

# Einige Ergebnisse von raumakustischen Vergleichsmessungen in der Schweiz

Kurt Eggenchwiler<sup>1</sup>, Rainer Machner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empa Materials Science and Technology, Abteilung Akustik, CH-8600 Dübendorf, Schweiz, Email: kurt.eggenchwiler@empa.ch

<sup>2</sup> FH Oldenburg, Hörtechnik und Audiologie, 26121 Oldenburg, Deutschland, Email: rainer.machner@audio.fh-oldenburg.de

## Einleitung

In verschiedenen Richtlinien und Normen werden Anforderungen an die Raumakustik und an Beschallungsanlagen formuliert, welche sich messtechnisch überprüfen lassen (siehe z.B. [1], [3] und [2]). Es stellt sich die Frage, wie gross die Messunsicherheit der verwendeten Verfahren ist, z.B. wenn verschiedene Messteams mit verschiedenen Messverfahren im gleichen Raum mit einer Beschallungsanlage Messungen durchführen. Die hier dokumentierten Vergleichsmessungen wurden von der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik SGA und der Swiss Section of Audio Engineering Society AES angeregt und von der Abteilung Akustik der Empa organisiert, ausgewertet und publiziert. [4]

## Durchführung der Vergleichsmessungen

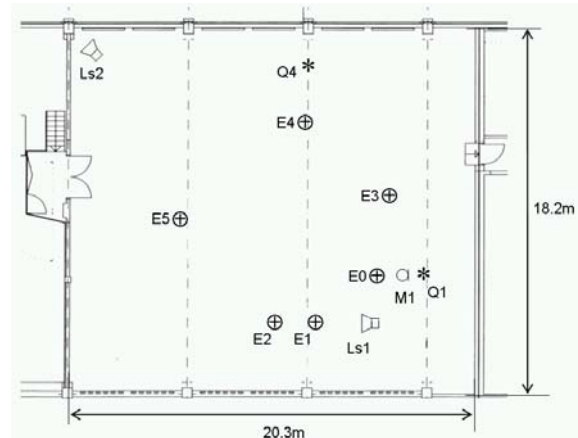
An den Vergleichsmessungen nahmen 15 Teams mit je 1-2 Personen aus der Schweiz teil. Nicht alle Teilnehmer führten alle Messungen durch. Die Vergleichsmessung war auch offen für Teilnehmer, die mit ihren Messgeräten nur die Nachhallzeit messen konnten. Einzelne Teams wiederholten die Messungen mit anderen Messgeräten.

Die Messungen wurden in einem Raum durchgeführt, in welchem sich ein kleines Museum für ältere Prüfmaschinen befindet. Der Raum hat einen nicht ganz quadratischen Grundriss mit einer Länge von rund 20 Meter und einer Breite von rund 18 Meter. Die Höhe beträgt 4.2 Meter, womit sich ein Volumen von rund 1'500 m<sup>3</sup> ergibt (siehe Abbildung 1). Wegen der vielen schallharten Flächen ergibt sich ein relativ langer Nachhall. Die verschiedenen Ausstellungsgegenstände sorgen für eine gute Streuung des Schalls.

Die Teams wurden auf den Umstand aufmerksam gemacht, dass mit wechselnden Störgeräuschen gerechnet werden musste (40 - 70 dB(A)).

Die im Raum aufgebaute einfache Beschallungsanlage bestand aus zwei Lautsprechern Ls1 und Ls2, einem Mikrofon M1, einem Mikrofonverstärker und einem Leistungsverstärker. Es waren keinerlei andere Geräte wie Equalizer, Dynamikkompressor etc. im Einsatz. Der Lautsprecher Ls1 wurde so eingesetzt, dass in dessen Nähe eine gute Sprachverständlichkeit erwartet werden durfte. In einer Raumecke wurde der Lautsprecher Ls2 platziert. Er hatte nur die Aufgabe, die Sprachverständlichkeit bei gewissen Messpunkten zu vermindern, indem er ein das Signal relativ ungerichtet in den Raum abstrahlte.

Das Messprogramm wurde wie folgt gestaltet:



**Abbildung 1:** Grundriss des Raumes (H=4.2m). Ls1 und Ls2: Lautsprecher der Beschallungsanlage. Q1: Position für den künstlichen Sprecher. Q4: Position der Quelle für die Messungen der raumakustischen Masse gemäss ISO 3382. E0 - E5: Empfangspunkte.

- **Nachhallzeit** gemäss ISO 3382 [5] gemittelt über den ganzen Raum ( $T_{20}$  und  $T_{30}$ ) bei freier Wahl der Messpositionen.
- **Sprachverständlichkeit.** Die Messung erfolgte zuerst bei ausgeschalteter Beschallungsanlage. Bei eingeschalteter Anlage wurden zwei Situationen erfasst: Schallquelle bei Q1, Abstand zum Mikrofon der Beschallungsanlage 0.3 m; direkte Einspeisung des Messsignals in die Anlage. Parameter: STI, STI(mod), STI(male), STI(female), STIPA, RASTI und %ALcons; Messpunkte E0 bis E5.
- **Frequenzgang** bei den Messpunkten E0 - E5
- **Raumakustische Parameter** gemäss ISO 3382 [5] bei E1 - E5 für die Quellenposition Q4.
- **Temperatur und Feuchte**

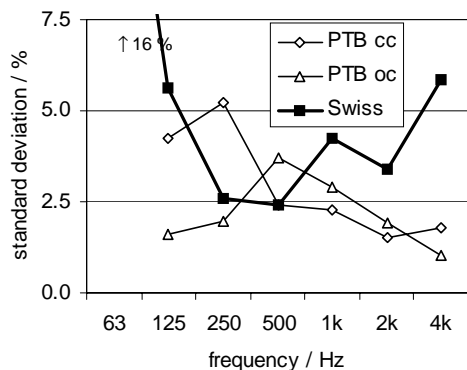
Im folgenden sind einige Ergebnisse für die Nachhallzeit und die Sprachverständlichkeit angegeben. Dabei wurden hier Teilnehmer ausgeblendet, welche eine offensichtlich falsche Einstellung der Messgeräte vorgenommen hatten. Weitere Ergebnisse und Diskussionen finden sich in [4].

## Nachhallzeit

Ziel war der Vergleich des Mittelwerts der Nachhallzeit über alle Messpositionen, so wie es in der Praxis für  $T_{20}$  und  $T_{30}$  der Fall ist. In der Literatur wurden keine vergleichbaren Daten gefunden, weil jeweils auf die Ergebnisse an einzelnen Empfangspunkten fokussiert wurde.

Für einen Vergleich mit den hier dokumentierten Ergebnissen wurden deshalb die Daten der Messungen des dritten Rundversuchs zur Computersimulation [6] entsprechend ausgewertet (Musikaufnahmestudio der PTB, Raumvolumen von rund 400 m<sup>3</sup>, Nachhallzeit bei offenen und geschlossenen Vorhängen: rund 1.1 resp. 0.8 Sekunden).

Ein Vergleich der hier dokumentierten Versuche und der Messungen im PTB findet sich in Abbildung 2. Die mittlere Nachhallzeit der Teilnehmer der Schweizer Vergleichsmessungen ist in Tabelle 1 aufgeführt.



**Abbildung 2:** Prozentuale Standardabweichung der Messungen am PTB bei offenem (oc) und geschlossenem (cc) Vorhang im Vergleich mit den Ergebnissen der hier dokumentierten Schweizer Vergleichsmessungen (17 Messungen).

63	125	250	500	1000	2000	4000	[Hz]
2.0	1.6	1.8	1.8	1.7	1.7	1.4	[s]

**Tabelle 1:** Mittlere Nachhallzeit  $T_{30}$  der Teilnehmer

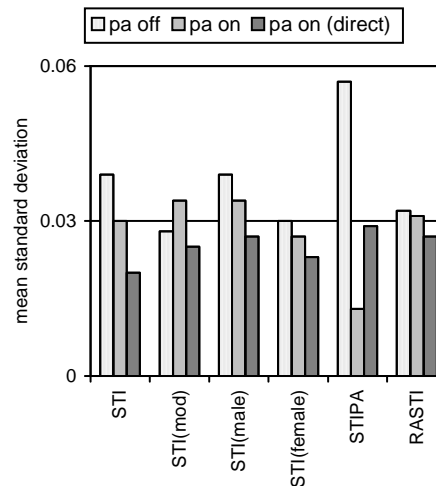
Zur Beurteilung der Ergebnisse kann der gerade wahrnehmbare Unterschied von  $T_{30}$  bei 1 kHz von 5 % benutzt werden. Es zeigt sich, dass im Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz die Standardabweichung kleiner ist als dieser Wert. Bei 125 Hz und 4 kHz liegt sie gerade knapp darüber, bei 63 Hz ist sie mit rund 16 % aber sehr gross. Werden die Standardabweichung von  $T_{30}$  mit  $T_{20}$  verglichen, zeigen sich bei  $T_{20}$  deutlich geringere Streuungen. Dies weist darauf hin, dass einige der Teilnehmer wegen zu schwacher Leistungen der Lautsprecher Probleme mit dem Grundgeräusch hatten (besonders im Tieftonbereich). Ein Grund für die mehrheitlich höhere Standardabweichung der hier vorgestellten Ergebnisse mag darin liegen, dass die Teilnehmer des PTB-Versuchs mit festen Positionen von Mikrofonen und Lautsprechern arbeiteten. Weiter ist zu erwähnen, dass sich praktisch alle Teilnehmer an die Norm ISO 3382 gehalten haben.

## Sprachverständlichkeit

Die an den Positionen E0 bis E5 gemessenen Werte für den Speech Transmission Index STI lagen etwa im Bereich zwischen 0.35 und 0.85. Bei der Interpretation der Messergebnisse muss die sehr unterschiedliche Zahl von Teilnehmern beachtet werden (STI: 12, STI(mod):5,

STI(male), STI(female): 5, STIPA: 4, RASTI: 11). Die Streuung der Messwerte ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Streuung ist bei ausgeschalteter Anlage am grössten. Die Teilnehmer hatten klar die Aufgabe, die Situation ohne Störgeräusch zu erfassen, was durch Abwarten von ruhigen Perioden oder durch grössere Mittelung bei MLS möglich gewesen wäre. Der Einfluss des Störgeräusches wurde aber offensichtlich unterschätzt.



**Abbildung 3:** Mittlere Standardabweichung für verschiedene Situationen des Beschallungssystems (ausgeschaltet: pa off; eingeschaltet: pa on; direkt eingespielt: pa on (direct)). Die horizontale Linie zeigt bei 0.03 zeigt die Wahrnehmbarkeitsschwelle.

## Dank

Die Arbeit wurde unterstützt durch einen Forschungsbeitrag der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik SGA.

## Literatur

- [1] IEC 60849:2002, Sound systems for emergency purposes.
- [2] DIN 18041:2004-05. Hörsamkeit von kleinen und mittleren Räumen.
- [3] K. Eggenschwiler, V. Desarnaulds, Th. Imhof, W. Köller, D. Norman. Beschallungsanlagen für Sprache. Empfehlungen für Architekten und Bauherrschaften, Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA, 2001, <http://www.sga-ssa.ch>
- [4] K. Eggenschwiler, R. Machner, Intercomparison measurements of room acoustical parameters and measures for speech intelligibility in a room with a sound system, J. Audio Eng. Soc., Vol. 53, No. 3, 2005 March
- [5] ISO 3382:1997 Acoustics - Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters
- [6] I. Bork, Simulation and Measurement of Auditorium Acoustics - The Round Robin on Room Acoustical Simulation, Proceedings of the Institute of Acoustics, Volume 24, Part 4, 2002 und [http://www.ptb.de/en/org/1/17/173/measurementsrriii\\_public.zip](http://www.ptb.de/en/org/1/17/173/measurementsrriii_public.zip)