

Untersuchungen zum Anstreichvorgang von Saiten

E. TERHARDT, T. HORN, K. PFAFFELHUBER

(Lehrstuhl für Elektroakustik der Technischen Universität München)

Der zeitliche Schnelleverlauf der Bewegung des kurzen Saitenstückchens, welches beim Anstreichen unter den Bogenhaaren liegt, ist erwiesenermaßen impulsartig. Das heißt, daß im weitaus überwiegenden Teil der Schwingungsperiode jenes Saitenstück sich entweder mit der Bogengeschwindigkeit oder mit einer annähernd konstanten, entgegengesetzten Geschwindigkeit bewegt. Dazwischenliegende Geschwindigkeitszustände werden äußerst rasch durchlaufen; sie haben am Gesamtvorgang nur einen sehr geringen Anteil.

Daraus kann man schließen, daß derjenige Teil der Reibungskennlinie, welcher zum Bereich "mittlerer" Relativgeschwindigkeiten gehört, für den Anstreichvorgang eine untergeordnete Rolle spielt. Dies wiederum läßt es aussichtsreich erscheinen, den Vorgang mittels einer stufenförmigen Reibungskennlinie und eines einfachen Schaltermodells nach Art von Fig. 1 zu beschreiben [1]. Es wird vorausgesetzt, daß der Schalter in Stellung 1 sei, solange die Kraft den Wert F_{max} unterschreitet (Haftphase). Wird jener Grenzwert erreicht, so geht der Schalter definitionsgemäß in Stellung 2 (Gleitphase). Es wird angenommen, daß in der Gleitphase eine schnelleunabhängige Reibungskraft F_r wirksam sei. Wenn die Relativgeschwindigkeit wieder nahe bei 0 angekommen ist, wird nach 1 zurückgeschaltet (Einfangen der Saite durch den Bogen). Es ist die Impuls- bzw. Sprungantwort der Saite, welche dafür

sorgt, daß dies zu einem wohldefinierten Zeitpunkt geschieht [2]. Bogengeschwindigkeit und Bogendruck werden als antreibende Eingangsgrößen des Systems angesehen. Die Maximalkraft (Abrißkraft) F_{max} ist im allgemeinen eine Funktion des Bogendruckes; diese Funktion (welche nichtlinear sein kann) stellt einen der Systemparameter dar. Weitere Parameter sind die Gleitreibungskraft F_r , die Einfangeschwindigkeit und die Bogenimpedanz Z_B . Bei der Computersimulation des Modells zeigt sich dessen Verwandtschaft mit dem von McIntyre et al. [3] beschriebenen Verfahren. Der vorliegende Beitrag geht auf diese Aspekte nicht ein. Vielmehr werden im folgenden einige Simulationsergebnisse dargestellt, und zwar im Vergleich mit entsprechenden Meßwerten, welche an einem Monochord gewonnen wurden.

Die Saite des Monochords wurde von Hand mit einem Geigenbogen angestrichen. Dabei wurden die im Modell angenommenen Parameter — die Absolutwerte und der zeitliche Verlauf von Bogendruck und -geschwindigkeit — angenähert. Die Saitengeschwindigkeit wurde mittels eines elektrodynamischen Geschwindigkeitsaufnehmers gemessen, die "Stegkraft" mit Hilfe eines Piezowandlers. Alle folgenden Diagramme beziehen sich auf ein- und dieselbe Saitenlänge und das Teilungsverhältnis $l_2/l_1 = 7$.

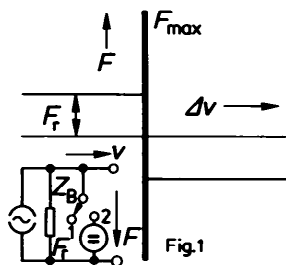


Fig. 1

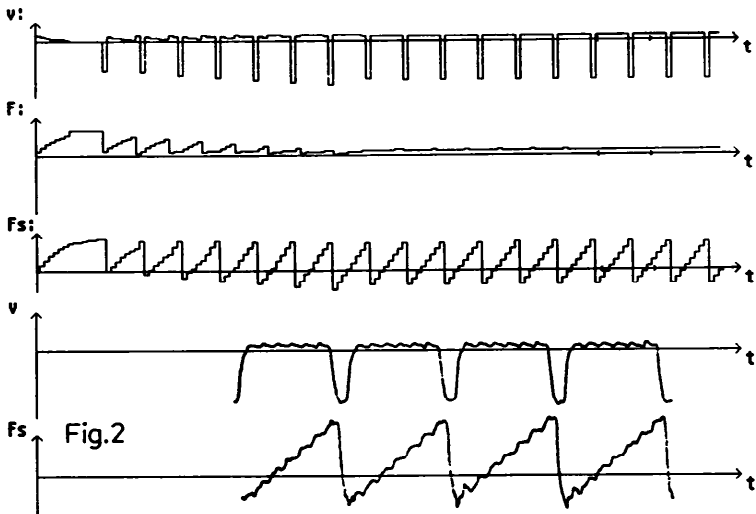
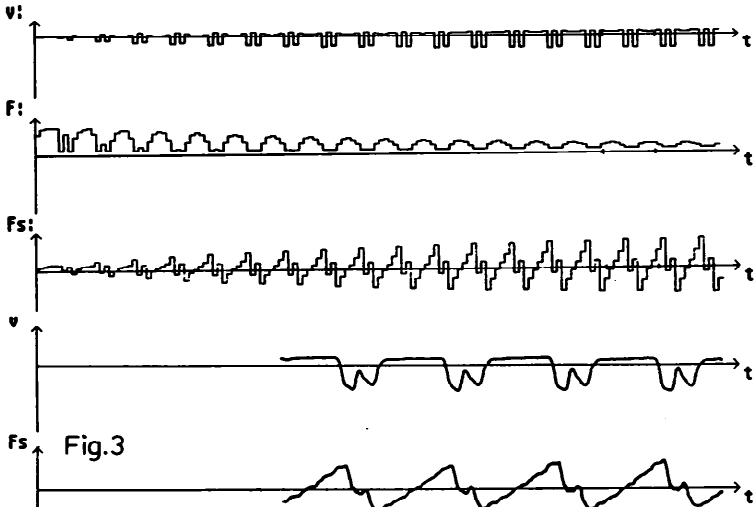
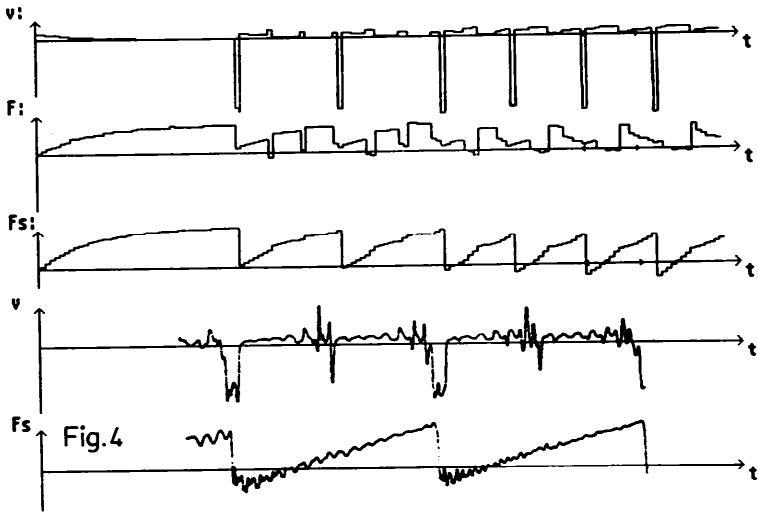


Fig.2 zeigt den Zeitverlauf von transversaler Kraft zwischen Saite und Bogenhaaren F ; Saitenschnelle v am Anstreichpunkt; und Kraft F_s am Steg, für den Fall passend gewählten, gleichmäßigen Bogendruckes und konstante Bogengeschwindigkeit. Die oberen drei Diagramme stellen das Modellergebnis dar, die unteren beiden dasjenige der Monochordmessung. Eine deutliche Bedämpfung in der Haftphase (durch den Verlustanteil von Z_B) erwies sich als wichtig für die Entstehung der regulären — das heißt, der Grundperiode der Saite entsprechenden — Schwingung.

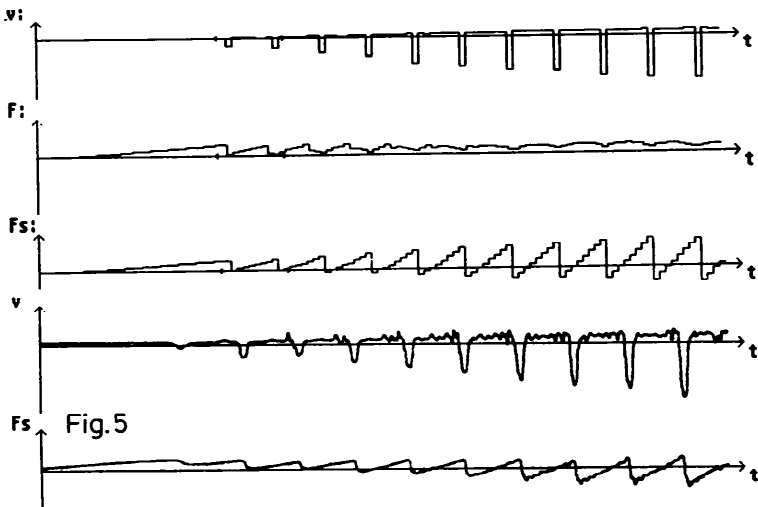
Fig.3 zeigt die entsprechenden Daten für den Fall eines Bogendruckes unterhalb der Grenze für reguläre Schwingungen. Es treten innerhalb der Grundperiode zusätzliche Gleitphasen auf, das heißt, eine Tendenz zur Halbierung der Periode.





Wenn der Bogendruck deutlich oberhalb der Grenze für reguläre Schwingungen gewählt wird, ergeben sich die in Fig. 4 dargestellten Verläufe. Im eingeschwungenen Zustand ist die Periode etwa doppelt so lang wie die Saitengrundperiode. Die Modellergebnisse stimmen mit den Monochordmeßwerten auch in dieser Hinsicht überein.

In Fig. 5 sind die Verläufe für den Fall dargestellt, daß Bogendruck und -geschwindigkeit von null aus linear anwachsen. Es entsteht eine reguläre Schwingung mit anwachsender Amplitude.



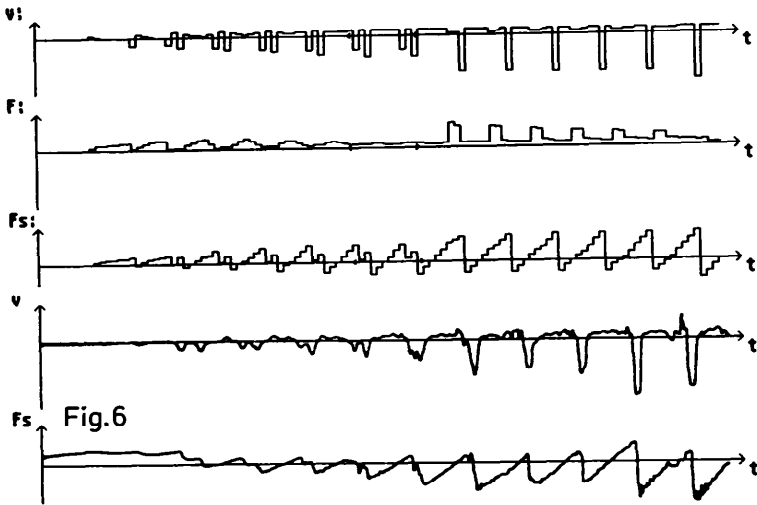
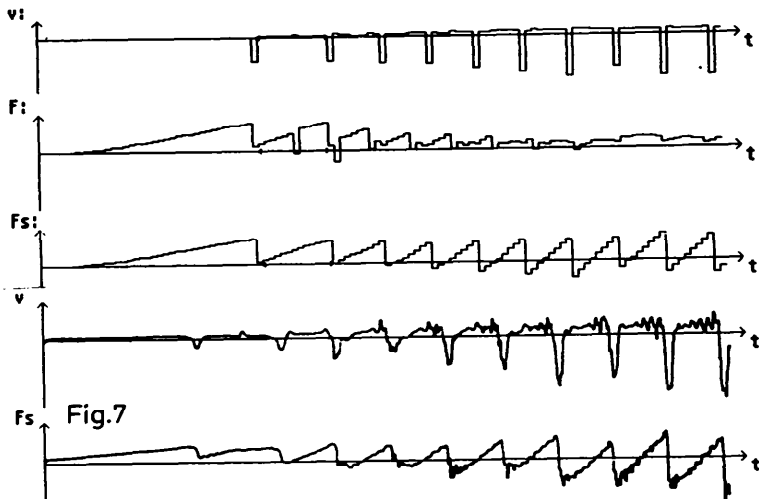


Fig.6 gilt für konstante Bogengeschwindigkeit kombiniert mit anwachsendem Bogendruck. Da am Anfang der Bogendruck für reguläre Schwingungen zu gering ist, treten zunächst Schwingungsformen wie in Fig.3 auf.

Fig.7 zeigt die Ergebnisse für linear von null aus anwachsende Bogengeschwindigkeit kom-



Literaturangaben. [1] Terhardt, E., in Fortschritte der Akustik (DAGA'87). Aachen, 1987, S. 397-400. [2] Terhardt, E., Acustica 70, 179-188 (1990). [3] McIntyre, M.E., Schumacher, R.T., Woodhouse, J., J. Acoust. Soc. Am. 74, 1325-1345 (1983).