

Mit freundlichen Grüßen:  
Vom Verfasser

**ZEITRAFFUNG UND -DEHNUNG  
BEI DER  
TONBANDWIEDERGABE**

VON DIPL.-ING. A. M. SPRINGER

SONDERDRUCK  
AUS DER ZEITSCHRIFT „FUNKSCHAU“  
HEFT 24/1961



**TELEFONBAU UND NORMALZEIT**

## Zeitraffung und -dehnung bei der Tonbandwiedergabe

von Dipl.-Ing. A. M. Springer

Jeder kennt die Effekte, die auftreten, wenn man Tonträger mit einer anderen als der Aufnahmegeschwindigkeit abspielt. Selten vergeht eine ausgelassene Party, bei der man nicht versehentlich oder absichtlich den Umschalthebel für die Plattenspieler-Drehzahl falsch einstellt und dann das hört, worüber sich schon unsere Großeltern beim Trichter-Sprechapparat köstlich amüsieren konnten: Aus einem zu schnell wiedergegebenen Orgelchoral wird ein piepsender Boogie und aus einer zu langsam abgespielten Zithermelodie ein unwirklich dunkel klingender Posaenchor. Man verändert also zusammen mit der Spielzeit nicht nur die Tonhöhe, sondern auch sehr stark den Klangcharakter, letzteren sogar bis zur Unkenntlichkeit.

In der Tonträger-Praxis gibt es eine Vielzahl von Anwendungsfällen, in denen eine Spielzeitdehnung oder -raffung äußerst nützlich ist, wobei jedoch weder die Tonhöhe noch die Klangfarbe verändert werden dürfen. Wenn beispielsweise eine Musikaufnahme 22 Minuten lang ist, aber im Rundfunk nur 21 Minuten Sendezeit zur Verfügung stehen, würde eine geraffte Wiedergabe nur theoretisch einen künstlerischen Mangel aufweisen, während ein spielzeitbedingtes „Abwürgen“ der Schlußtakte die Gesamtwirkung in Frage stellt. Auch bei der Nachsynchronisierung fremdsprachlicher Filme oder beim Nachsynchronisieren von Tanzszenen erschließt das Raffen und Dehnen der zugespielten Begleitmusik nicht nur völlig neue Möglichkeiten, es erlaubt auch eine sehr viel flüssigere Studioarbeit.

Laufzeitregelbare Tonbandgeräte, bei denen die Original-Tonhöhe erhalten bleibt, sind schon längere Zeit bekannt. Ihr Prinzip zeigt Bild 1: Zum Abhören wird ein rotierender Vierfach-Hörkopf benutzt. Läßt man das Band B schneller in Pfeil-

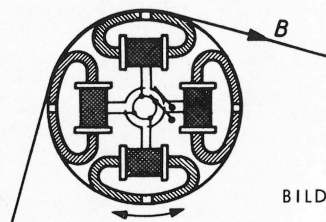


BILD 1

Prinzip der Zeitraffung  
und -dehnung mit Hilfe  
eines rotierenden Vier-  
fach-Hörkopfes



richtung laufen und den Kopf im Uhrzeigersinn rotieren, dann überspringen seine Spalte Teile der Aufzeichnung. Weil aber die Relativgeschwindigkeit zwischen Spalt und Band genauso groß bleibt wie bei der Aufnahme, ändert sich die Tonhöhe nicht. Man erhält lediglich eine Zeitraffung.

Soll die Spielzeit gedehnt werden, dann läßt man den Kopf links herum und das Band langsamer laufen. Die Spalte des Vielfachkopfes tasten also Teile der Aufzeichnung mehrmals ab und setzen die Teilstücke wieder entsprechend in Tonschwingungen zusammen.

Nach dem gleichen Prinzip lassen sich aber auch Geräte bauen, bei denen die Tonlage verändert werden kann, die aber die Spielzeit des Originalbandes einhalten. Die Möglichkeiten, die solche Einrichtungen bieten, kann man wahrscheinlich noch gar nicht im vollen Umfang übersehen. Sie reichen von der Anwendung in phonetischen Instituten und Überspielungen von ungenau intonierten Musikaufnahmen bis zu den verschiedensten Effekten.

Bis vor kurzem konnten derartige Geräte nur für die Studio-Bandgeschwindigkeiten 76 und 38 cm/sec gebaut werden. Aus hörphysiologischen Gründen dürfen nämlich die von den Mehrfachköpfen abgetasteten Bandabschnitte eine zeitliche Länge von 40 msec (= Millisekunden) nicht überschreiten. Der Abstand zwischen den Einzelabschnitten muß also um so kleiner werden, je niedriger die Bandgeschwindigkeit ist. Wer sich die Mühe macht, das nachzurechnen, wird feststellen, daß unterhalb von 18 cm/sec ein Vierfachkopf einen Durchmesser von weniger als 10 mm haben muß, das ist u. U. weniger als bei einem normalen herkömmlichen Einfachkopf in einem Heimtongerät. Deshalb mußte für langsame Bandgeschwindigkeit nach einer Abwandlung des im Bild 1 gezeigten Vierfachkopfes gesucht werden, weil die erforderliche Kleinheit den Fertigungsmöglichkeiten eine Grenze setzt.

Dipl.-Ing. Springer entwickelte deshalb bei der Firma Telefonbau und Normalzeit den im Bild 2 skizzierten Kopf, bei dem der Außendurchmesser des drehbaren Teiles oH/uH nur 2 mm beträgt. Er ist für Zeitdehnereinrichtungen bestimmt, die mit einer Bandgeschwindigkeit von 4,75 cm/sec arbeiten, und der zeitliche Abstand von zwei benachbarten Spalten beträgt 32 msec. Bei diesem Kopf sind die Spulen Sp feststehend angeordnet und die

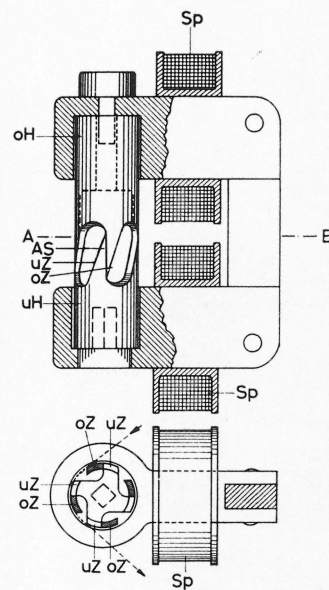


BILD 2

Miniatur-Vierfachkopf nach Springer mit rotierenden Zylinder-Magnetspalten. Sp = Spule, oH = oberer Hohlzylinder, uH = unterer Hohlzylinder, uZ = Zahn des unteren Hohlzylinders (insgesamt vier), oZ = Zahn des oberen Hohlzylinders (insgesamt vier), AS = Abtastspalt (nach Umschau 1961, Heft 10).

rotierenden wirksamen Polpaare werden durch aneinanderliegende Zähne des oberen (oH) und unteren Hohlzylinders uH gebildet. AS ist der Abtastspalt und uZ/oZ bedeuten Zähne des unteren bzw. oberen Zylinders.

Man mag sich fragen, für welchen speziellen Verwendungszweck diese Entwicklung vorgenommen wurde, denn auch Optimisten werden erst in letzter Linie an hobby-besessene Tonbandamateure denken. Die Einrichtung wurde in erster Linie für wissenschaftliche Sprachuntersuchungen geschaffen, ferner um Schallaufnahmen verschiedener Klangkörper zu analysieren. Der neue Miniatur-Vierfachkopf ist auch für Diktiergeräte gedacht, bei denen er es ermöglicht, die Wiedergabegeschwindigkeit unmittelbar an die Schreibgeschwindigkeit der Stenotypistin anzupassen. Bei einem gut aufeinander und auf dieses Verfahren eingespielten Schreib-Team (Chef und Sekretärin) entfällt beim Tippen das Hin- und Herrangieren des Bandes, die Arbeit wird angenehmer, und der Wirkungsgrad steigt.

# Wirbelstrom-Drehmomentmesser für kleine Drehmomente

V 136—4

Mai 1953

Verfasser: Dipl.-Ing. Anton M. Springer

DK 621.317.78

## Zweck der Meßvorrichtung

Zur Messung kleiner Drehmomente eignen sich nur Meßvorrichtungen, die selbst keine zu großen Reibungsverluste aufweisen. Die bekannten mechanischen Bremsvorrichtungen zum Messen des Drehmomentes einer Arbeitsmaschine, etwa der Pronysche Zaun, lassen zwar ein kontinuierliches Ansteigen der Last zu, jedoch nur bedingt ein gleichmäßiges Abnehmen der Belastung. Es ist weiter ein Nachteil, daß durch solche mechanische Bremsvorrichtungen eine zusätzliche Radiallast auf die Achse des zu prüfenden Gerätes ausgeübt wird.

Demgegenüber ist die Wirbelstrombremse z. B. als Scheibenbremse nach Bild 1 bzw. 4 bei kontinuierlicher Lastzunahme und -abnahme brauchbar. Jedoch eignet sie sich nicht zum Messen des Anlaufmomentes einer Arbeitsmaschine, da ja nur während der Bewegung der Bremsscheibe Wirbelströme auftreten und erst dadurch eine Bremswirkung entsteht. Für sehr kleine Motore ist außerdem die durch die Meßvorrichtung auftretende Radialkraft (zusätzlicher Lagerdruck) nicht zu vernachlässigen; diese Radialkraft vergrößert sich noch mit der Belastung der Maschine. Durch eine besondere Anordnung zur Messung der Umfangskraft bei der unten beschriebenen Wirbelstrombremse kann diese Radialkraft aufgehoben werden.

## 1. Bremsleistung und Bremskraft

Die mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegte Scheibe wird nach Bild 1 von dem Magnetfeld eines Polpaares durchsetzt. Um einfache und hinreichend brauchbare Gleichungen für Bremsleistung und Bremskraft eines Pol-

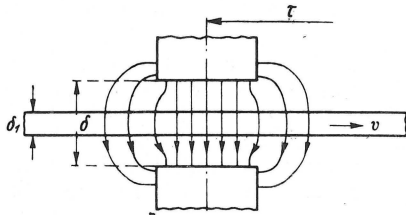


Bild 1. Schema der Anordnung.

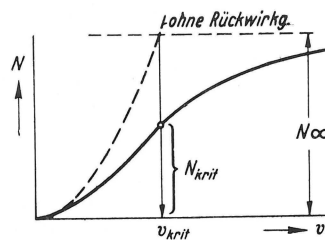


Bild 2. Bremsleistung  $N$  in Abhängigkeit von der Bremscheibengeschwindigkeit.

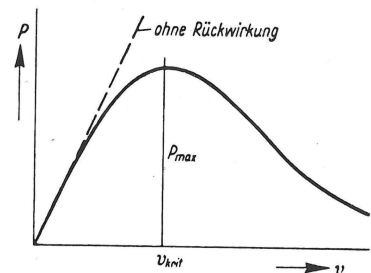


Bild 3. Bremskraft  $P$  in Abhängigkeit von der Bremscheibengeschwindigkeit.

paars zu erhalten, macht man nach Rüdemberg<sup>1</sup> folgende Annahmen.

Es ist eine wechselnde Folge von Polpaaren vorhanden und die magnetische Induktion verläuft in Bewegungsrichtung nach einer Sinusfunktion mit der Polteilung  $\tau$ ; die Werte für ein Polpaar entsprechen dann denen einer Sinus-Halbwellen des Feldverlaufs. Weiter wird statt der sich drehenden runden Scheibe ein mit  $v$  geradlinig bewegter Streifen von der Breite  $b$  angenommen, die der Wirkungsbreite der Wirbelströmung entspricht; auch in der Richtung von  $b$  sei der Feldverlauf sinusförmig.

Betrachtet man dann die in der Scheibe bzw. dem Streifen entstehende Wirbelströmung, so ergibt sich für die Polteilung eine in Wärme umgesetzte Leistung

$$N = \frac{1}{4} \cdot \frac{\delta_1}{\varrho} \cdot v^2 \cdot B^2 \cdot b^2 \cdot \frac{w}{\left(\frac{v}{\varrho} l\right)^2 + w^2} \cdot 10^{-7} \quad (1)$$

in  $W$ , wo noch bedeuten:  $\varrho$  den spezifischen Widerstand der Bremsscheibe in  $\Omega/\text{cm}$ ,  $v$  die Geschwindigkeit in  $\text{cm/s}$ ,  $B$  die magnetische Induktion der Bremsmagnete in Polmitte in Gauß,  $b$  die Bremscheibenbreite und  $\tau$  die Polteilung in  $\text{cm}$ , schließlich

$$w = \left(\frac{\tau}{b} + \frac{b}{\tau}\right) \quad \text{und} \quad l = 4 \frac{\delta_1}{\delta} b \quad (2)$$

( $\delta$  und  $\delta_1$  nach Bild 1 in  $\text{cm}$ ). Bei kleinen Geschwindigkeiten  $v$  wächst  $N$  zunächst mit deren Quadrat, dann aber wegen der steigenden Rückwirkung der Wirbelströme nach Bild 2 nur weniger bis zu seinem Grenzwert bei  $v = \infty$ :

$$N_{\infty} = \frac{1}{64} \cdot \frac{\delta^2}{\delta_1} \cdot \varrho \cdot B^2 \cdot w. \quad (3)$$

Diese Grenzbremseleistung ist also um so größer, je dünner die Scheibe und je höher der spezifische Widerstand der Scheibe ist. Die Bremskraft  $P$  erhält man als Quotient der Bremsleistung  $N$  durch die Geschwindigkeit  $v$ . Sie beträgt

$$P = \frac{1}{4} \cdot \frac{\delta_1}{\varrho} \cdot v \cdot B^2 \cdot b^2 \cdot \frac{w}{\left(\frac{v}{\varrho} l\right)^2 + w^2}, \quad (4)$$

nimmt also zunächst linear mit  $v$  zu und dann nach Bild 3 langsamer. Maximum der Bremskraft und Wendepunkt der Leistungskurve liegen bei derselben Geschwindigkeit  $v_{\text{krit}} = \varrho w/l$ . Man erhält für die kritische Bremskraft

$$P_{\text{krit}} = \frac{1}{32} \cdot b \cdot \delta \cdot B^2. \quad (5)$$

Die Größe der kritischen Bremsleistung beträgt

$$N_{\text{krit}} = \frac{1}{128} \cdot \frac{\delta^2}{\delta_1} \cdot \varrho \cdot w \cdot B^2. \quad (6)$$

Dieser Ausdruck läßt erkennen, daß die kritische Bremsleistung genau die Hälfte der überhaupt möglichen Leistungsumsetzung ist (vgl. Bild 2).

Die Abnahme der Bremskraft oberhalb der kritischen Geschwindigkeit ergibt sich auch aus der Verschiebung der

unterhalb der Pole liegenden Wirbelströmung, um einen Winkel  $\psi$ , für den  $\operatorname{tg} \psi = v/v_{\text{krit}}$  ist. Durch die Rückwirkung der Wirbelströme verschieben sich die Wirbelfelder in der Bewegungsrichtung der Bremscheibe. Im kritischen Zustand erreicht der Verschiebungswinkel einen Wert von  $45^\circ$ . Bei weiterer Erhöhung der Geschwindigkeit verschiebt sich die Wirbelströmung ebenfalls weiter und kommt schließlich unter den Einfluß des nächsten, entgegengesetzten Polpaares.

Durch die Form der Bremsmagnetpole enthält das magnetische Feld auch Oberwellen. Rechnet man den Einfluß der Oberwellenströme nach, so zeigt sich, daß auch für diese die Bremskraft ein Maximum erreicht. Dieses liegt jedoch bei größeren Geschwindigkeiten höher als das Maximum der Grundwelle. Die Bremsleistung strebt ebenfalls bei sehr hohen Geschwindigkeiten einem Grenzwert zu, welcher größer ist als beim Grundfeld allein.

Betrachtet man die kritische Geschwindigkeit für die Oberwellen, so ersieht man daraus, daß es leicht vorkommen kann, daß bei stark ausgeprägten Oberwellenfeldern die wahre kritische Geschwindigkeit der Bremse weit über der des Grundfeldes liegt ( $v_{\text{krit}0} = \varrho \frac{w_0}{l_0}$ ); sie wächst mit der Ordnungszahl der Oberwellen.

## 2. Bemessung der Bremse

Eine Bremse ist am wirtschaftlichsten, wenn bei kleinstem Materialaufwand der Scheibe eine möglichst große Leistung abgebremst werden kann. Das Produkt aus der wirksamen Breite  $b$  des Bremsstreifens und seiner im magnetischen Feld liegenden Länge  $L$  muß also ein Minimum sein. Mit Gl. (1) als Bremsleistung je Polteilung  $\tau$  ist die gesamte Bremsleistung einer Bremse also  $\frac{L}{\tau} \cdot N$ . Die Bremse fällt mithin bei verlangter Bremsleistung klein aus, wenn  $Lb$  klein wird, bzw. wenn

$$\frac{b}{\tau} \frac{w^2}{\left(\frac{v}{\varrho} l\right)^2 + w^2} = \frac{1 + (b/\tau)^2}{\left(\frac{4v\delta_1 b}{\varrho\delta}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{b} + \frac{b}{\tau}\right)^2}$$

groß wird. Der Ausdruck  $\frac{v}{\varrho} \cdot l$  ist um so größer, je größer die Rückwirkung der Ströme ist; für  $v\delta_1/\varrho$  gibt es einen günstigsten Wert, bei dem die Bremse im kritischen Zustand arbeitet. Es deckt sich also günstige Dimensionierung mit der Forderung nach geringer Rückwirkung.

## 3. Ausgeführte Bremse

Im wesentlichen besteht die Wirbelstrombremse nach Bild 4 aus einer mit der Antriebswelle der zu prüfenden Maschine verbundenen Kupfer- oder Aluminiumscheibe  $Bs$ , die sich zwischen Elektromagneten  $Bm$  mit veränderlichem Feld dreht. Am Umfang der die Elektromagnete tragenden Scheibe  $Al$  werden die Kräfte gemessen, mit denen die Bremscheibe die Elektromagnete mitzunehmen versucht. Die Kräfte der Wirbelströme können mit Hilfe einer Waage  $F$  gemessen werden. Das Drehmoment ergibt sich dann aus dem Produkt der Umfangskraft mal Radius der Schnurumschlingung (bei der in Bild 4 dargestellten Bremse 5 cm).

Die an sich erwünschte Forderung, daß die Umfangskraft und das Drehmoment von Drehzahl und Geschwindigkeit linear abhängt, ist nach Gl. (4) nur für kleine  $v$  erfüllt. Nach Überschreiten der kritischen Geschwindigkeit (dem Maximum der Bremskraft) würde die Bremse wegen der Rückwirkung nicht mehr stabil arbeiten. Bei kleinen Wirbelstrombremsen liegt die kritische Geschwindigkeit bzw. Drehzahl aber fast

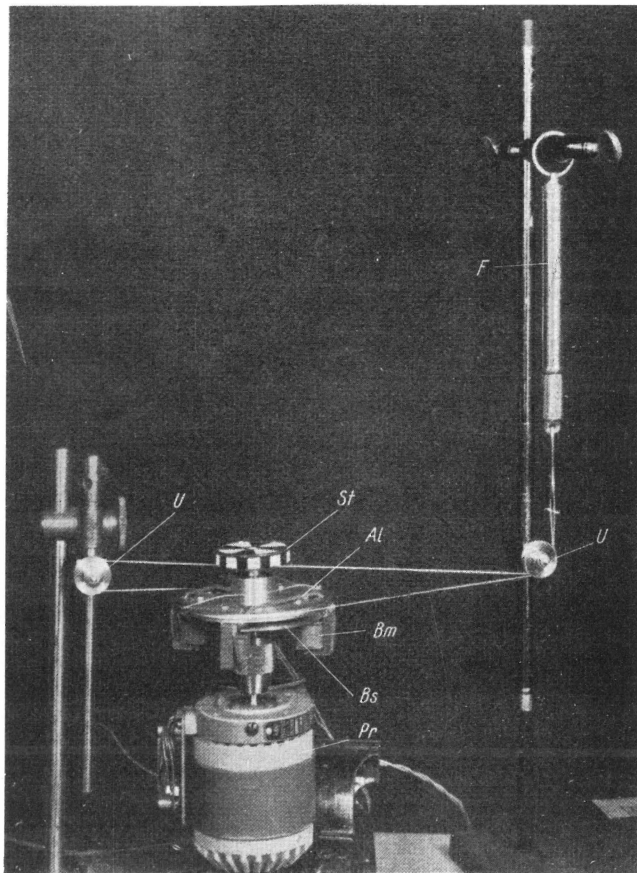


Bild 4. Meßaufbau zur Drehmomentmessung für 3000 gem bei 1500 U/min, entsprechend etwa 40 W.

F Federwaage  
U Umlenkrollen  
St stroboskopische Scheibe  
Al Al-Scheibe  
Bm Bremsmagnete  
Bs Bremscheibe (Cu)  
Pr Prüfling, Meßobjekt

immer hinreichend hoch. Sie betrug bei der in Bild 4 dargestellten Bremse 2750 U/min.

Die Reibungsfehler der Waage sind wegen der von der Rotation bedingten Erschütterungen nur gering. Der Einfluß der Temperatur kann durch verschiedene Maßnahmen kompensiert werden<sup>2,3</sup>.

Bild 5 zeigt die Drehmomentkurve eines selbst anlaufenden Synchronmotors in Abhängigkeit von der aufgenommenen Leistung. Bei dieser Messung ist die Belastung allmählich gesteigert und anschließend verkleinert worden.

Die beiden Stufen in der Kurve lassen deutlich erkennen, bei welchem Drehmoment der Motor in Tritt und außer Tritt fällt. Für die kritische Drehzahl ergab sich eine Abweichung von nur 5% vom berechneten Wert.

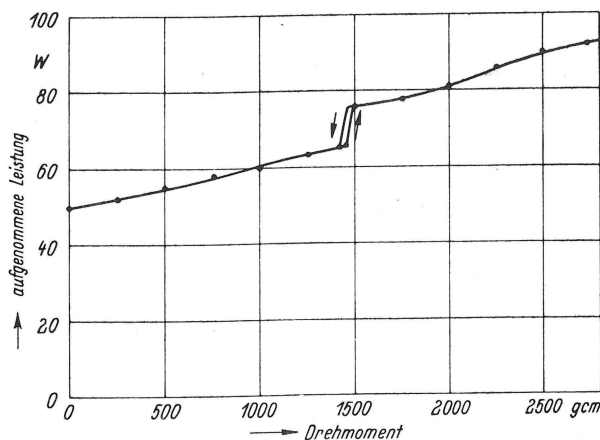


Bild 5. Drehmomentkurve eines selbst-anlaufenden Synchronmotors Papst-St. Georgen, Type S 6 E/220, Nr. 8067, für 225 V mit  $5 \mu\text{F}$  in der Hilfsphase.

## Schrifttum

1. R. Rüdberg, Energie der Wirbelströme, Sonderausgabe, Stuttgart, Ferd. Enke, Stuttgart 1906. — 2. B. Richter, ATM-Blatt J 162—7 (Juli 1951). — 3. G. Keinath, ATM-Blatt J 162—1 (März 1935).