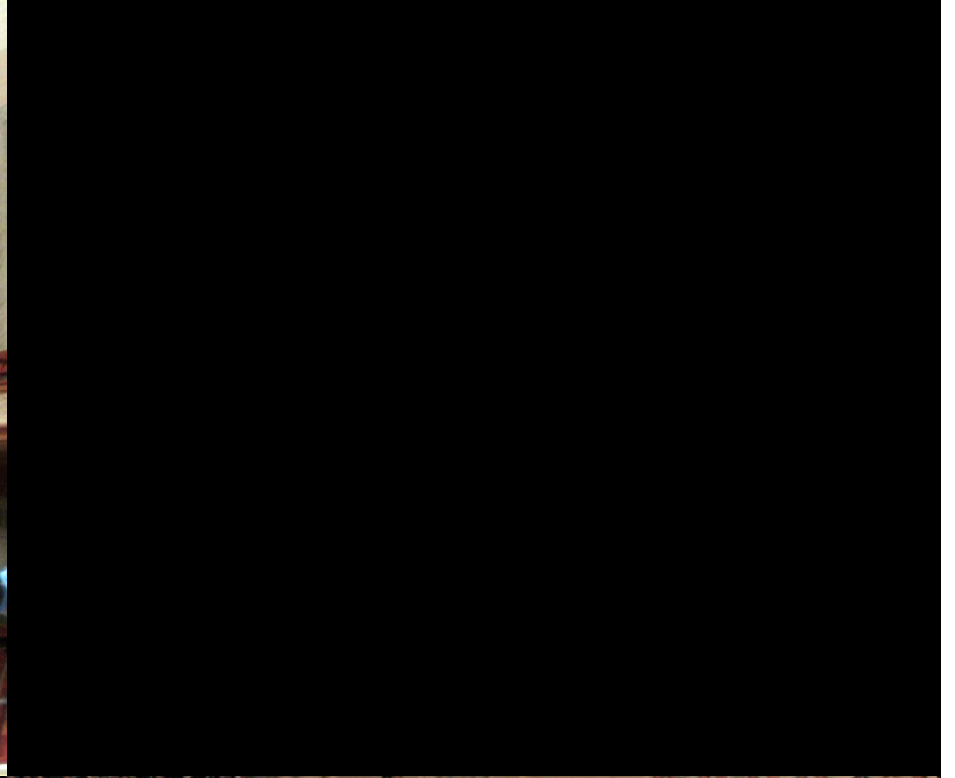
Materials Science & Technology

Passive Messung raumakustischer Parameter mit Musik

2009-11-05

Reto Pieren, Empa, Abteilung Akustik

reto.pieren@empa.ch



Gliederung

1. Einleitung und Motivation
2. Methode und Algorithmus
3. Messungen mit der neuen Methode
4. Zusammenfassung und Ausblick

Einleitung und Motivation

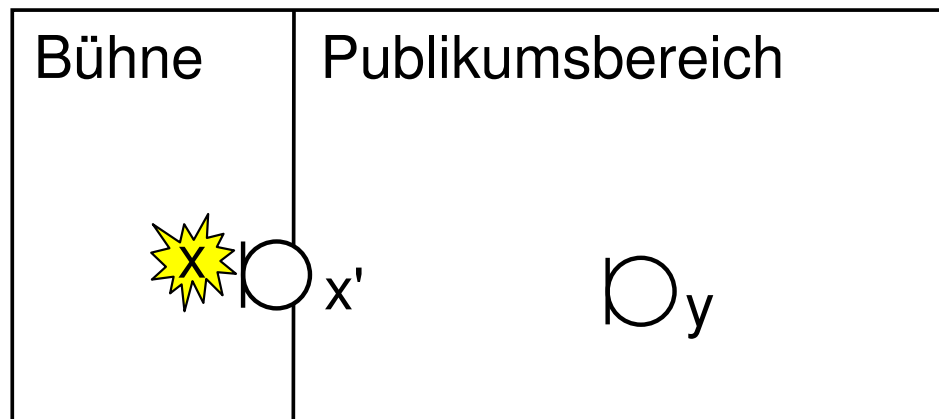
- Akustischer Einfluss des Publikums
- Messungen raumakustischer Parameter
- Aktive Messmethoden: Lautsprecher als akustische Quelle
→ Testpublikum aufbieten
- Ziel: Passive Messmethode

Natürliche Quelle liefert Messsignal

→ Messung während Konzert

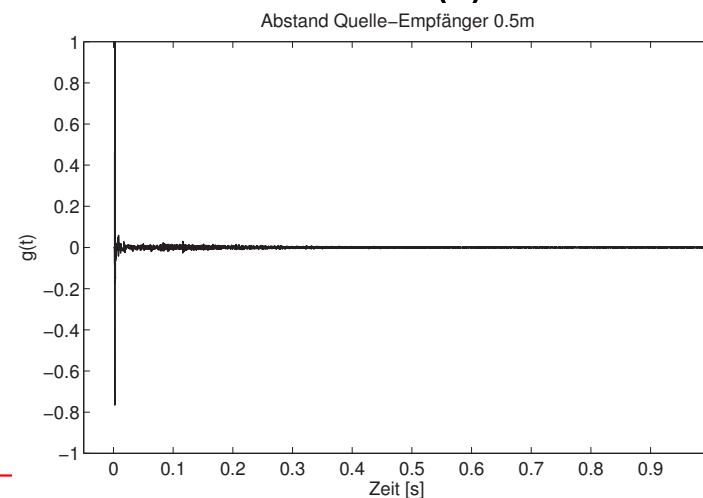
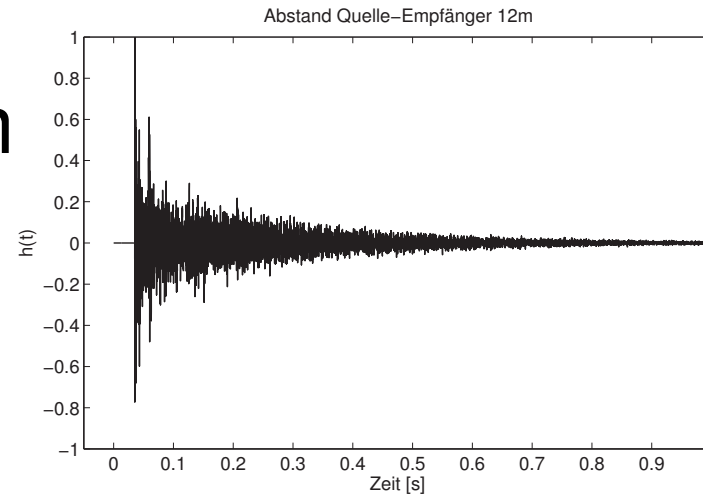
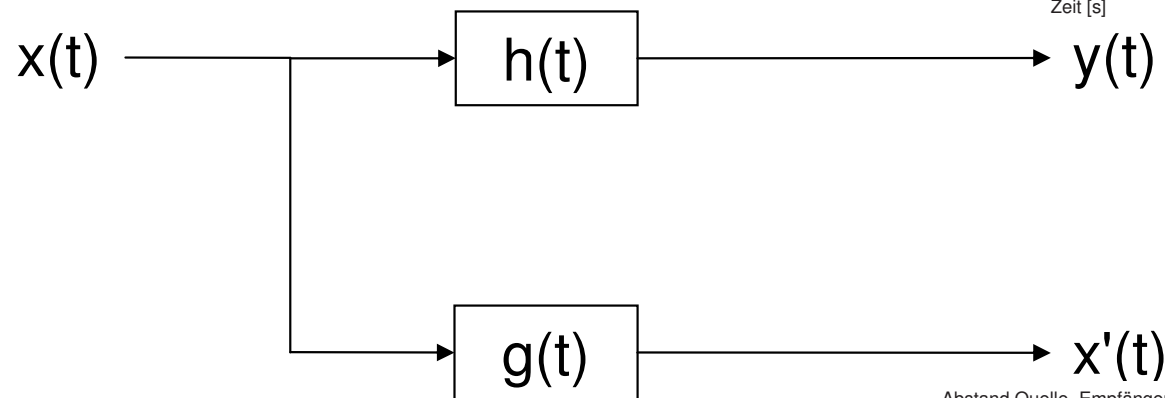
Methode

- Definierte Aufführungssituation:



- Punktquelle auf Bühne (Instrument, breitbandig, klein)
- 1 Mikrofon im Nahfeld, 1 Mikrofon im Fernfeld der Quelle

Methode: Blockdiagramm



- Raumakustischer Parameter aus den Signalen x' und y

Methode: Mathematisch

$$X(\omega) \cdot H(\omega) = Y(\omega) \quad (1)$$

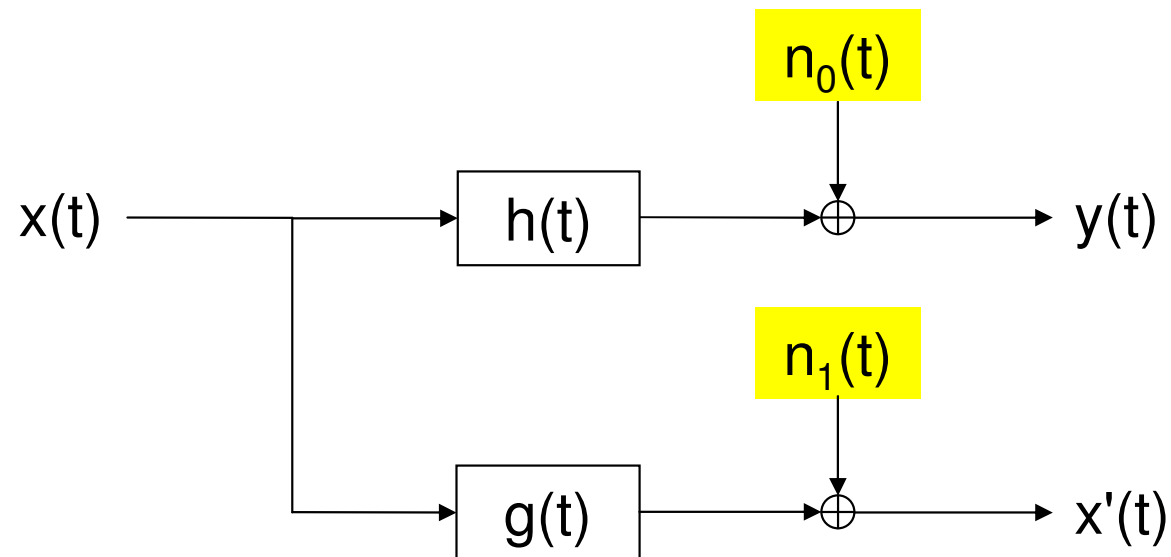
$$X(\omega) \cdot G(\omega) = X'(\omega) \quad (2)$$

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$$

$$\hat{H}(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X'(\omega)} = H(\omega) \cdot \underline{G^{-1}(\omega)}$$

- Inversion führt zu Störungen im Frequenz- und Zeitbereich

Methode: Blockdiagramm

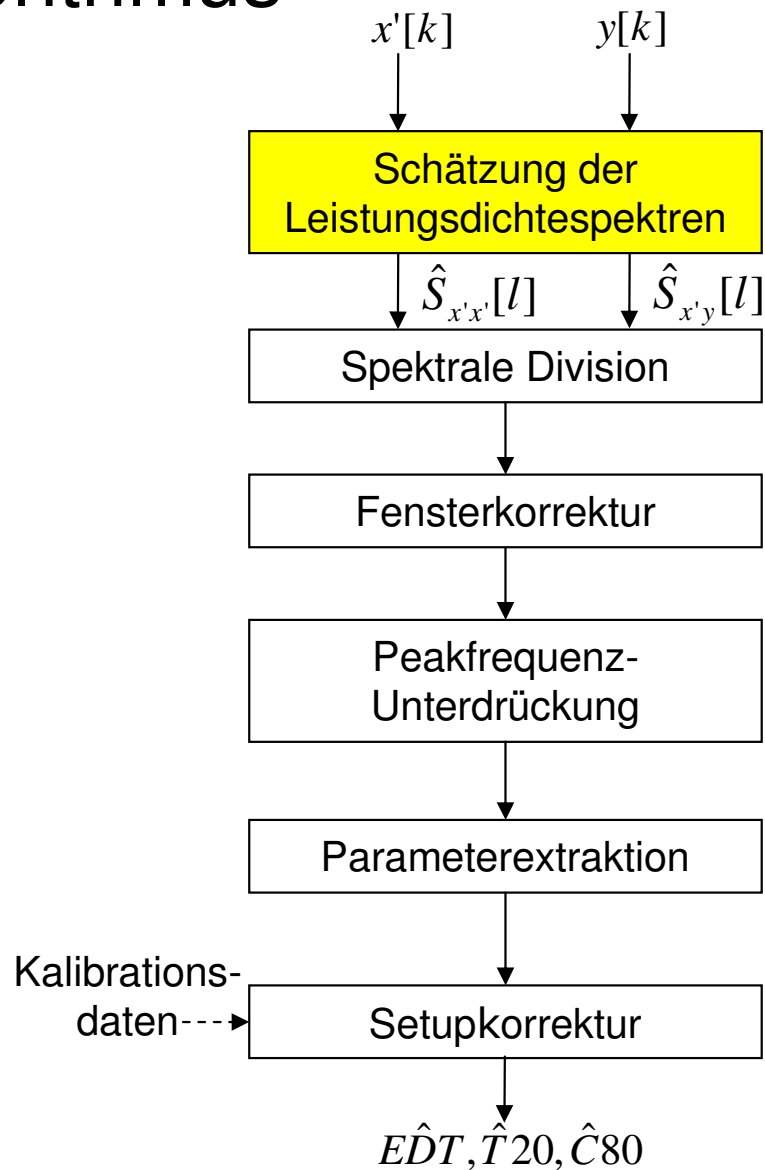


- Störsignale (Publikum, andere Musikinstrumente,...)

Algorithmus

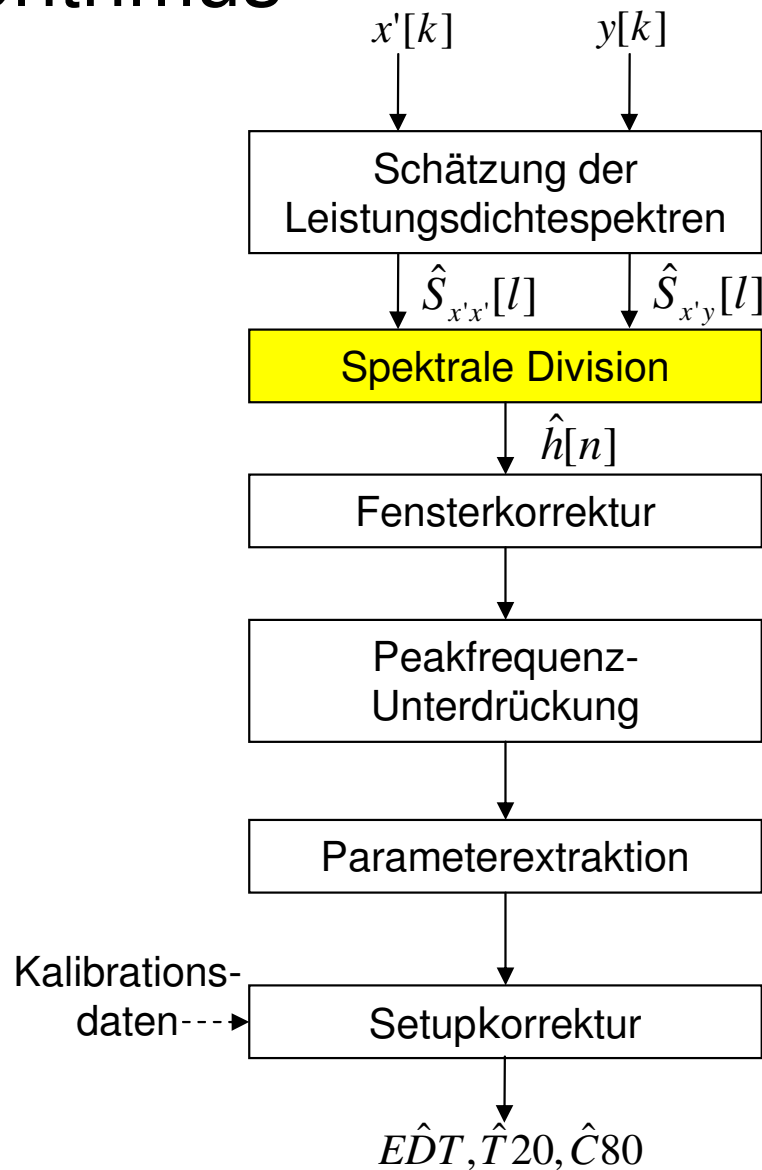
- Basierend auf Kreuzkorrelation
- Schätzung der Raumimpulsantwort $h(t)$
- Extraktion raumakustischer Parameter
- Kompensation von Einflüssen von $g(t)$
- Verwendung zusätzlicher Informationen des Setups

Algorithmus



- Welch's Methode

Algorithmus

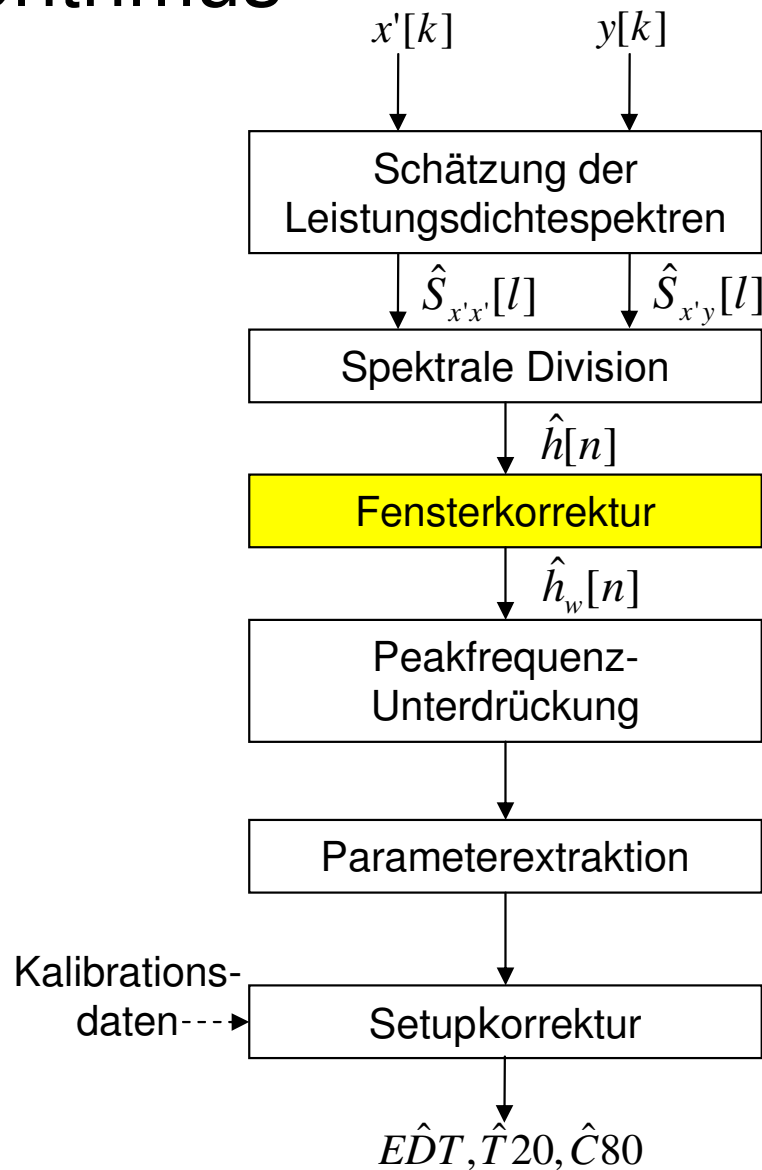


- mit Divisionssättigung

$$\hat{H}[l] = \frac{\hat{S}_{x'y}[l] \hat{S}_{x'x'}[l]}{\hat{S}_{x'x'}^2[l] + a}$$

- und Rücktransformation

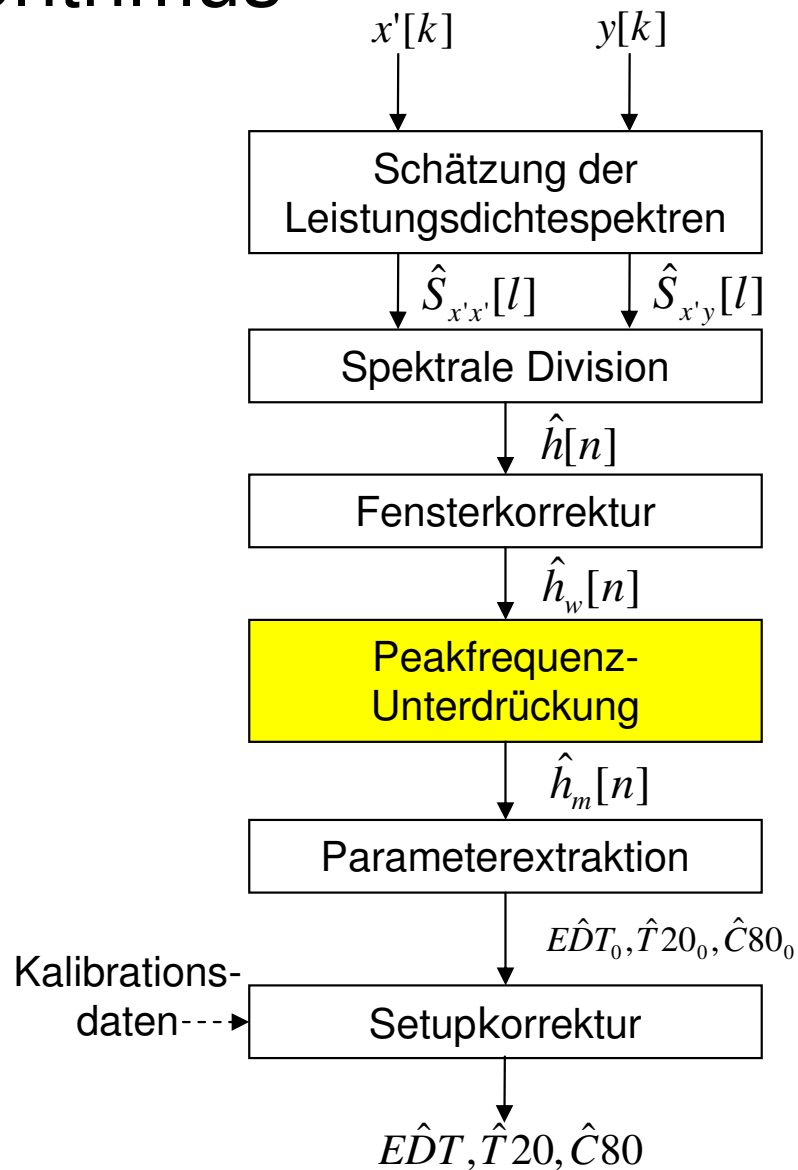
Algorithmus



- Multiplikation mit Enveloppenfunktion:

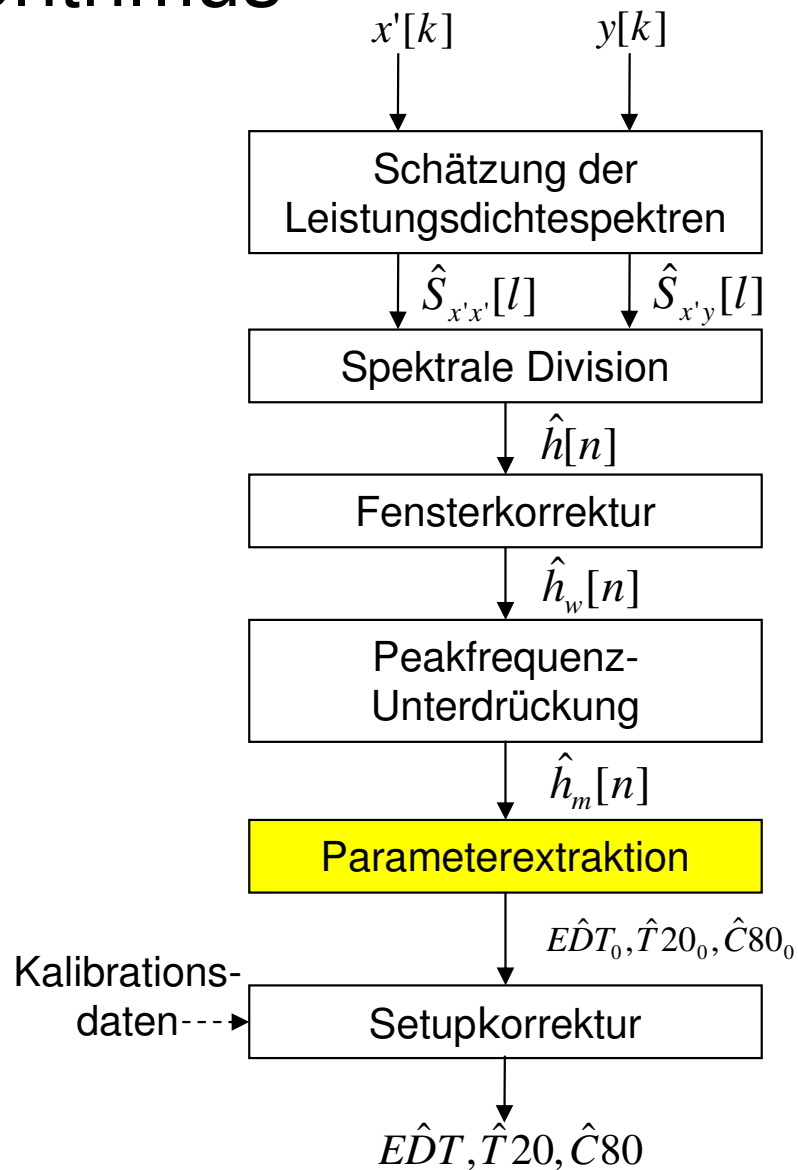
$$e[n] = \frac{1}{w[n] * w[n]}$$

Algorithmus



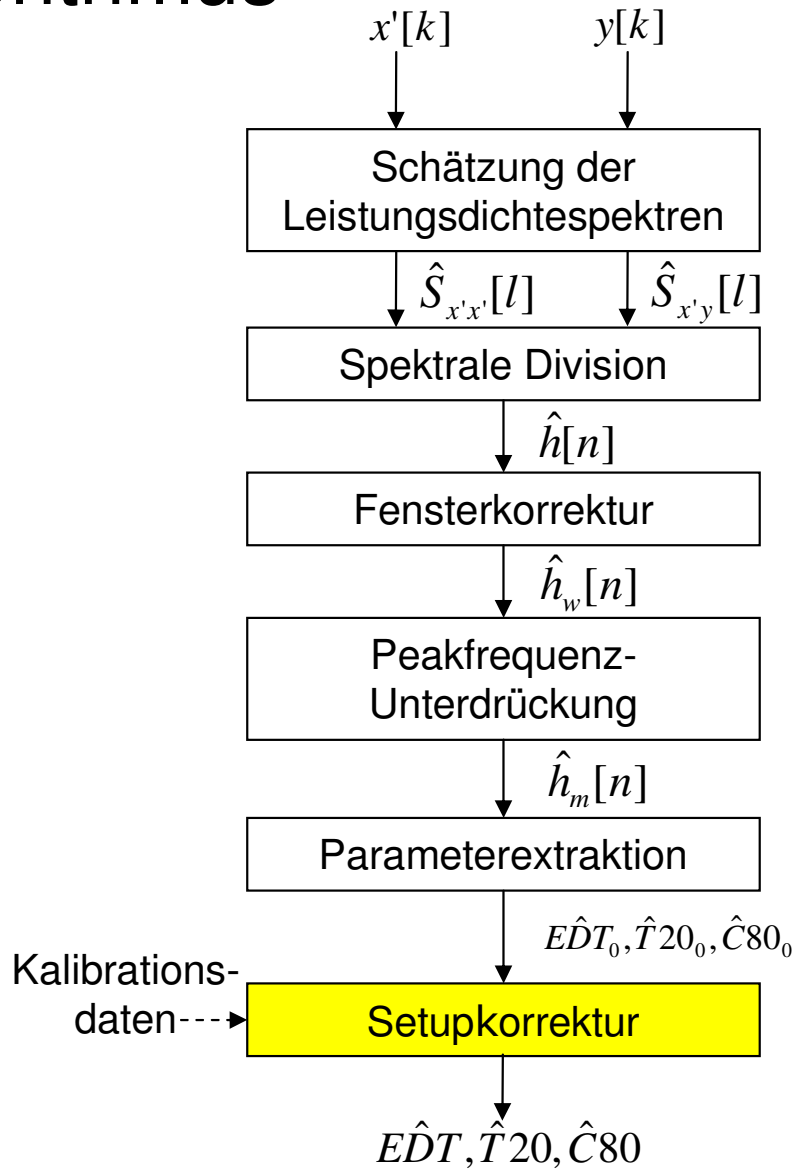
- Detektion im Frequenzbereich
- Absenkung mit schmalbandigen Notch-Filtern

Algorithmus



- Geräuschkorrigierte Schroederkurven
- T20, EDT, C80 in Oktaven

Algorithmus



- Kompensation zeitlicher Verschmierungseffekte
- Koeffizienten aus Kalibrationsmessung

Maximale Mikrofon-Distanz

- Abschätzformel aus Simulationen mit synthetischen Impulsantworten:

$$r_{s,\max} \cong 0.3 \sqrt{Q_{\text{Mikrofon}} Q_{\text{Quelle}}} r_H \quad [m]$$

Q_{Mikrofon} Bündelungsgrad des Mikrofons

Q_{Quelle} Bündelungsgrad der Quelle

r_H Hallradius [m]

Messungen



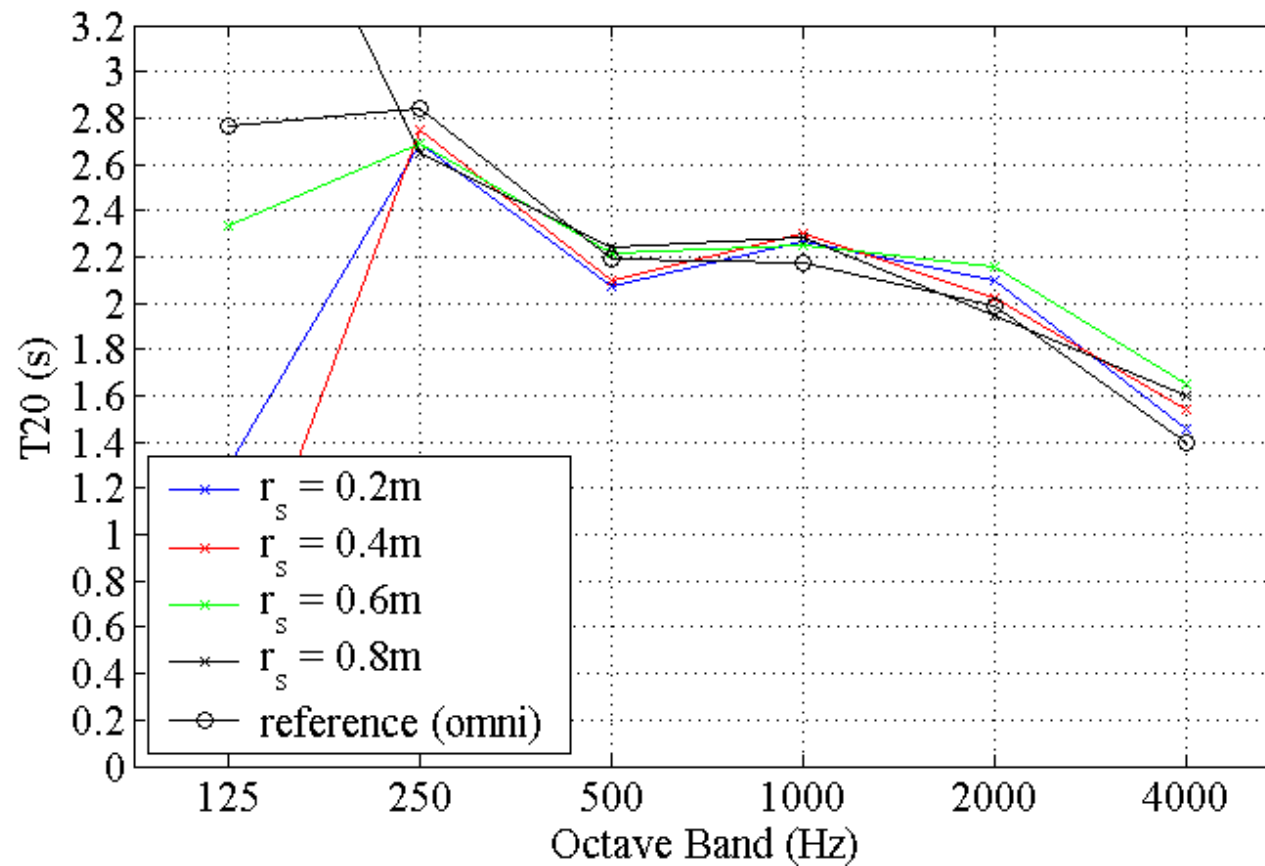
Messungen

- Unbesetzter Musiksaal des Stadtcasino Basel
- Sologesang als natürliche Quelle
- Unterschiedliche Quellenmikrofonabstände (omnidir.)
- Gemessene Parameter:
 - Nachhallzeit T20
 - Early Decay Time
 - Klarheitsmass C80
- Konventionelle Messung als Referenz



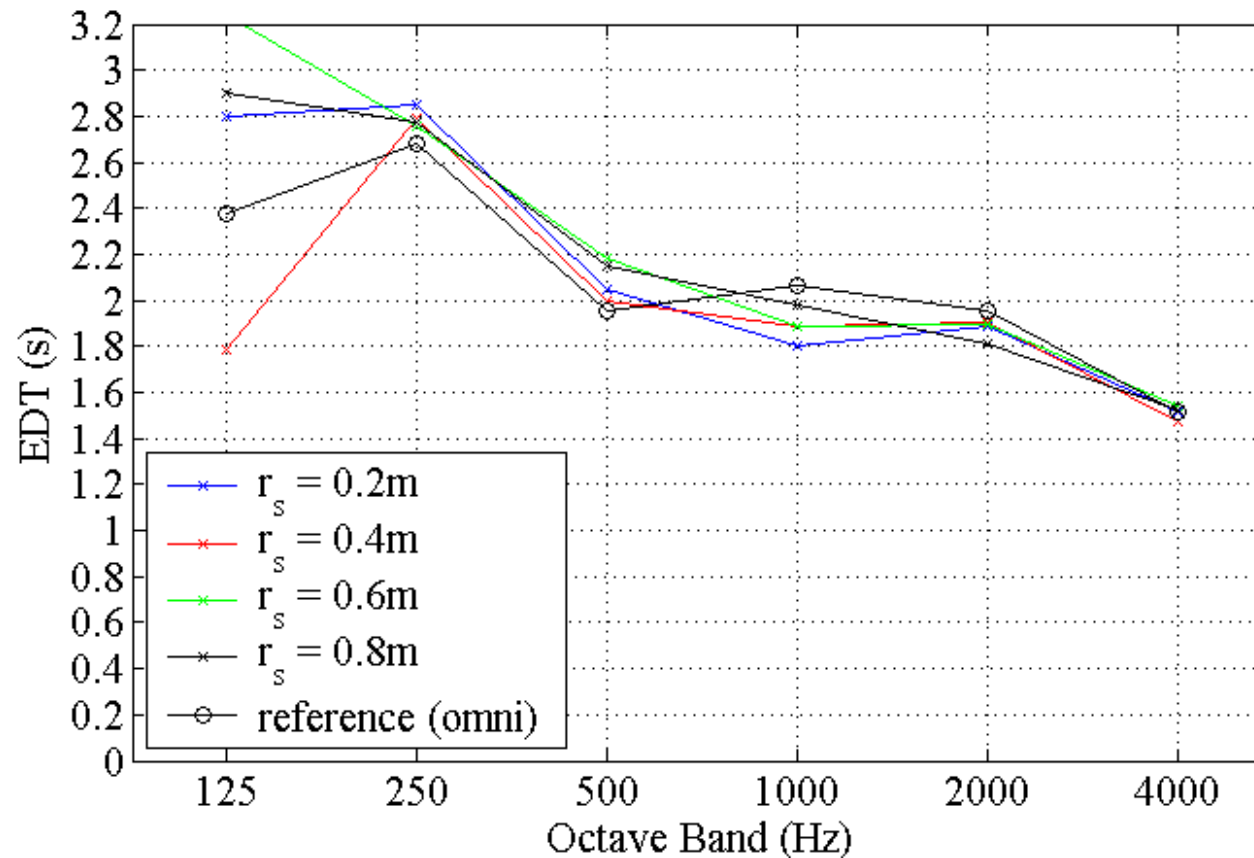
Messungen: Ergebnisse

Nachhallzeit



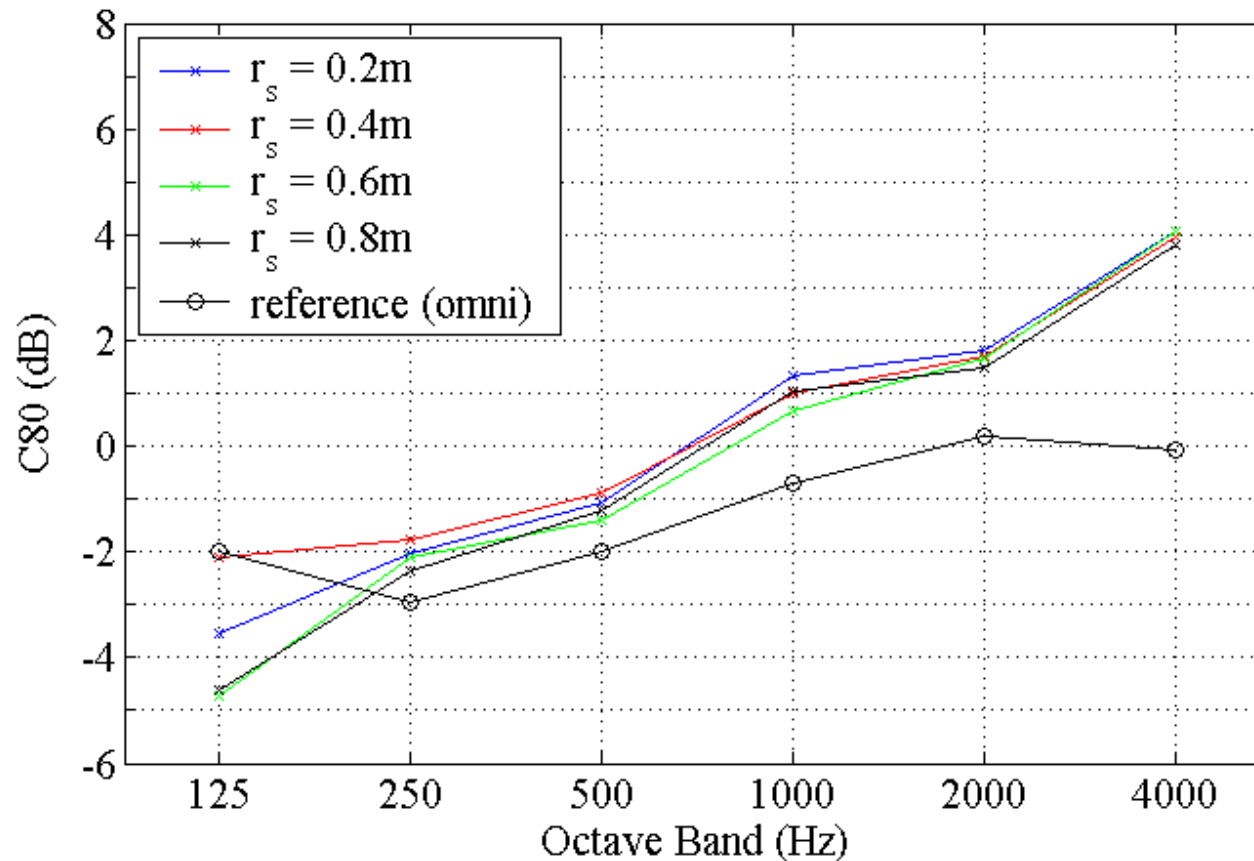
Messungen: Ergebnisse

Early Decay Time



Messungen: Ergebnisse

Klarheitsmass C80



→ Richtwirkung der Quelle

Zusammenfassung und Ausblick

- Passive Messmethode für raumakustische Parameter
- Messungen mit Stimme in Konzertsälen und Opernhäusern ab 250Hz möglich
- Experimente mit anderen natürlichen Quellen
- Praktische Messungen während Konzerten mit Publikum

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Reto Pieren, Empa, Abteilung Akustik
reto.pieren@empa.ch