

## Messung des dynamischen Verhaltens einer Saite

**K. PFAFFELHUBER**

(Lehrstuhl für Elektroakustik der Technischen Universität München)

Die an der Anregungsstelle einer Saite entstehenden Signale werden hauptsächlich bestimmt vom dynamischen Verhalten der Saite an dieser Stelle. Da es sich bei der Saite um ein lineares zeitinvariantes System handelt (jedenfalls im Bereich kleiner Auslenkungen), ist ihr Verhalten vollständig über die Messung der Antwortfunktionen (Kraft bzw. Schnelle) auf ein definiertes Eingangssignal (Schnelle bzw. Kraft) jeweils am Anregungsort zu beschreiben. Dazu äquivalent ist die Messung der Eingangsimpedanz bzw. Eingangsdmittanz (da sich Zeitantworten bzw. die entsprechenden Systemfunktionen über die Laplace- bzw. Fouriertransformation verknüpfen lassen).

### 1. Messung von Kraftsprungantwort und Schnellesprungantwort

Es hat sich gezeigt, daß es sehr aufwendig ist einen Kraftimpuls (die Saite wird für wenige Mikrosekunden angetippt) bzw. einen Schnelleimpuls (die Saite wird innerhalb weniger Mikrosekunden beschleunigt und wieder festgebremst) auf eine Saite einzuprägen. Demgegenüber lassen sich Kraft bzw. Schnellesprünge relativ einfach realisieren.

Eine sinnvolle Methode zur Erzeugung eines definierten Eingangssignales ist das Aufbringen eines Kraftsprunges mit einem dünnen Faden. Dieser wird quer zur Saite gespannt, so daß diese eine definierte Auslenkung erfährt. Ein plötzliches Abreißen des Fadens führt zu einem negativen Kraftsprung. Ein Vorteil dieser Methode ist, daß die Anfangsauslenkung der Saite sich sehr genau messen läßt und mittels einer Federwaage die zu dieser Auslenkung gehörende Kraft. Nachteilig ist, daß sich der Vorgang nur schlecht automatisieren läßt.

In Bild 1 sieht man den gemessenen Auslenkungsverlauf einer auf einen Stahlrahmen gespannten Nylonsaite, auf welche mit einem Faden ein Kraftsprung aufgebracht worden ist. Ein Vergleich der Verläufe mit in [1] auf der Basis der Wellengleichungen berechneten – man beachte daß in [1] Schnelleverläufe dargestellt sind, während in Bild 1 die Auslenkung, also das Integral davon gezeigt wird – zeigen doch eine beachtliche Übereinstimmung.

Die Messung der Auslenkungsverläufe erfolgte mit einem optischen Aufnehmer, der speziell für diese Anwendung entwickelt wurde. Dieser besteht aus einer großflächigen, dreieckig abgeklebten Fotodiode, die von einer Infrarotleuchtdiode gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Eine zwischen IRD und FD befindliche Saite bildet ihre Position linear auf den Fotostrom der Leuchtdiode ab.

Vorteile dieser Methode sind:

1. Es können statische Auslenkungen gemessen werden und daraus die vor dem Abreißen auf die Saite einwirkende Kraft nachträglich ermittelt werden,
2. die Messung ist unabhängig vom verwendeten Saitenmaterial,
3. der Übertragungsfrequenzgang ist linear bis weit über 20 kHz .

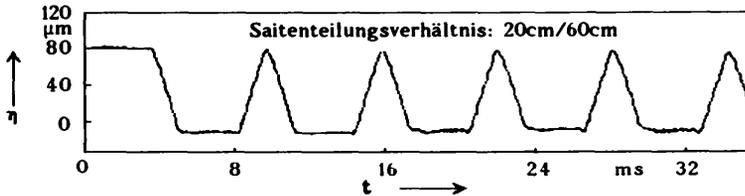


Bild 1: Auslenkungsantwort auf einen Kraftsprung (Nylonsaite auf Stahlsteg).

Mit derselben Methode wurde in Bild 2 eine Auslenkungssprungantwort einer Darm-A-Saite auf einer Geige gemessen.

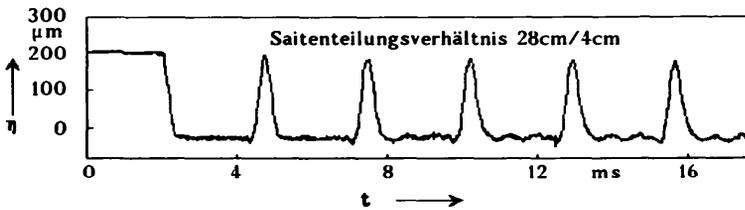


Bild 2: Auslenkungsantwort auf einen Kraftsprung (Darm-A-Saite auf Geige).

Ein Schnellesprung läßt sich realisieren, indem man einen Stift mit einer konstanten Geschwindigkeit gegen die Saite fährt. Zur Messung der Kraftantwort ist der Stift auf einem Piezoaufnehmer aufgebracht. Es zeigte sich jedoch, daß es bei dieser Methode zu einem Prellen zwischen Saite und Stift kommt.

Bild 3 zeigt eine Kraftantwort auf einen Schnellesprung wie er meßbar wird, wenn man mit einer Kunststoffschneide beim Teilungsverhältnis 3:1 gegen eine auf einem Stahlsteg aufgespannte Nylonsaite fährt. Der Vergleich mit in [1] berechneten Verläufen zeigt wiederum eine sehr gute Übereinstimmung. Die unregelmäßigen Schwärzungen der Treppenplateaus stammen von dem erwähnten Prellen. Es ist sehr hochfrequent und wird in dieser Darstellung nicht mehr aufgelöst.

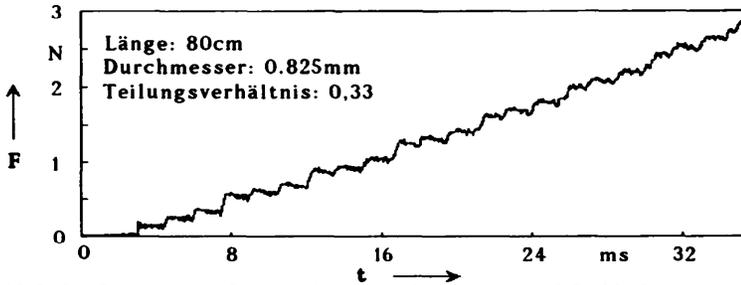


Bild 3: Kraftantwort auf Schnellesprung (Nylonsaite auf Stahlrahmen).

Abhilfe schafft das Verbreitern der Schneide b.z.w. das Aufbringen einer weichen Oberfläche. Diese Oberfläche sollte so beschaffen sein, daß zwar beim ersten Kontakt das Pellen verhindert wird, sie dann aber soweit zusammengedrückt wird, daß die Nachgiebigkeit gegen Null geht (nichtlineare Steifigkeit).

Bei der Messung der in Bild 4 dargestellten Kraftantwort wurde die Schneide mit einem Textilklebeband abgeklebt. Man sieht, daß es nur noch in geringem Maße zum Pellen kommt.

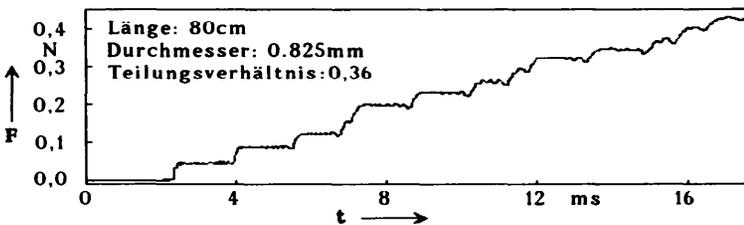


Bild 4: Kraftantwort auf Schnellesprung (Nylonsaite auf Stahlrahmen) (N.B.: anderer Zeitmaßstab als in Bild 3 !).

## 2. Messung der Eingangsimpedanz

Eine weitere Methode zur Messung der Systemantwort ist die Impedanzmessung. Hierzu wird mit einem elektrodynamischen Schwingerreger ein an der Saite befestigter Impedanzmeßkopf sinusförmig bewegt. Das vom Messkopf gelieferte Schnellesignal wird zur Regelung der Saitenschelle auf einen konstanten Wert benutzt. Somit ergibt sich aus der gemessenen Kraft die Eingangsimpedanz.

Bild 5 zeigt den gemessenen Betrag der Impedanz als Funktion der Frequenz für eine Stahlsaite, die auf einem massiven Stahlrahmen befestigt war. Das Ergebnis unterscheidet sich in einigen Details vom theoretischen Verlauf (vgl. [1], Bild 6). Die Unterschiede werden vor allem auf die Masse des Befestigungsmechanismus, mit welchem die Saite an den Kraftaufnehmer gekoppelt ist, zurückgeführt. Durch Addition der Impedanz dieser Masse zur theoretischen Eingangsimpedanz der Saite ergibt sich ein Frequenzgang (Bild 7), der dem gemessenen deutlich ähnlicher ist.

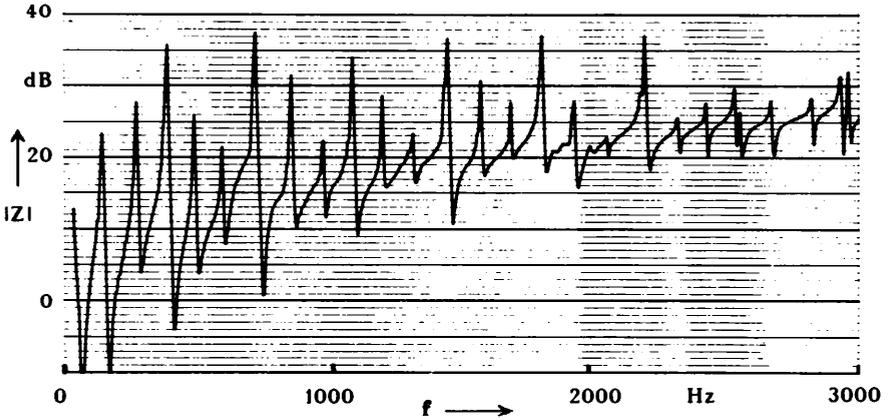


Bild 5: Gemessene Eingangsimpedanz (Betrag) einer Stahlsaiten auf einem Stahlrahmen. Länge der Saitenäste 20cm/60cm; Durchmesser: 1.27mm; 0dB = 1 kg/s.

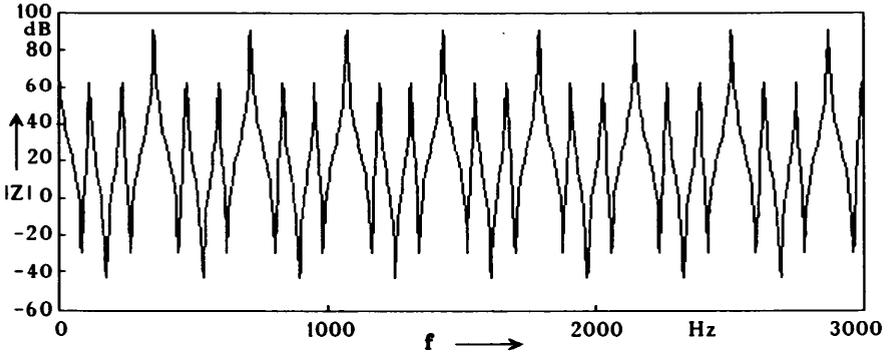


Bild 6: Berechnete Eingangsimpedanz (Betrag) einer Stahlsaiten (Abschlußwiderstände unendlich) Dämpfungsfaktor: 0,1/m; Länge der Saitenäste 20cm/60 cm; 0dB = 1 kg/s.

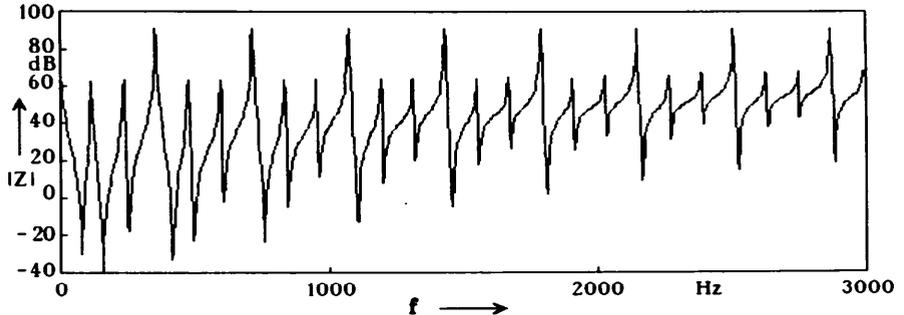


Bild 7: wie Bild 6 mit zusätzlicher Berücksichtigung der Einspannmass von 0,86g.