

# Vergleich von Ergebnissen aus Messung und Simulation in Mehrpersonenbüros

Elmar Schröder<sup>1</sup>, Eva Wassermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: Elmar.Schroeder@mbbm.com

<sup>2</sup> Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: Eva.Wassermann@mbbm.com

## Einleitung

In der ISO 3382-3 [1] wird ein Prüfverfahren zur Messung der Schallausbreitung in Mehrpersonenbüros beschrieben. Seit Erscheinen des Entwurfs der VDI 2569 [2] stehen auch praxistaugliche Empfehlungen für die Kenngrößen dieses Prüfverfahrens zur Verfügung. Für einen Großteil der aktuellen Bauvorhaben erfolgt die Planung bereits nach den Raumakustik-Klassen der VDI 2569 [2]. Damit besteht für die raumakustischen Planer der Bedarf, die relevanten Kenngrößen zuverlässig zu prognostizieren.

Vor einigen Jahren wurden im Rahmen einer Diplomarbeit Untersuchungen zur Prognosegenauigkeit von Software zur Berechnung der Schallausbreitung im Vergleich zu Messergebnissen durchgeführt. Diese Untersuchungen wurden mit den zwischenzeitlich weiterentwickelten Softwareversionen wiederholt. Dabei wurden sowohl einfach beschreibbare Situationen wie ein einzelner Schirm im reflexionsarmen Halbraum als auch komplexe Situationen wie ein in Nutzung befindliches Mehrpersonenbüros betrachtet.

## Hintergrund

Zur Beurteilung der raumakustischen Qualität gem. VDI 2569 [2] werden folgende in ISO 3382-3 [1] definierten Kenngrößen herangezogen:

- Nachhallzeit  $T$  in s
- räumliche Abklingrate der Sprache  $D_{2,S}$  in dB
- A-bewerteter Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m  $L_{p,A,S,4m}$  in dB
- Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche  $L_{NA,Bau}$  in dB (nicht Teil der vorliegenden Untersuchung)

Die ebenfalls in ISO 3382-3 [1] beschriebenen *STI*-basierten Kenngrößen Ablenkungsabstand  $r_D$  und Vertraulichkeitsabstand  $r_p$  werden zur Beurteilung gemäß VDI 2569 [2] nicht berücksichtigt.

Während die Nachhallzeit  $T$  vergleichsweise einfach zu berechnen ist, ist die Ermittlung der Schallausbreitungsparameter  $D_{2,S}$  und  $L_{p,A,S,4m}$  aufgrund von Beugungseffekten komplexer. Wellenphänomene wie Beugung können von den teilchenbasierten Simulationsprogrammen nur überschlägig berücksichtigt werden. Erste Vergleiche zwischen Messergebnissen und Simulationen in Mehrpersonenbüros (ab ca. 2011) zeigten relativ gute Übereinstimmungen bei der Kenngröße  $D_{2,S}$ . Die Abweichungen zwischen gemessenen und simulierten Werten für die Kenngröße  $L_{p,A,S,4m}$  waren jedoch z. T. erheblich.

Eine im Jahr 2012 durchgeführte Diplomarbeit [3] zu diesem Thema zeigte die Einschränkungen der Simulationsprogramme auf. Da die im Rahmen der Diplomarbeit verwendeten Programme zwischenzeitlich weiterentwickelt wurden, waren erneute Vergleiche sinnvoll. Dabei war es nicht Ziel der Untersuchung, die Simulationsergebnisse durch Anpassung und Veränderung von Parametern möglichst genau den Messergebnissen anzupassen. Vielmehr wurden realistische und in allen Programmen dieselben Parameter angesetzt, da Simulationen üblicherweise während des Planungsprozesses eingesetzt werden, wenn noch keine Messergebnisse zum Vergleich zur Verfügung stehen.

## Vergleich von Simulationen und Labormessungen – 2012

Im Zuge der Diplomarbeit [3] wurden umfangreiche Messungen einer stark vereinfachten Übertragungssituation im reflektionsarmen Halbraum mit nur einem Schirm in unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt, um den Einfluss von Streuung, Beugung und Reflektionen an flankierenden Bauteilen zu untersuchen. Eine Auswahl dieser Messungen wurde in zwei Simulationsprogrammen (A und B) ebenfalls untersucht und mit den Messergebnissen verglichen.

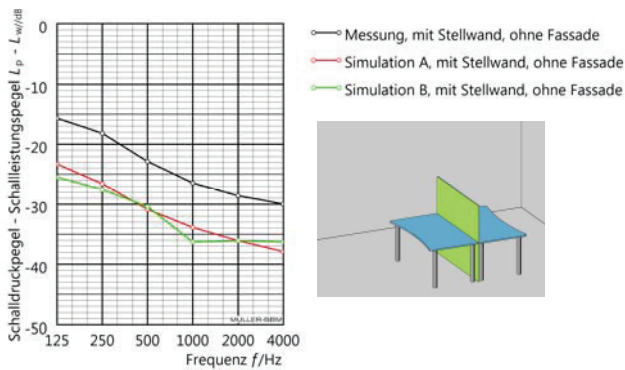
Für Messung und Simulation wurden zur räumlichen Mittelung 18 Mikrofonpositionen verwendet (siehe Markierungen am Boden, Abbildung 1). Die Ergebnisse wurden energetisch gemittelt. Es wurde jeweils der um die Schalleistung der Quelle korrigierte Schalldruckpegel ( $L_p - L_w$  in dB) ausgewertet und verglichen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind beispielhaft die Ergebnisse folgender Konfigurationen dargestellt:

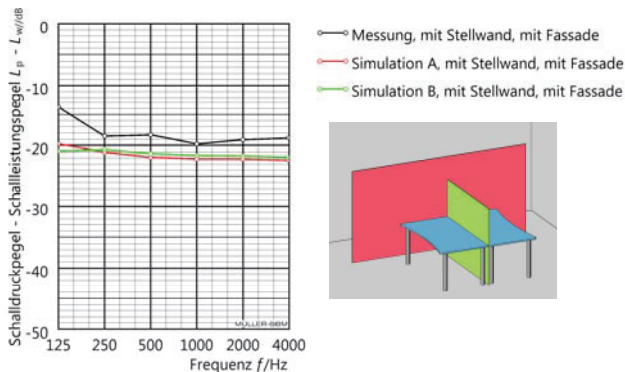
- eine Stellwand ohne flankierende Fassade
- eine Stellwand mit reflektierender flankierender Fassade (Spalt zwischen Fassade und Stellwand 400 mm)
- eine Stellwand mit schwach schallabsorbierender Fassade (Spalt zwischen Fassade und Stellwand 400 mm)



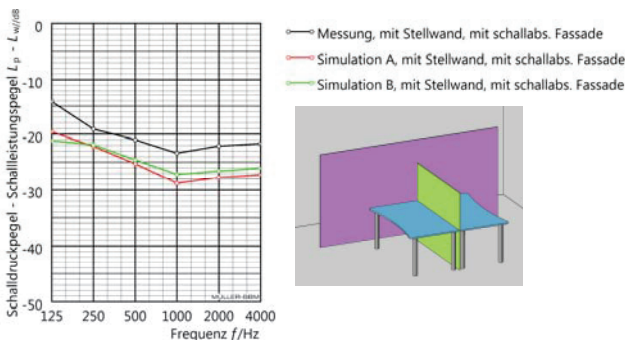
**Abbildung 1:** Beispielhafter Prüfaufbau im reflektionsarmen Halbraum der Müller-BBM GmbH mit einer Stellwand ( $h = 1,50$  m), Sender- und Empfängerpositionen ( $h = 1,20$  m) sowie einer flankierenden „Fassade“.



**Abbildung 2:** Messung/ Simulation: Stellwand ohne flankierende Fassade [3].



**Abbildung 3:** Messung/ Simulation: Stellwand mit reflektierender flankierender Fassade [3].



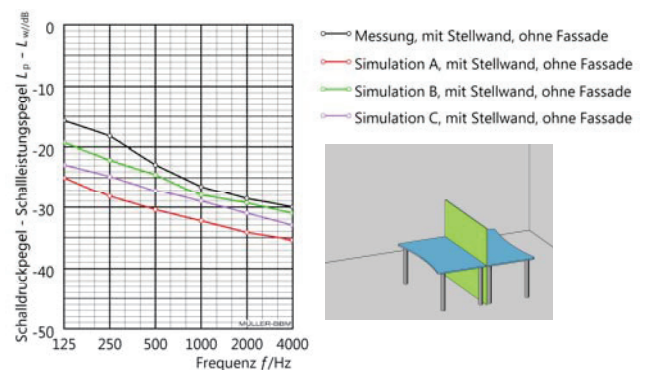
**Abbildung 4:** Messung/ Simulation Stellwand: mit schwach schallabsorbierender flankierender Fassade [3].

Es wird deutlich, dass beide Simulationsprogramme A und B den Frequenzgang sehr gut wiedergeben können. Die Absolutpegel weichen jedoch bis zu 9 dB ab. Je mehr eine Übertragungssituation von (in diesem Fall seitlichen) Reflektionen dominiert wird, desto geringer sind die Abweichungen zwischen Simulation und Messung. Letzteres gilt nicht für den Bereich um 125 Hz, da hier weiterhin die Beugung dominierend ist.

### Vergleich von Simulationen und Labormessungen – 2018

Ausgewählte Konfigurationen aus der Diplomarbeit 2012 [3] wurden mit den beiden dort verwendeten Programmen A und B in der jeweils aktuellen Version 2018 wiederholt. Zusätzlich wurde ein weiteres Programm C in den Vergleich aufgenommen.

Zunächst wurde die einfachste Konfiguration (eine Stellwand ohne flankierende Fassade) in allen drei Programmen berechnet und den Messergebnissen aus 2012 gegenübergestellt.



**Abbildung 5:** Messung [3]/ Simulation: Stellwand ohne flankierende Fassade.

Es zeigt sich, dass sich die Ergebnisse aus Programm A gegenüber den Simulationen im Jahr 2012 kaum verändert haben, während sich die Ergebnisse aus Programm B deutlich an die Messergebnisse angenähert haben. Die Simulationsergebnisse von Programm C liegen zwischen denen von den Programmen A und B.

Von dem Programm A ist bekannt, dass jeweils nur die Beugungskante mit dem geringsten Laufzeitunterschied im Vergleich zum Direktschall berücksichtigt wird. Dies ist in den meisten Fällen, wie auch hier vorliegend, die horizontale obere Kante der Stellwand. Um die Übertragungssituation weiter zu vereinfachen und nur diese eine Beugungskante auch in den Messungen zu berücksichtigen, wurde die Stellwand bis in die schallabsorbierenden Wände des reflektionsarmen Raumes verlängert. So können die vertikalen Beugungskanten als vernachlässigbar betrachtet werden.

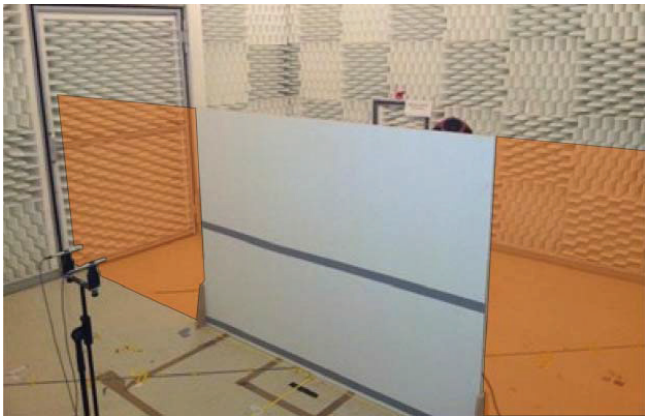


Abbildung 6: Funktionsprinzip der „unendlich“ breiten Stellwand (Messung und Simulation ohne Tische)

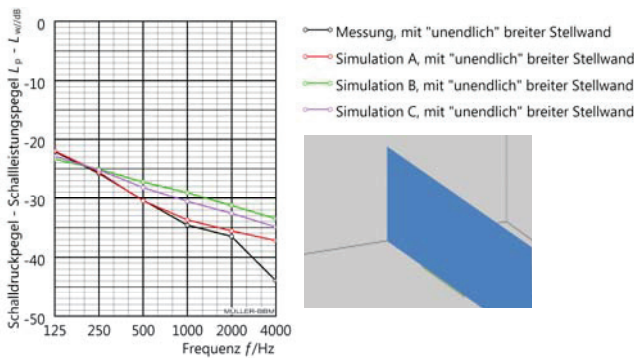


Abbildung 7: Messung (2012) [3] und Simulation Stellwand mit unendlich breiter Stellwand (2018).

Die Ergebnisse aus Programm A zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen mit Ausnahme der 4.000 Hz Oktave. Dies ist auf die Richtcharakteristik der Quelle zurückzuführen. Während in den Simulationsprogrammen standardmäßig eine Quelle verwendet wurde, die frequenzunabhängig eine kugelförmige Richtcharakteristik aufweist, zeigt der für die Messungen verwendete Dodekaeder ab 2.000 Hz die charakteristische Keulenbildung durch die einzelnen Lautsprecher auf der Dodekaederoberfläche. Aufgrund der quasi reflektionsfreien Übertragung kommt es zu dem deutlich sichtbaren Einfluss, der jedoch in realen Büros aufgrund der vielen Streukörper im Nahbereich der Quelle keine Bedeutung mehr hat.

In den Programmen B und C wird der Pegel, d. h. die Wirkung der Beugung an der einzelnen Kante überschätzt.

### Vergleich von Simulationen und Büromessungen – 2018

Abschließend wurden Messungen in einem eingerichteten und bezogenen Mehrpersonenbüro in den drei Simulationsprogrammen A, B und C berechnet. Die Messungen in dem Büro waren im Abstand eines Jahres wiederholt worden. In den Bereichen, wo sich die Möblierung nicht verändert hatte, wurden sehr gut übereinstimmende Messergebnisse gewonnen.

Das Büro wies folgende Ausstattungsmerkmale auf:

- ca. 345 m<sup>2</sup> Grundfläche

- 41 Standardarbeitsplätze
  - absorbierende Tischaufsatzwände ( $h = 41$  cm) mit Glasaufsätzen ( $h = 20$  cm) Gesamthöhe 135 cm ab OK Fußboden
  - seitlich schallabsorbierende Stellwände ( $h = 120$  cm)
- Nadelvliessteppichboden
- Betondecke, davon abgehängte Deckensegel aus perforiertem Metall (Kühlfunktion)

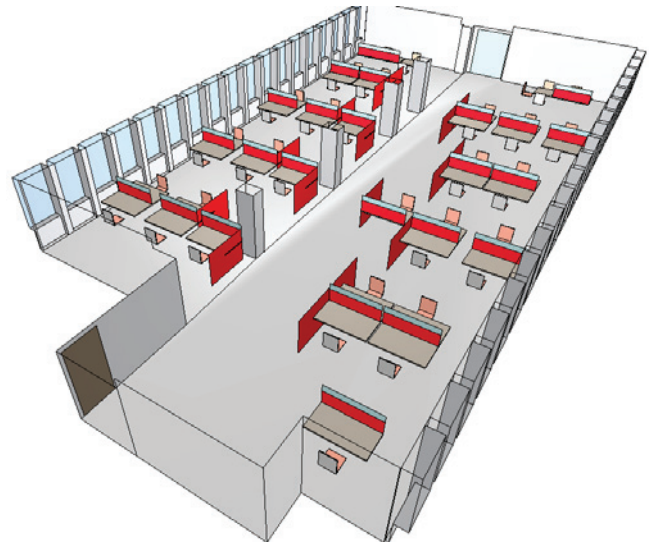


Abbildung 8: Modell des untersuchten Mehrpersonenbüros.

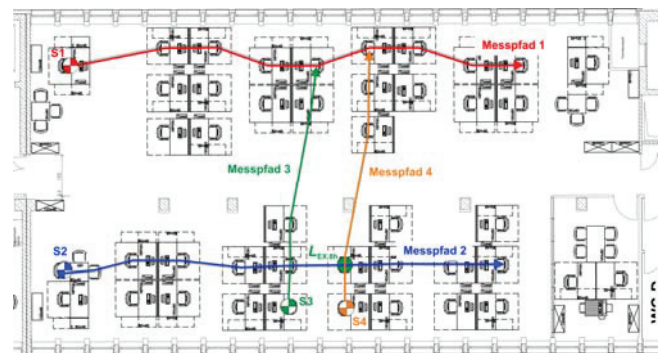


Abbildung 9: Positionen der Schallquellen und Verlauf der Messpfade im untersuchten Mehrpersonenbüro.

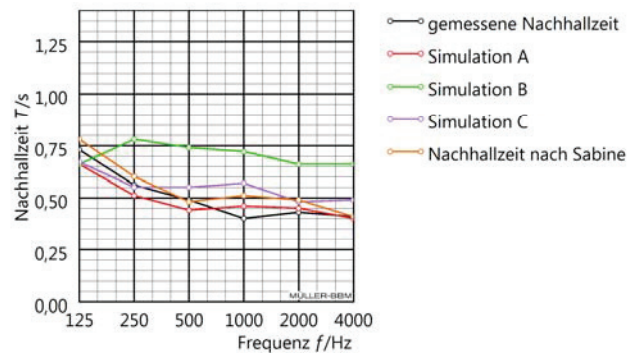


Abbildung 10: Gemessene und simulierte Nachhallzeiten in dem untersuchten Mehrpersonenbüro. Zusätzlich ist die Nachhallzeit nach Sabine dargestellt.

Die Nachhallzeiten der Programme A und C sowie die Sabine'sche Nachhallzeit zeigen eine gute bis zufriedenstellende Übereinstimmung mit der Messung während das Programm B deutlich abweicht.

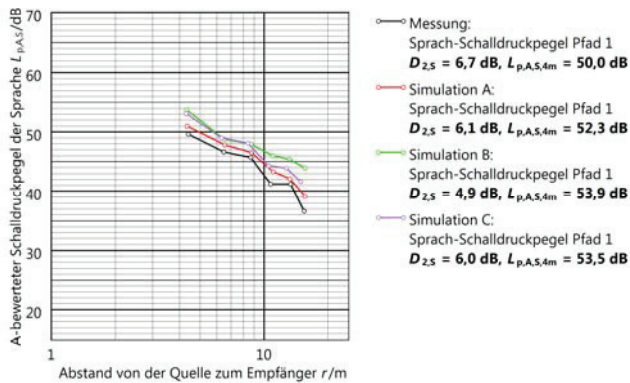


Abbildung 11: Gemessene und simulierte Pegelverläufe am Messpfad 1.

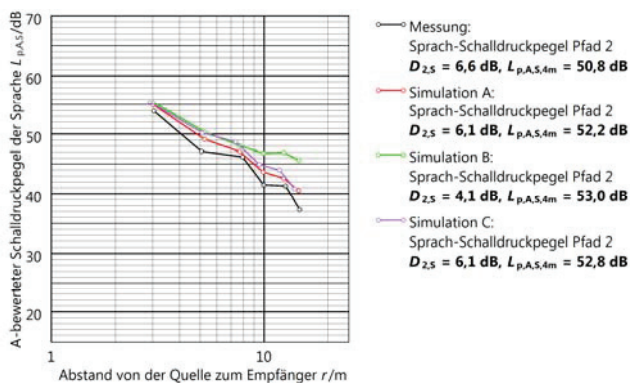


Abbildung 12: Gemessene und simulierte Pegelverläufe am Messpfad 2.

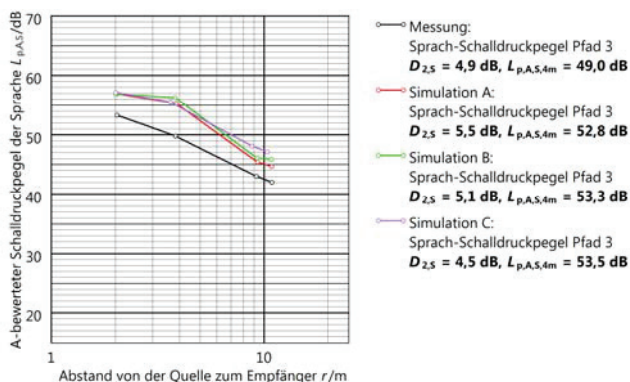


Abbildung 13: Gemessene und simulierte Pegelverläufe am Messpfad 3.

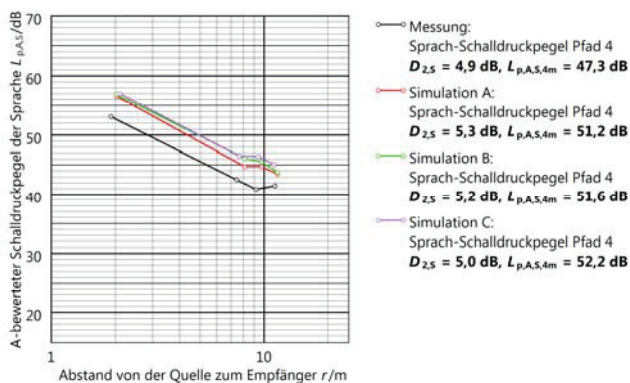


Abbildung 14: Gemessene und simulierte Pegelverläufe am Messpfad 4.

Die Simulationsprogramme A und C zeigen zumindest hinsichtlich des Pegelverlaufs entlang der beiden Längspfade 1 und 2 eine relativ gute Übereinstimmung, während die

Pegelverläufe aus Programm B mit zunehmender Entfernung deutlich von der Messung abweichen. Bei den Querpfaden 3 und 4 sind die Abweichungen erheblich. Ein möglicher Grund hierfür ist der streifende Schalleinfall in Bezug auf die schallabsorbierenden Tischaufsätze. Der in den Simulationsprogrammen angesetzte Schallabsorptionsgrad wurde im diffusen Schallfeld (Hallraum) ermittelt und kann bei streifendem Schalleinfall deutlich davon abweichen.

## Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die untersuchten Programme liefern ähnliche Ergebnisse.
- Die Programme A und C zeigen eine gute Übereinstimmung im Verlauf des Schalldruckpegels und damit auch bei der Kenngröße  $D_{2,5}$ .
- Die Abweichungen im Absolutpegel und damit bei der Kenngröße  $L_{p,A,S,4m}$  sind weiterhin zu hoch. Dabei erscheinen die Abweichungen mit ca. 1,5 ... 2,0 dB unter Berücksichtigung der Komplexität der Übertragungssituation zunächst nicht allzu hoch. Bei einer Beurteilung nach VDI 2569 [2] kann diese Abweichung jedoch eine ganze Klasse ausmachen. Die Anforderung an die Rechengenauigkeit der Programme und die Eingabe der Parameter ist damit sehr hoch.

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 3382-3: Akustik - Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 3: Großraumbüros. 2012-05
- [2] VDI-Richtlinie 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Entwurf 2016-02
- [3] Steigmiller, Jonas (2012): Untersuchung des Einflusses von Streuung und Beugung auf die Schallübertragung über Schirme durch Messung und rechnerische Simulationen. Diplomarbeit, Hochschule Rosenheim