

J. Patek, P. Hora, F. Vales, S. Moravka, UTSSK CSAV, Pilsen (Plzen), CS;
J. Cerv, UT CSAV, Prag (Praha) CS

Die Benutzung eines nicht stationären Körperspannungszustandes für die Kalibration von Piezoaufnehmer

Der Aufsatz befaßt sich mit zwei Kalibrationsmethoden. Methode der Glaskapillarenbrechung und Methode des Stoßes mittels eines dünnen Stoßstabes. Durch die analytische Lösung des Spannungszustandes der dicken isotropen unbegrenzten elastischen Platte wurden theoretische Zeitverläufe der vertikalen und horizontalen Verschiebungen im Aufnehmerspunkt erreicht.

Die Kapillarenbrechung wirkt angenähert als eine Punktquelle, desswegen wurde s.g. die Strahlentheorie eingesetzt um schneller zum Ergebnis zu gelangen.

Die durch den quereinfallenden Stoßstab dargestellte Quellenerregung kann als Normalspannung im Kreisbereich modelliert werden. Dieser Fall wird mittels der analytischen Methode gelöst.

Das Frequenzspektrum eines elektrischen Signals auf den Klemmen des Breitbandaufnehmer wird genormt durch ein Spektrum des theoretischen Zeitverlaufes der Verschiebungen. So wurde eine Frequenzcharakteristik des piezoelektrischen Verschiebungsaufnehmers gewonnen.

Diese impulsartige Frequenzcharakteristiken werden verglichen. Beide beschriebenen Methoden können für die absolute Aufnehmerkalibration eingesetzt werden.

Kalibrationsmethode der Kapillarenbrechung

Der Experimentaufbau wird im Bild 1 dargestellt. Eine Schraube mit Feingewinde ist mit einem tensometrischen Kraftmesser versehen und mit einer drehbaren Schneide am Ende vorgesehen. Die brechende Kapillare wird direkt auf die Plattenoberfläche gelegt. Falls $Q(t)$ die Funktion von Heaviside darstellt, kann der zeitliche Erregungsverlauf folgend beschrieben werden $1-Q(t)$

d.h. in der Zeit Null kommt es zur Entlastung.

Kapillaren sind aus einem Quarzglas gewesen. Wichtig ist

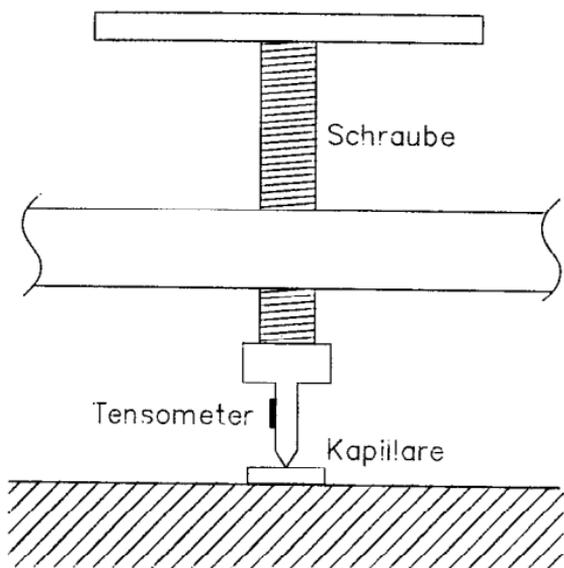


Bild 1 Experimentaufbau: Kalibration mittels der Kapillar-
entbrechung

das Verhältnis des inneren und äußeren Radius, es haben sich Kapillaren mit einem Radius von $195 \mu\text{m}$ (Durchmesser-
verhältnis von 2.53) und $300 \mu\text{m}/95 \mu\text{m}$ (Durchmesser-
verhältnis von 3.16) bewährt, die eine Bruchdauer von einem Zehntel der
Mikrosekunde ausweisen.

Es wurden zwei Messungen gebracht. Der Aufnehmer wurde
auf der Versuchsplatte an ein unterschiedlich entfernten
Stellen der Oberfläche und an einem gegenüberliegenden
Stellen zu der Erregungsquelle. Beide horizontalen
Entfernungen sind 5cm (Dicke der Platte).

Als Aufnehmer wurde einer mit kegelartigem piezoelektrischen
aktiven Element gewählt, der z.B. in einem Aufsatz von
T.M.Proctor in der Zeitschrift J.Acoust.Soc.Am. 1982 be-
schrieben wird.

Theoretische und experimental festgestellte Verläufe für
ausgewählte Stellen zeigen nacheinander Bildpaare (2a,b;

3a,b;) an.

Endgültige Frequenzspektren sind jeweils im unteren dritten Bild mit der Bezeichnung c abgebildet.

Buchstaben P,S bezeichnen die Ankunft der Wellenfront der longitudinalen und transversalen Wellen.

Auf dem ersten Bild wurde der Aufnehmer in einer Entfernung von Dicke der Platte angebracht, der Verlauf ist noch nicht durch die Reflexion der unteren Oberfläche gestört.

Der Verlauf ist deswegen identisch mit dem Verlauf im Halbraum.

Bilder 2c und 3c zeigen die gewonnenen impulsartigen Frequenzcharakteristiken. Es wird deutlich, daß die Spektrennormung des theoretischen Zeitverlaufes eine erfolgreiche Methode ist, da man den Einfluß der Ausbreitungsbedingungen in der Grundplatte beseitigen kann.

Spektrenübereinstimmung hat eine Differenz von ca. 15%.

Weitere Ausführungen sind zur Kalibrationsmethode mittels eines Stoßstabes.

Kalibrationsmethode mittels eines Querstosses des Prägestempels

Der Experimentaufbau zeigt Bild 4. Der Stoßstab ist in einer Saitenaufhängung in waagrechter Lage und senkrecht zur Versuchsplatte angebracht. Stirnseite des Stoßstabes ist ein wenig abgerundet. Der Stoßstab ist mit zwei gegenüber angebrachten und seriell geschalteten Tensometer ausgerüstet. Tensometer sind als dynamischer Kraftmesser geeicht.

Wichtig ist die Position der Tensometer, sie müssen genug entfernt von der Stabstirn im Bereich des bereits konstanten Spannungsfeldes im gesamten Stabsquerschnitt angebracht werden. Erst dann kann der Stoßstab als Modell eines dünnen Stabes genutzt werden.

Tensometer sind in einer Entfernung von 24 Radian von der Stabstirn angebracht. Diese Lage wurde auf Grund der Aufgabenergebnisse eines Stoßes zweier halbbunendlicher Stabe gewählt.

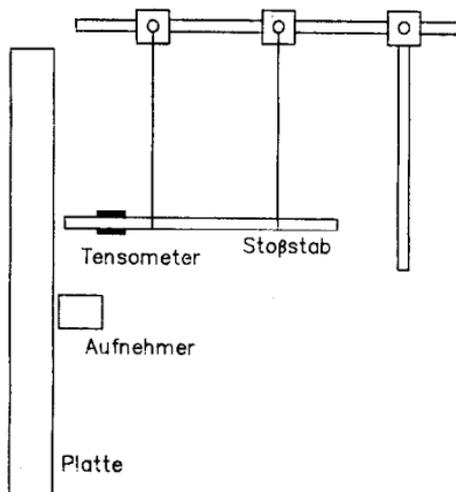


Bild 4 Experimentaufbau: Kalibration mittels des Stoßstabes

Bild 5a stellt eine radiale Verteilung der Axialspannung entlang des Radius nach Zeitablauf der longitudinalen Welle dar im dünnen Stab. Bild 5b entspricht dem theoretischen Zeitverlauf der Axialspannung in der Tensometersposition durch die sprunghafte Erregung. Bild 5c entspricht dem experimentalen Zeitverlauf auf dem Tensometer.

Eingesetzte Stablänge betrug 24 cm, Durchmesser 3.3 mm, Tensometer wurden 4 cm von dem Stabsende angebracht.

Im Bezug auf die Stablänge kann die Erregungsquelle als zeitlich sprunghaft (zeitlich impulsartig) angesehen werden. Während der durch analytische Lösungen gewonnenen Resultate kann die Stoßwirkung als eine kreismäßig wirkende Normalspannung modelliert werden. Im Kreis herrscht eine angenäherte konstante Spannung. Bilder 6a,b, 7a,b, stellen theoretische und wirkliche Abläufe dar. Gewählte Lagen der piezoelektrischen Aufnehmer sind mit den im vorigen Versuch identisch.

Wiederum Bilder mit der Bezeichnung c stellen die endgültige impulsartige Frequenzspektren dar.

Diese Kalibrationsmethode ist anwendbar für den niederen Frequenzbereich.

Abschliessende Feststellungen :

Frequenzcharakteristiken weisen eine bedeutende Übereinstimmung vor. Es kann behauptet werden:

Erstens:

- durch die Gegenüberstellung des aufgenommenen zeitlichen Verschiebungsverlaufs mit dem theoretische Verlauf gelingt es den Einfluß der Ausbreitungsbedingungen der Spannungswellen in einem Körper (d.h. Einfluß der geometrischen Körperabmessungen) zu beseitigen.

Zweitens:

Methode der Querbelastung durch einen Stoßstab legt eine Hypothese zu Grund. Sie besagt, daß während eines Kontakts zwischen der Stabspitze mit der Plattenoberfläche in der Berührungsfläche konstante Spannung herrscht. Dabei wird der Zeitverlauf der Berührung mit einer guten Übereinstimmung mittels der Tensometer abgebildet. Nach dem Saint-Venant-Prinzip wird der Einfluß der Erregungsart auf den aufgenommenen Zeitverlauf mit einer grösseren Entfernung von der Erregungsquelle immer kleiner. Andererseits deutet ein Vergleich der theoretischen und experimentellen Zeitverläufe, die auf gleichen Plattenlagen durch beide Methoden gewonnen wurden, auf einen Einfluß der Erregungsart hin. Es darf eine Behauptung geäußert werden:

- eine gute Übereinstimmung der Frequenzspektren ist ein indirekter Beweis über die Richtigkeit der Erregungsersetzung eines Stoßstabes durch eine konstante zeitlich sprunghafte Spannung (Heaviside) in Kreisflächen.

Drittens :

Der eingesetzte Aufnehmer nimmt deutlich die Vertikalverschiebung im Frequenzbereich 50kHz - 1MHz auf.

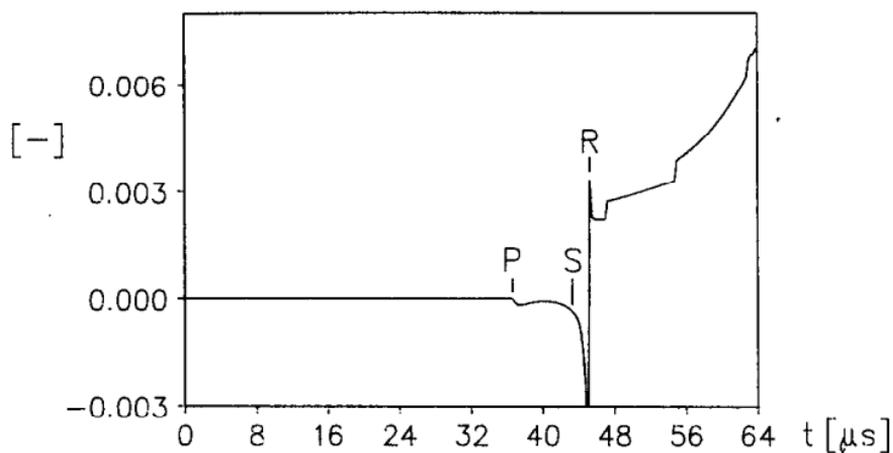


Bild 2a Theoretischer Verlauf (5 cm oben)

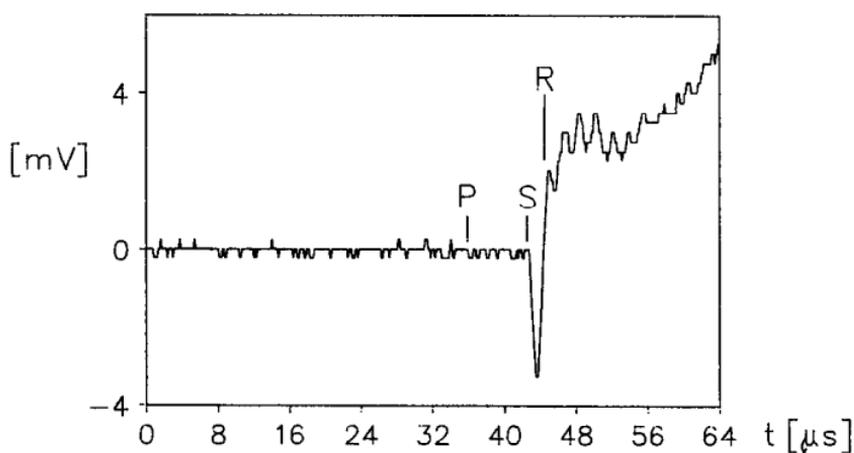


Bild 2b Experimentaler Verlauf (5 cm oben)

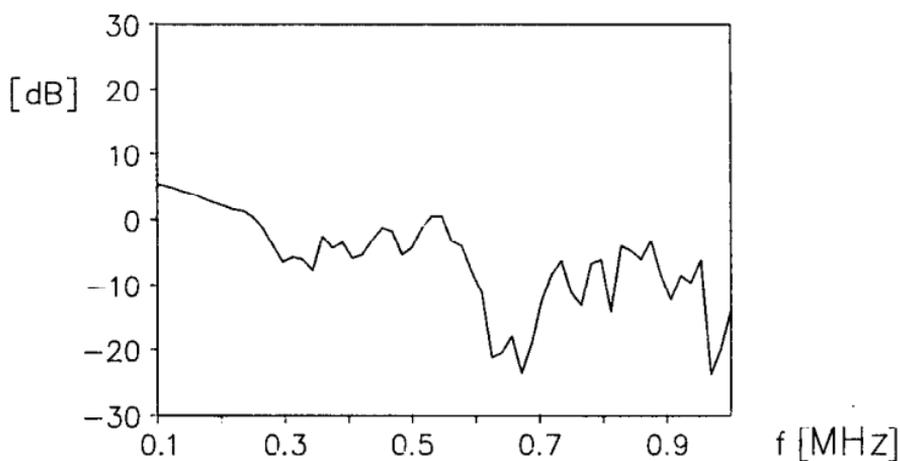


Bild 2c Impulsartige Frequenzcharakteristik

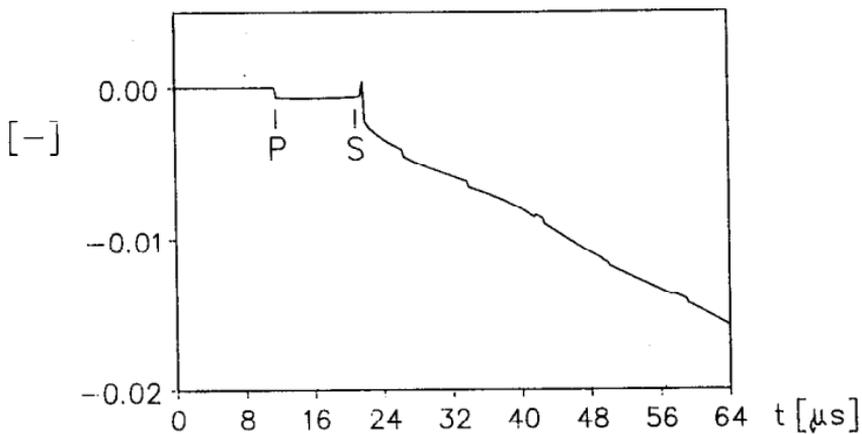


Bild 3a Theoretischer Verlauf (5 cm unten)

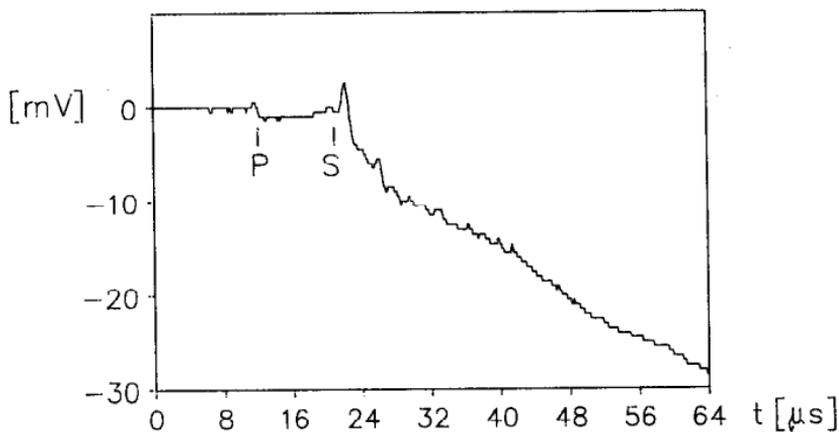


Bild 3b Experimentaler Verlauf (5 cm unten)

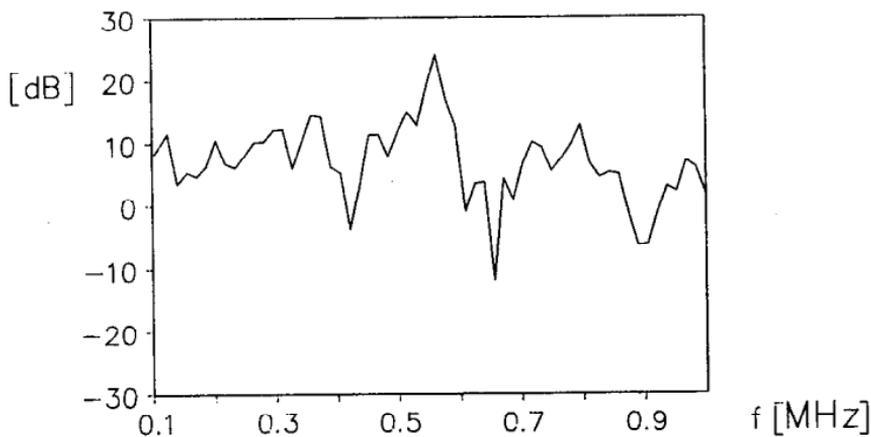


Bild 3c Impulsartige Frequenzcharakteristik

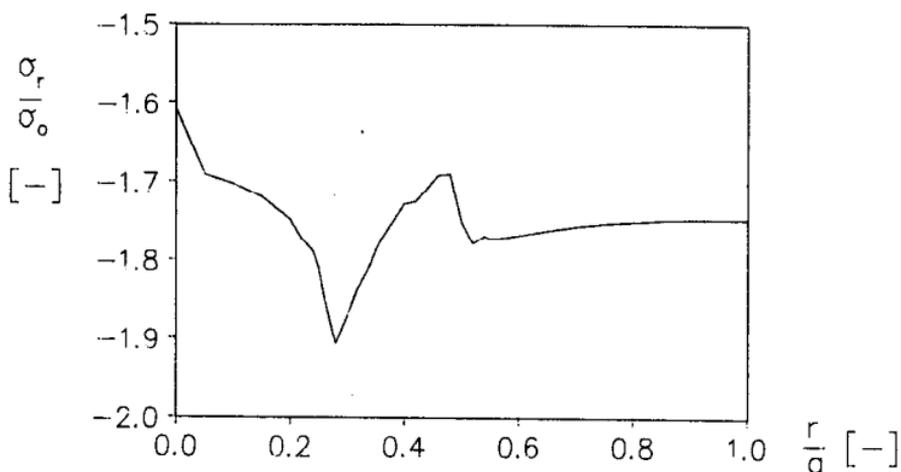


Bild 5a Theoretische radiale Verteilung der Axialspannung entlang des Radius

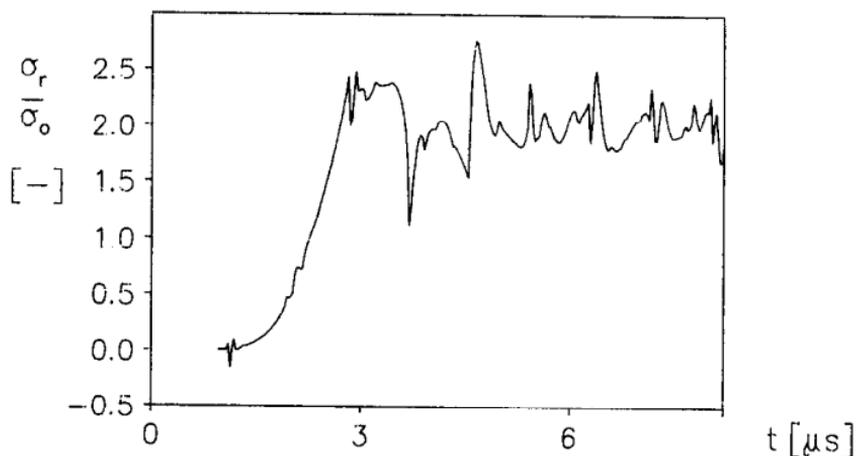


Bild 5b Theoretischer Zeitverlauf der Axialspannung, sprunghafte Quallerregung

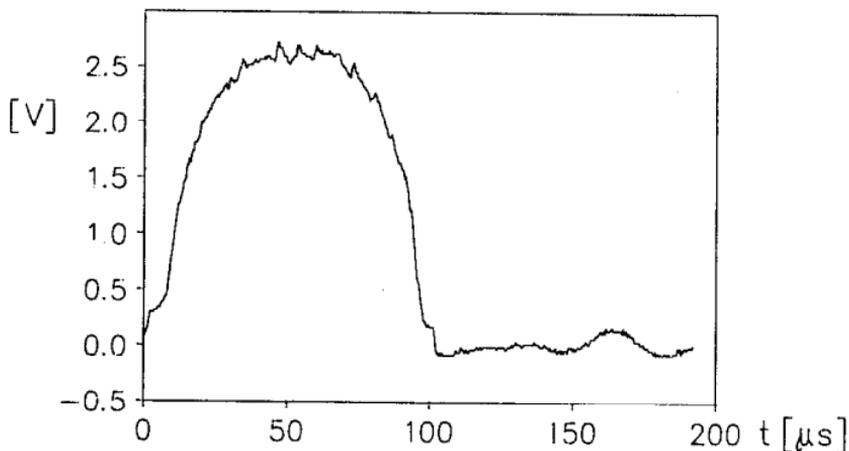


Bild 5c Experimentaler Zeitverlauf auf dem Tensometer

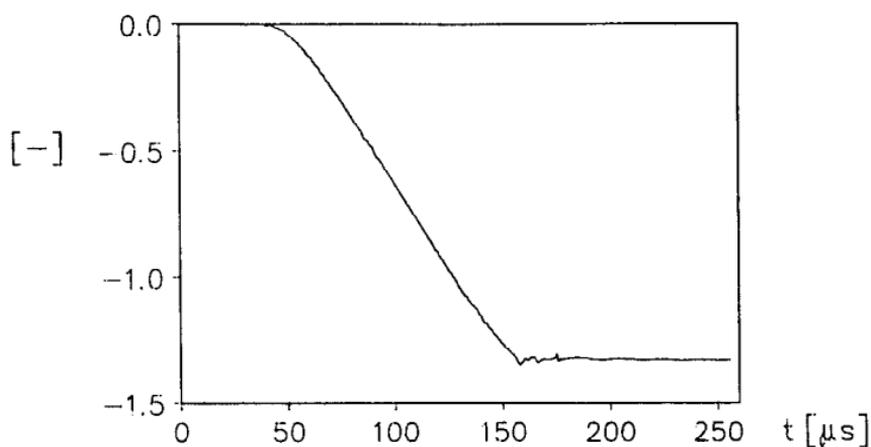


Bild 6a Theoretischer Verlauf (5 cm oben)

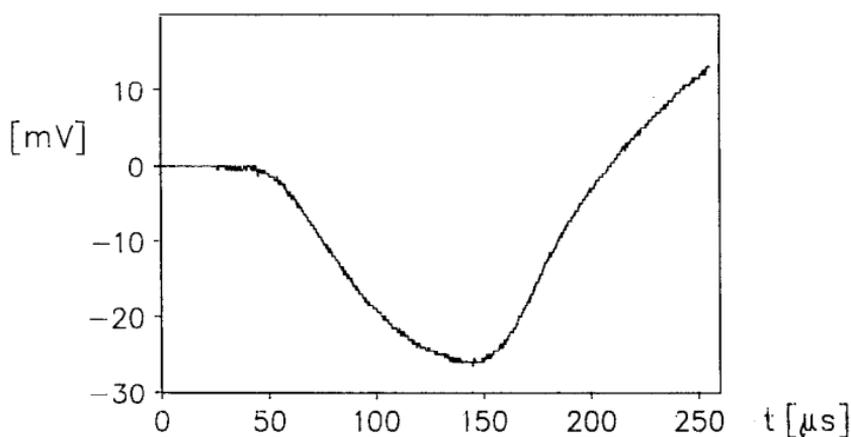


Bild 6b Experimentaler Verlauf (5 cm oben)

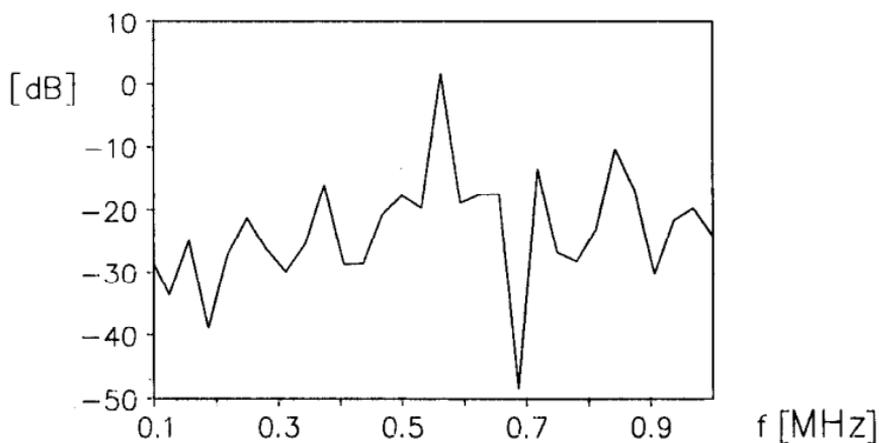


Bild 6c Impulsartige Frequenzcharakteristik

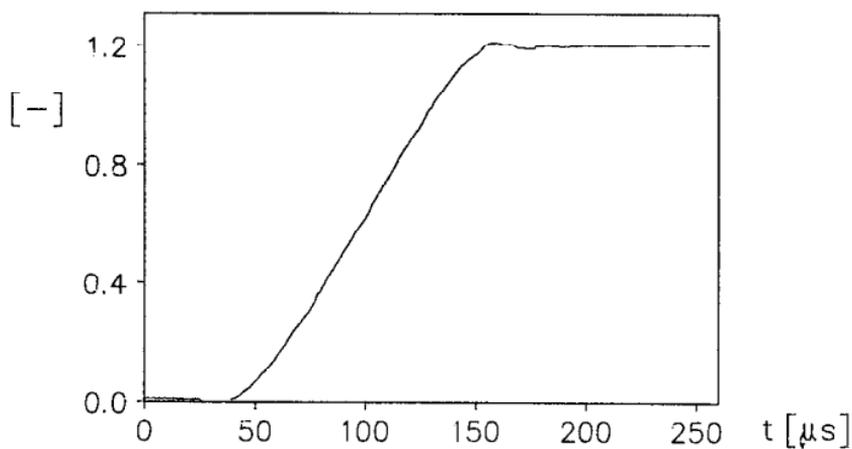


Bild 7a Theoretischer Verlauf (5 cm unten)

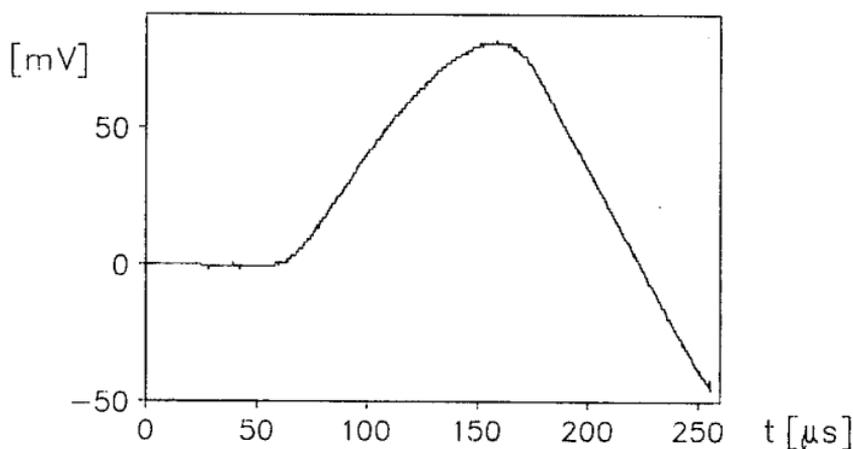


Bild 7b Experimentaler Verlauf (5 cm unten)

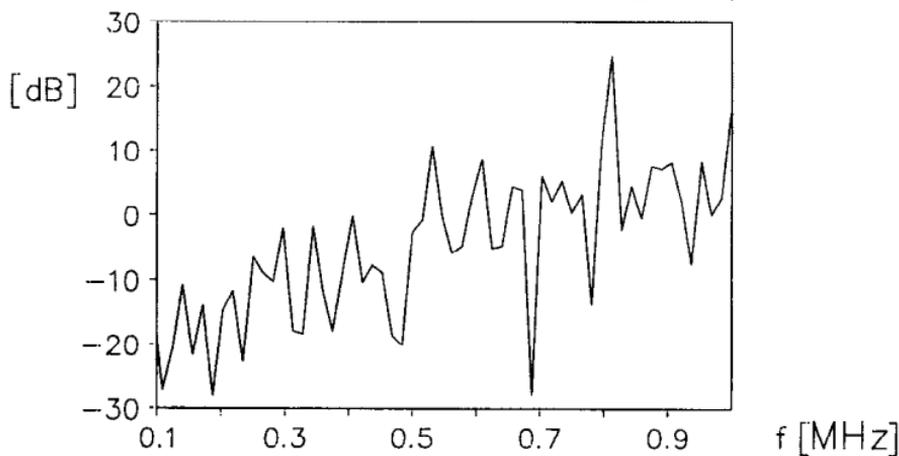


Bild 7c Impulsartige Frequenzcharakteristik