

Raumakustik in passiv klimatisierten Gebäuden

*Detlef Hennings, Dr. rer. nat., freiberuflicher Wissenschaftler
Augustastr. 24, D-51065 Köln
Tel. +49-(0)221-372445, email d.hennings@eclim.de*

1 Kontext

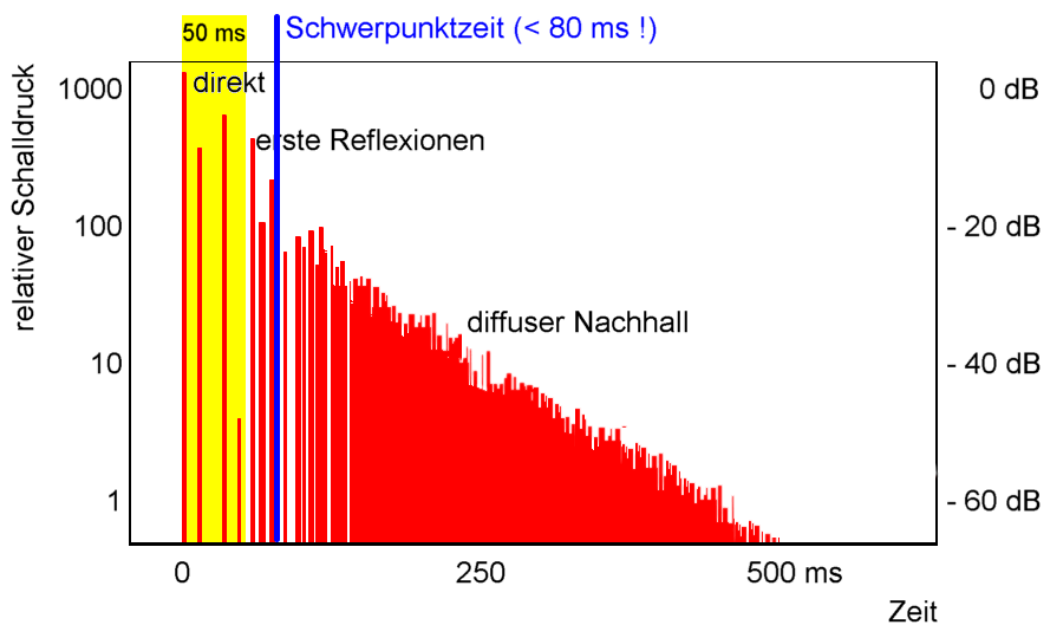
Auf den ersten Blick mag es verwundern, wenn im Zusammenhang mit passiver Klimatisierung das Thema Raumakustik auftaucht. Zieht man jedoch in Betracht, daß in passiv klimatisierten Gebäuden die Raumdecken in der Regel als thermische Speichermassen genutzt werden und deshalb massiv und unverkleidet sein müssen, andererseits in herkömmlichen Büro- und Dienstleistungs-Gebäuden die Decken oft abgehängt ausgeführt sind und zur akustischen Bedämpfung genutzt werden können, dann wird erkennbar: Hier gibt es einen Zielkonflikt - es sei denn, man ersetzt die bisherige Standardlösung 'Akustikdecke' zur raumakustischen Bedämpfung durch neue Lösungen, die eine gute raumakustische Qualität herstellen, ohne dabei die thermische Speicherwirkung der Decke zu beeinträchtigen.

2 Raumakustische Simulation

Mit einer raumakustischen Simulationssoftware [CATT, 2002] wurden zu diesem Zweck Lösungsansätze, die mit passiver Klimatisierung bzw. mit thermischer Bauteilaktivierung verträglich sind, untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchung auf Räumen für Kommunikation (Besprechungs- und Konferenzräume, Unterrichts- und Vortragsräume, usw.), denn hier ist die raumakustische Qualität mitentscheidend über die Eignung des Raums.

In der Simulationssoftware wird der Schall nicht als Welle berechnet, sondern analog zur Lichtausbreitung mit 'Spiegelschallquellen' und mit 'Strahlverfolgung'. Bei letzterer wird der Raum mit einer großen Anzahl (typisch 10^4 bis 10^5 , oder mehr) 'Schallstrahlen' 'ausgeleuchtet'. Aus der Statistik der Schallstrahlen entsteht ein Abbild des Schallfeldes im Raum. Die für den Raum charakteristische Schallübertragung von Quellen (Sprechern) zu Empfängern (Hörer) wird in Form von 'Raumimpulsantworten' bestimmt. Aus den Raumimpulsantworten können verschiedene raumakustische Qualitätsmaße abgeleitet werden (Nachhallzeit, Deutlichkeit, Schwerpunktzeit, STI, usw., vgl. [ISO 3382]). Die 'strahlenoptische' Rechenmethode bedingt, daß die bei tiefen Schallfrequenzen in Räumen bedeutsamen Wellen-Effekte wie Eigenfrequenzen nicht wiedergegeben werden. Die Schall-Beugung wird parametrisiert. Eine wichtige Rolle spielt die Wellen-Eigenschaft, wenn die Wellenlänge in der Größenordnung der Raumabmessungen liegt. Beispielsweise entspricht die Wellen-

länge bei 125 Hz mit ca. 2.70 m einer typischen Raumhöhe. Simulationsergebnisse bei tiefen Frequenzen müssen also mit Vorbehalten interpretiert werden.



Grafik 1 Das 'Echogramm' zeigt den zeitlichen Verlauf aller an einem Hörort infolge eines Schall-Impulses eintreffenden Schall-Signale: den Direktschall, die Reflexionen kommen zuerst einzeln und verdichten sich dann zum diffusen Nachhall aus vielfach reflektierten Schallanteilen. Jedes einzelne Signal ist entsprechend dem Quadrat seines Schalldrucks eingetragen. Die Nachhallzeit läßt sich aus dem Echogramm ablesen als diejenige Zeit ab Eintreffen des Direktschalls, in der der Schalldruck des Nachhall auf 1/1000 (bzw. um 60 dB) abgefallen ist. Im gezeigten Beispiel beträgt die Nachhallzeit etwa 0.5 sec (500 ms). Reflexionen innerhalb der ersten 50 ms wirken auf das Gehör wie ähnlich ein verstärkter Direktschall, und gelten daher als nützlich für die Sprachübertragung.

3 Lösungsansätze für Kommunikationsräume

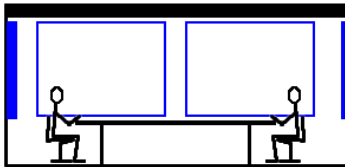
In der Simulations-Studie wurden exemplarische Lösungen für Kommunikationsräume untersucht, in denen die Raumdecke von akustischen Elementen frei gehalten ist und so uneingeschränkt als thermische Speichermasse zur Verfügung steht. In der akustischen Standard-Literatur und in der [DIN 18041] wird generell empfohlen, in Kommunikationsräumen zumindestens den mittleren Deckenbereich schallhart reflektierend auszuführen. Daher ist zu erwarten, daß die gewählten Lösungen raumakustisch vorteilhaft sind. Allerdings müssen die notwendigen akustischen Absorber an anderen Flächen des Raums untergebracht werden.

An zwei Beispielen, einem Besprechungsraum (29 m²) und einem Konferenzraum (138 m²), wurden je drei Raumvarianten verglichen und bewertet (Grafik 2). Die Varianten (a) und (b) sind mit passiver Klimatisierung verträglich. Variante (c) ist eine konventionelle Lösung mit Teppichboden und Akustikdecke und dient dem Ver-

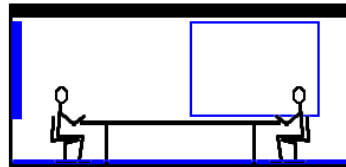
gleich. Alle drei Raumvarianten waren mit gleichen äquivalenten Schallabsorberflächen in den Sprache-relevanten Oktavbändern (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz) auf gleiche Sabine'sche Nachhallzeiten ausgelegt [DIN 18041].

Lösungen mit schallharter Betondecke

a) mit schallhartem Boden
alle Absorber
an den Wänden

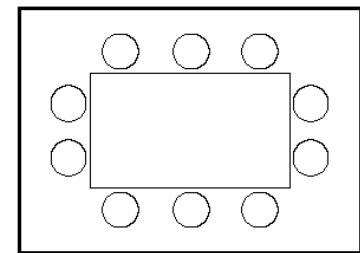
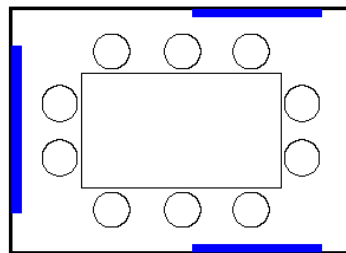
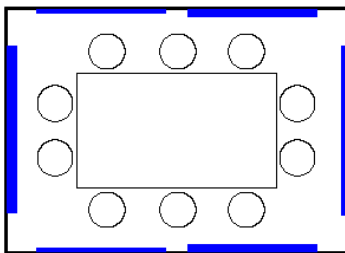
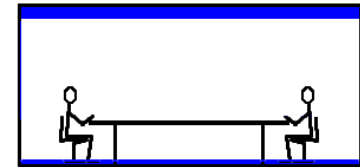


b) mit Teppichboden
Tiefen-Absorber
an den Wänden



konventionell

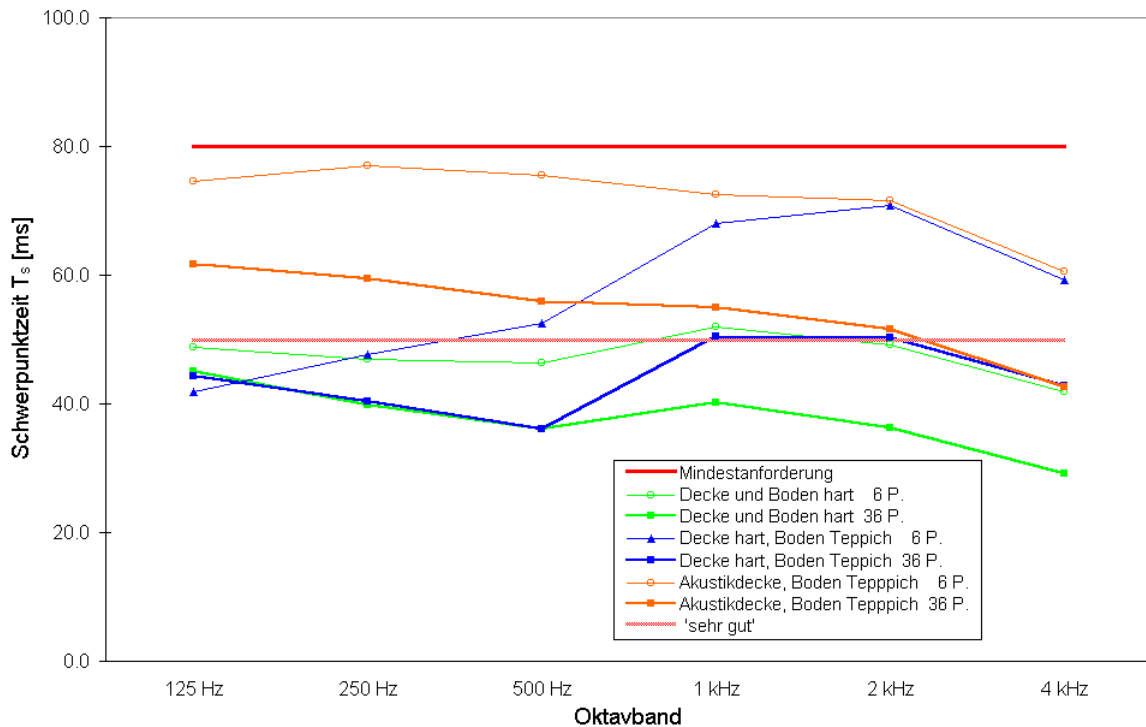
c) mit Akustikdecke
und Teppichboden
Wände schallhart



Grafik 2 Schematische Darstellung der untersuchten Raumvarianten

Die empfehlenswerte, spektral gleichmäßige Bedämpfung ist in der Regel nicht mit einem einzigen Absorbertyp erreichbar, da die meisten Absorber stark frequenzabhängig wirken. In den Simulationsmodellen waren jeweils zwei Absorbertypen eingesetzt, je einer für hohe und für tiefe Frequenzen, mit einer Überlappung im mittleren Frequenzbereich. Da die Tiefenabsorber an den Wänden angebracht sein müssen, ist ein flacher Aufbau erforderlich, um den nutzbaren Raum nicht merklich zu verkleinern. Für diesen Zweck eignen sich 'Plattenschwinger', die bei entsprechender Oberflächen-Ausführung zudem als Projektionsfläche oder Tafel genutzt werden können. Ein Teppichboden kann, falls vorhanden, die Absorption der Höhen großenteils übernehmen. Ansonsten müssen die Höhen-Absorber ebenfalls an den Wänden untergebracht werden. Insbesondere in größeren Räumen mit hohem Verglasungs-Anteil der Wände kann dann die verfügbare Wandfläche knapp sein, so daß hier (auch) aus raumakustischen Gründen ein kleinerer Verglasungs-Anteil zu empfehlen ist, um aufwendige transparente Absorber zu vermeiden.

Die Resultate der Simulations-Untersuchung bestätigen die erwartete Überlegenheit der schallharten Decke in Kommunikationsräumen gegenüber einer konventionellen Akustikdecke (vgl. Grafik 3). Dies gilt in besonderem Maß, wenn alle Absorber an den Wänden angebracht sind.

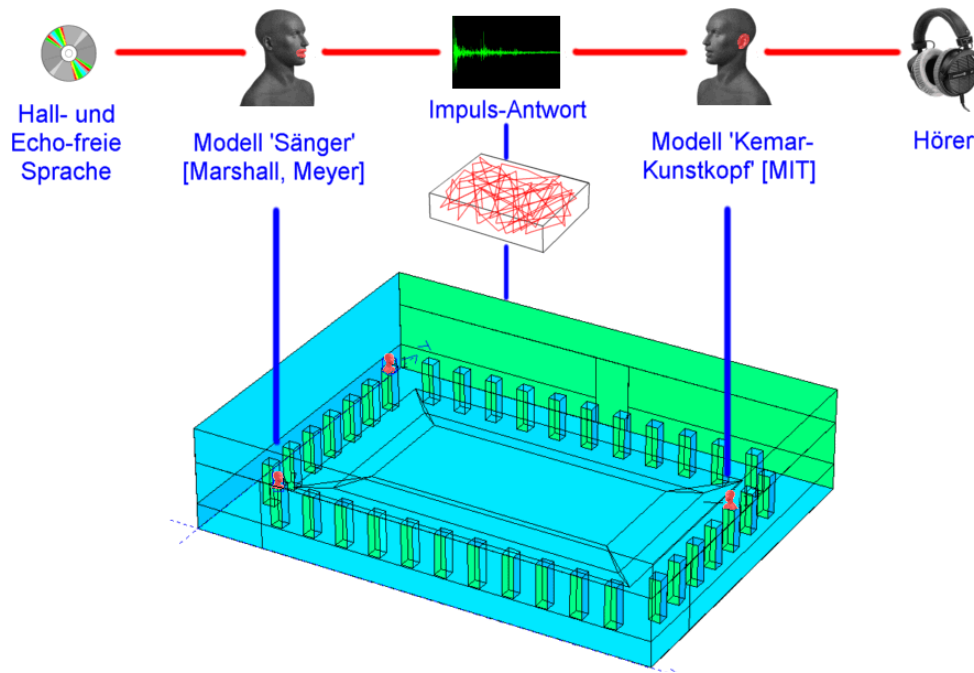


Grafik 3 Aus Simulationsergebnissen abgeleitete Schwerpunktzeiten (T_s) der drei Varianten des Konferenzraumes, jeweils mit 6 Personen und mit 36 Personen besetzt. Alle Varianten sind für Kommunikation geeignet ($T_s < 80$ ms), jedoch zeigt die Variante mit allen Absorbern an den Wänden die besten Ergebnisse ($T_s < 50$ ms).

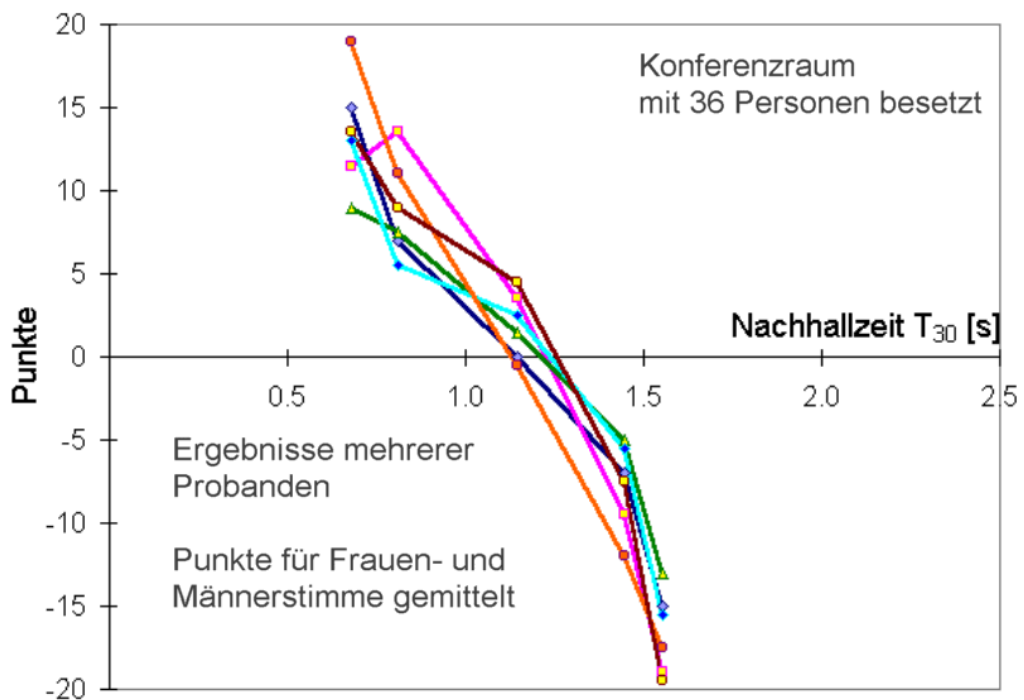
4 Auralisation als Planungshilfsmittel

Eine Schwierigkeit der raumakustischen Planung besteht darin, daß die akustische Qualität eines Raums in Zahlen beschrieben wird, mit denen die meisten Menschen keine Vorstellung über das Ergebnis verbinden. Mit der Auralisation, dem Herstellen virtueller Hörproben 'aus' dem noch nicht gebauten Raum, ist es jedoch auch Nicht-Akustikern möglich, die Qualität von Lösungs-Varianten eigenständig einzuschätzen.

In Hörversuchen waren akustisch nicht vorgebildete Probanden in der Lage, im Vergleich binauraler Hörproben von Raum-Varianten diese in der Rangfolge akustischer Qualitätsmaße wie Nachhallzeit oder Schwerpunktzeit einzustufen. Alle Varianten wurden sowohl mit einer Männer- als auch mit einer Frauen-Stimme paarweise verglichen, wobei jedesmal auf die Frage: 'Welcher Raum ist besser für Kommunikation geeignet?' die Unterschiede mit Punkten bewertet wurden. Die für jede Raumvariante aufsummierten Punkte ergeben die Rangfolge (Grafik 5, [Hennings, 2002]).



Grafik 4 Die Herstellung virtueller Hörproben (Auralisation). Die Simulations-Software berechnet die 'Impuls-Antwort' des Raums, die dem Hallmuster entspricht. Mit einer mathematischen Methode ('Faltung') wird dieses Hallmuster einer Hall- und Echo-freien Sprach- oder Musik-Aufnahme aufgeprägt. Die Eigenschaften eines Sprechers und die Charakteristik des hörenden Kopfes werden ebenfalls berücksichtigt. Das Ergebnis sind realitätsnahe Hörproben, die zudem einen realistischen Raumeindruck vermitteln, wenn sie über einen geeigneten Kopfhörer angehört werden.



Grafik 5 Die Punkte Bewertung mehrerer Probanden abhängig von der T-30 Nachhallzeit der Raum-Varianten.

5 Messungen in Beispielgebäuden

In weiteren Untersuchungen werden nun beispielhaft Kommunikationsräume in Gebäuden des 'Solarbau' Monitoring-Programms sowohl experimentell untersucht als auch in Simulationsmodellen nachgebildet, um die Wirksamkeit realisierter Lösungen zu überprüfen. Erste Meßergebnisse zeigen sowohl gelungene Beispiele, als auch solche, bei denen die Raumakustik offenbar zu wenig beachtet wurde.

6 Fazit

Mit Simulations-Modellen wurde gezeigt, daß die der passiven Klimatisierung dienende massive Betondecke in Kommunikationsräumen einer konventionellen Akustikdecke überlegen sein kann, wenn der Raum insgesamt richtig bedämpft wird. Als akustisch beste Lösung erwies sich, alle Absorber an den Wänden anzubringen.

Der Nutzen der Auralisation als Entscheidungs-Hilfsmittel für die Planung wurde in Versuchen aufgezeigt.

In Räumen anderer Nutzungsart, in denen die raumumfassende Schallübertragung nachteilig und unerwünscht ist, kann die schallharte Decke sich ungünstig auswirken, so das die vorliegenden Ergebnisse nicht auf solche Räume übertragbar sind. Dies soll Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Die Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Programm 'Solar optimiertes Bauen' gefördert. Allen, die mit Rat und Unterstützung zum Gelingen der Arbeiten beigetragen haben, sei an dieser Stelle gedankt; insbesondere den Probanden, die aufmerksam eine Vielzahl von Hörproben bewertet haben.

Literatur und Quellen

- [CATT, 2002] B.-I. Dalenbäck: **CATT Acoustics v.8 User's Manual**. Göteborg; www.catt.se
- [DIN 18041] DIN 18041 (2004-05): **Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen**. und vorherige Version DIN 18041 (1968).
- [Hennings, 2002] D. Hennings: **Optimierung der Raumakustik in passiv klimatisierten Räumen mit schallharter Decke**; Eine Studie zur Akustik in Kommunikationsräumen; Köln, 2002. Im Internet unter 'www.eclim.de'.
- [Hennings, 2004] D. Hennings: **Communication Room Acoustics in Passive Cooled Buildings**; CFA/DAGA 2004, Strasbourg, March 2004..
- [ISO 3382] DIN EN ISO 3382 (2000-02): **Akustik - Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter** (ISO 3382; 1997).