

Akustik ist seit altersher ein Teilgebiet der Physik. Man hat darüber Einiges in der Schule gehört, ebenso wie über Optik oder Mechanik oder Wärmelehre. Wenn man aber im täglichen Leben von Akustik spricht, so tut man es in fast allen Fällen im Zusammenhang mit dem Hören in Räumen. Man spricht schlechthin von der Akustik in Räumen und versteht darunter, wie man etwa den Vortrag eines Redners in einem Hörsaal, den gesprochenen Text oder den Gesang eines Darstellers im Theater, die musikalischen Darbietungen eines Orchesters in einem Konzertsaal oder die Orgelmusik in einer Kirche gehört hat, um nur einige Beispiele zu nennen. Dabei steht keineswegs im einzelnen fest, was man etwa genauer unter einem akustisch guten Konzertsaal versteht. Für das Hören von Musik gehen in die Urteilsbildung Begriffe wie Klangverschmelzung, Durchsichtigkeit des Klangbildes, angemessene Lautstärke und nicht zuletzt Klangfülle ein. Entsprechend diesen Andeutungen ist auch die Beschreibung des Klangeindrucks in einem Konzertsaal außerordentlich mannigfach; man denke nur an die vielen Ausdrücke, mit denen wir versuchen, gewissermaßen klangmalerisch die subjektiven Eindrücke wiederzugeben: weich – hart, harmonisch – unharmonisch, spitz – dumpf, volltönend – flach, brilliant – stumpf, verschmelzend – auseinanderfallend, durchsichtig – verschwommen, resonierend – nicht ansprechend, hallig – trocken, kühl – warm, leer – voll, unpersönlich – intim usw.

Da es sich um subjektive Urteile handelt, weichen nicht selten die Anschauungen verschiedener Personen über die Akustik eines Raumes erheblich voneinander ab. Dies gilt auch für die ausübenden Musiker selbst; es ist nicht selten, daß hervorragende Dirigenten bei Umfragen über die akustische Güte bestehender Konzerträume recht verschiedene Ansichten äußern. Trotzdem bildet sich natürlich im Laufe der Zeit eine bestimmte akustische Meinung über einen Raum aus, nicht zuletzt trägt hierzu auch die Tatsache der Gewöhnung an den Raum bei. So empfinden wir einen großen Teil der überkommenen Konzertsäle als akustisch gut oder brauchbar, wenn gleich feststeht, daß manche akustische Fehler in ihnen vorliegen. Solche unterschiedlichen Auffassungen dürfen nicht Wunder nehmen, denn die Frage der subjektiven Beurteilung eines Raumes gehört nicht in das Gebiet der Physik, sondern ist weitgehend eine Frage des Geschmacks. Man kann dabei auch gewisse Zeitströmungen beobachten. So war es vor noch nicht allzu langer Zeit üblich, einem Raum eine verhältnismäßig kurze Nachhallzeit zu geben. Eine solche Nachhallzeit hat den Vorteil, daß man die Musikinstrumente sehr differenziert hören kann, etwa wie man es bei der Kammermusik wünscht. Heute geht ohne Zweifel die allgemeine Tendenz in die Richtung großer Nachhallzeiten. Solche Wandlungen des Geschmacks sind eigentlich selbstverständlich, wir finden sie ja

auch in anderen Kunstgattungen, in der Malerei, in der Plastik, Architektur.

Viel einfacher liegen die Dinge natürlich, wenn es sich nicht um Räume handelt, in denen musikalische Darbietungen an erster Stelle stehen wie in Konzertsälen und Opernhäusern, sondern um Sprecherräume, Hörsäle, Schauspieltheater oder um Ähnliches. Hier entscheidet für das Urteil „gute oder schlechte Akustik“ einfach die Verständlichkeit des gesprochenen Textes, was sich leicht feststellen läßt. Man muß hier nicht nur den gesprochenen Text klar verstehen können, sondern man muß dies auch, selbst bei längerem Zuhören, ohne Ermüdung vermögen, d. h. ohne angespannte Aufmerksamkeit oder Anstrengung, den Text akustisch aufzunehmen.

Aus der Erfahrung des täglichen Lebens heraus weiß man, daß Räume, die für Sprache ausgezeichnet sind, sich keineswegs für große Konzerte eignen und umgekehrt. Ein Beispiel, bei dem die Gegensätze besonders kraß sind, ist der Kirchenraum, in dem einerseits die Predigt des Geistlichen gut verstanden werden soll, andererseits aber die Orgelmusik ihre volle Klangfülle entfalten muß.

In neuerer Zeit häufen sich verständlicherweise die Fälle, in denen man Räume akustisch als Mehrzweckeräume verwenden will; dies allein durch bauliche Mittel zu erreichen, ist unmöglich. Hierher gehört auch die Beethovenhalle, die zwar in erster

Linie für große Konzertdarbietungen gedacht ist, aber auch sehr oft für Sprache, z. B. als Vortragssaal bei großen Kongressen, verwendet werden soll, ganz abgesehen davon, daß man daran denkt, sie auch als Ballsaal, Gesellschaftssaal oder dergleichen zu benützen. Letzteres hat übrigens die bedauerliche Konsequenz, daß man im Parkett kein ansteigendes Gestühl verwenden kann, was für die gute Wahrnehmung des direkten Schalles eines Orchesters gar nicht unwichtig ist.

Man trifft häufig die Meinung an, daß man die Akustik eines Raumes nicht im voraus berechnen kann, sondern daß man sie mehr oder weniger dem Zufall überlassen muß. Mit anderen Worten, zur guten Akustik eines Raumes gehöre Glück des Architekten. Man erinnert sich in diesem Zusammenhang gern an Räume früherer Zeiten, die akustisch unbrauchbar waren, etwa weil man sie ganz in Marmor ausführte, oder daß der Architekt einen alten, akustisch berühmten Raum in seinen geometrischen Abmessungen haargenau kopierte, um einer guten Akustik sicher zu sein. Aber wenn er dann anderes Material für die Innenauskleidung verwendete, war der Erfolg negativ. Darf man heute noch die Akustik so dem architektonischen Zufall überlassen? Diese Frage ist mit einem glatten Nein zu beantworten. Die wissenschaftliche Akustik ist so weit fortgeschritten, daß man die grundlegenden Erfordernisse für eine gute Akustik genau kennt und sie berücksichtigen kann. Daß es wirk-

lich so ist, zeigen zahlreiche nach dem Kriege in allen Ländern neu erbaute Konzertsäle, Theater, Opernhäuser. Wenn sich auch in dem einen oder anderen Fall eine nachträgliche Korrektur noch als notwendig erwies, so ist ihre Akustik im Durchschnitt durchaus befriedigend ausgefallen.

Worin bestehen nun die Lehren der wissenschaftlichen Raumakustik? Zunächst ist zu sagen, daß die raumakustische Wissenschaft etwas über 50 Jahre alt ist. Wir dürfen ihren Beginn auch bei der Berücksichtigung mancher Vorläufer mit den Arbeiten von W. C. Sabine an der Harvard Universität in Cambridge/USA und mit den Arbeiten von Jäger in Wien gleichsetzen.

Das vorherrschende akustische Kriterium eines Raumes, das jedem Laien geläufig ist, ist der sogenannte Nachhall. Im Freien hört man nur den direkten Schall der Schallquelle. Hier ist der Höreindruck, wie man sagt, „trocken“. Es ist bekannt, daß sich Musik im Freien abgehackt und wenig schön anhört. Dagegen ist Sprache im Freien, zumindest in kürzeren Entfernungen vom Sprecher und bei fehlenden äußerem Geräuschpegel, außerordentlich gut verständlich. Bringt man die Schallquelle vom Freien in einen hinreichend großen Raum und stoppt plötzlich ihre Schallerzeugung, so hört man, wie der Schall noch eine gewisse Zeit nachklingt. Dies ist der Nachhall, und man definiert als Nachhallzeit physikalisch diejenige Zeit, innerhalb derer die Schallenergie auf den millionsten Teil ihres Anfangswertes ab-

fällt. Die Definition ist so eingerichtet, daß dies gerade diejenige Zeit ist, die man in normalen Räumen bei normal lauten Schallquellen auch wirklich wahrnimmt. Die Nachhallzeit hängt von der Größe des Raumes und von seiner Ausstattung ab; dabei spielt eine Rolle, ob der Schall bei seinem Auftreten auf die Wände voll reflektiert oder mehr oder weniger absorbiert wird. Der Hauptabsorber in einem publikumsgefüllten Raum ist übrigens das Publikum selbst, durch das die tiefen Töne weniger, die mittleren und hohen Töne stärker absorbiert werden. Poröse Stoffe verhalten sich ebenso; verwendet man solche Materialien in großem Maß, so klingt, wie bekannt, ein derartiger Raum dumpf. Die Brillanz der hohen Töne fehlt. Demgegenüber gibt es aber eine gegensätzlich wirkende Raumauskleidung, nämlich die Holzvertäfelung der Rauminnenflächen. Holz ausgekleidete Räume absorbieren die tiefen Töne wesentlich stärker als die mittleren und hohen; eine Holzvertäfelung hat damit den entgegengesetzten Frequenzgang wie Publikum und wirkt so ausgleichend. Dies ist wahrscheinlich auch der Grund für die anerkannte akustische Güte holz ausgekleideter Räume.

Man kann heutzutage mit elektroakustischen Geräten die Nachhallzeit eines Raumes mit und ohne Publikum gut messen; man hat dies in außerordentlich vielen Räumen in aller Welt getan, und man weiß auf diese Weise genau, welche Nachhallzeiten „optimal“ sind. Dabei legt man übrigens die Nachhallzeit für

ein mittleres Frequenzgebiet zwischen 500 und 1000 Hz (c'' bis c''') zugrunde. Die günstige Nachhallzeit ist, wie schon erwähnt, für die verschiedenen Kunstgattungen ganz unterschiedlich. Für schnelle Sprache in Kabarets, für Vorträge in Hörsälen etc. braucht man extrem kurze Nachhallzeiten in der Größenordnung von 1 Sekunde. In Schauspielhäusern beträgt die günstige Nachhallzeit etwa 1,2 Sekunden. Opernhäuser sollten Nachhallzeiten um 1,6 Sekunden haben, wobei man hier eigentlich noch zwischen den verschiedenen Operngattungen zu unterscheiden hätte. Konzertsäle haben Nachhallzeiten zwischen 1,7 und 2 Sekunden. Kirchenmusik verlangt schließlich noch etwas höhere Nachhallzeiten. Die Aufgabe des Akustikers besteht also bei der Neugestaltung des Raumes darin, die Nachhallzeiten aus der vorgegebenen Raumgröße sowie aus der vorgesehenen Besetzungszahl zu errechnen, und sie durch die Auswahl der Materialien für die Innenwände in die richtige Größenordnung zu bringen. Hierfür gibt es ungezählte Möglichkeiten, über deren akustische Eigenschaften man sich durch Versuche in sogenannten Hallräumen die nötigen experimentellen Unterlagen besorgen kann, und hierin liegt ein großer Spielraum für den Architekten vor.

Nicht immer ist die richtige Bemessung der Nachhallzeit technisch möglich, wenn z. B. aus rein wirtschaftlichen Gründen die

Raumgröße zu klein, und die Besetzungsdichte mit Publikum zu groß gewählt wird, übrigens beides nicht selten der Fall. Da diese Angaben praktisch die Nachhallzeit schon festlegen, gelingt es dann natürlich nicht, sie genügend groß zu machen, denn die Schallabsorption an den Wandflächen, welches Material man auch immer nehmen mag, kann sie nur verringern. In solchen Fällen bleibt als letzte Zuflucht nur der Weg der Elektroakustik. Hier kann man heute ohne Schwierigkeiten, und ohne daß es dem Zuhörer bewußt wird, eine künstliche Verlängerung der Nachhallzeit erzielen, ja sie sogar entsprechend den jeweiligen Darbietungen variieren, unter Umständen sogar mitten in der Darbietung selbst.

Wenn ein Raum für verschiedenartige Darbietungen benutzt werden soll, etwa für Vorträge einerseits und für Sinfoniekonzerte andererseits, dann muß man entweder in der akustischen Ausgestaltung des Raumes einen Kompromiß schließen, der natürlich beiden Teilen nicht gerecht wird, oder man muß bewußt den Nachdruck auf nur einen Zweck, etwa auf den musikalischen Zweck legen; dies ist durch Vereinbarung mit der Bauleitung für die Beethovenhalle geschehen.

Zum Nachhall ist noch zu sagen, daß nicht nur die Größe der Nachhallzeit im mittleren Frequenzgebiet eine Rolle spielt, sondern daß auch die Nachhallzeiten für die tiefen und die hohen Töne in einem bestimmten Verhältnis hierzu stehen sollen.

Auch hierüber weiß man Einiges, was zu berücksichtigen ist; die Nachhallzeit darf nach tiefen Frequenzen zu etwas ansteigen. Für hohe Frequenzen soll sie so groß als möglich sein. Leider ist hier durch die Schallabsorption der Luft eine unübersteigbare physikalische Grenze gesetzt.

Die Tätigkeit des Akustikers bei der akustischen Planung eines Raumes beschränkt sich nun nicht allein auf die Sorge um die richtige Nachhallzeit. Es gibt noch andere Momente, die ebenso wichtig sind. Um dies zu verstehen, denken wir uns eine Schallquelle auf dem Musikpodium; sie möge einen kurzen Schallvorgang, einen Knack, einen Knall oder dergleichen erzeugen. Was kommt von einem solchen Schallimpuls beim Zuhörer an? Zunächst natürlich der direkte Schall, denn er durchläuft die kürzeste Strecke, nämlich die Gerade zwischen Schallquelle und Zuhörer. Dann gelangen zum Zuhörer eine Reihe von Schallrückwürfen, die von den der Schallquelle am nächsten liegenden Wänden herrühren; liegen diese Wandteile geeignet, so wird der auf sie auftreffende Schall zum Zuhörer hin besonders stark reflektiert. Die Zeitunterschiede zwischen diesen Rückwürfen und dem direkten Schall müssen kurz sein, und sie sind meistens auch sehr kurz. Sie dürfen rund 50 Millisekunden (0,05 sec) nicht übersteigen. Bleiben sie unterhalb dieser Grenze, so werden sie in unserem Ohr auf Grund seiner Eigenschaften zusammen mit dem direkten Schall „verschmolzen“ und erhöhen dessen Lautstärke. Diese „nützlichen“ Rück-

würfe sind der Grund dafür, daß man in Räumen auf größere Entfernungen hin so viel besser hören kann als im Freien. Es ist ja bekannt, daß man in einem völlig reflexionsfreien Gelände, etwa im Winter auf frisch gefallenem Schnee nur auf 2-3 Meter Sprache in der Unterhaltungslautstärke gut verstehen kann. Die nützlichen Rückwürfe, von denen wir eben sprachen, setzen diese kleine Entfernung wesentlich herauf.

Man darf die Zeitdifferenz zwischen der Ankunftszeit eines Rückwurfes im Vergleich zu der des direkten Schalles keinesfalls wesentlich größer als 50 Millisekunden machen, weil dann wiederum auf Grund der Eigenschaften unseres Gehörorgans der Rückwurf als ein störendes Echo wahrgenommen wird. Ein einzelner Rückwurf etwa 80 oder 100 Millisekunden nach dem direkten Schall ist außerordentlich unangenehm; er stört empfindlich die Verständlichkeit von Sprache und das genußvolle Hören von Musik.

Diese Ausführungen zeigen, daß der Akustiker sich auch der geometrischen Gestaltung des Raumes, die ja die Zahl und die zeitliche Folge der Rückwürfe bestimmt, nicht nur der Auskleidung der Innenflächen des Raumes mit bestimmten Materialien annehmen muß. Damit greift er allerdings erheblich in die Konzeption des Architekten ein und, wie immer im praktischen Leben, muß zwischen den künstlerischen Intentionen des Architekten und den berechtigten Forderungen des Akustikers

ein mehr oder minder glücklicher Kompromiß gefunden werden.

Nur die ersten Rückwürfe an den Wänden und an der Decke kann man noch zeitlich getrennt verfolgen. Im weiteren Verlauf wird der Schall vielfach zwischen den Wänden hin und her geworfen und diese zahllosen Reflexionen bilden dann den Vorgang aus, den wir als Nachhall bezeichnen und anfangs schon besprochen haben.

Noch ein Punkt hinsichtlich der ersten Rückwürfe ist erwähnenswert, nämlich nicht nur der Zuhörer will die Musik einwandfrei hören, in noch höherem Grade ist dies für die Orchestermitglieder der Fall, die sich selbst gut zu hören wünschen, und die diese Forderung im Hinblick auf das notwendige Zusammenspiel erheben müssen. Die Musiker hören sich selbst einmal in dem direkten Schall eines Instrumentes zum Ohr der Nachbarn, aber zur größeren Lautstärke benötigen sie auch noch eine Reihe von Rückwürfen, die ihnen nur die sie umgebenden Wand- und Deckenflächen liefern können. Auch hierfür muß durch die Lage der Wandflächen und durch die Deckenhöhe um und über dem Podium gesorgt werden.

Kurz nach dem Kriege und zum Teil schon vor dem Kriege war es in der Innenarchitektur „Mode“, Wand- und Deckenflächen im Interesse einer klaren Linienführung möglichst glatt zu machen. Es hat sich gezeigt, daß man auf diese Weise auch bei

Einhaltung der übrigen akustischen Bedingungen keine besonders gute Akustik erhält. Man weiß von Barock-Kirchen und Barock-Sälen, daß sie akustisch gut sind. Die physikalische Ursache liegt darin, daß in solchen Räumen der Schall beim Auftreffen auf die Wände mit ihren vielen Unterbrechungen, Figuren, Nischen etc. nicht rein geometrisch, d. h. rein spiegelnd in eine einzige, bestimmte Richtung reflektiert, sondern daß er in verschiedene Richtungen gestreut wird. Wenn man diese geometrische „Auflösung“ der Wandflächen mit einem gewissen Anteil der Gesamtfläche in einem Konzertsaal durchführt, dann gelangt der Schall, besonders im Nachhallvorgang, von sehr vielen Richtungen zum Zuhörer, und damit hat dieser das Gefühl, sich akustisch mitten im Schallereignis zu befinden und eng mit ihm verbunden zu sein. Es kommt also als weitere Forderung von seiten der Akustik an den Architekten noch hinzu, daß man eine gewisse „Diffusität“ des Schallfeldes erzielen muß. Dies erreicht man nur durch geometrische Auflösung der Wand- oder Deckenflächen. Man kann diese Auflösung entweder klar und deutlich mit ihrer Funktionsweise dem Auge des Betrachters zeigen, wie dies an der Decke des Großen Saales der Beethovenhalle geschehen ist, oder man kann sie, „etwas schamhaft“, hinter gut schalldurchlässigen Vorbauten verbergen; letzteres geschieht hinter den Holzstegen der Wände. Die Streukörper an der Decke erfüllen auch noch einen weiteren

akustischen Zweck. Aus ästhetischen Gründen ist die Decke leicht gewölbt, solche konkaven Krümmungen einer großen Innenfläche stellen immer eine latente akustische Gefahr wegen möglicher Schallkonzentrationen und damit möglicher Echos dar. Die Streukörper an der Decke sorgen daher dafür, daß diese Gefahr beim Anhören von Schallquellen auf dem Podium erheblich gemindert wird.

Schließlich ist noch ein letzter Punkt wichtig, der eigentlich ganz selbstverständlich ist, sich aber häufig recht teuer auswirkt, nämlich die Ausschaltung von Störgeräuschen. Für die im Raum selbst arbeitenden technischen Anlagen, etwa die Lüftungsanlage, ist die Störfreiheit mit den heutigen technischen Mitteln relativ leicht zu erreichen. Schwieriger wird dagegen die Frage der Abschirmung gegen äußere Geräusche, besonders wenn sie, wie im Falle der Beethovenhalle, durch die Rheinschiffahrt ziemlich stark sind. Grundsätzlich ist auch hier durch eine völlig doppelschalige Konstruktion mit absolut akustisch voneinander getrennten Schalen eine einwandfreie Schallisolation möglich. Dies erfordert aber einen gewaltigen finanziellen Aufwand, und es war daher zu überlegen, welche Störlautstärken als subjektiv nicht belästigend man noch zulassen kann, um entsprechend die Außenwände mit geringerem technischen Aufwand herstellen zu können.

Nach diesen allgemeineren Ausführungen noch einige Worte über die akustische Ausgestaltung der Beethovenhalle selbst.

Wie oben ausgeführt, sind das Volumen und die Besetzung mit Personen die entscheidenden Größen für die Akustik eines Raumes. Das Volumen des Großen Saales beträgt 16 400 cbm, die Zahl der Personen ist bei voller Besetzung 1400. Wir haben also 11,7 cbm pro Person, ein Wert, der groß genug ist, um eine Nachhallzeit zwischen 1,7 und 2 Sekunden technisch zu erreichen. Die Durchrechnung ergab, daß die Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen zu stark ansteigen würde, wenn man es bei Massivwänden belassen hätte. Aus diesem Grunde wurde vorgeschlagen, eine Holzvertäfelung zu wählen, die bei hohen Frequenzen nicht, bei tiefen Tönen dagegen stärker absorbiert.

Die Anpassung der Nachhallzeit an Konzertdarbietungen hat zur Folge, daß der Saal für andere Darbietungen als Konzerte akustisch als nicht mehr ganz optimal anzusehen ist. Man darf erwarten, daß der Raum für Orgelmusik noch gut ist, obwohl hier die Nachhallzeit etwas größer sein sollte. Auf der anderen Seite steht die Sprache. Zwar wird man auch hier bei guter Artikulation und entsprechender Stimme des Redners Sprache gut verstehen können. Trotzdem ist für Vorträge auf Kongressen, die häufig schnell gesprochen oder gar mit unzureichender Stimmstärke abgelesen werden, eine Lautsprecheranlage zu verwenden. Entsprechend dem Stand der elektroakustischen Erkenntnisse ist dafür gesorgt, daß in jedem Fall der direkte Schall des Sprechers früher bei dem Zuhörer ankommt als der verstärkte Schall aus den Lautsprechern. Man erreicht dies in

einfacher Weise dadurch, daß man die Lautsprecher in die Decke einbaut, und so den Abstand Redner–Zuhörer kleiner macht als den Abstand Lautsprecher–Zuhörer. Wenn man diese Bedingung einhält, hört man als Schallquelle nur den Redner und nicht den Lautsprecher, selbst wenn die Schallenergie, die von dem Lautsprecher herrührt, zehnmal größer als die Originalschallstärke des Redners am Orte des Zuhörers ist!

Über die zweckmäßige Raumform entsprechend den Konzeptionen des Architekten wurde eine ganze Reihe von Versuchen angestellt, besonders im lichtoptischen Modell, um den Strahlengang der Schallstrahlen im wirklichen Raum durch den Strahlengang der Lichtstrahlen im Modellraum verfolgen zu können. Durch die Raumform des Saales ist dafür Sorge getragen, daß ein recht großer Anteil des einmal reflektierten Schalles die Zuhörer erreicht. Um nun auch eine gleichmäßige Lautstärke im ganzen Raum zu haben, sind an der Decke die Streukörper aufgehängt, die auf Grund ihrer Dimensionen nur im Gebiet der mittleren und hohen Frequenzen wirksam sind. Auch an den Wandflächen in Orchesternähe sind Halbzylinder angebracht worden, die den Schall streuen und dafür sorgen, daß insbesondere die Musiker sich untereinander gut hören können.

Während die sonstige Raumbekleidung aus Holztäfelung besteht, müssen die Streukörper ihrer leichteren Herstellbarkeit und Formbarkeit wegen aus Gips gemacht werden. Dazu wurden zahlreiche Experimente ausgeführt, um die Schwingungseigenschaften der Gipskörper denen von Holzplatten weitgehend anzunähern. Dies geschieht durch die Beimischung einer bestimmten Menge von Vermiculite.

Auch der Laie hat dann beim Anklopfen der Streukörper akustisch den Eindruck, daß sie ganz aus Holz gefertigt seien.

So ist bei der akustischen Planung der Beethovenhalle alle wissenschaftliche Sorgfalt aufgewendet worden, die einem solchen weit wirkenden Zentrum der Musikpflege zukommt. Quantitative akustische Angaben können erst nach Abschluß der Messungen, die bei der Niederschrift dieses Aufsatzes noch im Gange sind, gegeben werden und müssen daher einer späteren Darstellung vorbehalten bleiben.

*

Quelle: Bonn Beethovenhalle. Beschreibung • Abbildungen • Dokumente. Herausgegeben von Gert Schroers im Auftrag der Stadt Bonn 1959 (S. 51-56).

Abschrift: Katja Heydegger, M. A. (Mai 2010)