

Zum Einfluß der Saitenimpedanz auf das Schwingungsverhalten der gestrichenen Saite

K.PFAFFELHUBER

(Lehrstuhl für Elektroakustik der Technischen Universität München)

In vielen Forschungsarbeiten zur Klangqualität von Geigen wird dem Übertragungssystem Steg-Korpus-Raum das hauptsächliche Augenmerk geschenkt. Für ein vollständiges Qualitätsurteil ist es jedoch unerlässlich, das Eingangssignal, welches am Bogen entsteht, mitzubetrachten. Da es sich bei diesem Eingangssignal um eine selbsterregte Schwingung handelt, ist es in starkem Maße abhängig vom dynamischen Verhalten der Saite an der Anstreichstelle. Die Saite verhält sich im Bereich der beim Streichvorgang auftretenden Auslenkungen linear. Deshalb läßt sich deren dynamisches Verhalten durch eine Messung der Kraft- bzw. Schnelleimpulsantwort oder der Eingangs-impedanz bzw. -admittanz an der Anstreichstelle vollständig beschreiben.

1. Die Saiteneingangsimpedanz an der Anstreichstelle.

Abb.1 zeigt einen gemessenen und einen berechneten [1] Verlauf des Betrages der Eingangsimpedanz einer Geigen G-Saite. Das Saitenteilungsverhältnis beträgt in beiden Fällen 0,1. Die Unterschiede sind hauptsächlich auf Rückwirkungen von Steg zurückzuführen. Ein lokales Minimum im Betrag der Stegimpedanz führt zu einem lokalen Minimum des Saitenimpedanzbetrags, dessen Beitrag in der Nähe der Saitenimpedanzminima besonders ins Gewicht fällt. Ein Beispiel hierfür ist die Aufspaltung des Minimums unterhalb 1400 Hz in Abb.1 unten.

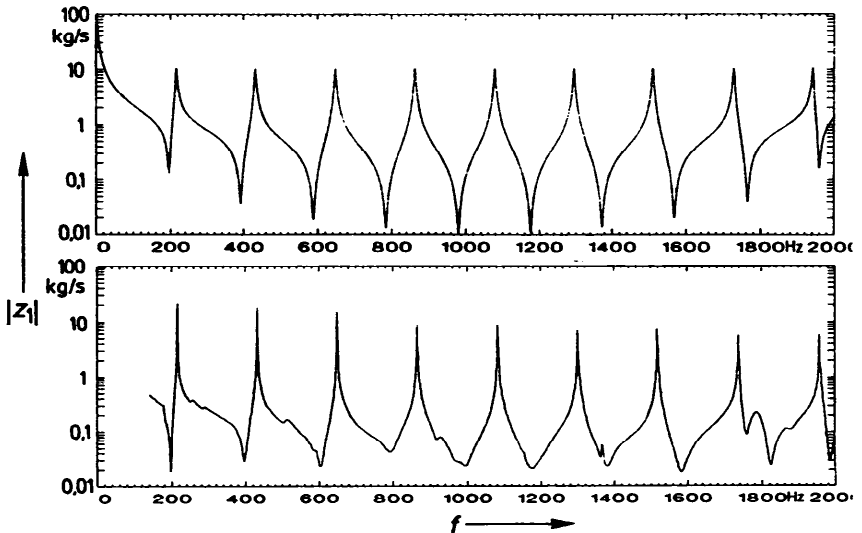


Abb.1: Vergleich eines gerechneten (oben) und eines gemessenen (unten) Betragverlaufes der Saiteneingangsimpedanz. Parameter: Kennimpedanz Z_s : 0,322 kg/s; Saitenteilungsverhältnis: 0,1; Grundfrequenz der freischwingenden Saite: 196 Hz; Beim berechneten Verlauf: Dämpfungsfaktor α : 0,1.

2. Der Einfluß der Impedanzabweichungen auf das Schwingungsverhalten der gestrichenen Saite.

Wie wirken sich nun solche Abweichungen des Impedanzverlaufes auf das Schwingungsverhalten der gestrichenen Saite aus? Um dies zu beantworten wurden die Schwingungsvorgänge am Anstreichort unter Verwendung einer realistischen Reibungskennlinie und der Schnelleantwort der Saite auf einen Kraftsprung (Abb.2a und[1]) am Rechner simuliert. Die Schnelleantwort auf einen Kraftsprung erhält man mittels Laplace-Rücktransformation der invertierten Eingangsimpedanz und anschließender Integration.

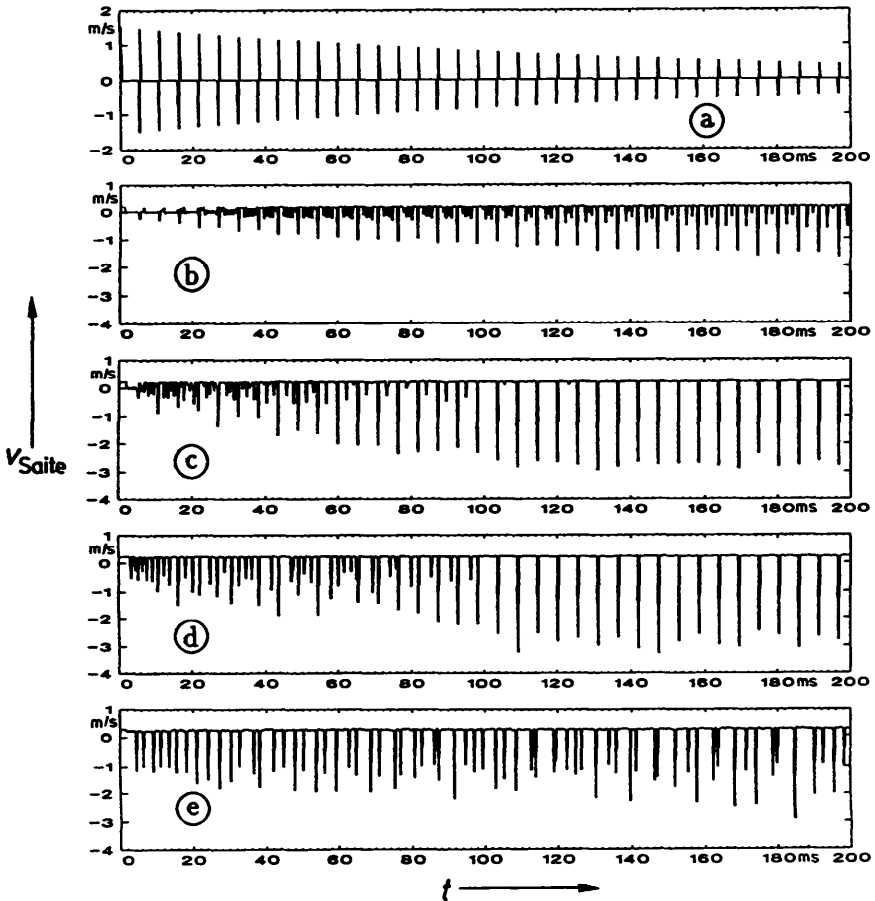


Abb.2 a) Schnelleantwort einer Modellsaite auf einen Kraftsprung. b)-e) Simulierte Anstreichvorgänge, jeweils am Anregungsort bei von oben nach unten wachsendem Bogendruck. Simulationsparameter: Saitenteilungsverhältnis: 0,1; Wellenwiderstand Z_s : 0,323 kg/s Bogendruck: 0,4;0,8;1,2;1,6 N; Bogengeschwindigkeit: 0,2 m/s; Dämpfungsfaktor α : 0,05. Man erkennt, daß sich mit wachsendem Bogendruck die Einschwingphase verkürzt. Im eingeschwingenen Zustand (Rechteckfunktion mit dem Tastverhältnis 0,1) kommt es mit steigendem Bogendruck zu Störungen der regulären Schwingung.

Abb.2 zeigt Saitenschnelleverläufe an der Anstreichstelle, wenn für die Simulation die Sprungantwort aus einer Eingangsimpedanz gewonnen wird, die keine Rückwirkungen vom Steg enthält. Als Parameter der Reibungskennlinie wurde die Bogengeschwindigkeit konstant gehalten, der Bogendruck wurde angefangen bei 0,4 N im obersten Bild nach unten hin jeweils um 0,4 N gesteigert. Man sieht, daß nach einer gewissen Einschwingzeit, die mit wachsendem Bogendruck immer kürzer wird, die reguläre Geigenschwingung, nämlich eine Rechteckfunktion, die in ihrem Tastverhältnis dem Saitenteilungsverhältnis entspricht, erreicht wird. Mit zunehmendem Bogendruck kommt es zu Unregelmäßigkeiten im Schwingungsverhalten.

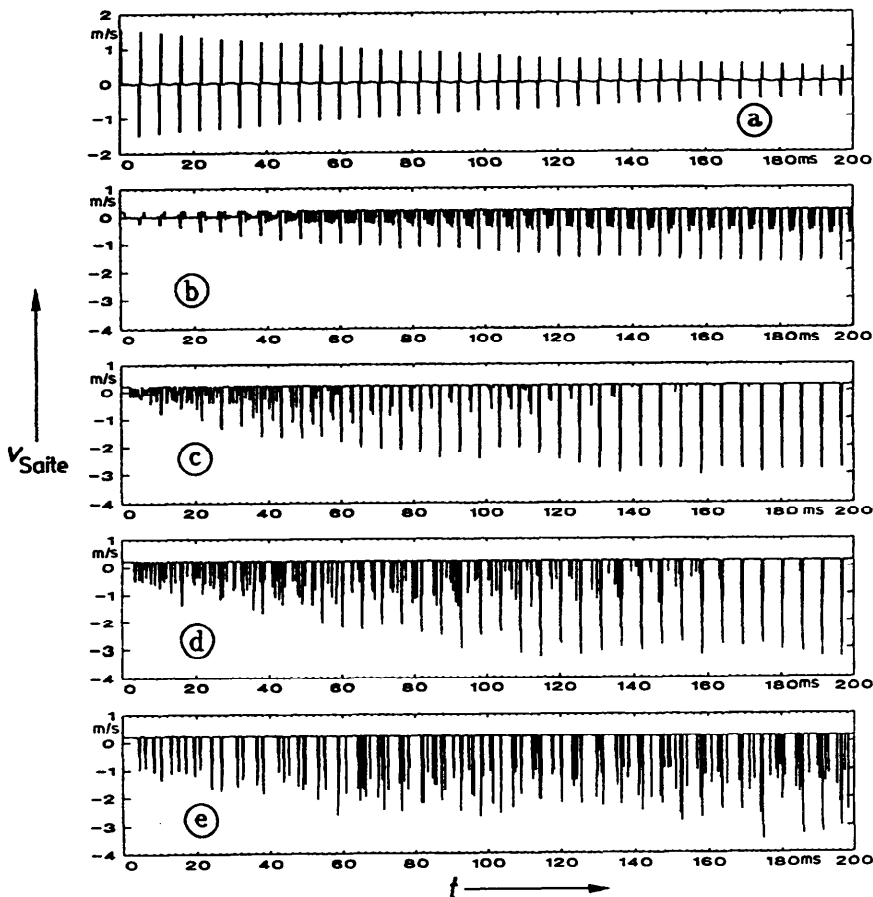


Abb.3. Parameter wie Abb.2 jedoch besitzt die Sprungantwort eine zusätzliche Eigenschwingungskomponente bei der Frequenz 216 Hz mit der Amplitude $0,1 \cdot (1/(2 \cdot Z_s))$. Wie bei Abb.2 verkürzt sich die Einschwingzeit mit zunehmendem Bogendruck. Die Störungen treten jedoch schon früher in Erscheinung und engen den Bereich, in dem eine saubere Rechteckschwingung zustande kommt, erheblich ein.

Abb.3 b)-e) zeigt Schwingungsformen, die entstehen, wenn unter Beibehaltung aller übrigen Parameter lediglich der Sprungantwort (Abb.3a) eine zusätzliche Schwingungskomponente in Form einer exponentiell gedämpften Sinusschwingung überlagert ist (leichte Welligkeit in Abb.3a). Bei dieser Modellierung wird von der Tatsache gebrauch gemacht, daß sich die Stegimpedanz (wie übrigens auch die Saitenimpedanz) zerlegen läßt in eine Summe von komplexen Eigenschwingungen. Für die Sprung- bzw. die Impulsantwort der Saite an der Erregungsstelle bedeutet dies, daß eine Stegeigenschwingung als mehr oder weniger ausgeprägte, exponentiell abklingende Sinus bzw. Cosinusschwingung überlagert ist. Im Impedanzbetragsverlauf zeigt sich solch eine Komponente als zusätzliches lokales Minimum (Abb.1 unten).

Bei den simulierten Einschwingvorgängen in Abb.3 nimmt die Einschwingzeit mit wachsendem Bogendruck wiederum ab, wobei das Einschwingen jeweils länger dauert als im 'idealen' Fall von Abb.2. Auch treten nun die Störungen der regulären Schwingung schon bei einem geringeren Bogendruck auf.

Zusammenfassend kann man sagen, daß Rückwirkungen des Steges (Sattels) welche in der Saiteneingangsimpedanz als zusätzliche Eigenschwingungen in Erscheinung treten, zum einen die Einschwingzeiten verlängern, zum anderen den Bereich des Bogendrucks, in dem eine reguläre Schwingung zustande kommt, einengen.

Literaturangaben.

[1] Terhardt, E.

Acustica 70: 179-188, (1990).

[2] Beldie, J.P.,

Darstellung des Geigenkörpers als ein Schwingungssystem mit vier Freiheitsgraden im tiefen Frequenzbereich; Dissertation Berlin 1975.