

# EINFACHER ECHTZEIT-KOMPENSATOR ZUM AUSGLEICH DER DISSIPATIONSVERLUSTE BEI IMPULSMESSUNGEN IN DER MODELL-AKUSTIK

G. Theile und R. Kürer  
TU Berlin / Umweltbundesamt

## 1. Einführung

Bei akustischen Untersuchungen über Schallausbreitungsverhältnisse in verkleinerten Nachbildungen realer Situationen - Modellakustik - begegnet man der Schwierigkeit, daß es durch die im Modellfaktor durchzuführende Frequenztransformation zu einer Dissipationsdämpfung in der Luft kommt, die einen unzulässig hohen Wert hat.

Dieser Fehler ist unter bestimmten Bedingungen vernachlässigbar /1/. Bei Verwendung von Impulsen als Schallsignale läßt er sich durch Einführung einer laufzeitabhängigen Korrektur eliminieren /2/.

Im weiteren wird ein einfacher elektronischer Echtzeitkompensator vorgestellt, der bei geringem Aufwand die zu fordernde zeit- und frequenzabhängige Verstärkung einhält. Die Kompensationsdaten wurden vorerst der Literatur entnommen. Aus einer Fehlerabschätzung wird der zulässige Arbeitsbereich bezüglich der Impulslaufzeit und der Luftfeuchtigkeit festgelegt. Der Echtzeitkompensator soll für das Verfahren der integrierten Impulsantwort /3/ angewendet werden. Dies wurde in /1/ zur Anwendung für die Modellakustik zu Schallschutzmaßnahmen im Städtebau vorgeschlagen.

## 2. Anforderungen

Bei der Ausbreitung einer Schallwelle gilt die Gesetzmäßigkeit

$$\frac{I(\Delta t)}{I_0} = D(\Delta t) = \exp(-m c \Delta t) \quad (1)$$

$I(\Delta t)$  = Intensität der Schallwelle  
nach der Laufzeit  $\Delta t$

$I_0$  =  $I(\Delta t)$  ohne Dämpfung

$D(\Delta t)$  = Dämpfung nach  $\Delta t$

$c$  = Schallgeschwindigkeit

Die Energiedämpfungskonstante  $m$  ist in der Modellakustik im wesentlichen von der relativen Luftfeuchtigkeit und der Frequenz  $f$  abhängig.

Ein Vergleich der in der Literatur /4 - 6/ angegebenen Werte für  $m$  zeigte, daß Unterschiede zwischen den Ergebnissen einzelner Autoren für  $\varphi = \text{const.}$  größer sind, als die Abhängigkeit  $m(\varphi)$  im Bereich  $\varphi = 55\% - 90\%$ . Beschränkt man sich in der Modellakustik auf diesen Feuchtigkeitsbereich, so vereinfacht sich die Bestimmung der erforderlichen Verstärkungen. Gegenüber der Dämpfung  $D_0$  im Originalbereich ergibt sich bei einem im Faktor  $n$  verkleinerten Modell eine Modelldämpfung  $D_M$ .

Folgende Rechnung ergibt dann die vom Kompensator zu erfüllende Bedingung für die Verstärkung V:

$$\begin{aligned} D_0 &= D_M \text{ soll} = \exp((-n m(f)) c \Delta t) \\ D_M &= \exp((-m(n f)) c \Delta t) \\ V(f, \Delta t) &= D_0/D_M = \exp((m(n f) - n m(f)) c \Delta t) \end{aligned} \quad (2)$$

Bildet man aus den für  $m(f)$  in der erwähnten Literatur angegebenen Werten eine gemittelte Kurve und setzt diese Werte in die Formel (2) ein, so ergibt sich die in Abbildung 1 dargestellte Zeitabhängigkeit für  $\lg V$  bis zu  $\Delta t = 12 \text{ ms}$ .

Da beabsichtigt war, den Kompensator im wesentlichen für Modellmaßstäbe  $n = 50 \div 100$  und für Verkehrsrgeräusche einzusetzen, konnten die Werte  $\exp(n m(f) c \Delta t) = 1$  angenommen werden.

### 3. Der Echtzeitkompensator

Der Kompensator wird mittels einer speziellen integrierten Linearschaltung (TCA 740 - VALVO) aufgebaut. Der Schaltkreis besteht im wesentlichen aus einem Operationsverstärker, bei dem die anteilige Wirkung zweier Gegenkopplungswege durch eine externe Steuerspannung bestimmt wird. Diese kann als beliebige Zeitfunktion  $u(t)$  in einem triggerbaren Funktionsgenerator erzeugt werden, (Abbildung 2).

Die Dimensionierung der Gegenkopplungswege erfolgt aufgrund der Grenzbedingungen  $V(f, 0)$  und  $V(f, 10 \text{ ms})$ .

Die erste Bedingung wird von einem rein ohmschen Spannungsteiler erfüllt. Während für die Erfüllung der zweiten Bedingung gemäß dem gezeigten Frequenzgang (12 dB/Octave bei 100 kHz) ein zweipoliges Netzwerk eingesetzt werden muß. Die erforderliche Steuerspannung  $u(t)$  ist eine Exponentialfunktion. Diese kann leicht experimentell ermittelt werden und durch Aufladung eines RC-Gliedes erzeugt werden.

### 4. Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Kompensators

Zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Kompensators wurden folgende Messungen durchgeführt:

- Auswertung der zeitabhängigen Verstärkungsänderung mit Sinussignalen verschiedener Frequenz ( $10 \div 100 \text{ kHz}$ )
- Auswertung der Veränderungen des Spektrums von Rechteckimpulsen ( $20 \mu\text{s}$  Dauer) bei verschiedenen Einschaltverzögerungen.
- Auswertung von akustischen Knallspektren bei unterschiedlichen Laufwegen und Vergleich zwischen kompensierten und unkompensierten Empfangssignal.

Insgesamt hält die wenig aufwendige Schaltung die geforderten Frequenzgänge im Bereich  $t = 0 \div 12 \text{ ms}$  mit enger Fehler-toleranz ein (maximal  $\pm 0,5 \text{ dB}$ ). Eine weitere Unsicherheit der Ergebnisse mußte vorerst noch wegen der relativ großen Schwankung der Literaturergebnisse ( $\pm 0,2 \text{ dB/ms}$ ) in Kauf genommen werden.

## 5. Vorteile durch den Einsatz des Kompensators

Es hat sich bereits bei den bisherigen Modelluntersuchungen gezeigt, daß die Wirkung von Schallschutzmaßnahmen durch gezielte frequenzabhängige Untersuchungen erhöht werden kann. Auch bei Relativmessungen muß die frequenzabhängige zusätzliche Luftdämpfung immer dann berücksichtigt werden, wenn Reflexionen mit nicht vorher bestimmbaren, sich aber verändernden Laufzeiten auftreten.

In all diesen Fällen ermöglicht die Arbeit mit dem Echtzeitkompensator eine einwandfreie Messung.

Als Beispiel für mögliche Fehlmessungen bei Vernachlässigung der Luftabsorption sei der fast triviale Fall einer  $1/r$ -Messung für ein Straßenverkehrsgeräusch aufgezeigt:

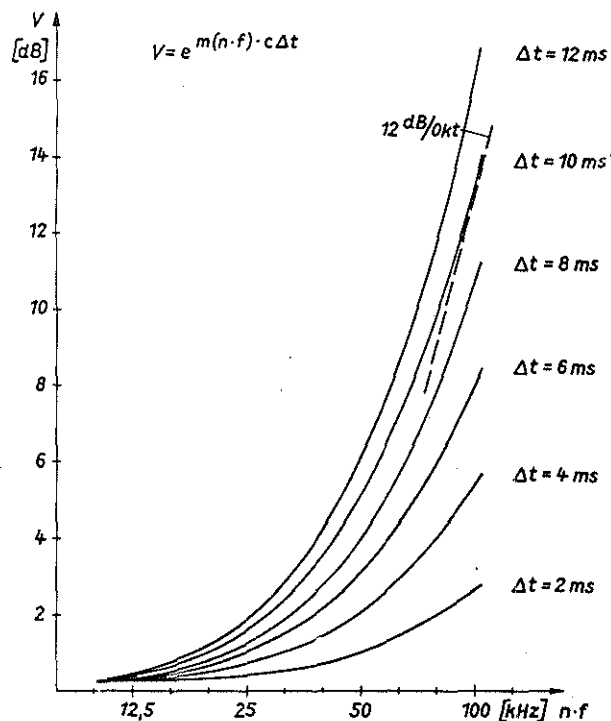
Laufzeit im Modell in ms	4	8	12	Modellfaktor
Fehler in dB (A) ohne Einsatz des Kompensa- tors	1,3	2,4	3,1	1:50
	3	4,7	6,0	1:100
Entfernung im Original in m	70	140	205	1:50
	140	280	410	1:100

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft wird für die Unterstützung vorgelegter Forschungsarbeit gedankt.

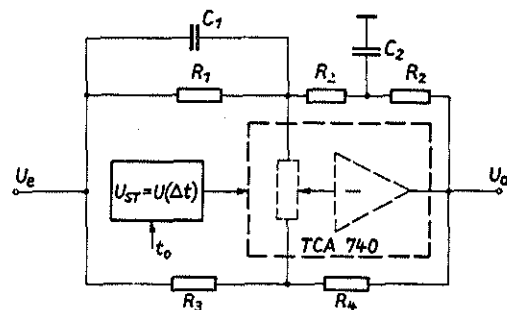
## 6. Literatur

- /1/ KÜRER, R. Limits of Acoustical Model Techniques for Site Planning, 8th ICA Contr. Papers I, p 100, London 1974
- /2/ WINKLER, H. Die Kompensation der zu großen Luftabsorption bei raumakustischen Modellmessungen mit Echogrammen, Zeitschrift HF u. Elektroakustik 73 (1964) S. 121
- /3/ SCHROEDER, M., R., J.A.S.A. 40 (549) 1966
- /4/ HARRIS, C., M., Absorption of Sound in Air in the Audio-Frequency Range, J.A.S.A. 35,1 (11) 1963
- /5/ KRAUTH, E., Klanggetreue Nachbildung der Raumakustik durch Modelle. Diss. TH München, 1960
- /6/ EVANS, E. J., u. Acustica 6, (238-245) 1956  
BAZLEY, E. N.,

## 7. Abbildungen



Zeit- und Frequenzabhängigkeit der zu fordernden Kompensatorverstärkung.



Schaltungsprinzip. Die Steuerspannung  $U_{ST} = U(\Delta t)$  bestimmt die wirksamen Anteile der beiden Gegenkopplungen.  $t_0$  = Triggerzeitpunkt.