

kel. Bemerkenswerterweise erstreckt sich jedoch das Hauptabstrahlungsgebiet beim halbgeöffneten Deckel etwa über denselben Winkelbereich, wie er beim offenen Flügel zu beobachten ist, nämlich von  $10^\circ$  bis  $60^\circ$ . Allerdings sind die Amplituden in diesem Maximalgebiet schwächer ausgebildet, und zwar um so mehr, je höher die Teiltonfrequenz wird. Außerdem zeigt sich auch bei dieser Stellung, daß die Richtwirkung bei Klangkomponenten gleicher Frequenzlage um so stärker ausgeprägt ist, je höher der Grundton liegt. Zur Rückseite des Flügels hin zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede gegenüber dem geöffneten oder geschlossenen Zustand.

#### 4. Flügeldeckel abgenommen

In manchen Fällen, z. B. bei der Verwendung eines Flügels im Orchester, kommt es vor, daß der Deckel ganz entfernt wird. Es sollen deshalb auch die Abstrahlungsbedingungen für diesen Fall betrachtet werden. Die Verhältnisse in der Horizontalebene sind für  $c'''$  in Abb. 5 wiedergegeben. Bemerkenswerterweise ist die Richtcharakteristik keineswegs so gleichmäßig, wie man es beim Fehlen von einseitig gerichteten Reflektoren hätte erwarten sollen. Vielmehr zeigt sich eine Bevorzugung des Winkelbereiches zwischen etwa  $290^\circ$  und  $330^\circ$  für die meisten Oktavfilter; zwischen 5,6 und 11,2 kHz liegt das Maximum allerdings bei etwa  $240^\circ$ . Insgesamt fallen die verhältnismäßig geringen Amplituden bei den höheren Obertönen auf, besonders gering ist die Klangabstrahlung der höchsten Komponenten zwischen  $0^\circ$  und  $200^\circ$ .

Demgegenüber sind die stärksten Amplituden von  $c'$  in den Frequenzlagen über 1000 Hz zur linken Seite gerichtet, die tieferen Teiltöne besitzen eine relativ gleichmäßig runde Abstrahlungscharakteristik. Ebenso zeigt sich auch bei  $C$  keine ausgeprägte Richtwirkung, die Schalldruckwerte schwanken in einem Bereich bis zu etwa  $\pm 3$  dB um einen Mittelwert, doch läßt die Lage der Maxima und Minima keine einheitliche Verteilung erkennen.

In der senkrechten Ebene ist die runde Form der Richtcharakteristiken noch ausgeprägter. In den tiefen und mittleren Lagen der Klaviatur weisen die Richtdiagramme für die meisten Oktavbereiche nur Schwankungen von  $\pm 2$  dB und weniger auf. Lediglich bei den ganz tiefen Teiltönen unterhalb 250 Hz macht sich eine Abschwächung der Amplituden in der Nähe der waagerechten Ebene bemerkbar. Ebenfalls bevorzugt nach oben gerichtet sind die sehr hohen Frequenzanteile von  $c'''$ , die auch eine etwas stärkere Aufteilung in Einzelmaxima zeigen. Das bedeutet, daß im gesamten Frequenzbereich die Amplituden nach oben stärker sind als beim normal geöffneten Flügeldeckel.

#### Diskussion der Ergebnisse

Die gezeigten Beispiele der Polardiagramme sollten einen Überblick geben über die Richtcharakteristiken des Flügels in den verschiedenen Lagen der Klaviatur und bei den unterschiedlichen Stellungen des Deckels. Ergänzend soll die reflektierende bzw. abschattende Wirkung des Deckels noch einmal anhand zweier Oktavsieb-Oszillogramme deutlich gemacht werden. Sie stellen den Klang  $c'''$  dar, wie er vor und hinter dem Flügel bei geöffnetem Deckel zu hören ist. Die in Abb. 7 wiederge-

gebenen Aufnahmen bedürfen kaum einer Erläuterung, die Verstärkung der einander entsprechenden Zeilen in den beiden Bildern ist jeweils gleich, so daß die Amplituden-Unterschiede direkt abgelesen werden können. Bemerkenswert ist, daß auf der Rückseite des Flügels die Schwingungszüge nicht so gleichmäßig aussehen. Man kann daraus schließen, daß die Geräuschanteile nicht so stark abgeschwächt werden wie die harmonischen Komponenten.

Maßgeblich für die in den verschiedenen Richtungen empfangenen Amplituden ist die Abstrahlung des Resonanzbodens, die nach oben teilweise direkt und teilweise über eine Reflexion am Deckel in den Saal gelangt, sowie die Abstrahlung nach unten, die nur über Fußbodenreflexionen im Raum wirksam wird. Außerdem strahlen bei sehr hohen Frequenzen auch die Saiten selbst etwas Energie ab, die wiederum teilweise direkt und teilweise über eine Reflexion am Deckel in den Raum gelangt. Aus diesen Komponenten bilden sich im Zusammenwirken die Richtcharakteristiken, wobei noch zu beachten ist, daß sowohl der Deckel als auch das ganze Instrument für gewisse Richtungen des direkten oder reflektierten Schalles abschattend wirken. Diese Erscheinung gewinnt mit steigender Frequenz an Bedeutung, da die Schallwellen der tiefen Lagen um die Hindernisse herumgebogen werden.

Wie stark der Anteil der über den Fußboden reflektierten Schallanteile ist, empfindet man besonders deutlich, wenn man bei geöffnetem Deckel in einem Abstand hinter dem Flügel steht. Man lokalisiert die Schallquelle einwandfrei unter dem Instrument. Die um den Deckel herumgebogenen Komponenten sind in dieser Richtung offensichtlich schwächer. Daß auch in der  $0^\circ$ -Richtung die Fußbodenreflexionen eine wichtige Rolle spielen, zeigt die Abschwächung des betreffenden Maximums in Abb. 10, wo durch einen Schallspegel unter dem Flügel die Energie nach hinten umgelenkt ist. Natürlich werden diese über den Boden kommenden Klanganteile gedämpft, wenn andere Musiker vor oder hinter dem Flügel sitzen. Außerdem verlieren die Fußbodenreflexionen für diejenigen Plätze im Saal an Wirksamkeit, für die das Podium in Kopfhöhe der Zuhörer liegt.

Die vorliegenden Meßergebnisse beziehen sich zwar auf einen Flügel von nur 1,90 m Länge, doch sind auch bei einem großen Konzertflügel keine grundsätzlich anderen Resultate zu erwarten. Insbesondere in der senkrechten Ebene dürften sich kaum Veränderungen ergeben. In der Horizontalen wird dagegen bei geöffnetem Deckel eine noch schärfere Bündelung nach vorn und eine stärkere Abschattung nach hinten auftreten. Das entspricht auch den Ergebnissen von H. F. Olson [2], bei denen leider keine genauen Angaben über die Größe des Instrumentes und die Art des Fußbodens, wie auch über den Mikrofonabstand gemacht sind. Doch legt ein Vergleich mit den eigenen Resultaten den Schluß nahe, daß es sich um einen großen Flügel gehandelt hat.

In Bezug auf eine klangliche Wirkung in unmittelbarer Nähe des Instrumentes, wie sie für den Platz des Spielers, aber auch des Dirigenten bei einem Klavierkonzert von Interesse ist, sind die Meßergebnisse der vorliegenden Untersuchungen mit Vorsicht zu interpretieren. Die früheren Resultate von M. Grütz-

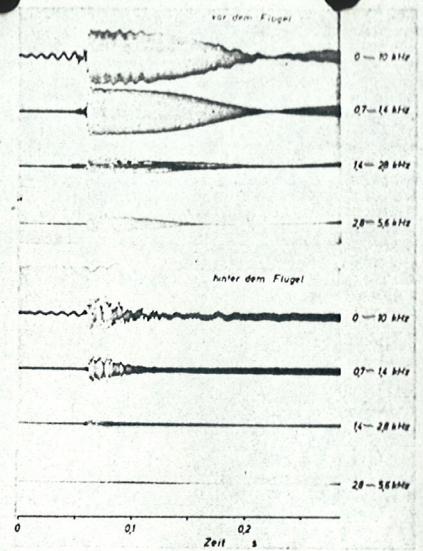


Abb. 7  
Oktavsieboszillogramme des Flügelklanges  $c'''$

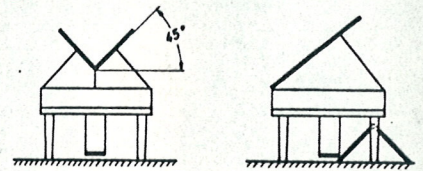


Abb. 8  
Veränderte Reflexionsflächen am Flügel

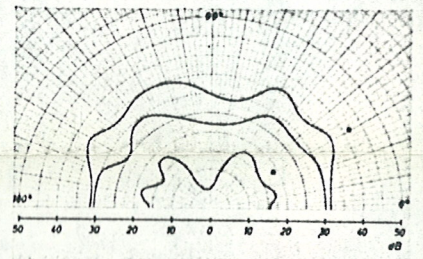
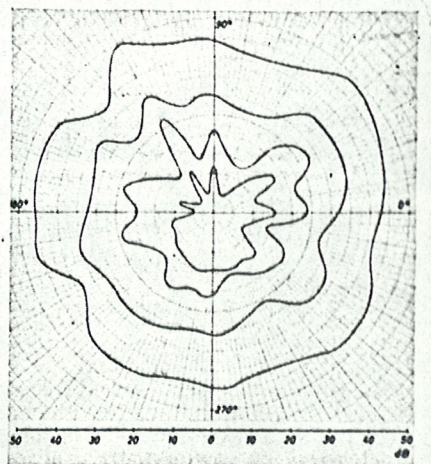


Abb. 9  
Polardiagramme des Klanges  $c'$  in der senkrechten Ebene bei gefaltetem Deckel, Oktavfiltermitte der Kurven von außen nach innen:  
1000 Hz  
2000 Hz  
4000 Hz

Abb. 10  
Polardiagramme des Klanges  $c'''$  in der waagerechten Ebene, Flügeldeckel offen, Reflektor unter dem Flügel. Oktavfiltermitte der Kurven von außen nach innen:  
1000 Hz  
2000 Hz  
4000 Hz  
4000 Hz  
8000 Hz



Meyer, V. 1  
 Dia 12/12  
 Das Mus. Lich. 14, 1965

Dia 12/13  
 Dia 12/14