Simulation des Publikums durch spezielle Polyester-Textilien bei der raumakustischen Messung von Konzertsälen in der Praxis

Dipl. Phys. K.-H. Lorenz
Adviesbureau Peutz & Assoc. B.V. NL-6585 ZH Mook, Niederlande; Email: mook@peutz.nl
Dipl. Ing. F. Breuer
Peutz Consult GmbH, Kolberger Strasse 19, D-40599 Düsseldorf; Email: dus@peutz.de

Einleitung

Der primäre Einsatzzweck von Konzertsälen sind Veranstaltungen *mit* Publikum. Gerade die Messwerte besetzter Auditorien sind für die akustischen Eigenschaften kennzeichnend und somit von besonderem Interesse. Idealerweise sind daher Messungen raumakustischer Parameter des besetzten Zustandes erforderlich. Diese jedoch stoßen meist auf erhebliche organisatorische Probleme. Die gängige Praxis verlässt sich somit auf die Messung der Parameter des unbesetzten Saales und eine Extrapolation der Daten zur Berücksichtigung der Effekte des Publikums.

Eine Alternative ist die Verwendung speziellen Absorptionsmaterials, um den Einfluss des Publikums, insbesondere die Absorptionseigenschaften zu simulieren [1]. Um eine solche Messmethode standardmäßig einsetzen zu können, und die Eignung der als Simulationsstoff verwendeten Textilien zu prüfen, sind Validationsmessungen in realen Sälen allein mit Bestuhlung, besetzt mit Publikum sowie mit einer entsprechenden Fläche Absorptionsstoff erforderlich. Im folgenden werden nach den grundlegenden Eigenschaften des Simulationsstoffes diese Validationsmessungen und der praktische Einsatz eines speziellen Polyesterstoffes als Publikumssimulation bei raumakustischen Messungen von Konzertsälen behandelt.

Untersuchungen des Simulationsstoffes ‚Kawashima ka 0172'

Zunächst wurden die Eigenschaften des hier wie auch in [1] verwendeten Simulationsstoffes ‚Kawashima ka 0172' bestimmt. Es handelt sich hierbei um eine Streichgarntextilie aus 100 % Polyester, einem Flächengewicht von ca. 300 g/m^2 und einer Dicke von 1 mm, die in Rollen von 57 m Länge und 1 m Breite konfektioniert ist.

Um eine Eignung des Materials zu prüfen, wurde von mehreren Proben des Stoffes der Strömungswiderstand für Luft mit der Gleichstrommethode nach DIN 52213 zu 790 Pa s/m bestimmt, was in dem in Referenz [1] genannten Bereich liegt.

Daraufhin wurde die Variation der Absorptionseigenschaften des Materials im Hallraum konform ISO 354:1985 in diversen Konfigurationen untersucht, um die geeignetste Anordnung zur Simulation von Publikum zu finden. Gemessen wurde die Absorption des über die Sitze gebreiteten Stoffes im Vergleich zur Absorption der Bestuhlungen allein und mit 16 Personen u.a. mit 8 m^2 flach auf 40cm hohem Gitter mit Rahmen (—), 8 m^2 flach auf 16 Bürostühlen mit 90cm Rahmen (..-..-..) sowie 9m^2 gewellt auf 16 Kunststoffstühlen mit 90cm Rahmen auf Lücke (….). Die beste Übereinstimmung mit dem besetzten Zustand lieferte die letztgenannte Konfiguration (vgl. Abb. 1).

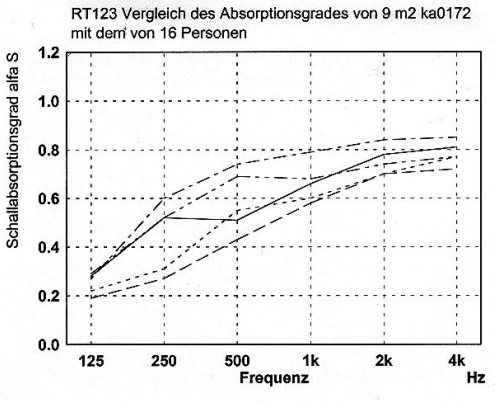

Abbildung 1: Absorptionsgrad des Materials ka 0172 im Vergleich mit Personen auf Stühlen

Validierung des Publikumssimulationseffektes

Um den Effekt des Materials ka 0172 unter Praxisbedingungen zu prüfen, wurden in drei Räumen unterschiedlicher Größe (Hallraum der Peutz-Gruppe, kleiner Konzertsaal {Ev. Stadtkirche Wermelskirchen}, großer Hör- und Konzertsaal {Aula der Universität zu Köln}) und Besetzung Messungen von Nachhallzeit und Impulsantworten an diversen Sende- und Empfangspositionen durchgeführt, und zwar im unbesetzten Zustand nur mit Bestuhlung, teilbesetzt mit Publikum und mit einer äquivalenten Fläche Absorptionsstoff versehen. Gemessen wurden Nachhallzeiten mit Luftballons und rosa Rauschpulsen.

Abbildung.2 Evangelische Stadtkirche Wermelskirchen im besetzten Zustand

Abbildung 3: Evangelische Stadtkirche Wermelskirchen mit abgedeckter Bestuhlung

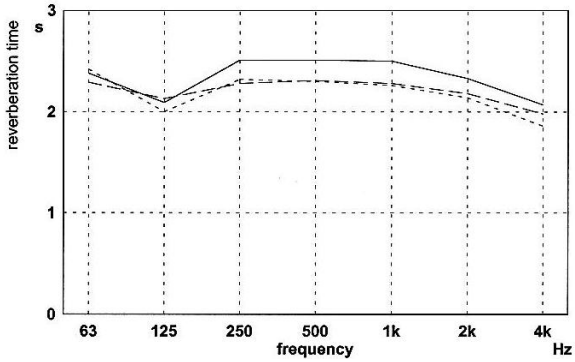

Abbildung 4: Ev. Stadtkirche Wermelskirchen, Nachhallzeiten unbesetzt (—), mit 135 Personen besetzt (…) und mit ca. 70 m^2 ka 0172 (_ _ _)

In allen drei Sälen betrug die Abweichung der Nachhallzeit des mit Stoff belegten Saales vom besetzten Zustand weniger als 3%. Mit Hilfe eines Maximalfolgenmesssystems (WINMLS) wurden (binaurale) Impulsantworten an vergleichbaren Positionen der drei Säle gemessen und die geglätteten ETCs verglichen.

Abbildung 5:
Aula Uni Köln,
Besetzt mit 352 Personen

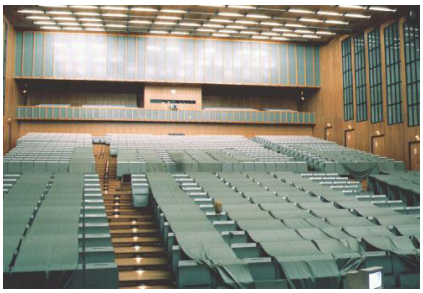

Abbildung 6:
Aula Uni Köln
Bestuhlung abgedeckt

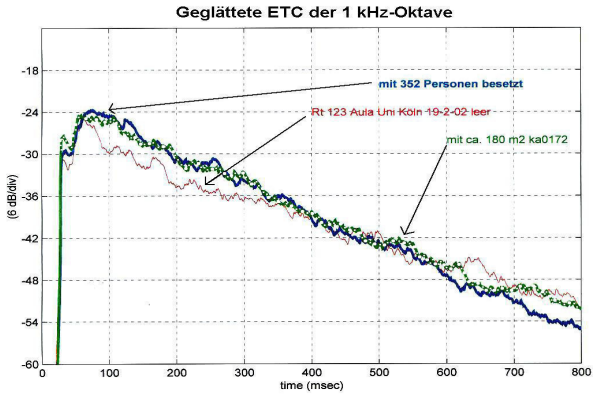

Abbildung 7: Aula Uni Köln, geglättete ETCs des rechten Kunstkopfmikrofons, unbesetzt (dünn), mit 352 Personen besetzt (dick) und mit ca. 180 m² ka 0172 (gepunktet) versehen

In allen drei Sälen ließ sich die globale Form der geglätteten ETC des besetzten Zustandes mit dem Material ka 0172 annähern. Natürlich kann eine exakte Modellierung der an der Publikumsfläche stattfindenden Reflexionen nicht gelingen, da die Geometrie der als Streukörper wirkenden Zuhörer vom Simulationsstoff nicht nachgebildet wird. Die Abweichung von besetztem Zustand verglichen mit dem Simulationsstoff sind jedoch wesentlich geringer als verglichen mit dem unbesetzten.

Die so gemessenen binauralen Impulsantworten der Zustände mit Publikum bzw. Simulationsstoff gleichen einander auditiv weitgehend und unterscheiden sich deutlich von denen des unbesetzten Zustandes. Sie stehen für weitere Auralisationstests zur Verfügung. Weiterhin wurden aus den gemessenen Impulsantworten die Parameter C_{80}, D_{50}, STI und ALcons [2] berechnet und verglichen. Dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der Werte des besetzten Zustandes mit dem, in welchem ka 0172 als Simulationsstoff verwendet wurde: Auch die Parameter C_{80}, D_{50}, AL_{cons}, und STI werden durch eine der Besetzung mit Personen entsprechende, über die Bestuhlung gebreitete Fläche ka0172 ausreichend gut angenähert.

Saal	Zustand	C_{80} /dB	D_{50} /%	STI	AL_{cons} /%	T_{30}/s (1 kHz)
Hallraum Peutz	Leer mit 16 Kunststoffstühlen	-6.6	11	0.32	30	6.60
	Besetzt mit 16 Personen	-4.6	17	0.38	22	3.46
	Mit ca. 9 m² ka 0172	-3.6	14	0.40	20	3.55
Ev. Stadtkirche Wermelskirchen	Leer mit Holzbänken	-3.6	15	0.46	14	2.50
	Besetzt mit 135 Personen	-2.7	19	0.48	13	2.26
	Mit ca. 70 m² ka 0172	-1.8	21	0.51	11	2.28
Aula Univ. Köln	Leer mit Holzbestuhlung	0.9	32	0.53	10	2.05
	Besetzt mit 352 Personen	4.3	45	0.62	6	1.82
	Mit ca. 180 m² ka 0172	1.9	37	0.54	9	1.78

Tabelle 1: Vergleich der Parameter C_{80}, D_{50}, STI, ALcons und T_{30} in den drei Sälen jeweils im unbesetzten und besetzten Zustand, sowie mit Publikumssimulationsstoff ka 0172

Schlussfolgerungen

Das hier verwendete Simulationsmaterial ist relativ kostengünstig, leicht transportabel und akustisch unanfällig gegen Verschmutzung, seine Anwendung als Publikumssimulationsstoff praktikabel. Es ermöglicht eine gute Simulation der Absorption des Publikums, der Nachhallzeit und des Verlaufes der geglätteten ETC des besetzten Zustandes der gemessenen Konzertsäle. Die Parameter C_{80}, D_{50}, AL_{cons} und STI der gemessenen Impulsantworten der besetzten Säle werden gut durch die Verwendung des Stoffes angenähert. Die zeitliche Abfolge, Amplitude und der spektrale Gehalt der Rückwürfe in der Publikumsfläche können nicht exakt simuliert werden. Eine Validationsmessung in einem Saal mit hoher Zuhörerzahl von mindestens 1200 Zuhörern ist derzeit in Planung. Die Verwendung dieser Technik bietet darüber hinaus die Möglichkeit der gezielten temporären Anpassung von halligen Raumakustiken an optimale Konzert-, Probe- und Aufnahmebedingungen. Weitere Beispiele für bereits mit dieser Technik gemessene Konzertsäle sind u. a. Wiener Musikvereinssaal, Concertgebouw Amsterdam, Tonhalle Zürich, Stadtcasino Basel, Herkulessaal München, Rudolfinum Prag und Mercatorhalle Duisburg. Die Messergebnisse dieser Säle werden derzeit ausgewertet.

Besonderer Dank gilt Frau Christine Kierakiewitz und Herrn Stefan Ostrowski für ihre tatkräftige Hilfe bei den Messungen.

Abbildung 8: Praktische Anwendung des Publikumssimulationsstoffes bei der raumakustischen Messung des Wiener Musikvereinssaales

[1] T. Hidaka et al. Relation of acoustical parameters with and without audiences in concert halls ans a simple method for simulating the occupied state JASA 109 (3) March 2001

[2] V.M.A. Peutz Sprachverständlichkeit und Informationsübertragung, DAGA '78