

Die Richtcharakteristiken von Trompete, Posaune und Tuba

Von Dr.-Ing. Jürgen Meyer und Dipl.-Ing. Klaus Wogram, Braunschweig*
(eingegangen am 10. Januar 1970)

Zusammenfassung

Die Richtcharakteristiken von Trompete, Posaune und Tuba

Die Richtungsabhängigkeit der Schallabstrahlung bei den drei genannten Instrumentengruppen wurde in Abhängigkeit von der Frequenz untersucht. Zur Auswertung der Ergebnisse wurden diejenigen Winkelbereiche bestimmt, in denen die Amplitude um nicht mehr als 3 dB beziehungsweise 10 dB unter den Maximalwert absinkt. Die Einflüsse der Wand- und Deckenreflexionen in Konzertsaal und Opernhaus sowie die Bedeutung der Sitzordnung für die klangliche Wirkung im Raum werden diskutiert. Außerdem werden für zwei Konzertsäle die Hallradien der Trompete angegeben.

Einleitung

Die klangliche Wirkung eines Musikinstrumentes oder auch eines ganzen Orchesters wird teilweise durch die direkten Schallanteile, teilweise durch die Reflexionen von der Decke und den Wänden des Raumes geprägt. Diese Reflexionen ergeben in ihrer Gesamtheit den Nachhall, der für das Verschmelzen mehrerer Stimmen zu einem Gesamtklang, aber auch für die Geschlossenheit melodischer Linien eine wichtige Rolle spielt. Der direkt vom Instrument zum Zuhörer gelangende Schall bewirkt dagegen ein deutliches und prägnantes Klangbild. Inwieweit der Klang eines Orchesters zu einer „glasklaren“ Durchsichtigkeit oder zu einem verschwommenen Gesamteindruck tendiert, hängt von dem Intensitätsverhältnis zwischen dem Direktschall und dem Nachhall ab. Dieses Verhältnis wird — abgesehen von raumakustischen Faktoren — durch die Richtungsabhängigkeit der Schallabstrahlung der Instrumente bestimmt. Die Richtcharakteristiken sind daher für Fragen der Orchesteranstellung wie auch für die Anbringung von Reflexionsflächen im Raum von großem Interesse und finden sowohl bei Dirigenten als auch bei Architekten eine zunehmende Beachtung. Darüber hinaus besitzen diese Erscheinungen natürlich auch für die Mikrophonaufstellung bei Rundfunk- oder Schallplattenaufnahmen eine erhebliche Bedeutung. Die vorliegenden Messungen wurden in einem reflexionsfreien Raum durchgeführt, der Abstand des Mikrophons vom Instrument betrug stets 3,5 m, um zumindest bei mittleren und höheren Frequenzen eventuelle Nahfeldinflüsse zu umgehen [1]. Zur Aufnahme von Polardiagrammen wurden die Instrumente mit dem „künstlichen Mund“ der Fa. Brüel & Kjaer angeregt. Durch die Ankopplung dieses Lautsprecher-Systems an das Mundstück werden zwar die Eigenresonanzen des Instrumentes etwas verschoben, diese Verstimmung verändert jedoch nicht die Abstrahlungseigenschaften des Schalltrichters. Die Anregung des Systems erfolgte mit oberwellenfreien Wechselspannungen, so daß für die

Sommaire

Le pouvoir directionnel de trompette, trombone et tuba

Les diagrammes directionnels de la radiation du son pour les trois instruments nommés étaient mesurés à des fréquences variées. Pour l'évaluation des résultats, les régions où l'amplitude ne tombe plus de 3 dB resp. 10 dB au-dessous du maximum furent déterminées. L'influence des réflexions du son des murs et du plafond dans des salles de concert et d'opéra ainsi que l'importance de la disposition de l'orchestre pour l'image sonore sont étudiées. De plus, les distances où le son direct a la même intensité que le champ statistique sont calculées pour deux salles de concert.

Summary

The directional characteristics of trumpet, trombone, and tuba

The directivity of sound radiation has been investigated in dependence of the frequency for the three instruments. For the discussion of the results, the angular regions in which the sound level does not decrease more than 3 dB resp. 10 dB below the maximum, were calculated. The influence of reflections from the walls and the ceiling in concert-halls and opera-houses as well as the importance of the seating arrangement for the sound effects in the room are explained. Moreover the distances, in which the direct sound has the same value as the statistical field, are calculated for two concert-halls.

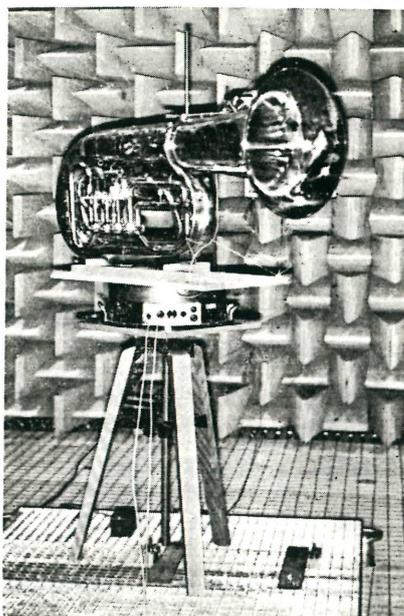


Abb. 1 Versuchsaufbau mit einer Kontrabaß-Tuba im reflexionsfreien Raum

einzelnen Frequenzen Polardiagramme ohne zusätzliche Filterung gewonnen wurden. Diese Polardiagramme ließen sich automatisch aufzeichnen, da der registrierende Pegelschreiber und der Drehtisch mit dem Instrument und dem Anregungssystem zu synchronem Lauf zusammengekoppelt waren. Abb. 1 zeigt eine Tuba auf dem erhöht aufgestellten Drehtisch im reflexionsfreien Raum.

Für einige spezielle Versuche über die abschwächende Wirkung von Spielern und Notenpult sowie den Einfluß der Rückwand wurden die Instrumente von einem Musiker geblasen. Dabei stand ein Mikrophon seitlich vom Spieler, wo keine Beeinflussung der Schallverhältnisse durch die verschiedenen „Requisiten“ zu erwarten war, als Bezugsmikrophon. Ein weiteres Mikrophon war vor dem Spieler aufgestellt, um die unterschiedliche Schallabstrahlung unter den

veränderten Bedingungen zu erfassen. Die Auswertung dieser Aufnahmen erfolgte über Terzfilter.

Bei den meisten Versuchen wurden Instrumente verwendet, wie sie hinsichtlich ihrer Mensur und Bauart in Sinfonie-Orchestern gebräuchlich sind: eine B-Trompete mit einem Schallbecher-Durchmesser von 13 cm und eine Tenorposaune mit einem Trichter-Durchmesser von 21 cm. Um auch den Einfluß der Abmessungen der Stürze zu erfassen, wurden außerdem in einigen Fällen eine enger mensurierte B-Trompete mit einem Schallbecher von 12 cm Durchmesser sowie eine Tenorposaune mit einem Trichter-Durchmesser von 19 cm in die Messungen einbezogen. Diese beiden Instrumente entsprechen den gebräuchlichen Typen für Tanzkapellen. Schließlich wurde eine Kontrabaß-Tuba in B mit einem Schallbecher-Durchmesser von 46 cm für die Untersuchungen benutzt, sie wird im folgenden nur als Tuba bezeichnet.

Auswertung der Polardiagramme

Um die Richtwirkung der Instrumente für den gesamten Tonumfang und alle am Klangbild beteiligten Oberton-Komponenten zu erfassen, wurden bei einer großen Anzahl von Frequenzen Polardiagramme aufgenommen. Die untere Grenze war dabei so gewählt, daß noch der Grundton des zweiten Naturtones einbezogen wurde. Die Pedaltöne ließen sich mit der Apparatur nicht stark genug anregen, doch ergaben die Resultate bei den tiefsten untersuchten Frequenzen bereits eine allseitig gleichmäßige Schallabstrahlung, so daß man auch für die Pedaltöne mit denselben Verhältnissen rechnen kann. Die obere Frequenzgrenze war an dem Spektralaufbau von Fortissimo-Klängen orientiert. Da die räumlichen Richtcharakteristiken der Instrumente im wesentlichen rotationssymmetrisch zur Trichterachse sind, kann die Deutung der Meßergebnisse auf die Diagramme in einer Längsebene beschränkt werden.

* Erschienen in Das Musikinstrument 19 (1970) S. 171.

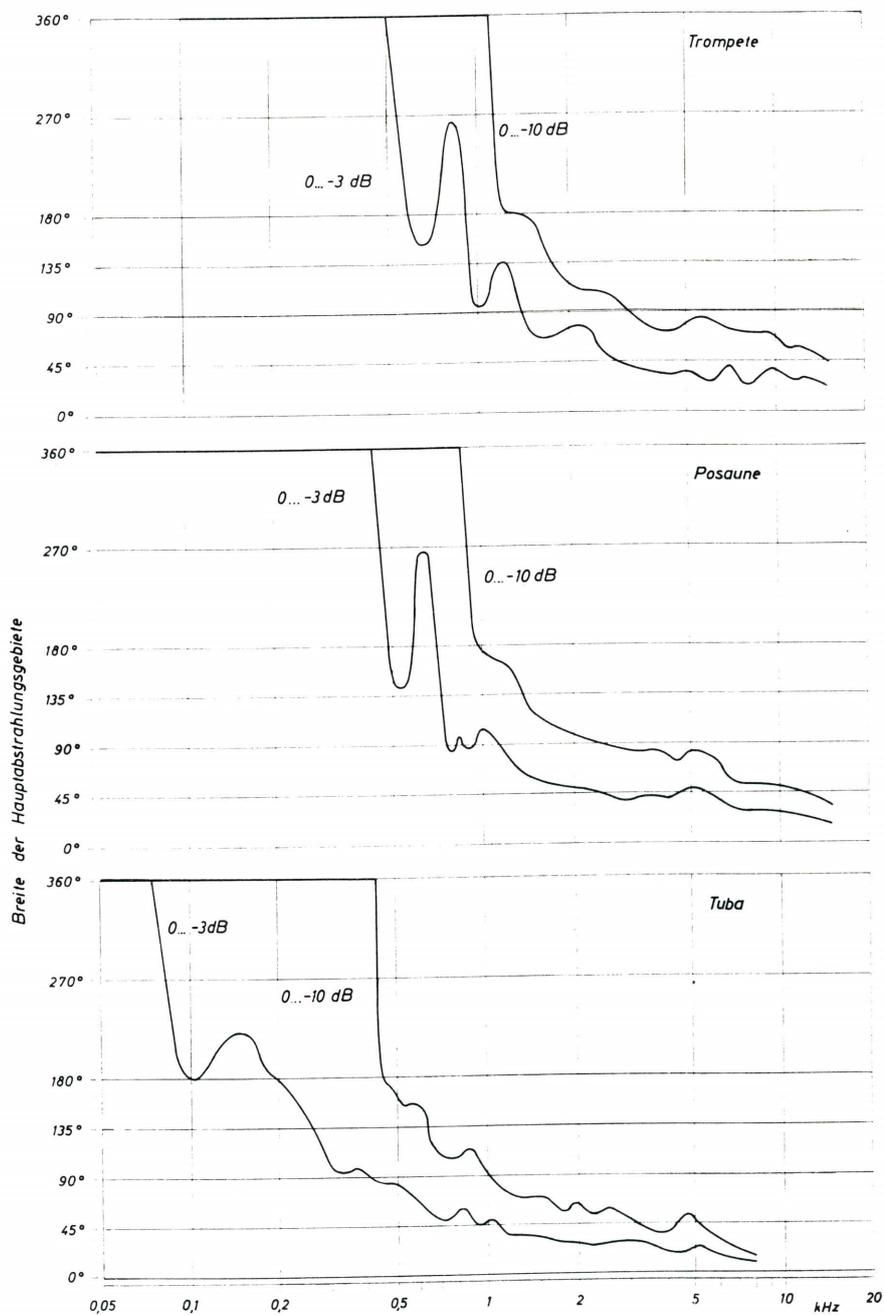


Abb. 2 Breite der Hauptabstrahlungsgebiete der Blechblasinstrumente in Abhängigkeit von der Frequenz

Bei den Trompeten zeigen die Polardiagramme für Frequenzen unterhalb etwa 500 Hz eine runde Form. Nach höheren Frequenzen hin bilden sich zunächst seitlich Einschnürungen aus, während die größte Intensität in Richtung der Instrumentenachse abgestrahlt wird. Etwa ab 2000 Hz ist eine deutliche Bündelung der Energie aus dem Trichter heraus festzustellen, während sich seitlich und nach hinten eine Vielzahl von Nebenmaxima, die durch tiefe Einschnitte gegeneinander abgetrennt sind, bemerkbar machen. Während ihre Anzahl mit steigender Frequenz zunimmt, sinkt ihre Intensität im Verhältnis zu dem Wert in der Hauptabstrahlungsrichtung ab. So liegt bei 2000 Hz die Amplitude der seitlichen Maxima um etwa 16 dB tiefer als in Achsrichtung, bei 5000 Hz sind es etwa 25 dB, und bei 10 000 Hz erhöht sich dieser Pegelunterschied auf etwas mehr als 25 dB. Auch nach rückwärts nimmt die Intensität in ähnlicher Weise ab: bei 2000 Hz ist sie um etwas mehr als 10 dB

schwächer als aus dem Trichter heraus, bei 5000 Hz um etwa 17 dB und bei 10 000 Hz um etwa 22 dB.

Bei den Posaunen weisen die Polardiagramme im Grunde ähnliche Konfigurationen auf wie bei den Trompeten, lediglich sind infolge der größeren Abmessungen des Schallstückes alle charakteristischen Merkmale zu etwas tieferen Frequenzen verlagert. Die seitliche Intensitätsabnahme gegenüber der Hauptabstrahlungsrichtung beträgt bereits bei 1500 Hz etwa 18 dB und steigert sich über 25 dB bei 4000 Hz auf Werte von etwas mehr als 25 dB im Bereich um 8000 Hz. In entsprechender Weise ist auch die Abstrahlung nach rückwärts schon bei 1500 Hz um etwas mehr als 10 dB schwächer als aus dem Trichter heraus, bei 4000 Hz erhöht sich diese Pegeldifferenz auf etwa 18 dB und erreicht bei 8000 Hz einen Wert von 25 dB.

Bei der Tuba ergeben sich auf Grund der weiteren Mensur und des konischen Rohres etwas andere Verhältnisse. Ob-

wohl die Richtcharakteristiken nur unterhalb 75 Hz als rund anzusehen sind, treten diskrete Nebenmaxima und tiefe Einschnitte erst bei verhältnismäßig hohen Frequenzen auf (etwa ab 1000 Hz). Im Bereich um 500 Hz erreicht die Abschwächung der seitlich wie auch der rückwärts abgestrahlten Amplituden gegenüber der Hauptabstrahlungsrichtung einen Wert von 10 dB. Bei 800 Hz beträgt die Pegelabnahme in der senkrecht zur Trichterachse stehenden Ebene 20 dB, bei 2000 Hz sogar 28 dB. Demgegenüber sinkt die Intensität in der dem Schalltrichter entgegengesetzten Richtung mit wachsender Frequenz weniger stark ab: bei 800 Hz wurde ein Wert von 15 dB, bei 2000 Hz von 22 dB ermittelt.

Da bei allen Frequenzen die größte Intensität in Richtung der Trichterachse abgestrahlt wird, läßt sich aus der Vielzahl der Polardiagramme eine übersichtliche Darstellung der Hauptabstrahlungsgebiete gewinnen, indem man die Breite der Winkelbereiche auswertet, in denen die Amplitude um nicht mehr als 3 dB gegenüber ihrem Maximalwert absinkt. Diese Abnahme um 3 dB bedeutet eine Verringerung der Intensität auf die Hälfte, der entsprechende Winkelbereich wird deshalb auch als Halbwertsbreite bezeichnet. In ähnlicher Weise lassen sich auch die Winkelbereiche bestimmen, in denen die Amplitude um nicht mehr als 10 dB gegenüber ihrem Maximalwert abnimmt. Eine Pegelabsenkung um 10 dB führt etwa zu dem subjektiven Gehörseindruck der halben Lautstärke.

Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Abb. 2 über der Frequenz aufgetragen. Man erkennt, daß die Trompete eine Grenzfrequenz von etwa 500 Hz besitzt, oberhalb der die eigentliche Richtwirkung erst einsetzt. Die 3 dB-Kurve fällt zunächst sehr steil ab und erreicht nach einigen Zwischenmaxima einen annähernd gleichbleibenden Wert von etwa 30° für Frequenzen von 4000 Hz an aufwärts. Diese Zwischenmaxima kommen dadurch zustande, daß sich der Schall innerhalb des Trichters nicht mehr als ebene Welle ausbreitet und deshalb über dem Querschnitt kein linearer Phasenverlauf mehr vorhanden ist.

Das erste Maximum bei etwa 800 Hz entspricht einer Breite des Hauptabstrahlungsgebietes von fast 270°, das zweite Maximum bei 1200 Hz besitzt einen Wert von 135°. Die 10 dB-Kurve verläuft bis etwa 1100 Hz bei 360°, d. h. erst oberhalb dieser Frequenz treten Amplituden auf, die mehr als 10 dB unter dem Höchstwert liegen. Diese Kurve fällt noch etwas steiler ab und zeigt nach höheren Frequenzen hin nur eine verhältnismäßig geringe Welligkeit. Im Bereich um 1300 Hz ist sie bereits auf 180° abgesunken, woraus man erkennen kann, daß die Amplitude seitlich und über dem Spieler gerade um 10 dB geringer ist als in Achsrichtung. Bei sehr hohen Frequenzen verschmälert sich die 10 dB-Breite des Hauptabstrahlungsgebietes auf Werte zwischen 45° und 75°. Das entsprechende Diagramm für die Posaune zeigt einen ähnlichen Aufbau, auf die Verschiebung zu etwas tieferen Frequenzen war bereits bei der Besprechung der Polardiagramme hingewiesen. Auch hier erreicht das erste Zwischenmaximum der 3 dB-Kurve (bei etwa 650 Hz) eine Breite von fast 270°, das zweite hebt sich jedoch weniger stark aus dem Kurvenverlauf ab. Im Bereich zwi-

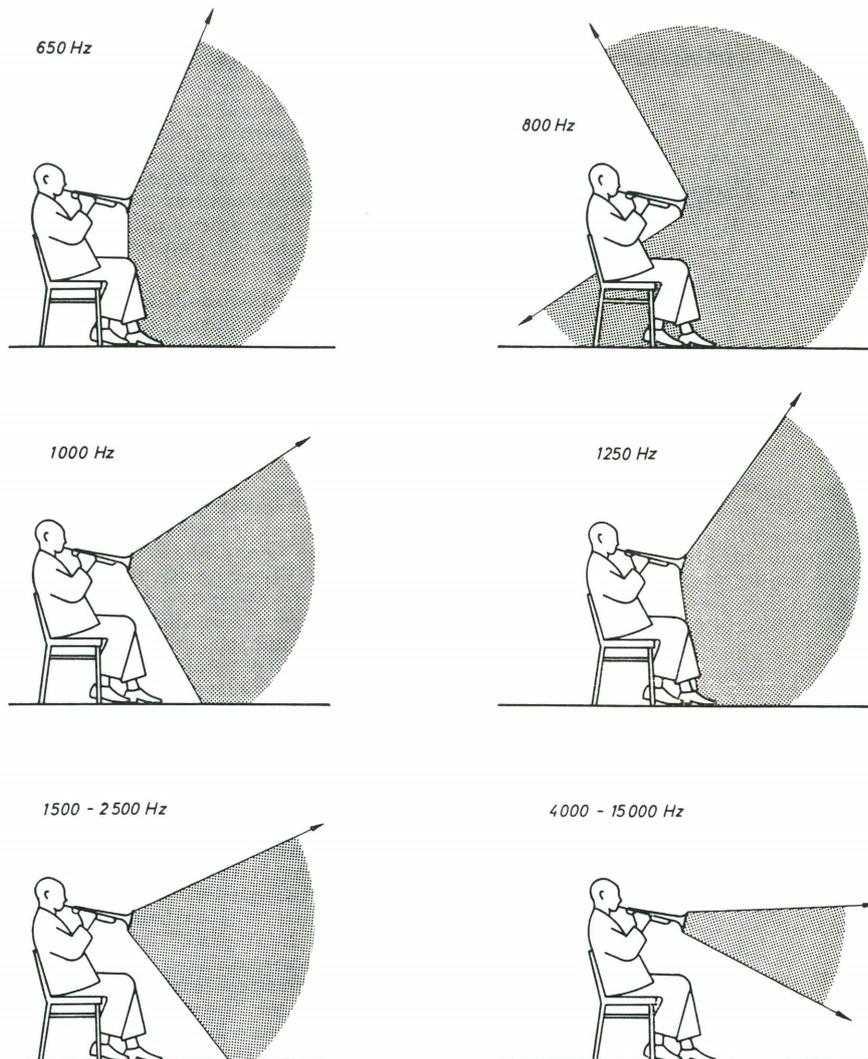


Abb. 3 Hauptabstrahlungsgebiete (0 ... - 3 dB) der Trompete

schon 2000 und 5000 Hz beträgt die Halbwertsbreite etwa 45°. Demnach ist die Bündelung bei Frequenzen um 2000 Hz bei der Posaune schärfer als bei der Trompete, während sich die Verhältnisse im Gebiet um 5000 Hz umkehren; dieselbe Tendenz zeigt sich auch im Verlauf der 10 dB-Kurven. Hingewiesen sei noch darauf, daß bei der Posaune schon bei 1000 Hz die 10 dB-Linie durch 180° läuft und unterhalb 900 Hz nicht mehr von 360° abweicht.

Die beiden Diagramme für Trompete und Posaune beziehen sich auf Konzertinstrumente; bei Trompeten kleineren Schalltrichter-Durchmessers ergibt sich eine Verschiebung der Kurven zu etwas höheren Frequenzen. So liegt beispielsweise das erste Nebenmaximum der 3 dB-Kurve bei einer sog. Jazz-Trompete bei 890 Hz, das zweite Maximum bei 1260 Hz. Dagegen ändert sich die Schärfe der Bündelung bei hohen Frequenzen nicht. Bei den Posaunen verschiedener Mensur und Trichterweite zeigen sich dagegen keine meßbaren Unterschiede in den Richtcharakteristiken.

Bedingt durch den weiten Konus und die relativ geringe Ausladung des Schalltrichters ergibt sich bei der Tuba im Bereich tiefer Frequenzen ein größerer Abstand zwischen der 3 dB- und der 10 dB-Kurve. So fällt die Halbwertsbreite schon bei 75 Hz stark ab und erreicht bei 100 Hz einen Wert von 180°. Das erste Maximum ist ziemlich schwach ausgeprägt,

die folgenden sind kaum noch zu erkennen. Im Bereich zwischen 300 und 400 Hz erstreckt sich das Hauptabstrahlungsgebiet etwa über einen rechten Winkel und verschmälert sich von 1100 Hz an aufwärts auf etwa 30°. Die 10 dB-Kurve verläuft bis etwa 425 Hz bei 360° und fällt dann noch steiler ab als bei den an-

deren Instrumenten. Sie schneidet noch unter 450 Hz die 180°-Linie und erreicht bei 1000 Hz einen Wert von 90°. Diese Angaben stimmen auch recht gut mit den Messungen von Olson überein [2].

Die klangliche Wirkung im Raum

Bedeutung der Frequenzbereiche

Der Klang der Trompeten wird schon bei mittleren Lautstärken durch ein ziemlich obertonreiches Spektrum charakterisiert, im Mezzoforte reichen die Teiltöne bis über 5000 Hz hinaus. Die größte Energie liegt dabei nicht im Grundton, sondern in den Klangkomponenten im Bereich zwischen 1000 und 1500 Hz. Wenngleich dieses Amplituden-Maximum erheblich flacher ausgebildet ist als bei gesungenen Vokalen oder auch bei den Doppelrohrblatt-Instrumenten, so kann man doch noch von einem Formanten sprechen, dessen Frequenzlage für die B-Trompete mit 1250 Hz anzugeben wäre [3]. Bei den D-Trompeten ist er auf etwa 1500 Hz verlagert, woraus das etwas nasale Timbre resultiert.

Nebenformanten, die den Klang aufhellen und ihm seine Brillanz geben, finden sich bei der B-Trompete oberhalb 2000 Hz sowie bei etwa 3000 und 4000 Hz. Die Wirksamkeit dieser Nebenmaxima ist jedoch vorwiegend auf mittlere Lautstärken beschränkt, da im Pianissimo die Zahl der Obertöne stark zurückgeht und das Spektrum nicht über 2000 Hz hinausragt. Die unteren Dynamik-Stufen werden mehr durch die weiche Klangfärbung als durch die Intensitätsabnahme im Bereich des Hauptformanten geprägt. Demgegenüber entsteht im Fortissimo ein Spektrum, dessen Teiltöne mit fast gleichbleibender Intensität bis an die obere Grenze des Hörbereiches reichen. Infolgedessen kommt den höherfrequenten Klanganteilen eine besondere Bedeutung für die Charakterisierung der Dynamikstufen zu, beispielsweise können in einem Crescendo die Komponenten im Bereich um 3000 Hz um 50 dB zunehmen, während die unteren Teiltöne in ihrer Amplitude nur um etwa 25 dB ansteigen [4].

Auch für die Einschwingvorgänge der Blechblasinstrumente spielen die höheren Frequenzanteile eine wichtige Rolle, da

Abb. 4 Partiturausschnitt aus der „Entführung aus dem Serail“ von W. A. Mozart (Arie des Pedrillo „Frisch zum Kampfe“, Takt 61 ff.)

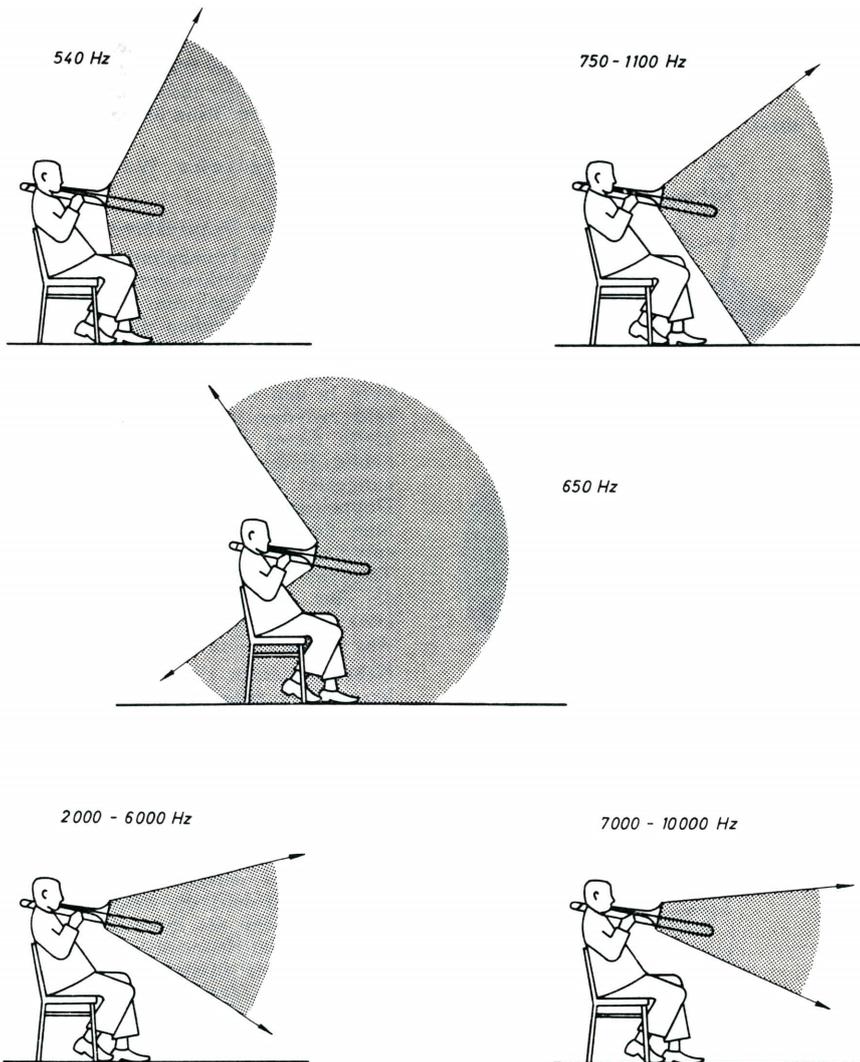


Abb. 5 Hauptabstrahlungsgebiete (0... - 3 dB) der Posaune

sie die Prägnanz des Einsatzes von angestoßenen Tönen erzeugen [5]. Bei weich angesetzten Tönen baut sich das Spektrum jedoch von den unteren Teiltönen her auf, so daß man schließen kann, daß eine mangelnde Übertragung der hohen Frequenzen dem Trompetenklang nicht nur seine Brillanz, sondern auch seine scharfe Kontur nimmt [6].

Auch bei den Posaunen reicht das Spektrum bei großer Lautstärke bis weit über 10 000 Hz hinaus und reduziert sich in entsprechender Weise bei leisem Spiel. Der Bereich der stärksten Energieabstrahlung liegt bei dieser Instrumentengruppe im Gebiet um 500 Hz, also im Gebiet des Vokalformanten "o". Typische Nebenformanten um 1600 Hz und um 2500 Hz ergänzen das Klangbild der Tenorposaune, im Forte kommt dazu noch ein weiteres Nebenmaximum bei etwa 4000 Hz. Bei der Baßposaune liegt der Hauptformant entsprechend der anderen Mensur etwas tiefer, bei der Kontrabaß-Posaune kann er bis 380 Hz verlagert sein.

Das Spektrum der Tuba reicht bei mittlerer Lautstärke im allgemeinen nicht wesentlich über 2000 Hz hinaus; nur in sehr hoch liegenden Passagen können bei forciertem Blasen Teiltöne bis etwa 5000 Hz entstehen. Die größte Energieabstrahlung erfolgt bei Frequenzen zwischen 200 bis 250 Hz, also im Bereich des Vokalformanten "u". Je nach der Mensur folgt ein Nebenmaximum bei

400 Hz (weite Bauweise) bis 500 Hz (enge Bauweise). Der Dynamikumfang der Tuba ist geringer als bei Trompete und Posaune, das für klangfarbliche Abstufung maßgebliche Frequenzgebiet ist dabei zwischen 500 und 1500 Hz zu finden. Doch überwiegen bei allen Lautstärkestufen im Gegensatz zu Trompete und Posaune die Klanganteile im Bereich des Hauptformanten.

Bedeutung der Hauptabstrahlungsrichtungen

Um die beschriebenen Eigenschaften des Klangbildes mit den Meßergebnissen über die gerichtete Schallabstrahlung in Zusammenhang zu bringen, sind in den Abb. 3, 5 und 6 die Hauptabstrahlungsbereiche (0... -3 dB) für die verschiedenen Instrumentengruppen schematisch dargestellt. Dabei ist zur Erhöhung der Übersichtlichkeit der gesamte Frequenzumfang in nur wenige Bereiche mit typischen Abstrahlungscharakteristiken unterteilt und auf eine Wiedergabe des tiefsten Gebietes mit allseitig gleichmäßiger Schallabstrahlung verzichtet.

Für eine senkrechte Ebene sind in Abb. 3 die Winkelbereiche bevorzugter Schallabstrahlung bei der Trompete wiedergegeben. Man erkennt, daß im Gebiet um 650 Hz der Hauptabstrahlungsbereich etwa einen Halbkreis nach vorn bildet, d. h. räumlich betrachtet, daß er etwa die vordere Halbkugel umfaßt. Bei diesen Frequenzen erreicht der Schall die Zuhö-

rer demnach nicht nur auf dem direkten Wege, sondern auch über Reflexionen an weiten Bereichen der Saaldecke sowie am Fußboden. Bei letzteren wird sich meistens allerdings die Absorption durch die davorsitzenden Musiker bemerkbar machen. Hingewiesen sei noch darauf, daß in dieser Frequenzlage Reflexionen von der Rückwand und von dem senkrecht über dem Spieler befindlichen Teil der Saaldecke nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Das ändert sich jedoch mit wachsender Frequenz entsprechend dem Kurvenverlauf in Abb. 2 noch einmal in der Nähe von 800 Hz, wo die Figurendarstellung die Bedeutung der höher gelegenen Teile der Rückwand und der gesamten Decke veranschaulicht. Von etwa 1000 Hz an aufwärts führt die zunehmende Schallbündelung der Trompete dann dazu, daß neben dem Direktschall nur noch Reflexionen von weiter entfernten Teilen der Decke eine wesentliche Bedeutung besitzen. Diese Tatsache ist besonders deshalb bemerkenswert, weil in diesem Frequenzbereich die stärksten Klanganteile der Trompete liegen, die für das typische Timbre verantwortlich sind und vor allem dem Klang seine Kraft geben. Oberhalb 1500 Hz wird die Konzentration der Schallabstrahlung so stark, daß auch den Deckenreflexionen nur noch ein geringer Wert beizumessen ist. Von 4000 Hz an aufwärts ist die Hauptintensität nur noch direkt auf das im Parkett sitzende Publikum gerichtet. Der enge Abstrahlungsbereich dieser Teilfigur weist auch darauf hin, wie wichtig es für diese hohen Frequenzkomponenten ist (die für die Brillanz, aber auch die Schärfe verantwortlich sind), daß der Spieler hinreichend erhöht über den vor ihm sitzenden Reihen des Orchesters placiert ist. Auf die in diesem Zusammenhang interessierende Wirkung des Notenpultes soll später noch eingegangen werden.

Die Schallbündelung der Trompete macht sich natürlich in ähnlicher Art auch in der waagerechten Ebene bemerkbar. So sind die höchsten Komponenten über 4000 Hz nur auf einen verhältnismäßig schmalen Bereich beiderseits der Blickrichtung konzentriert. Seitenwandreflexionen aus dem Saal spielen überwiegend unterhalb 500 Hz und in dem Gebiet um 800 Hz eine Rolle, für Teiltöne oberhalb 1000 Hz kommen überwiegend Schallrückwürfe an weiter hinten im Saal befindlichen Teilen der Wände in Frage.

Der Unterschied zwischen dem nach vorn und dem zur Seite abgestrahlten Klangbild der Trompete kommt vor allem durch die unterschiedliche Sitzordnung dieser Instrumentengruppe auf dem Konzertpodium und im Orchestergraben eines Opernhauses zur Auswirkung. Zur Seite hin ist nicht nur die Brillanz durch die Abschwächung der hohen Frequenzen (bei 5000 Hz 25 dB gegenüber der Blickrichtung) erheblich verringert, sondern auch die Gesamtlautstärke herabgesetzt; denn wie die 10-dB-Kurve in Abb. 2 zeigt, werden auch die Klanganteile im Bereich des Hauptformanten um 10 dB herabgesetzt. Der Dirigent steht jedoch sowohl im Konzert wie in der Oper in Hauptabstrahlungsrichtung der Trompeten, d. h. an seinem Platz wird die für die Zuhörer unterschiedliche Klangwirkung nicht hörbar.

Diesem Umstand ist besonders an solchen Stellen Rechnung zu tragen, wo die

Trompeten allein oder nur mit sehr dunkel klingenden Instrumenten wie beispielsweise den Pauken zusammen harmonische oder rhythmische Akzente bzw. Motive zu spielen haben, die sich hinreichend deutlich aus dem Gesamtklang herausheben sollen. So läßt sich zum Beispiel der nur von Trompeten und Pauke ausgeführte dritte Schlag der Fermate kurz vor dem Schluß des 1. Satzes (Takt 332) der 8. Sinfonie von L. van Beethoven verhältnismäßig leicht deutlich machen, ohne ihm zu viel Gewicht zu geben, weil durch die höchsten Klanganteile der Trompeten der Einsatz eine große Prägnanz erhält. Schwieriger ist es dagegen in Fällen wie dem in Abb. 4 dargestellten Ausschnitt aus der Arie des Pedrillo aus dem 2. Akt der „Entführung aus dem Serail“, wo sich in ähnlicher Weise Trompeten und Pauke gegenüber dem Crescendo der anderen Stimmen durchsetzen müssen. Gerade in dieser Passage kommt es oft vor, daß der Sänger im Zuschauerraum das rhythmische Trompeten-Motiv überdeckt, ohne daß diese Klangwirkung am Dirigentenpult zu hören wäre, weil die Trompeten hier nicht nur lauter, sondern auch obertonreicher und dementsprechend deutlicher klingen.

Trompeten auf der Szene als Bühnenmusik bieten im allgemeinen keine besonderen akustischen Schwierigkeiten, da sie im Verhältnis zu den Instrumenten im Orchestergraben freiere Abstrahlungsbedingungen haben und somit die erwünschte Brillanz erhalten. Lediglich kann es bei spärlichem Dekorationsaufbau passieren, daß sie den oftmals ziemlich langen Nachhall des Bühnenhauses anregen, wenn sie zu sehr seitlich ausgerichtet sind. Interessant ist jedoch die Gruppierung mehrerer Trompetengruppen, wie sie beispielsweise im 3. Akt der Oper „Lohengrin“ für den effektvollen Aufzug der vier Grafen und des Königs gefordert wird. Aus der genialen Superposition der Fanfaren-Motive der verschiedenen Trompetengruppen (in Es, F, D und E) muß am Schluß das Thema der C-Trompeten des Königs dominierend herauszuhören sein. Diese Klangwirkung ist am besten zu erzielen, wenn die Trompeten der Grafen etwas seitlich, diejenigen des Königs jedoch frontal in den Zuschauerraum spielen.

Unbedingt frontal aufstellen sollte man auch die Trompeten, wenn sie bei noch geschlossenem Vorhang auf der Bühne blasen wie beispielsweise bei der Überleitungsmusik während der Verwandlung im 3. Akt der „Meistersinger von Nürnberg“. Da der Vorhang vorwiegend die hohen Klanganteile absorbiert, würde anderenfalls dem Trompetenklang der Fanfaren-Charakter zu sehr genommen. Allerdings ist es auch nicht vorteilhaft, die Spieler direkt hinter dem Vorhang aufzustellen, weil dadurch eine punktförmige Lokalisierung der Schallquelle für die Zuhörer hervorgerufen würde, die der in der Musik bereits vorbereiteten Weiträumigkeit der folgenden Szene widerspricht.

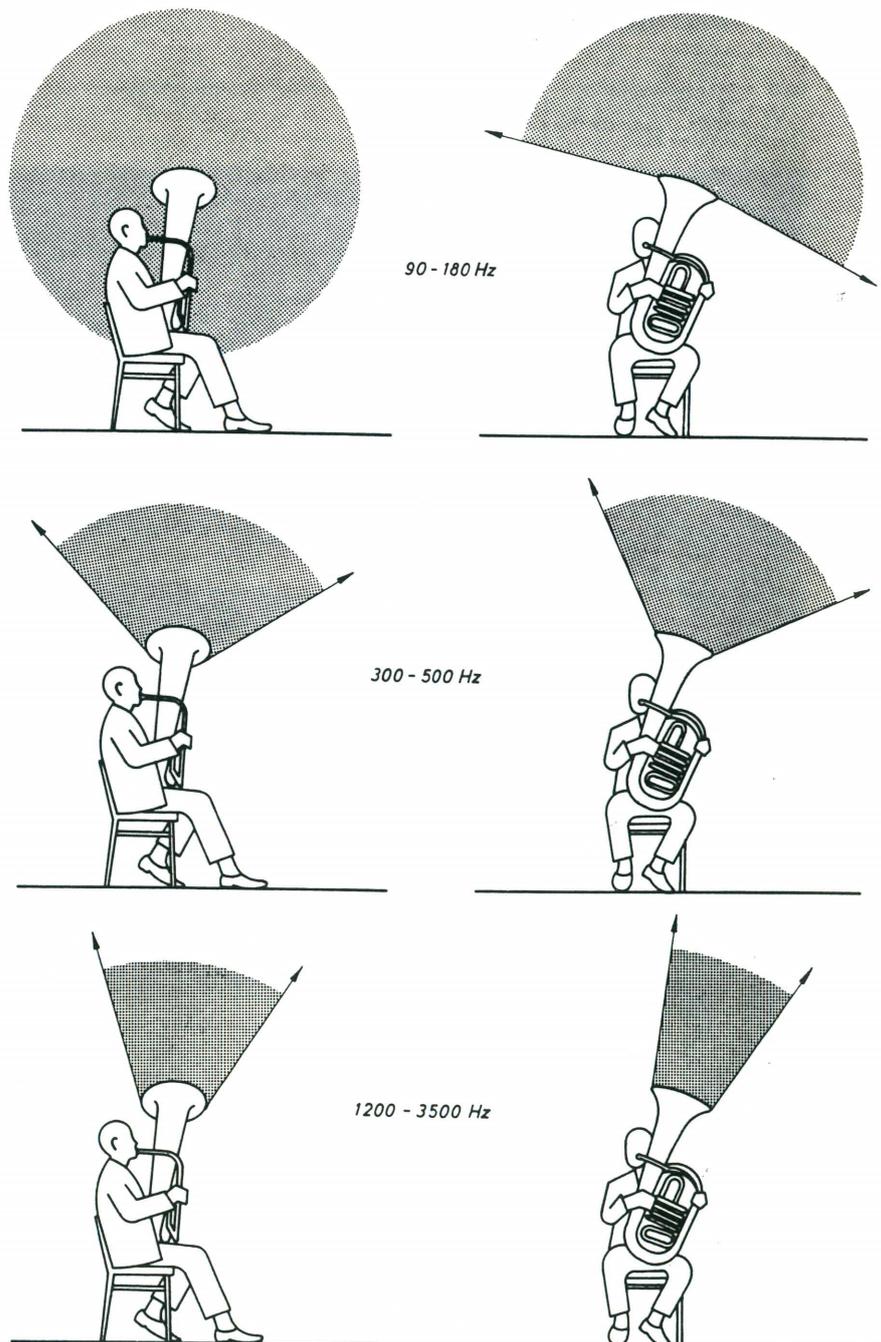
Trompeten hinter den Kulissen regen naturgemäß meistens auch den Nachhall des Bühnenraumes an. Diese Erscheinung läßt sich dazu ausnutzen, durch mehr oder weniger auf die Bühnenöffnung ausgerichtete Aufstellung der Spieler einen unterschiedlichen Entfernungseindruck zu erzeugen, da ein präziseres Klangbild eine größere Nähe vortäuscht, während der Nachhall den Eindruck ei-

ner größeren Entfernung hervorruft. Da die hohen Frequenzen für den Dirigenten und die Zuhörer in annähernd gleichem Maße durch die Kulissen abgeschwächt werden, ist die klangliche Beurteilung für den Dirigenten kein Problem. Für den Spieler bietet sich jedoch ein weitaus brillanteres und helleres Klangbild, als es im Zuschauerraum ankommt, da die Leinwandkulissen die hohen Frequenzanteile reflektieren, die tieferen dagegen weitgehend durchlassen. Damit hängt es zusammen, daß von den Spielern hinter den Kulissen leicht zu tief intoniert wird, weil sie ihrerseits das Orchester obertonarm und infolgedessen zu matt hören. Es wäre deshalb vorteilhaft, für den Spieler hinter der Bühne das Orchester über einen kleinen Lautsprecher mit heller Klangfarbe zu übertragen.

Es soll jedoch keinesfalls der Eindruck erweckt werden, daß ein Maximum an Intensität im Bereich der höchsten Fre-

quenzen grundsätzlich als erstrebenswert anzusehen ist. Das gilt vielmehr nur für die höheren Dynamikstufen, wie sich auch schon bei der Erläuterung der spektralen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Lautstärke des Spiels gezeigt hatte. In noch stärkerem Maße als bei den Trompeten ist bei den Posaunen auf eine ausgeglichene Klangwirkung der hohen Frequenzanteile zu achten, da diese Instrumentengruppe sonst in getragenen Passagen leicht zu hart klingt. Die Hauptabstrahlungsbereiche in der senkrechten Ebene sind in Abb. 5 für die Posaune schematisch dargestellt. Ähnlich wie bei den Trompeten ist auch hier die Abstrahlung vorzugsweise nach vorn und auf die Saaldecke gerichtet, die bei Frequenzen unterhalb etwa 1100 Hz — zumindest mit ihren weiter entfernten Teilen — durch Reflexionen zur Intensitätssteigerung beiträgt. Von der Rückwand ist dagegen eine gewisse Reflexionswirkung nur in dem Frequenzbe-

Abb. 6 Hauptabstrahlungsgebiete (0 ... - 3 dB) der Tuba



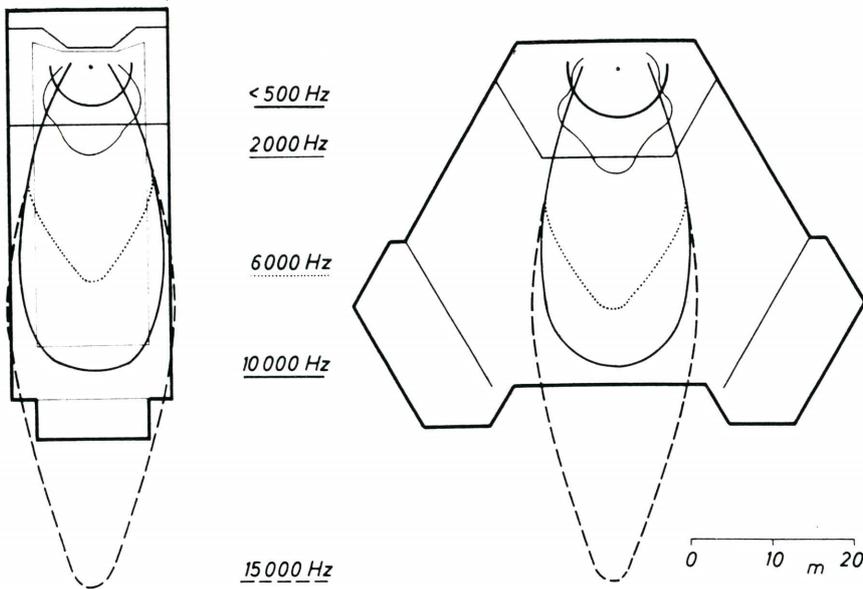
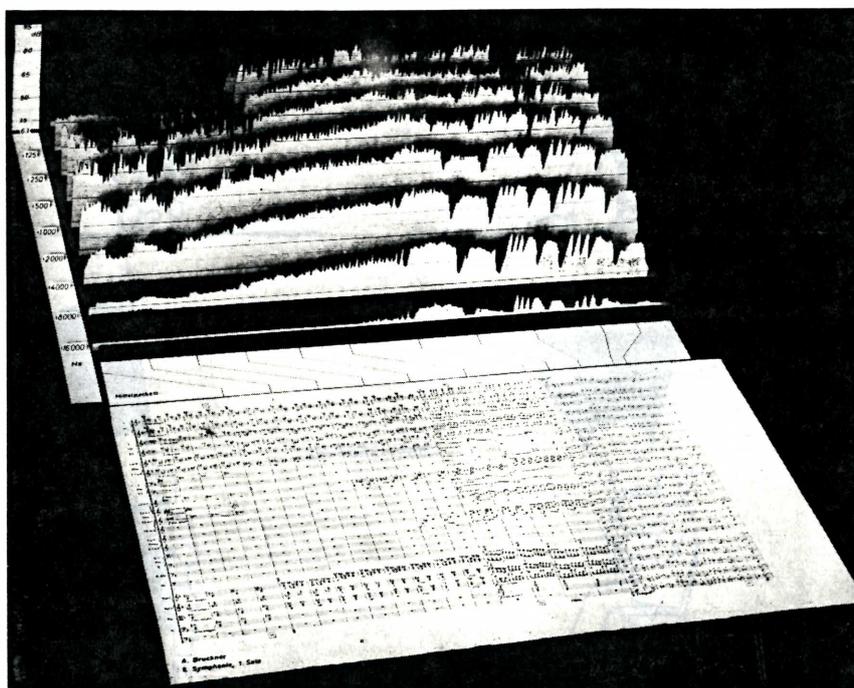
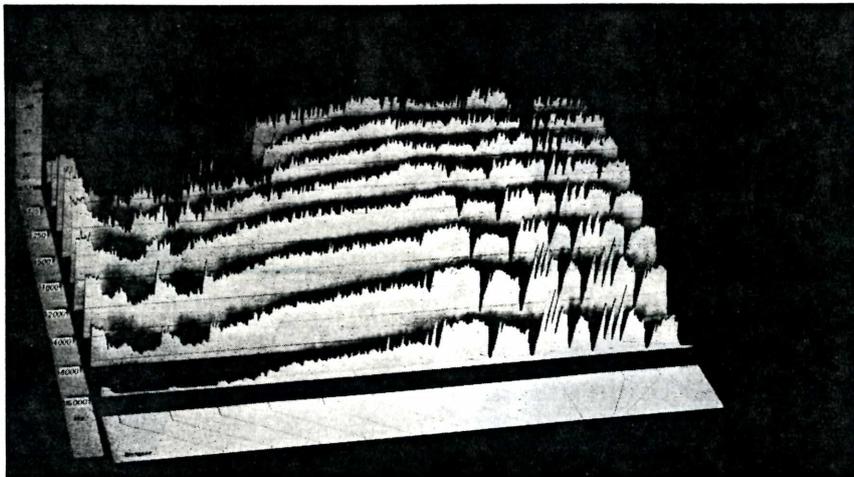


Abb. 7 Hallradien der Trompete für zwei Konzertsäle
links: Großer Musikvereinssaal Wien,
rechts: Stadhalle Braunschweig

Abb. 8 Oktavpegel-Modelle für den Orchesterklang in der Stadhalle Braunschweig (A. Bruckner,
9. Sinfonie, 1. Satz, Takt 51–71)
oben: Klang am Platz des Dirigenten
unten: Klang in der 5. Reihe des Parketts



reich mit allseitig gleichmäßiger Abstrahlung unterhalb 400 Hz, sowie um 650 Hz zu erwarten. Oberhalb 2000 Hz entfallen auch die Deckenreflexionen, für die gegen den Fußboden gerichteten Komponenten ist wiederum mit einer starken Absorption durch die davor sitzenden Musiker zu rechnen, so daß für die hohen Frequenzen der Direktschall bei weitem überwiegt.

Das zeigt sich auch in der waagerechten Ebene, wo für Frequenzen über 2000 Hz nur ein etwa 45° breiter Winkelbereich des Zuschauerraumes im Hauptabstrahlungsgebiet liegt und oberhalb 7000 Hz nochmals eine Verschmälerung auf etwa 30° eintritt. Dieser Frequenzbereich kommt allerdings nur im Fortissimo vor. Dafür spielen aber bei der Posaune die Seitenwandreflexionen unterhalb etwa 1100 Hz und vor allem unter 700 Hz eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zu den Trompeten, wo die stärkste Energie bereits im Frequenzgebiet verhältnismäßig scharfer Bündelung abgestrahlt wird, liegt bei den Posaunen der Hauptformant in einem Frequenzgebiet, wo die Intensität seitlich des Spielers nur um etwa 3 dB gegenüber der Blickrichtung abgeschwächt ist. Diese wichtigen Klanganteile werden also breit in den Raum abgestrahlt.

Der Unterschied in der klanglichen Wirkung im Konzertsaal und im Opernhaus ist daher nicht ganz so ausgeprägt wie bei den Trompeten, und die Posaunen verlieren im letzteren Falle nichts von ihrer Sonorität. Vielmehr ergibt sich durch die Abschwächung der höheren Frequenzen gegenüber der Blickrichtung ein etwas weiches Klangbild, was vielfach wünschenswert sein kann. So gibt es sogar Dirigenten, die nach Möglichkeit die Posaunen auf dem Konzertpodium so placieren, daß sie „in einem rechten Winkel zur Mitte hin spielen, statt direkt in den Saal hinein“, da sich „ihr Ton so besser verschmelzen“ kann [7].

Dieses Verschmelzen der einzelnen Instrumente innerhalb der Gruppe oder im Gesamtklang des Orchesters ist so zu verstehen, daß die Posaunen nicht durch hervorstechende Einschwingvorgänge das Gehör auf sich ziehen, sondern sich durch einen weichen Einsatz unauffälliger in den Akkord einfügen, ohne indessen mit geringerer Intensität zu spielen. Es handelt sich dabei um ein ähnliches Phänomen wie beim „Stützen“ eines Sängers oder Instrumentalsolisten, wo auch die Unterstimmen beziehungsweise eine Unisono-Begleitstimme in ihrer Intensität zurücktreten müssen.

Die verhältnismäßig breite Abstrahlung der Posaunen im Frequenzbereich ihres Hauptformanten verdient besondere Beachtung, wenn ein Konzertsaal beziehungsweise das Orchesterpodium nicht einen rechteckigen Grundriß hat, sondern die Wände zur Publikumsseite hin auseinanderlaufen. In derartigen Fällen kommt es oft vor, daß die Posaunen in einem Teil des Saales als übermäßig laut empfunden werden, während an anderen Plätzen die Balance ausgeglichen ist. Da nämlich bei einem solchen Grundriß die Streicher im allgemeinen das Podium nicht in voller Breite ausfüllen, entsteht beiderseits zwischen dem Orchester und den schräg verlaufenden Wänden ein freier Raum; dadurch können die von den Posaunen seitlich abgestrahlten Klanganteile ungehindert über eine Wandreflexion in den angrenzenden

den Teil des Zuschauerraumes gelangen. In derartigen Fällen erscheint es daher zur Verbesserung der Ausgeglichenheit der Klangwirkung ratsam, die Posaunen auf der letzten Stufe nicht am Rande, sondern mehr zur Mitte hin zu placieren. In Rechtecksälen oder bei rechteckiger Bühne treten diese Schwierigkeiten nicht auf, weil die Wandreflexionen durch die davorsitzenden Musiker in ihrer Wirkung abgeschwächt werden.

Im Gegensatz zu Trompete und Posaune spielen bei der Tuba — bedingt durch die Haltung des Instrumentes — die Deckenreflexionen eine bevorzugte Rolle. Die Hauptabstrahlungsgebiete der Tuba sind in Abb. 6 für drei Frequenzbereiche und zwei Vertikalebene dargestellt. Dabei ergeben sich in diesen beiden Ebenen infolge der etwas schrägen Lage der Trichterachse etwas unterschiedliche Halbwertsbreiten. Wie die Abbildung erkennen läßt, kommt im Konzertsaal dem Direktschall vom Instrument zum Publikum eine besondere Bedeutung nur im Bereich der tiefsten Frequenzen zu, wo überdies auch die Abschattung durch die davor sitzenden Musiker sehr gering ist. Schon im Gebiet des Hauptformanten ist die Intensität in der waagerechten Ebene um mehr als 3 dB niedriger als in der Hauptabstrahlungsrichtung. Mit wachsender Frequenz wird die Bündelung zunehmend schärfer: Komponenten über 800 Hz werden nach oben um 20 dB stärker abgestrahlt als in der waagerechten Ebene.

Für die tiefe Lage sowie den vollen und runden Klang der Tuba müssen Obertöne dieser Frequenzen jedoch bereits als sehr hoch angesehen werden; sie werden vielfach nicht als Bereicherung des Klangbildes, sondern als unerwünscht empfunden. Diese Erscheinung läßt sich bisweilen in Opernhäusern auf den der Bühne am nächsten liegenden Plätzen der seitlichen Ränge beobachten. Auch kann es vorkommen, daß durch ungünstig ausgerichtete Reflexionsflächen in

einem bisweilen nur auf wenige Sitze begrenzten Zuhörerbereich die Klangteile höherer Frequenzen zu stark eintreffen. Da in diesem Gebiet höherer Frequenzen auch verhältnismäßig aufdringliche Geräuschbeimischungen vorhanden sind, erhält der Klang einen rohen und etwas verfremdeten Charakter. Darüber hinaus besteht die Gefahr einer Fehllokalisation, d. h. der Zuhörer hat den Eindruck, das Instrument hinter der Reflexionsfläche an der Saaldecke oder der Unterkante eines Ranges zu orten.

Da für die meisten anderen Instrumente die Reflexionsflächen über dem Orchester von großer Wichtigkeit sind, folgt aus dieser Betrachtung, daß die Tuba im allgemeinen in ihrer Spielweise auf das Vorhandensein von Reflektoren eingestellt werden muß, indem zur Erzielung eines vollen und ruhigen Klanges keine höhere Dynamikstufe als Mezzoforte geblasen werden sollte — eine Forderung, die auch R. Strauss schon in anderem Zusammenhang erhoben hat [8]. Andererseits ließe sich in reinen Konzertsälen im Hinblick auf die scharfe Bündelung der hohen Frequenzanteile der Tuba daran denken, einen entsprechenden kleinen Teil der Decke über dem Orchester schallschluckend auszuführen, zumal auch die meist neben der Tuba sitzenden Posaunen nicht von Reflexionen aus diesem Bereich der Decke profitieren.

Hallradien

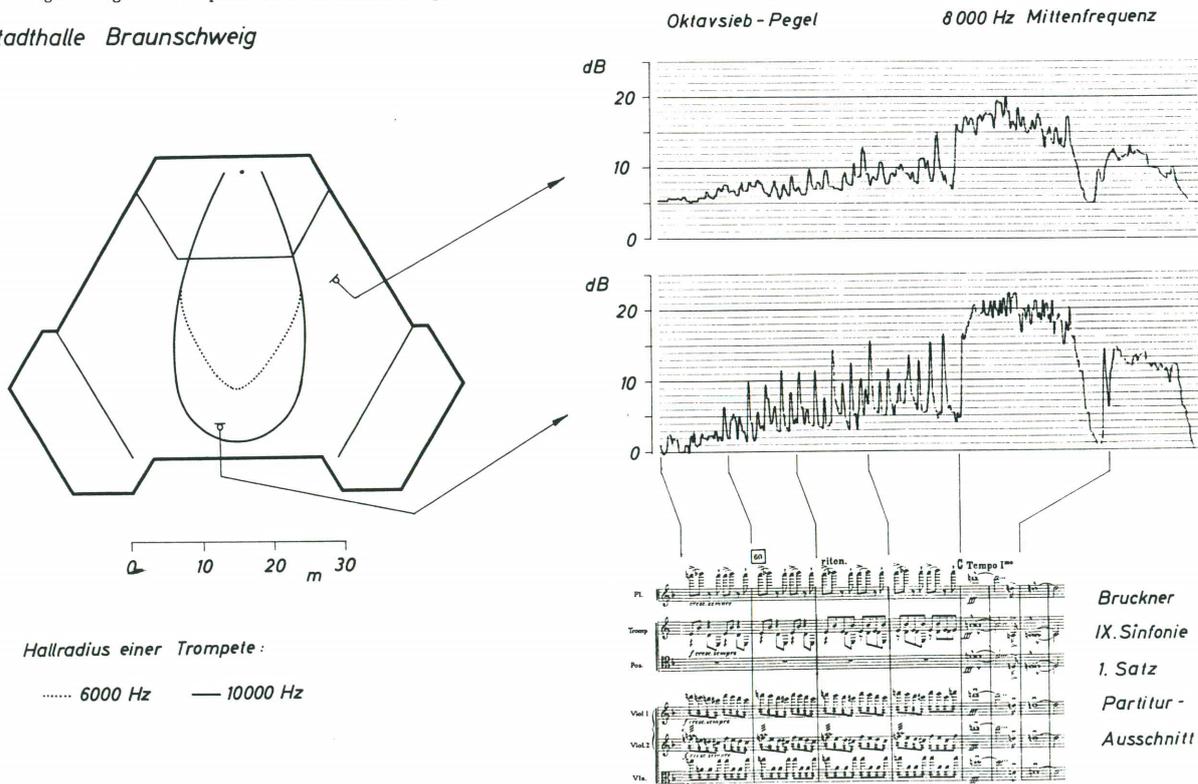
Eine anschauliche Größe, welche die Richtcharakteristik der Schallquelle einerseits und die raumakustischen Eigenschaften des Konzertsales andererseits zusammenfaßt, ist der sog. Hallradius [9]. Es handelt sich dabei um diejenige Entfernung von der Schallquelle, in welcher der Direktschall die gleiche Energiedichte besitzt wie das statistische Schallfeld im Raum. Innerhalb dieser Grenze überwiegt also der Direktschall,

während außerhalb das statistische Feld stärker ist. Wenn die Schallquelle ihre Energie allseitig gleichmäßig abstrahlt, wie es bei den behandelten Blechblasinstrumenten nur im untersten Frequenzbereich der Fall ist, ergibt sich für die bei Konzertsälen üblichen Nachhall- und Größenverhältnisse ein relativ kleiner Hallradius. Er liegt nach einer Zusammenstellung von Thienhaus [10] in unbesetzten Sälen zwischen 3,5 m und 4,6 m und vergrößert sich im besetzten Zustand infolge der kürzeren Nachhallzeit auf Werte zwischen 4,6 und 5,6 m. Besitzt die Schallquelle dagegen eine ausgeprägte Richtcharakteristik, so verlängert sich der Hallradius im Hauptabstrahlungsbereich in dem Maße, wie die abgestrahlte Amplitude gegenüber dem entsprechenden Wert einer ungerichteten Schallquelle (mit derselben Gesamtenergie) zunimmt. Daraus folgt natürlich, daß in Richtungen besonders schwacher Schallabstrahlung der Hallradius kürzer wird als bei einer Kugelschallquelle.

Die Hallradien der Trompete sind für einige charakteristische Frequenzen und zwei Konzertsäle mit Publikum berechnet und in Abb. 7 dargestellt. Die beiden Säle haben ein ähnliches Volumen und eine ähnliche Nachhallzeit, sie unterscheiden sich jedoch wesentlich in ihrem Grundriß und ihrer Höhe. Man erkennt aus den Kurven, daß mit wachsender Frequenz die „Reichweite“ des Direktschalles in Blickrichtung des Spielers erheblich zunimmt, während sich die Breite des vom Hallradius eingeschlossenen Feldes nur wenig vergrößert. Das hängt einerseits mit der nach den höchsten Lagen hin abnehmenden Nachhallzeit, andererseits aber auch mit der nach höheren Frequenzen immer stärker gebündelten Schallabstrahlung zusammen. Während die allseitig gleichmäßige Schallabstrahlung unterhalb 500 Hz nur zu einem Hallradius von 5 m im Wiener Musikvereinsaal und von 6 m in der

Abb. 9 Klangwirkung der Trompeten an zwei Plätzen im großen Saal der Stadthalle Braunschweig

Stadthalle Braunschweig



Hallradius einer Trompete:

..... 6000 Hz — 10000 Hz

Bruckner
IX. Sinfonie
1. Satz
Partitur -
Ausschnitt

Braunschweiger Stadthalle führt, vergrößert sich die entsprechende Entfernung bei 2000 Hz in Blickrichtung bereits auf 11,6 beziehungsweise 13,8 m. Bei 10 000 Hz erhält man in der Hauptrichtung einen Hallradius von etwa 40 m und einen eingeschlossenen Bereich, der im mittleren Teil eine Breite von etwa 20 m hat. Wie man sieht, wird die Recht-mittleren Teil eine Breite von etwa 20 m diese Kurve recht gut ausgefüllt, mit der entsprechenden Linie für 15 000 Hz werden praktisch alle Zuhörerplätze erfaßt. Das bedeutet, daß in diesem Saal überall der prägnante Klang scharfer Trompeten-Motive präzise zu hören ist.

Im Gegensatz dazu liegt in der Braunschweiger Stadthalle mit ihrem verhältnismäßig breiten Saal nur der Mittelteil des Zuhörerbereiches innerhalb der Hallradiuskurven. Es ist deshalb zu erwarten, daß die Trompeten auf den seitlichen Plätzen an Brillanz und Deutlichkeit verlieren, da insbesondere bei den höchsten Frequenzen die Intensität geringer ist. Diese Erscheinung wird sich weniger bei ausgesprochenen Solostellen bemerkbar machen als in Passagen, in denen die Trompeten mit einem rhythmischen Motiv aus dem vollen Orchesterklang herauszuhören sein sollen. Als Beispiel dafür ist in den Abb. 8 und 9 die klangliche Analyse eines Ausschnittes aus der 9. Sinfonie von A. Bruckner wiedergegeben.

Abb. 8 zeigt zwei Modelle mit Oktavpegelverläufen für die Takte 51 bis 71 des ersten Satzes; die zeitliche Zuordnung ist durch das Notenbild gegeben. Die Mittelfrequenzen der verwendeten Oktavfilter sind am linken Rande vermerkt, danach befinden sich die tiefen Frequenzen hinten, die hohen vorn. Nach oben ist die Intensität in den einzelnen Filterbereichen dargestellt. Während das untere Modell das Klangbild an einem Zuhörerplatz in der 5. Reihe von vorn etwa auf der Mittelachse des Saales repräsentiert, gibt das obere die Schallverhältnisse am Platz des Dirigenten wieder.

Man erkennt in beiden Beispielen die gleiche Struktur des klanglichen Vorganges, von dem zweimaligen Wechsel zwischen piano und pianissimo am Anfang über das große Crescendo mit dem Einsatz der tiefen Instrumente bis hin zu dem rhythmisch markanten Thema im rechten Teil des Bildes. Man erkennt aber auch gewisse Unterschiede zwischen den Modellen, vor allem den größeren Obertonreichtum am Platz des Dirigenten. Besondere Aufmerksamkeit verdienen im vorliegenden Zusammenhang die letzten vier Takte des Crescendos, wo die Trompeten Staccato-Achtel zu spielen haben. Im oberen Modell sind diese Figuren in keinem Filterbereich deutlich (als Spitzen in regelmäßigem Abstand) zu erkennen, was damit zusammenhängt, daß am Platz des Dirigenten auch die in der Nähe sitzenden Streicher mit ihrem Tremolo starke Komponenten bei hohen Frequenzen abstrahlen. Im unteren Modell machen sich jedoch die Trompeten-Achtel im 8000 Hz-Bereich als regelmäßige Spitzen bemerkbar, obwohl an diesem Zuhörerplatz die Trompeten durch die davor sitzenden Musiker etwas abgeschattet werden; die hohen Anteile der Streicher sind an diesem Platz nämlich auf Grund des größeren Abstandes im Vergleich zum Platz des Dirigenten erheblich geschwächt.

Besonders deutlich wird der Unterschied in der Wirkung der Trompeten, wenn

man einen Platz innerhalb des Hallradius mit einem seitlichen vergleicht. Zu diesem Zweck sind in Abb. 9 die Oktavpegel-Verläufe im 8000 Hz-Filter für die interessierenden Takte wiedergegeben. Dabei sind aus der Partitur nur diejenigen Stimmen übernommen, die in dem untersuchten hohen Frequenzbereich noch Klanganteile liefern. Da vor der Rückwand des Saales die Zuhörer-Reihen verhältnismäßig steil ansteigen, besteht von hier aus auch eine gute Sicht auf die Bläsergruppen. Die Trompeten werden nicht durch andere Spieler abgeschattet und heben sich deshalb sehr scharf von dem Gesamtklang ab. Das kommt nicht nur in den Staccato-Achteln vor C zum Ausdruck, sondern auch in dem deutlich abgesetzten Auftakt im 2. Takt nach C. An dem seitlichen Platz außerhalb des Hallradius sind die einzelnen Achtel jedoch nicht mehr eindeutig zu identifizieren, obwohl der Abstand zum Spieler hier nur etwa halb so groß ist.

Möglichkeiten zur Beeinflussung des Klangbildes

Es war bereits angedeutet, daß das Notenpult auf Grund des verhältnismäßig geringen Abstandes zum Instrument ein Hindernis für die freie Schallabstrahlung darstellen kann. Diese Abschattung wird sich entsprechend der üblichen Größe von Notenpulten vorzugsweise bei höheren Frequenzen bemerkbar machen. Jedoch läßt sich dieser Einfluß auf das Klangbild weitgehend vermeiden, wenn der Schalltrichter der Trompeten so an-

gehoben wird, daß sich der Klang frei über das Pult hinweg ausbreiten kann. Diese Spieltechnik wird insbesondere in Passagen angewandt, in denen die Trompeten einen fanfarenartigen Charakter haben sollen wie beispielsweise am Schluß der Egmont-Ouvertüre. Auch wenn sich die Trompeten mit besonderer Brillanz aus dem Orchesterklang herausheben sollen, verlangen viele Dirigenten eine derartige Haltung der Instrumente. Ein typisches Beispiel dafür befindet sich kurz vor dem Schluß des 1. Satzes der „Eroica“ (Takt 654 ff.), wo die Trompeten nach einer großen Steigerung mit dem Hauptthema das ganze Orchester überstrahlen sollen.

Um die klangliche Wirkung dieser Spieltechnik zu erfassen, wurde die spektrale Zusammensetzung des Trompetenklanges in Blickrichtung untersucht. Dabei hielt der Spieler das Instrument einmal „normal“, d. h. um etwa 15° abwärts geneigt (wie in Abb. 3) und einmal annähernd waagrecht. Der Abstand des Notenpultes betrug bei normaler Haltung 35 cm vom Schalltrichter. Als Ergebnis dieser Messung ist in Abb. 10 aufgetragen, um wieviel die Amplitude in Blickrichtung des Spielers beim Aufheben des Schalltrichters zunimmt. Man erkennt, daß von etwa 1250 Hz an aufwärts eine Intensitätssteigerung eintritt, die im Bereich um 3000 Hz einen Wert von 15 dB erreicht und auch bei noch höheren Frequenzen größer als 10 dB ist. Zwischen 400 und 1200 Hz zeigt die Kurve einen Verlauf im negativen Bereich; diese Abschwächung hängt mit ei-

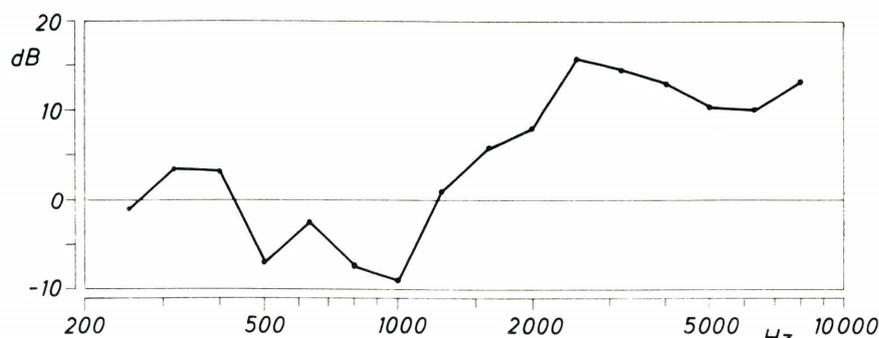


Abb. 10 Schallpegel-Erhöhung in Blickrichtung des Spielers beim Aufheben des Schalltrichters der Trompete über das Notenpult

Abb. 11 Partiturausschnitt (ohne Streicher und Pauken): J. Brahms, 1. Sinfonie, 4. Satz, Takt 35 ff.

ner akustischen Wechselwirkung zwischen dem Notenpult und dem Instrument zusammen, bei einer Verdoppelung des Pultabstandes verringert sich die Abschwächung auf etwa die Hälfte.

Klanglich bedeutet der Kurvenverlauf in Abb. 10, daß beim Aufheben des Schalltrichters, die Helligkeit und die Schärfe des Timbres erhöht werden, während durch die Absenkung im mittleren Frequenzbereich etwas von der Kraft und Substanz verlorenght. Diese Wirkung kommt natürlich dem Wunsch nach einem schmetternden Fanfarenton in geeigneter Weise nach, zumal wenn auch eine große Lautstärke verlangt wird. In Piano-Passagen, wo die Trompeten zwar hell, aber auch weich klingen sollen, ist es dagegen klanglich nicht befriedigend, wenn der Schalltrichter zur Erhöhung der Durchsichtigkeit des Gesamteindrucks angehoben wird. Bei solchen Stellen, wie beispielsweise bei dem feinen Stimmengewebe in der Einleitung des letzten Satzes der 1. Sinfonie von J. Brahms (Abb. 11), ist vielmehr der normalen Instrumentenhaltung der Vorzug zu geben, damit die Klanganteile im Bereich des a-Formanten möglichst vorteilhaft abgestrahlt werden. Das zitierte Beispiel kann als besonders typisch angesehen werden, weil auf Grund der Tonlage dieses Motivs gerade die Oktavteiltöne in den fraglichen Bereich um 1000 Hz fallen.

Bei manchen Orchestern, vor allem in Rundfunkstudios, werden Notenpulte mit perforierten Platten verwendet, um die abschattende Wirkung zu verringern. Auch diese Möglichkeit wurde für den Fall der Trompete untersucht, da man annehmen kann, daß sich eventuell vorhandene Vorteile bei einem stark gerichteten Musikinstrument besonders deutlich ausprägen müßten. In Abb. 12 ist dargestellt, um wieviel die Amplitude in Blickrichtung des Spielers ansteigt, wenn statt eines Notenpults mit Holzplatte ein Pult benutzt wird, dessen Fläche mit 30% Lochanteil perforiert ist. Natürlich standen in beiden Fällen Noten auf dem Pult. Die Trompete wurde normal gehalten, nachdem ein Versuch mit aufgehobenem Schalltrichter die Vermutung bestätigt hatte, daß für diese Haltung die Beschaffenheit des Pultes keine Rolle spielt.

Da die tiefen Frequenzen ohnehin um das Notenpult herumgebeugt werden, wie schon Abb. 10 gezeigt hatte, und die hohen Klanganteile ziemlich scharf gegen die Noten gerichtet sind, führt das perforierte Pult nur in einem mittleren Bereich um 2000 Hz zu einer nennenswerten Intensitätserhöhung. Entsprechend seiner Lage im Gebiet der Vokalfarbe "e" ist dieser Zuwachs jedoch als klanglich vorteilhaft zu bewerten, wenn auch im ganzen gesehen die akustische Wirksamkeit des perforierten Pultes als gering zu bezeichnen ist.

Entsprechend dem Aufheben des Schalltrichters bei den Trompeten gibt es auch bei den Posaunen eine Möglichkeit, die abschattende Wirkung des Notenpultes einzuschränken: die Instrumente werden so gehalten, daß sich die Stürze seitlich des Pultes befindet. Wie Abb. 13 zeigt, ergibt sich auch hierbei ähnlich wie bei den Trompeten ein Intensitätsanstieg für Frequenzen oberhalb etwa 1250 Hz, während im Bereich des Hauptformanten (500–600 Hz) eine kleine Senke festzustellen ist. Die Abweichungen gegenüber der normalen Haltung sind jedoch geringer als bei den Trompeten. Hin-

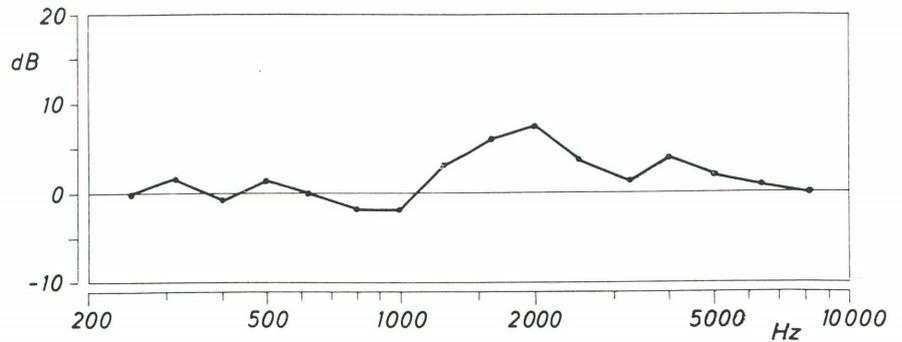


Abb. 12 Schallpegel-Erhöhung in Blickrichtung des Spielers bei Verwendung eines perforierten Notenpultes (Trompete)

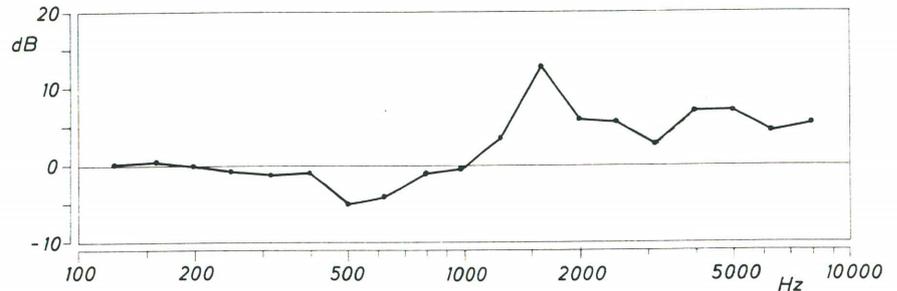


Abb. 13 Schallpegel-Erhöhung in Blickrichtung des Spielers bei seitlich versetztem Notenpult (Posaune)

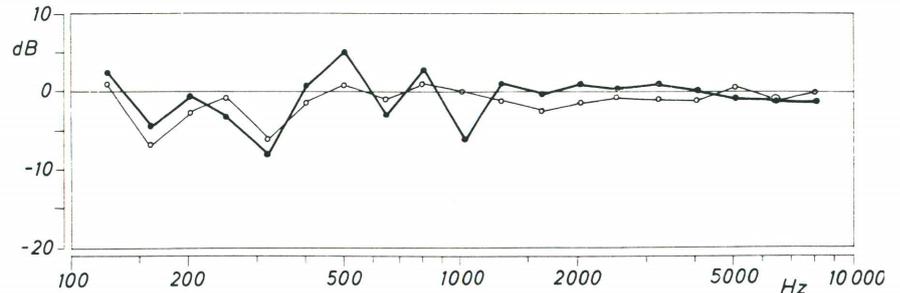


Abb. 14 Schallpegel-Änderung in Blickrichtung des Spielers beim Fortfall von Rückwandreflexionen (Posaune), Kreise: seitliche Haltung, Punkte: normale Haltung

sichtlich des Timbres führt die seitliche Haltung der Posaune zu einem helleren und damit auch deutlicheren Klangbild, wobei die Sonorität allerdings etwas abnimmt.

Da die Posaunisten meistens in der hintersten Reihe des Orchesters sitzen, haben sie oft eine schallreflektierende Wand hinter sich. Zwar war bei der Besprechung der Hauptabstrahlungsbereiche schon darauf hingewiesen worden, daß auf Grund der Richtcharakteristiken nur bei tiefen Frequenzen unter etwa 400 Hz mit wirksamen Reflexionen von einer Rückwand zu rechnen ist; doch bietet sich manchmal die technische Möglichkeit an, durch einen Vorhang o. ä. das Absorptionsvermögen so stark zu erhöhen, daß die Schallrückwürfe praktisch unterbunden werden. Vor allem im Orchestergraben von Opernhäusern besteht oft die Gelegenheit zu einer derartigen Maßnahme, weil ein Vorhang dort nicht unmittelbar vor einer Wand hängen würde, sondern vor einem größeren Hohlraum, so daß auch tiefe Frequenzen geschluckt werden.

Die Intensitätsabnahme, die bei einer völligen Dämpfung der Rückwandreflexionen eintritt, ist in Abb. 14 in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Der Verlauf der Kurven zeigt, daß bei einer Haltung des Instrumentes seitlich des Notenpultes oberhalb von 400 Hz keine wesentliche Beeinflussung des

Klanges mehr eintritt, die geringen Abweichungen von der Null-Linie überschreiten kaum den Rahmen der Meßgenauigkeit. Unter 400 Hz ist dagegen eine Abnahme der Amplituden festzustellen, der wellenförmige Verlauf der Kurve ist auf die Phasenbeziehungen zwischen der direkten und der reflektierten Schallwelle zurückzuführen.

Wenn der Spieler sein Instrument normal gegen das Notenpult richtet, treten wiederum zwischen 500 und 1000 Hz Schwankungen auf, die ähnlich wie die Senken in den Abb. 10 und 13 durch Wechselwirkungen zwischen Instrument und Notenpult sowie durch Reflexionen zwischen dem Körper des Spielers und dem Pult zu erklären sind. Im ganzen bringt die Dämpfung der Rückwand also nur eine Absenkung der tiefen Klanganteile mit sich, was zu einer etwas helleren Klangfarbe führt; dabei wird der Hauptformant der Posaune praktisch nicht beeinflusst, so daß sich auch die Lautstärke kaum ändert. Diese Veränderung des Klangbildes im Saal und auch am Platz des Dirigenten braucht sich jedoch nicht mit dem Gehörseindruck des Spielers zu decken: da auf Grund der Richtcharakteristik an seinen Ohren die hohen Frequenzanteile ohnehin verhältnismäßig schwach ankommen, kann er durchaus eine Verstärkung dieser Komponenten durch die Rückwand empfinden.

Schlußbemerkungen

Für die großzügige finanzielle Unterstützung der vorliegenden Untersuchungen, die im Rahmen eines größeren Forschungsauftrages der Forschungsgemeinschaft Musikinstrumente e. V. durchgeführt wurden, möchten die Verfasser sich herzlich bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. bedanken. Besonderer Dank gebührt auch den Herren A. Alexander, Mainz; H. Finke, Exter und J. W. Hüttl, Baiersdorf, für die freundliche Bereitstellung von Versuchsinstrumenten.

Schrifttum

- [1] D. W. Martin,
Journ. Ac. Soc. Am. XIII (1942) S. 309
- [2] H. F. Olson,
Musical Engineering, New York 1952
- [3] Chr. Mühle,
Das Orchester 9 (1965) S. 296
- [4] J. Meyer,
Akustik der Holzblasinstrumente, Frankfurt 1966
- [5] H. Backhaus,
Z. techn. Physik 13 (1932) S. 31
- [6] J. Meyer u. K. Wogram,
Das Musikinstrument 18 (1969), H. 6, S. I
- [7] Sir. A. Boult,
Thoughts on Conducting, London 1963
- [8] R. Strauss
rev. Neuausgabe der Instrumentationslehre
von Berlioz, Lpz. 1905
- [9] L. Cremer,
Statistische Raumakustik, Stuttgart 1961
- [10] E. Thienhaus,
Art. „Raumakustik“ in MGG, Kassel 1962