

Über Klaviersaitenschwingungen¹⁾

Von Oskar Vierling, Berlin

Vortrag auf der Physikertagung in Bad Salzbrunn
September 1936

(Mitteilung aus dem Institut für Schwingungs-
forschung an der Techn. Hochschule Berlin)

Mit 9 Abbildungen im Text und auf Tafel III und IV

Inhalt: Einleitung. — 1. Einfluß des Resonanzbodens
auf die Dämpfung der Teiltöne. 2. Amplitudenabhängigkeit
der Dämpfung. 3. Die Drehschwingungen des Steges. 4. Zu-
sammenfassung.

Einleitung

In einer früheren Arbeit²⁾ wurde festgestellt, daß beim Klavierton im allgemeinen die tiefen Teiltöne rascher verklingen als die hohen. Außerdem wurde eine Amplitudenabhängigkeit der Dämpfung gefunden, derart, daß mit kleiner werdenden Amplituden auch die Dämpfung geringer wird. Dort wurde bereits eine Erklärung versucht, die durch diese Arbeit ergänzt und bestätigt werden soll.

1. Einfluß des Resonanzbodens auf die Dämpfung der Teiltöne

Der stärkere Anteil der hohen Teiltöne beim Verklingen des Klaviertons wurde damals auf die Eigenschaften des Resonanzbodens zurückgeführt. Es werden jetzt die Versuche an einem Modell wiederholt (Abb. 1), bei dem ein fester und ein schwingender Steg eingesetzt werden kann. Die Schwingungsfähigkeit des Steges wird durch federnde Unterlagen oder durch einen kleinen Resonanzboden erzielt. Der Aufbau des Modells entspricht der Konstruktion eines Klaviers, so daß die Resultate vergleichbar sind. Zur Prüfung der Versuchseinrichtung wurde zuerst mit einem festen Eisensteg gemessen. Die Saitenschwingung wurde in der Anschlagsrichtung sowohl mit einer elektrostatischen Abnahmeelektrode als auch durch mikroskopische Beobachtungen³⁾ aufgenommen. Die Ergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung, nachdem das Mitschwingen von Verstreubungen durch zusätzliche Massen und Stützen beseitigt worden war. Die mit der Elektrode am Steg abgenommene Saitenschwingung wurde über sechs Oktavsiebe mittels eines Mehrschleifenoszillographen aufgezeichnet. Die Abb. 2 (Tafel III) zeigt das Ergebnis der Messung. Die Dämpfung ist für alle Frequenzen sehr gering, weil sie nur durch die Luftreibung, innere Reibungen und Reibungen an den Auflagestellen bewirkt wird. Bei dieser Messung wurde auch festgestellt, daß die Dämpfung nicht konstant

¹⁾ Aus einer am 31. Dez. 1935 bei der Preuß. Akad. d. Wiss. eingereichten Bewerbungsschrift zur Akademischen Preisauflage 1936.

²⁾ O. Vierling, Wesentliche Eigenschaften von Musikklängen, Zeitschr. f. techn. Phys. **16** (1935), 528.

³⁾ S. K. Datta, Investigations on the Acoustics of the Pianoforte. I. Proc. Ind. Assoc. Cultiv. Science **8** (1923), 107.

ist, sondern mit kleiner werdender Amplitude abnimmt. Der Eisensteg wurde nun durch einen Holzsteg ersetzt, was eine geringe Zunahme der Dämpfung für die hohen Frequenzen brachte, für die das Holz nicht mehr als starr anzusprechen ist. Zwischenlagen von Filz und Gummi zwischen Holzsteg und Unterlage ergaben für die hohen Frequenzen eine starke Zunahme der Dämpfung. Beim Klavierton sind aber die hohen Frequenzen gerade schwach gedämpft (Abb. 3, Tafel III). Der Steg wurde sodann auf einen kleinen Resonanzboden aufgeschraubt und in das Modell eingesetzt. Das

sind die Meßergebnisse an einem dreichörigen Ton dargestellt. Sind zwei Saiten abgebremst und schwingt nur eine Saite (Abb. 5, Tafel III), ist eine sehr geringe Dämpfung vorhanden. Bei zwei Saiten nimmt die Dämpfung zu (Abb. 6, Tafel IV) und bei drei freischwingenden Saiten ist der starke Abfall nach dem Anschlag da und auch die abnehmende Dämpfung beim weiteren Verklingen (Abb. 7, Tafel IV). Bei den Oszillogrammen tritt der Grundton erst im zweiten Siebbereich auf. Die unregelmäßigen nichtperiodischen Schwingungen im ersten Bereich rühren vom Anschlaggeräusch her. Bei der

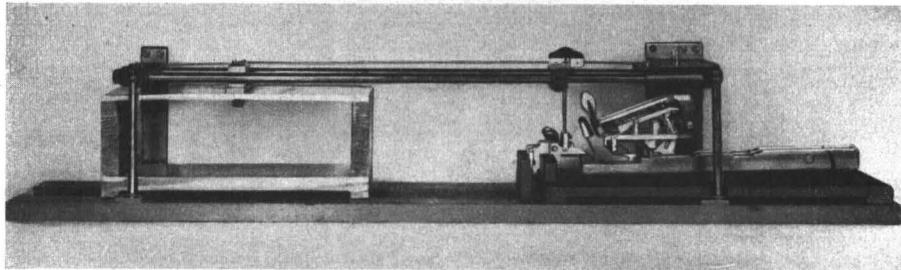


Abb. 1. Klaviermodell mit zwei Saiten und auswechselbarer Steglagerung

Meßergebnis bringt die Abb. 4 (Tafel III). Wir erhalten jetzt das erwähnte Kennzeichen des Klaviertons. Der Resonanzboden ist für die tiefen Frequenzen besonders schwingungsfähig und dämpft sie am stärksten. Es handelt sich also, wie bereits früher vermutet, um eine Wirkung des Resonanzbodens. Im ersten Siebbereich erscheint der Klavierton mit einer gedämpften Schwingung von etwa 25 Hz moduliert. Diese Modulation ergibt sich aus der Differenz von der Eigenschwingung der Saite von 217 Hz und der Eigenfrequenz des Resonanzbodens von etwa 190 Hz. Bei Klavieren tritt die gleiche Erscheinung dann auf, wenn in der Nähe eines Tones eine ausgesprochene Eigenfrequenz des Resonanzbodens liegt.

2. Amplitudenabhängigkeit der Dämpfung

Die Amplitudenabhängigkeit der Dämpfung tritt besonders bei mehrchörigen Tönen auf, wo mehrere Saiten für einen Ton vorhanden sind. In der früheren Arbeit wurde als hauptsächlich Grund für die abnehmende Dämpfung während des Verklingens ein verschiedenes starkes Mitschwingen der Instrumententeile angegeben. Diese abnehmende Dämpfung ergab sich aber auch bei Modellversuchen mit dem festen Steg. Danach ist sie in der Hauptsache auf die Reibungsverluste zurückzuführen, die amplitudenabhängig sind. Die Reibungskräfte allein genügen aber noch nicht, die Erscheinung bei den mehrchörigen Tönen zu erklären, und deshalb wurden an zwei- oder dreichörigen Tönen verschiedene Messungen durchgeführt. In den Abb. 5 (Tafel III), 6 und 7 (Tafel IV)

Abb. 7 (Tafel IV) sind die drei Saiten so rein wie möglich gestimmt, so daß nur langsame Schwebungen auftreten. Durch diese geringe Verstimmung nimmt die Phasenverschiebung zwischen den Saiten nach dem Anschlag zu, so daß die Amplituden der Saiten, die sich in ihrer Wirkung auf den Steg addieren, immer mehr aufheben. Dadurch wird ein Abfall hervorgerufen, der viel stärker ist als der Amplitudenabfall der einzelnen Saiten. Allmählich kommen die Saiten wieder in Phase, so daß ein schwaches Ausklingen mit langsamen Schwebungen erfolgt. Ein Klavierton dieser Art wirkt musikalisch sehr trocken, und ein so gut gestimmtes Klavier hat subjektiv eine geringere Lautstärke als ein Klavier üblicher Stimmung. Verstimmen wir eine Saite des dreichörigen Tones, so haben wir das Ergebnis der Abb. 8 (Tafel IV). Wir sehen jetzt wieder die Schwebungen, die eine Amplitudenmodulation hervorrufen, aber so schnell erfolgen, daß der Abklingvorgang einer Saite ziemlich erhalten bleibt, und insgesamt dadurch mehr Energie abgestrahlt wird als im Falle reiner Stimmung. Bei den rein gestimmten Saiten der Abb. 7 (Tafel IV) stimmen zwei Saiten tatsächlich überein, zwei Saiten lassen sich noch sehr genau aufeinander abgleichen, während es bei drei Saiten wegen der gegenseitigen Rückwirkung schwierig ist, eine genaue Übereinstimmung zu erzielen. Bei der normalen Stimmung weichen daher alle drei Saiten gegeneinander etwas ab, so daß der Abklingvorgang zwar ungefähr denselben Verlauf, aber diese ausgeprägten einfachen Schwebungen der Abb. 7 (Tafel IV) nicht aufweist, da sich die

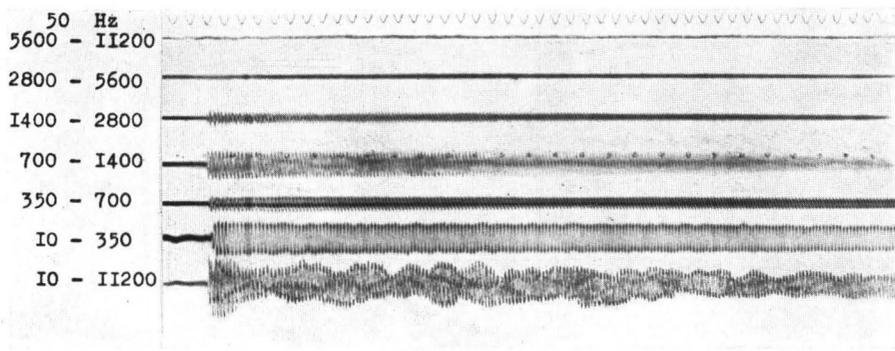


Abb. 2. Schwingungskurven einer fest eingespannten Klaviersaite

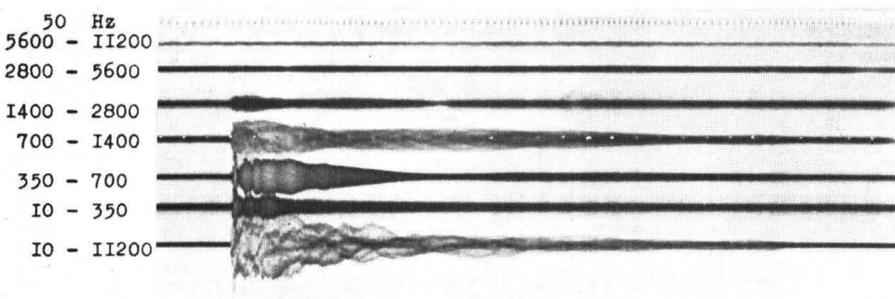


Abb. 3. Schwingungskurven eines normalen Klaviertones

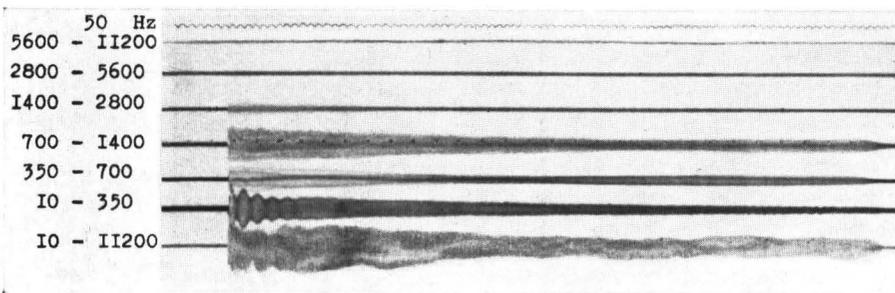


Abb. 4. Schwingungskurven der Saite des Modells mit eingesetztem Resonanzboden

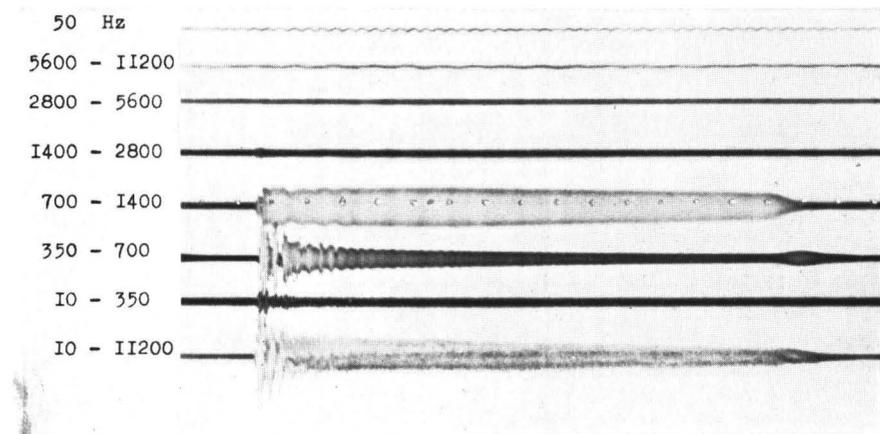


Abb. 5. Schwingungskurven eines dreichörigen Klaviertones, bei dem zwei Saiten abgebrems sind

Oskar Vierling

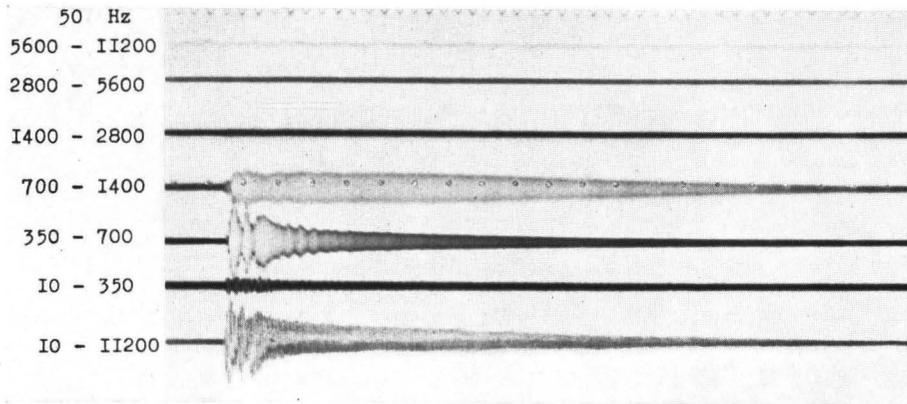


Abb. 6. Schwingungskurven eines dreichörigen Klaviertones, bei dem eine Saite abgebremsst ist

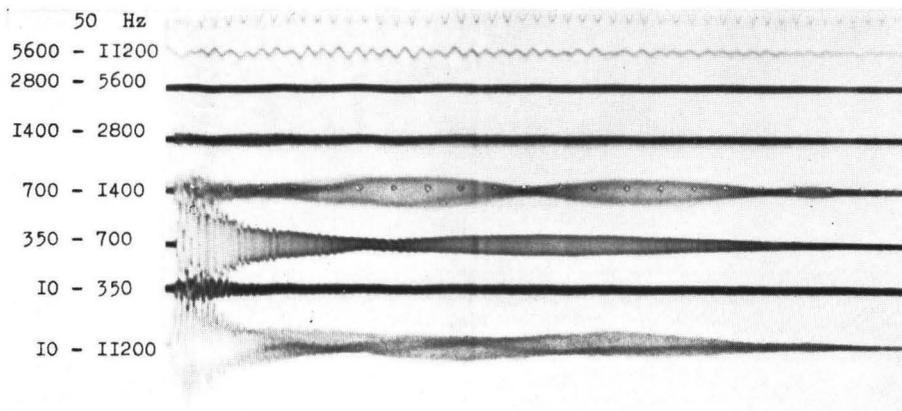


Abb. 7. Schwingungskurven eines dreichörigen Klaviertones, bei dem die drei Saiten frei schwingen

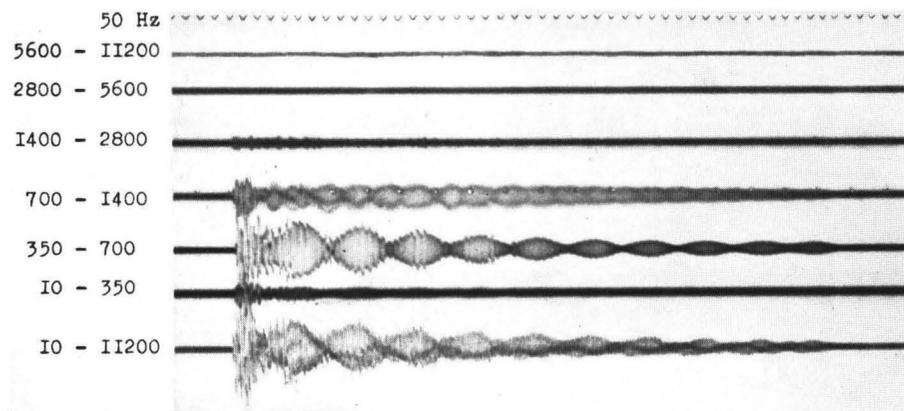


Abb. 8. Schwingungskurven eines dreichörigen Klaviertones mit drei frei schwingenden Saiten, eine verstimmt

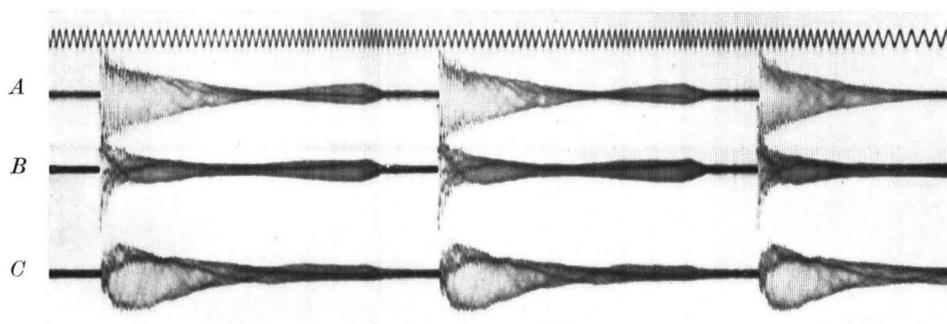


Abb. 9. Die Stegsschwingung eines Flügels
 A in der Anschlagrichtung, B Drehschwingung des Steges, C der akustisch aufgenommene Ton

Oskar Vierling

verschiedenen Schwebungen überlagern. Der Verlauf des Klavierton mit ausgeprägten Schwebungen hat große Ähnlichkeit mit einem im halligen Raum verklingenden Ton. Dadurch wäre auch die Tatsache erklärt, daß ein sehr gut gestimmtes Klavier trocken klingt und ein normal verstimmtes räumlichen Klangcharakter hat.

3. Die Drehschwingungen des Steges

Die Entstehung des starken Lautstärkeabfalls nach dem Anschlag ist im vorstehenden geklärt. In diesem Zusammenhang war es von Interesse, wie die Abstrahlung an die Luft erfolgt, denn es hatte sich bei Versuchen gezeigt, daß bei der Abnahme der Saitenschwingung oder der Stegschwingung in der Anschlagrichtung kein präziser Klavierton auftritt, der durch den starken Abfall nach dem Anschlag bedingt ist. Daß dies nicht eine Eigenschaft der Übertragungsapparatur war, zeigte die Übertragung des Luftschalls mit Mikrophon und Lautsprecher, bei der sich ein guter Klavierton ergab. Wurde die Stegschwingung in zwei Richtungen, in der Anschlagrichtung und in der Richtung senkrecht dazu, abgenommen und die beiden Komponenten gleichzeitig einem Lautsprecher zugeführt, dann entstand erst der richtige Klavierton. Die Schwingung in der zweiten Richtung ist eine Drehschwingung des Steges, die besonders die ersten großen Amplituden auf den Resonanzboden überträgt. Die Abb. 9 (Tafel IV) zeigt ein Oszillogramm dieser beiden Schwingungen und dazu die akustisch abgestrahlte Schwingung. Die Drehschwingung *B* hat gegenüber der gewöhnlichen Stegschwingung *A* sehr deutlich die große, stark abfallende Anfangsamplitude. Der akustisch aufgenommene Ton *C* klingt durch den Raum zwar allmählich an, aber man sieht trotzdem noch die Spitze beim Einsatz, die von der Drehschwingung auf den Resonanzboden und an die Luft übertragen wird. Dadurch, daß der harte Toneinsatz durch eine Drehschwingung des Steges gebracht wird, kann man weitere Eigenschaften des Klaviers erklären. So fehlt der präzise Toneinsatz an Stellen starker Stegkrümmung, wo der Steg durch seine Krümmung eine große Steifigkeit gegenüber diesen Drehschwingungen hat. Andererseits haben Klaviere mit einem geraden Steg, der besonders günstig für diese Drehschwingung ist, einen sehr guten gleichmäßigen Ton über den ganzen Bereich ergeben.

4. Zusammenfassung

Die Arbeit bringt eine Bestätigung und Ergänzung der Ergebnisse einer früheren Veröffentlichung und zeigt, daß die fast allgemein feststellbare geringe Dämpfung der hohen Teiltöne beim Klavierton durch den Resonanzboden bewirkt wird. Ferner, daß die Ursache für das rasche

Abnehmen unmittelbar nach dem Anschlag weniger auf amplitudenabhängige Reibungskräfte als auf das Vorhandensein mehrerer Saiten für jeden Ton zurückzuführen ist. Die Saiten haben eine geringe Verstimmung gegeneinander, wodurch sich die Wirkungen auf den Steg durch die Phasenverschiebung verschiedenartig zusammensetzen. Für die Wiedergabe der großen Anfangsamplitude ist eine Kippschwingung des Steges notwendig, so daß an Stellen, wo diese Kippschwingung nicht auftreten kann, der Toneinsatz schlecht wird.

(Eingegangen am 17. Dezember 1936)