

Ein unmittelbar am Flugzeug angebrachter gegen den
Eigenschall des Flugzeuges unempfindlicher Schallempfänger.

Übersicht: Wenn man mit Hilfe eines unmittelbar an einem Flugzeug angebrachten Schallempfängers ein fremdes Flugzeug auf akustischem Wege orten will, wird man durch den Schall des eigenen Flugzeuges gestört. In vorliegender Arbeit werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie man einen Schallempfänger bauen kann, der gegen den störenden Schall des eigenen Flugzeuges unempfindlich ist. Der vorgeschlagene Schallempfänger hat eine Richtcharakteristik, die ein ausgesprochenes Minimum in der Richtung auf Motor und Propeller des eigenen Flugzeuges hat. Weiterhin ist er mit einem elektrischen Filter zusammenschaltet, das vorwiegend die von dem eigenen Flugzeug abgestrahlten Frequenzen wegfiltert, die Frequenzen des zu ortenden Flugzeuges jedoch durchlässt. Aufbau des Schallempfängers und Filters und die bisher an beiden im Laboratorium erhaltenen Messergebnisse werden mitgeteilt. Es wird erörtert, was man nach den bisher erhaltenen Messungen von diesem Schallempfänger für Zwecke der akustischen Peilung vom Nachtjäger aus erwarten kann.

Gliederung:

- A. Einleitung
- B. Der Laufzeitdipol
- C. Das Oberfrequenzfilter
- D. Diskussion der durch Laufzeitdipol und Oberfrequenzfilter gegebenen Möglichkeiten.

Der Bericht umfasst 24 Seiten mit
11 Bildern

Verteiler:

Institut für instationäre Vorgänge 3 x
Berichtswesen 1 x
RLM 1 x

Institut für instationäre Vorgänge
der

Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen E.V.

Der Institutsleiter

Küssner

(Küssner)

Der Bearbeiter

Billing

(Billing)

A. Einleitung.

Will man von einem fliegenden Flugzeug aus mit einem unmittelbar am Flugzeug angebrachten Schallempfänger den Schall eines fremden weit entfernten Flugzeugs aufnehmen, so ist man vor die Aufgabe gestellt, den Schallempfänger gegenüber dem vom eigenen Flugzeug herrührenden Störschall so weitgehend unempfindlich zu machen, bis die Intensität des aufgenommenen Störschalles kleiner oder höchstens ebenso gross wird, wie die Wirkung des vom fremden Flugzeug herrührenden Nutzschalles.

Der am Empfänger wirksame Störschall hat zwei verschiedene Ursachen. Erstens wird durch die am Empfänger vorbeiströmende Luft - also unmittelbar am Empfänger selbst - ein Störgeräusch erregt. Mit diesem Störgeräusch befassen sich frühere Arbeiten über nachgeschleppte Mikrofonsonden, in denen gezeigt wurde, dass durch günstige Formgebung der Sonde und Aufrauung ihrer Oberfläche (damals wurde ein Überzug aus Katzenfell verwendet) sich dieser in früheren Arbeiten mit "Sondengeräusch" bezeichnete Störschall weitgehend herabsetzen lässt, wenn man das Mikrofon im Staupunkt der Sonde anbringt oder den Schall in diesem Punkt durch einen Kanal entnimmt. Über die Ergebnisse der früheren Arbeiten hinaus ist eine weitere erhebliche Verminderung des Sondengeräusches und dessen Verschiebung nach höheren Frequenzen zu erwarten, wenn man die Abmessungen der Sonde verkleinert. Dies bedingt die Verwendung möglichst kleiner Mikrofone. Die zweite wesentlich unangenehmere Quelle des am Empfänger hervorgerufenen Störschalles sind die Eigengeräusche des eigenen Flugzeugs. Die Hauptursachen des Flugzeugschalles sind der Propeller und der Motor, wozu bei den heutigen hohen Flugeschwindigkeiten noch ein starkes pfeifendes Geräusch kommt, das durch die Anströmung des Flugzeugs hervorgerufen wird.

Wenn man die Störwirkung dieser in der Nähe des Schallempfängers befindlichen Schallquellen genügend verringern will, muss man sich zunächst darüber klar werden, was für Anforderungen zu stellen sind. Befindet sich das anzuhorchende Flugzeug in der Entfernung a und ist der Schallempfänger b Meter von den Hauptstörschallquellen des eigenen Flugzeugs entfernt, so verhält sich der am Mikrofon hervorgerufene

Schalldruck bei Annahme gleicher Schallerzeugung durch beide Flugzeuge ganz grob gesagt wie $b:a$.¹⁾ Durch Anbringung des Schallempfängers an den Enden einer Tragfläche des Flugzeugs ist die Entfernung b (Schallempfänger - Motor) etwa zu 10 m zu machen. Will man daher ein 1000 m entferntes fremdes Flugzeug anhören, so ist die Wirkung des Störschalldruckes des eigenen Flugzeugs auf den Empfänger rund um den Faktor 100 herabzusetzen gegenüber der Wirkung des Nutzschalles, wenn man vermeiden will, dass der Nutzschall im Störschallpegel untergeht.

Wenn man einen Schallempfänger bauen will, der auf den Nutzschall und auf den Störschall in dieser unterschiedlichen Weise anspricht, muss man sich zunächst Klarheit verschaffen, in welchen Beziehungen sich Nutzschall und Störschall voneinander unterscheiden. Dieser Unterschied liegt in zwei Punkten, an denen man zur Weiterarbeit ansetzen kann.

1) Für den am Ende der Tragfläche angebrachten Empfänger kommen im allgemeinen Nutzschall und Störschall aus zwei verschiedenen Richtungen. Um diese Tatsache auszunutzen, muss man einen Empfänger konstruieren, der für den Raumwinkel, aus dem der Störschall einfällt, unempfindlich ist. Durch Verwendung je eines solchen gerichteten Empfängers (Richtung grösster Unempfindlichkeit auf den Motor zu) an den beiden Flügelenden, kann man dann mit dem einen oder dem anderen Empfänger den aus beliebiger Richtung auffallenden Nutzschall aufnehmen.

¹⁾ Hierbei ist vorausgesetzt, dass kein Störschall durch Körperschalleitung die am Flugzeug befestigten Mikrofone erreicht. Doch auch für den Luftschall wird die Richtigkeit obiger Beziehung durch die Ungültigkeit der Gesetze der kugelförmigen Schallausbreitung in unmittelbarer Nähe des Flugzeuges und durch die für die verschiedenen Richtungen verschiedene Schallabstrahlung der Flugzeuge beeinträchtigt. Weiterhin ist auch der Einfluss der Schallabsorption der Luft nicht berücksichtigt. Die Schallabsorption wird bei Frequenzen über 1000 Hz empfindlich wirksam. Aus diesem Grunde ist man zur akustischen Anpeilung eines entfernten Flugzeuges auf die Frequenzen unter 1000 Hz angewiesen.

2) Der zweite Unterschied zwischen Nutzschaall und Störschaall liegt in verschiedener frequenzmässiger Zusammensetzung der beiden Schallarten. Um das zu verstehen, muss man überlegen, was für ein Spektrum die verschiedenen Schallquellen des Flugzeuges abstrahlen.

Der Propeller erzeugt im wesentlichen den Drehklang und das Drehgeräusch. Der Drehklang ist ein reines Linienspektrum, dessen Grundfrequenz durch Umdrehungszahl pro Sekunde mal Blattzahl gegeben ist. Der Drehklang enthält nur diese Grundfrequenz nebst ihren ganzzahligen Vielfachen. Das Drehgeräusch, das durch Ablösung von Karmanwirbeln vom Propellerblatt verursacht wird, wird erst über 600 Hz merklich und hat ein kontinuierliches Spektrum.

Der schallerzeugende Teil des Reihenmotors ist ganz überwiegend der Auspuff. Der Auspuff verursacht ebenfalls im wesentlichen einen reinen Klang, dessen Grundton durch Zylinderzahl mal Umdrehungszahl durch zwei gegeben ist. (Jeder Zylinder zündet bei jeder zweiten Umdrehung). Bei geeigneter Übersetzung zwischen Motor und Schraube kann man es erreichen, dass Propellerklang und Motorklang den gleichen Grundton haben, oder dass ihre Grundtöne im ganzzahligen Verhältnis stehen.¹⁾

Das Pfeifgeräusch, das durch Anströmung des ganzen Flugzeuges entsteht, liegt in seinen lautstarken Teilen ebenfalls über 600 Hz.

Die Betrachtung der Geräuschquellen eines einmotorigen Flugzeuges ergibt daher, dass man es im Bereich unter 600 Hz im wesentlichen mit einem Linienspektrum zu tun hat, das bei geeigneter Übersetzung zwischen Motor und Propeller nur aus einem Grundton nebst seinen Obertönen besteht. Erst über 600 Hz bekommt der Flugzeugschaall mehr und mehr geräuschartigen Charakter. Da für die Schallaufnahme eines fremden Flugzeuges infolge der starken Absorption der hohen Frequenzen

¹⁾ Bei einem 8-zylinder Motor mit Zweiblattpropeller und direkter Übersetzung liegt z.B. bei 30 Umdrehungen/sec der Grundton des Propellers bei 60 Hz und der Grundton des Motors bei 120 Hz. Das Linienspektrum von Propeller und Motor besteht daher nur aus ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz 60 Hz.

in Luft ohnehin die Frequenzen unter 600 Hz die wichtigsten sind, lohnt es für die weitere Arbeit, den Klangcharakter des Flugzeugschalles auszunützen. Strahlt das anzuhorchende Flugzeug Klänge mit anderen Grundfrequenzen als das Horchflugzeug ab, was in der Regel der Fall sein wird, so hat man hierin einen neuen wichtigen Unterscheidungspunkt zwischen Nutzschall und Störschall. Um diesen Unterschied auszunützen, muss man ein Filter bauen, das genau die Grundfrequenz und die zugehörigen Oberfrequenzen des Störschalles wegfiltert, die dazwischenliegenden Frequenzgebiete, in denen der Nutzschall liegt, jedoch ungehindert hindurchlässt. Ein solches Filter wird die Wirkung des Störschalles wesentlich herabsetzen, während es die Wirkung des Nutzschalles kaum schwächt.

Zusammenfassend ist festzustellen: Um den Störschall gegenüber dem Nutzschall zu schwächen, sind zwei verschiedene Möglichkeiten vorhanden.

1) Man benützt Schallempfänger mit einer ausgeprägten Richtcharakteristik, die allen aus der Richtung der Störschallquelle auffallenden Schall gegenüber dem aus anderen Richtungen kommenden Schall stark schwächen. Ein solcher Empfänger ist von der AVA entwickelt worden und wird im folgenden unter dem Namen "Laufzeitdipol" beschrieben.

2) Man benützt ein Filter, das die Frequenzen des Störschalles wegfiltert, alle anderen Frequenzen jedoch durchlässt. Ein solches Filter ist von der AVA entwickelt worden und wird im folgenden unter dem Namen "Oberfrequenzfilter" beschrieben.

B. Der Laufzeitdipol.

Der Laufzeitdipol ist ein Schallempfänger, der aus den beiden gleichartigen Mikrofonen A und B besteht. Die beiden Mikrofone sind im Abstand d voneinander angeordnet. Die Verbindungslinie der beiden Mikrofone ist auf die Störschallquelle gerichtet. (Bild 1) Die am Mikrophon A erzeugte elektrische Schwingung wird mittels einer aus Drosseln und Kondensatoren bestehenden elektrischen Verzögerungskette um die Zeit $\tau = \frac{d}{c}$ (c = Schallgeschwindigkeit) gegenüber den Schwingungen des Mikrofons B verzögert. Die beiden Mikrofone A und B sind gegenpolig an die Kette angeschlossen.

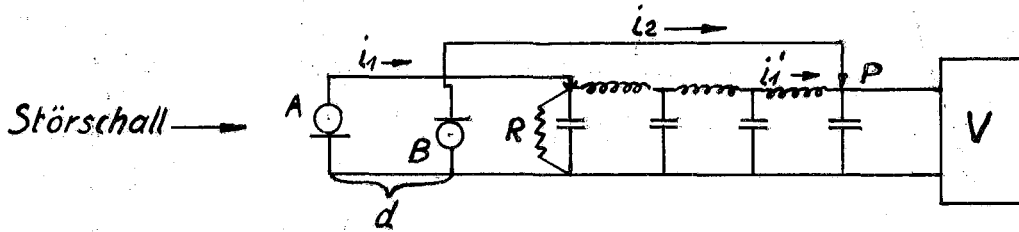


Bild 1. Der Laufzeitdipol (Schaltskizze)

Die Empfindlichkeiten der Mikrofone A und B sind so eingestellt, dass sie bei Erregung durch Störschall am Kettenausgang bei P Ströme gleicher Intensität ergeben. Aus der Störschallrichtung auf den Dipol treffender Schall erregt die beiden Mikrofone mit der zeitlichen Verzögerung $t = \frac{d}{c}$. Diese Verzögerung wird durch ^{die} Kette gerade wieder ausgeglichen, sodass bei gleichsinniger Schaltung beider Mikrofone die beiden durch den Störschall erregten Mikrofonströme mit gleicher Phase am Kettenende zusammentreffen würden. Infolge der gegenpoligen Anschaltung der Mikrofone an die Kette erhalten die Mikrofonströme jedoch eine zusätzliche Phasenverschiebung von 180° gegeneinander, sodass sich die durch Störschall erregten Mikrofonströme gegenseitig kompensieren. Am Ausgang der Kette befindet sich der Verstärker V.

Zur Feststellung der Richtcharakteristik des Laufzeitdipoles nehme man an, dass Schall der Frequenz ω bzw. der Wellenlänge λ aus der Richtung α den Dipol trifft ($\alpha =$ Winkel zwischen Schallrichtung und der auf die Störschallquelle gerichteten Dipolachse). Die Mikrofone werden mit der Zeitdifferenz $t_1 = \frac{d \cdot \cos \alpha}{c}$ erregt. Die in den Mikrofonen hervorgerufenen Ströme sind

$$\begin{aligned} \text{A) } i_1 &= a \cdot \sin \omega t \\ \text{B) } i_2 &= b \cdot \sin \left[\omega \left(t - \frac{d \cdot \cos \alpha}{c} \right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

Infolge der Laufzeitverzögerung des Stromes i_1 um die Zeit $\tau = \frac{d}{c}$ in der Kette und einer unvermeidlich in der Kette auf-

tretenden Dämpfung (diese ist weitgehend frequenzunabhängig), sowie der Phasenverschiebung um 180° infolge der gegenpoligen Schaltung erreichen das Kettenende die Ströme

$$\begin{aligned} i_1 &= a' \sin\left[\omega\left(t - \frac{d}{c}\right) - \pi\right] \\ i_2 &= b \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{d \cdot \cos\alpha}{c}\right)\right] \end{aligned} \quad (2)$$

Macht man durch Regelung der Empfindlichkeit der Mikrofone $a'=b$, so superponieren sich die beiden Ströme zu dem Austrittsstrom

$$\begin{aligned} i_3 &= i_1 + i_2 = 2b \cdot \sin\frac{\pi d}{\lambda}(1 - \cos\alpha) \cdot \cos(\omega t - \delta) \text{ mit dem Phasenwinkel} \\ \delta &= \frac{\pi d}{\lambda}(1 + \cos\alpha) \end{aligned} \quad (3)$$

Die Richtcharakteristik des Dipols ist daher

$$R = \sin\frac{\pi d}{\lambda}(1 - \cos\alpha) \quad (4)$$

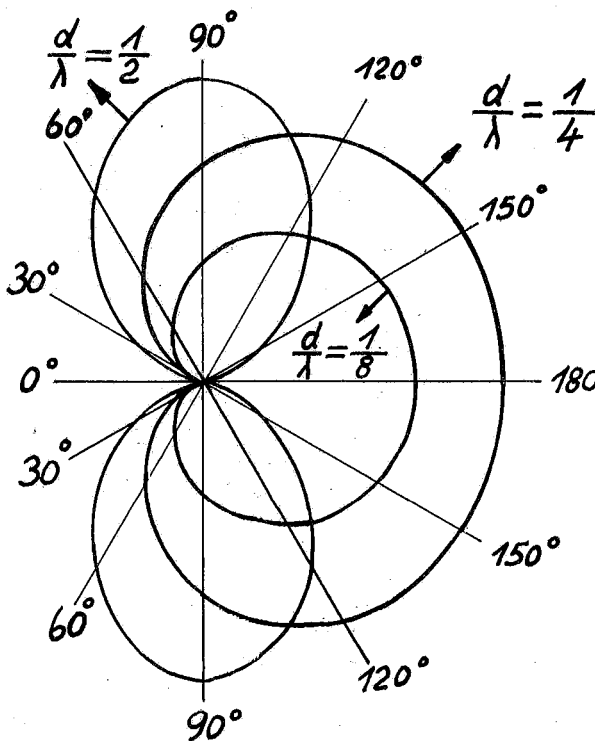


Bild 2.. Richtcharakteristik des Laufzeitdipols bei Tonempfang für $\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$.

Unabhängig von der Wellenlänge ist, wie verlangt, für $\alpha=0^\circ$ auch $R=0$. Das bedeutet: der ideale Laufzeitdipol nimmt aus der Störschallrichtung $\alpha=0^\circ$ keinen Schall auf. Die Richtcharakteristik des Laufzeitdipols für drei verschiedene Verhältnisse $\frac{d}{\lambda}$ zeigt Bild 2. Die Charakteristik ist rotations-symmetrisch zur Dipolachse $\alpha=0^\circ$.

Um zu untersuchen, wie sich der Dipol gegenüber einem Geräusch verhält, sei angenommen, dass das Geräusch den gesamten Frequenzbereich zweier benachbarter Oktaven mit gleicher Intensität ausfüllt. Alle ausserhalb dieser beiden Oktaven liegenden Frequenzen sollen

weggefiltert werden. Die Richtcharakteristik G bei Empfang zweier Oktaven berechnet sich ¹⁾ nach der Formel

$$G = \sqrt{\frac{1}{4n_U - n_U}} \int_{n_U}^{4n_U} R^2 dn \quad (5)$$

n_U = untere Grenzfrequenz

λ_U = Wellenlänge der unteren Grenzfrequenz

R = Richtempfindlichkeit für die Frequenz n .

Einsetzen von R aus Gl.(4) und Integration ergibt

$$G = \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\sin 3x \cos 5x}{6x}} \quad \text{mit} \quad (6)$$

$$x = \frac{\pi d}{\lambda_U} (1 - \cos \alpha) \quad (6a)$$

Das Resultat zeigt Bild 3. Für $\frac{d}{\lambda_U} = 0,121$ sind die nach (6a)

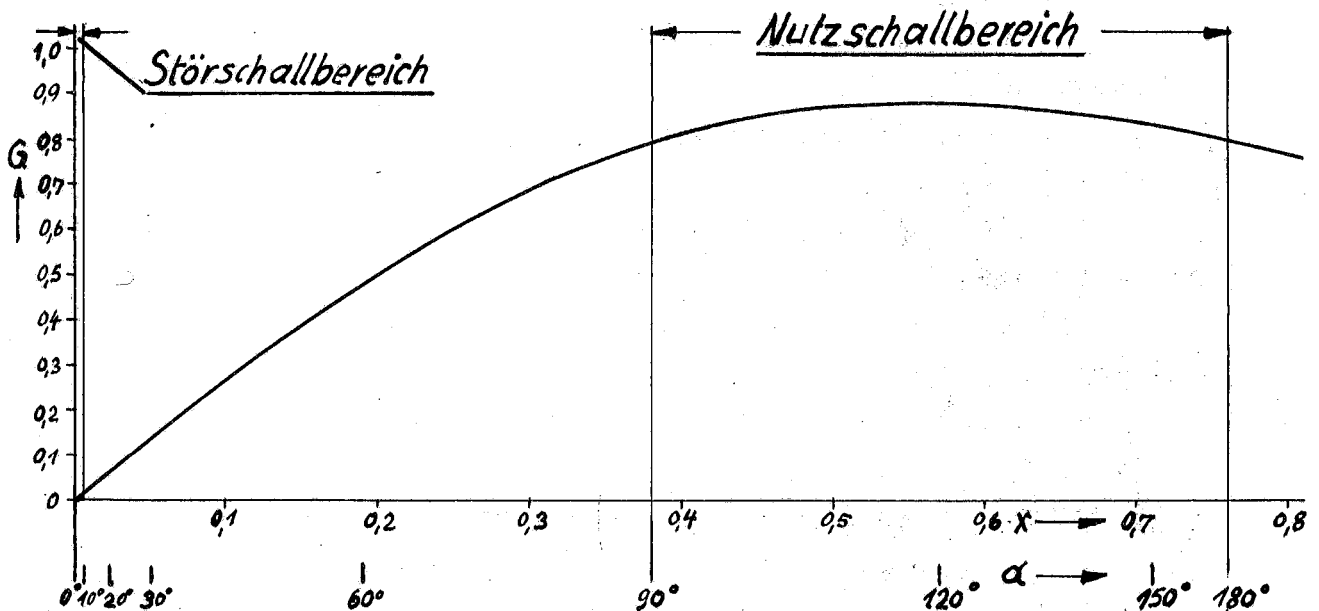


Bild 3. Richtcharakteristik des Laufzeitdipols bei Empfang zweier Oktaven.

¹⁾ Stenzel, Leitfaden zur Berechnung von Schallvorgängen S.27.

berechneten Winkel dazugeschrieben.

Als Entstörungsfaktor wird im folgenden das Verhältnis der Empfindlichkeit des Empfängers gegen Nutzschaall und gegen Störschaall bezeichnet. Um den Entstörungsfaktor des Laufzeitdipols abzuschätzen, sei angenommen, dass der Störschaall aus dem Winkelbereich $\alpha \leq 10^\circ$ ¹⁾, der Nutzschaall dagegen aus dem Halbraum $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ kommt. Aus Bild 3 kann man dann ohne weiteres ablesen, dass für $\frac{d}{\lambda} = 0,121$ der Störschaall um mehr als den Faktor $\frac{1}{0,016}$, der Nutzschaall dagegen um weniger als den Faktor $\frac{1}{0,80}$ geschwächt wird. Der unter obigen idealisierten Bedingungen arbeitende Dipol hat daher einen Entstörungsfaktor, der grösser als $\frac{0,80}{0,016} = 50$ ist.

Bei obiger Ableitung wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass es durch Empfindlichkeitsregelung der beiden Mikrofone des Dipols immer und für alle Wellenlängen möglich ist, die Amplituden a' und b der beiden durch den Störschaall erregten Teilströme in Gl. (2) einander gleich zu machen. Das ist abgesehen von technischen Unvollkommenheiten auch bei idealen Mikrofonen nicht mehr möglich, wenn die Störschaallquelle ausgedehnt ist, sodass die verschiedenen Teile der Störschaallquelle verschiedene Entfernung vom Dipol haben. Unter der Annahme eines ungestörten kugelförmigen Schallfeldes wird ein Punkt der Störschaallquelle, dessen Abstand vom vorderen Mikrofon des Dipols r_0 ist, auf die beiden Mikrofone mit den verschiedenen Schalldrücken $\frac{p_0}{r_0}$ und $\frac{p_0}{r_0+d}$ einwirken. Das liesse sich durch Empfindlichkeitsregelung der Mikrofone ausgleichen. Hat jedoch ein zweiter Punkt der Störschaallquelle die von r_0 wesentlich verschiedene Entfernung r_1 , so ist gegen ihn keine völlige Entstörung mehr möglich. Doch ist bei den in Frage kommenden Dipollängen von $d = 25$ cm und einer Entfernung von rund 10 m vom Dipol zur Störschaallquelle die Auswirkung dieses Effektes gering. Selbst bei zweimotorigen Flugzeugen bleibt der Laufzeitdipol durchaus brauchbar, wenn nur die Entfernung zwischen Dipol und dem näher gelegenen Motor nicht allzu gering wird. Andererseits wird der Dipol durch ein Pfeifgeräusch,

¹⁾ Für einen am Ende einer Tragfläche angebrachten Dipol dürfte dieser Wert nicht zu klein bemessen sein.

dass durch die Anströmung am Ende der Tragfläche in unmittelbarer Nähe des Dipols hervorgerufen wird, kräftig gestört werden.

Es sei gleich hier darauf hingewiesen, dass der Laufzeitdipol nur in einem durch Beugungseinflüsse ungestörten Schallfeld seine guten Eigenschaften behält. Treten starke Beugungserscheinungen in unmittelbarer Nähe des Dipols auf, so werden abhängig von den Frequenzen die beiden Mikrofone mit gänzlich verschiedenen Störschalldrücken beschallt. Eine wirksame Kompensation des Störschalles kann dann höchstens noch für ein ganz schmales Frequenzgebiet möglich sein.

Die Laufzeitkette des Dipols ist für eine bestimmte Schallgeschwindigkeit c_0 berechnet. Unterscheidet sich die wirkliche Schallgeschwindigkeit von c_0 um den Faktor β , so ist Gl. (6a) zu ersetzen durch Gl. (6b)

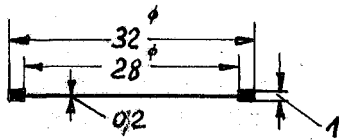
$$x = \frac{\pi d}{\lambda_U} (1 - \beta \cdot \cos \alpha) \quad (6b)$$

Der Dipol ist dann für $\beta \neq 1$ nicht mehr für die Störschallrichtung $\alpha = 0^\circ$ kompensiert. Die Schallgeschwindigkeit variiert einerseits mit der Lufttemperatur und andererseits mit der Strömungsgeschwindigkeit der Luft längs der Dipolachse. Um vor allen den letzteren bei veränderlichen Fluggeschwindigkeiten stark wirksamen Einfluss zu vermeiden, ist es unbedingt notwendig, dass der Dipol so in das Flugzeug eingebaut wird, dass die Dipolachse senkrecht zur Flugrichtung steht.

Beim Bau des Dipols werden sehr grosse Anforderungen an die Gleichheit beider Mikrofone gestellt. Zwei praktisch hergestellte Mikrofone werden sich einerseits in ihrer Empfindlichkeit unterscheiden und andererseits werden sie den an der Membran wirkenden Schalldruck mit unterschiedlichem Phasenwinkel in elektrische Spannungen umsetzen. Sowohl die Empfindlichkeits- wie die Phasenfehler der Mikrofone werden frequenzabhängig sein. Ebenfalls können die zu verwendenden elektrischen Verzögerungsketten eine Verringerung des theoretisch berechneten Entstörungsfaktors bringen.

Um Klarheit zu erlangen, wie weit technisch herstellbare Mikrofone und Ketten den theoretischen Entstörungsfaktor her-

absetzen, wurde in der AVA ein solcher Laufzeitdipol gebaut und weiterhin in einem möglichst ungestörten Schallfeld untersucht. Als Mikrofone wurden kleine elektromagnetische Kopfhörer verwendet. Ihr Durchmesser beträgt 3,4 cm. Die Membranen dieser industriell hergestellten Mikrofone wurden durch für unsere Zwecke neuentwickelte Membranen ersetzt. Einen Querschnitt durch eine von uns benutzte Membran zeigt Bild 4.



Diese Eisenmembran hat eine Dicke von 0,2 mm. Sie ist gemeinsam mit dem sie umgebenden Ring aus einem Stück gedreht. Durch Hämmern des Ringes kann man die Membranen radial spannen und auf diese Weise abstimmen. Die bisher benutzten

Bild 4. Membran Membranen haben eine Eigenfrequenz von 3000 Hz. Die benutzte Verzögerungskette war einem Kompensator entnommen, der von der französischen Firma Charpentier zum Zwecke der Unterwasserschallpeilung gebaut wurde. Diese Verzögerungskette hat einen Wellenwiderstand von 250 Ohm. Ihre Grenzfrequenz ν_1 beträgt 11000 Hz. Bei der Zusammenschaltung der Kette mit den Mikrofonen muss man darauf achten, dass der innere Widerstand der Mikrofone mindestens 10 mal grösser als der Wellenwiderstand der Kette ist. Anderenfalls vereiteln die Mikrofone ein sauberes Arbeiten der Kette, da sie einen Nebenschluss zu den Kondensatoren der Kette bilden. Da der Gleichstromwiderstand der verwendeten Mikrofone bereits 4000 Ohm beträgt, war diese Bedingung erfüllt. Zur Vermeidung von Reflexionen an den Kettenenden ist die Kette an beiden Enden mit ihrem Wellenwiderstand abzuschliessen. Der eine Abschlusswiderstand R (Bild 1) wurde von der Firma Charpentier mitgeliefert. Den anderen Abschlusswiderstand bildet der Eingangswiderstand des Verstärkers V , der zu diesem Zweck auf 250 Ohm abgeglichen wurde. Da der Wellenwiderstand der Kette rein reell ist, müssen auch die Abschlusswiderstände reell sein.

Infolge der ungünstigen Anpassung der Mikrofone an die Kette kommt nur ein geringer Bruchteil der Mikrofonspannung in der Kette zur Wirkung. Da die verwendeten Mikrofone ohnehin nicht sehr empfindlich sind, wurden zur Entlastung des

Hauptverstärkers die Ströme jedes der beiden Mikrofone bereits vor der Kette durch zwei gleichgebaute Einröhrenverstärker vorverstärkt. Die Verstärkung dieser Vorverstärker war in einem kleinen Bereich fein regelbar, wodurch bequem das günstigste Empfindlichkeitsverhältnis beider Mikrofone eingestellt werden konnte.

Schwierigkeiten bereitete die Herstellung eines geeigneten Schallfeldes, in dem der Entstörungsfaktor des Laufzeitdipoles erprobt werden konnte. Von dem Schallfeld musste verlangt werden, dass der Schall nur aus einer Richtung kommen darf. In der Umgebung reflektierter oder gebeugter Schall musste also unter allen Umständen vermieden werden. Ein solches Schallfeld erzeugt man sich in üblicher Weise in einer Wattedkammer. Da der AVA keine Wattedkammer zur Verfügung steht, musste ein anderer Weg beschritten werden. Es wird das Schallfeld verwendet, dass sich in einem langen Gummischlauch von 3 cm lichter Weite einstellt, an dessen einem Ende ein elektromagnetischer Schallsender angebracht ist. Bis zu Frequenzen von weit über 1000 Hz breitet sich der Schall in Form ebener Wellen im Schlauch aus. 10 m hinter der Schallquelle wurde durch zwei in 25 cm Abstand in die Schlauchwandungen

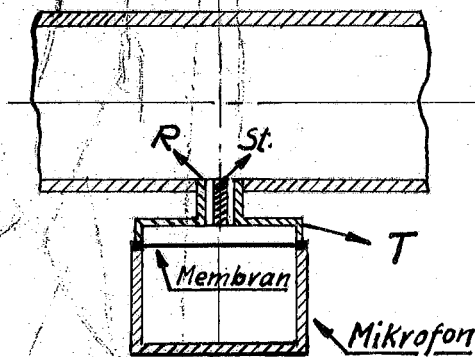


Bild 5. Anschluss des Mikrofone an den Schlauch

Dieses Luftvolumen wirkt im Verein mit dem Röhrchen als Helmholtz-Resonator. Um durch die Resonanzspitzen dieses Resonators nicht gestört zu werden, wurde der Resonator stark gedämpft. Dazu wurde in das 2mm weite und 1 cm lange Röhrchen R ein 1,7 mm dicker Stift St gesetzt und durch drei dünne Haltedrähte konzentrisch gehalten. Es entsteht dadurch eine

gebohrte Öffnungen der Schall abgenommen und den beiden Mikrofonen des Dipols zugeführt. Den Anschluss eines Mikrofon zeigt Bild 5. In die Öffnung des Schlauches wurde ein mit einem Teller T verbundenes Röhrchen R gesteckt. Auf den Teller wurde schalldicht das Mikrofon gesetzt. Das Luftvolumen zwischen Teller und Mikrofonmembran misst etwa 1 cm^3 .

Ringblende mit einer Schlitzbreite von 0,15 mm. Die Eigenfrequenz ω_0 und das logarithmische Dekrement δ des Resonators berechnet sich nach den Formeln ¹⁾

$$\omega_0 = c \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{V \cdot l}} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{12\pi \eta}{D^2 q \omega_0} \quad (8)$$

Dabei bedeutet

- c = Schallgeschwindigkeit
- σ = Öffnungsfläche der Ringblende
- D = Spaltbreite der Ringblende
- l = Länge der Ringblende
- V = Volumen des Resonators
- η = Dynamische Zähigkeit der Luft
- q = Luftdichte.

Für den verwendeten Resonator ergab sich $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 500$ Hz und $\delta = 7,4$. Der Resonator wurde mithin so stark gedämpft, dass die Resonanzspitze völlig verschwindet. (Bedingung für das Verschwinden der Resonanzspitze ist $\delta > \pi \cdot \sqrt{2} = 4,46$). Dieser Resonator lässt mithin bis 500 Hz den im Schlauch wirkenden Schalldruck mit nur langsam abfallender Intensität durch, während oberhalb 500 Hz die Schwächung des Schalldurchganges rasch zunimmt. Die starke Dämpfung des Resonators hat weiterhin den Vorteil, dass durch den Anschluss des Resonators das Schallfeld im Schlauch praktisch nicht gestört wird. Um Störungen durch Schallreflexion am Schlauchende zu vermeiden, wurde der Schlauch hinter den Anschlussstellen der beiden Mikrofone noch um 40 m fortgesetzt und weiterhin das Schlauchende durch eingeführte Glaswolle gedämpft. Den Schlauch mit Schallquelle S, den beiden Mikrofonen M und Enddämpfung D zeigt Bild 6.

Zur Messung des Entstörungsfaktors des Laufzeitdipoles wurde der Schallsender S mittels eines Schwebungssummers nacheinander im Frequenzgebiet von 200 Hz bis 700 Hz erregt. Die

¹⁾ Die an sich elementare Ableitung ist hier weggelassen.

Mikrofone wurden gegenpölig an die Kette angeschlossen. Die Mikrofonempfindlichkeiten und die Kettenlänge wurden so eingeregelt, dass bei 400 Hz der aus dem Dipol austretende Strom i_{Mi}

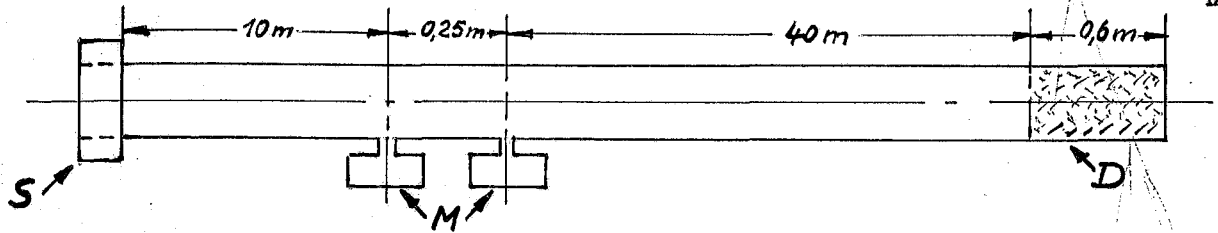


Bild 6. Schlauchmessungen (Aufbau)

ein Minimum hat. Darauf wurde ein Mikrofon umgepölt - dann treffen am Kettenende die beiden Mikrofonströme gleichphasig zusammen - und erneut der aus dem Dipol austretende Strom i_{Ma} gemessen. Ohne eine erneute Verstellung der Mikrofonempfindlichkeiten oder der Kettenlänge wurde dann bei anderen Frequenzen das Verhältnis i_{Mi} zu i_{Ma} festgestellt. Bild 7 zeigt das Messergebnis.

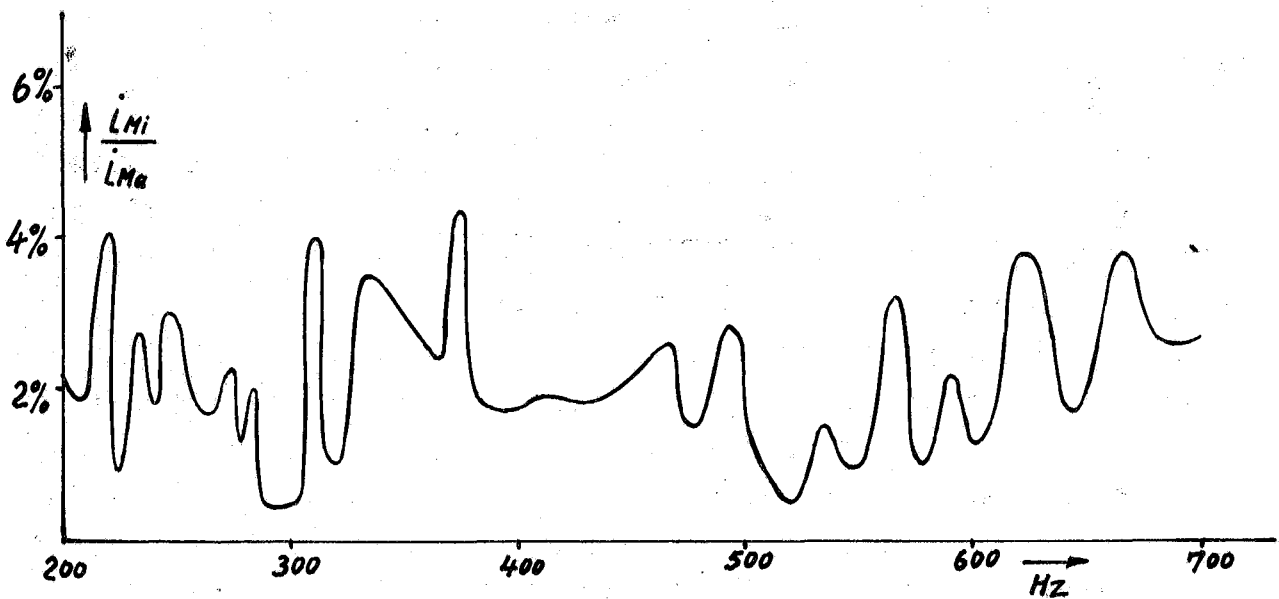


Bild 7. Entstörungsfaktor des Dipols bei Messungen im Schallfeld eines Schlauches.

Die Ordinate sagt aus, wie gross i_{Mi} prozentual zu i_{Ma} ist. Wie man aus der Messkurve ersieht, ist i_{Mi} im Frequenzbereich von 200 bis 700 Hz im Mittel etwa 2%. Das Verhältnis i_{Ma} zu

i_{M1} gibt bis auf einen Korrektionsfaktor von etwa 0,84 den gesuchten Entstörungsfaktor des Laufzeitdipols. ¹⁾ Die Messungen ergeben daher, dass in einem günstigen Schallfeld mit den verwendeten Mikrofonen und der Verzögerungskette in einem Frequenzbereich von 200 bis 700 Hz durch den Laufzeitdipol ein

Entstörungsfaktor vom Wert $\frac{1}{0,02} \cdot 0,84 \approx 40$

erhältlich ist.

C. Das Oberfrequenzfilter.

Das Oberfrequenzfilter ist ein elektrisches Filter, das aus einem Frequenzgemisch elektrischer Wechselströme eine beliebig einstellbare Grundfrequenz und sämtliche ganzzahlige Vielfache dieser Grundfrequenz wegfiltert, die dazwischenliegenden Frequenzgebiete jedoch weitgehend ungeschwächt hindurchlässt. Die Schaltung des Filters zeigt Bild 8.

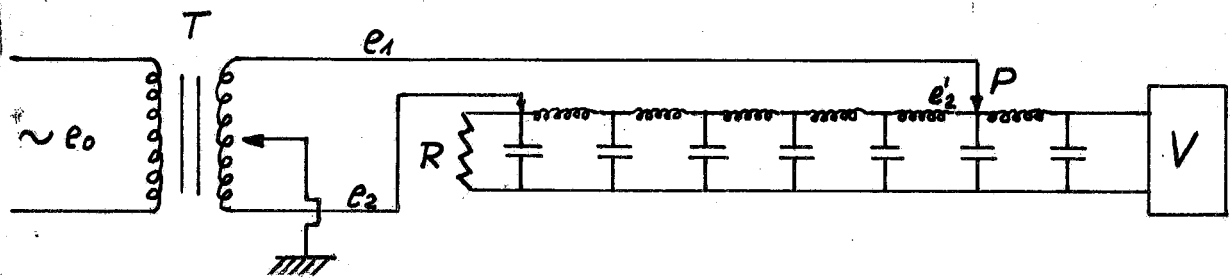


Bild 8. Schaltbild des Oberfrequenzfilters.

Das Filter besteht aus einem Eingangstransformators T, der sekundärseitig etwa in der Mitte geerdet wird, und einer elek-

¹⁾ Der Korrektionsfaktor hat seinen Grund darin, dass beim Arbeiten im freien Schallfeld für den aus dem Winkelraum $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ auffallenden Nutzschaall die beiden Mikrofonströme nicht, wie im obigen Versuch, genau in Phase liegen. Aus diesem Grunde zeigt in Bild 4 die Kurve für die Richtempfindlichkeit bei Geräuschempfung für $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ nur einen mittleren Wert von 0,84. Um diesen Faktor unterscheiden sich daher die bei den Schlauchmessungen erhaltenen Verhältnisse i_{Ma} zu i_{M1} von dem im freien Schallfeld zu erwartenden Entstörungsfaktor des Dipoles.

trischen Verzögerungskette, die beiderseitig mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen ist. Um die Arbeitsweise des Filters zu verstehen, denke man sich an die Eingangssseite des Filters eine reine Wechselspannung der Frequenz ω gelegt.

9) Eingangsspannung $e_0 = a_0 \cdot \sin \omega t$.

Auf der Sekundärseite liefert der Eingangstransformator die beiden Wechselspannungen

$$e_1 = a_1 \sin(\omega t + \delta) \quad (10a)$$

$$e_2 = -a_2 \sin(\omega t + \delta) \quad (10b)$$

Da die Sekundärseite des Transformators etwa in der Mitte geerdet ist, haben die beiden Ausgangsspannungen e_1 und e_2 entgegengesetztes Vorzeichen. Das Aufteilungsverhältnis der Spannungen $a_1 : a_2$ hängt vom Erdungspunkt ab. Die Spannungswelle e_2 läuft über die Verzögerungskette, wo ihre Phase um die Zeit $\tau_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ verzögert wird, während ihre Amplitude um den bei guten Ketten weitgehend frequenzunabhängigen Faktor e^{-b} gedämpft wird. Daher erreicht statt der Spannung e_2 den Punkt P der Kette die Spannung

$$e'_2 = -a_2 \cdot e^{-b} \sin\left[\omega(t - \tau_0) + \delta\right] = -a_2 e^{-b} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi\omega}{\omega_0} + \delta\right) \quad (11)$$

Am Punkt P vereinigt sich die über die Kette laufende mit der anderen aus dem Eingangstransformator kommenden Spannungswelle. Macht man durch Verlagerung des Erdungspunktes am Eingangstransformator $a_2 \cdot e^{-b} = a_1$, so summieren sich in P die beiden Teilspannungen e_1 und e'_2 zur Ausgangsspannung

$$e_3 = e_1 + e'_2 = a_1 \left[\sin(\omega t + \delta) - \sin\left(\omega t + \delta - \frac{2\pi\omega}{\omega_0}\right) \right] \quad (12a)$$

Setzt man $\frac{\omega}{\omega_0} = n + \alpha$, wo n eine ganze Zahl und $0 \leq \alpha \leq 1$ ist, so ergibt sich schliesslich als Austrittsspannung

$$e_3 = 2a_1 \sin(\alpha \cdot \pi) \cos(\omega t + \delta') \quad \text{mit} \quad \alpha = \frac{\omega}{\omega_0} - n \quad (12b)$$

Man ersieht hieraus folgendes: Ist die Frequenz ω der Ein-

gangsspannung gleich der Grundfrequenz ω_0 des Filters oder gleich einem ganzzahligen Vielfachen dieser Grundfrequenz, so ist mit $\alpha = 0$ auch die Austrittsspannung $e_3 = 0$. Das Filter erfüllt mithin gerade die erwünschte Anforderung, eine Grundfrequenz ω_0 und alle ihre Oberfrequenzen wegzufiltern. In den dazwischenliegenden Frequenzgebieten wird der Durchlass des Filters durch die Funktion $\sin\left[\left(\frac{\omega}{\omega_0} - n\right)\pi\right]$ geregelt. Bild 8 zeigt in der bei Filtern üblichen Darstellungsweise

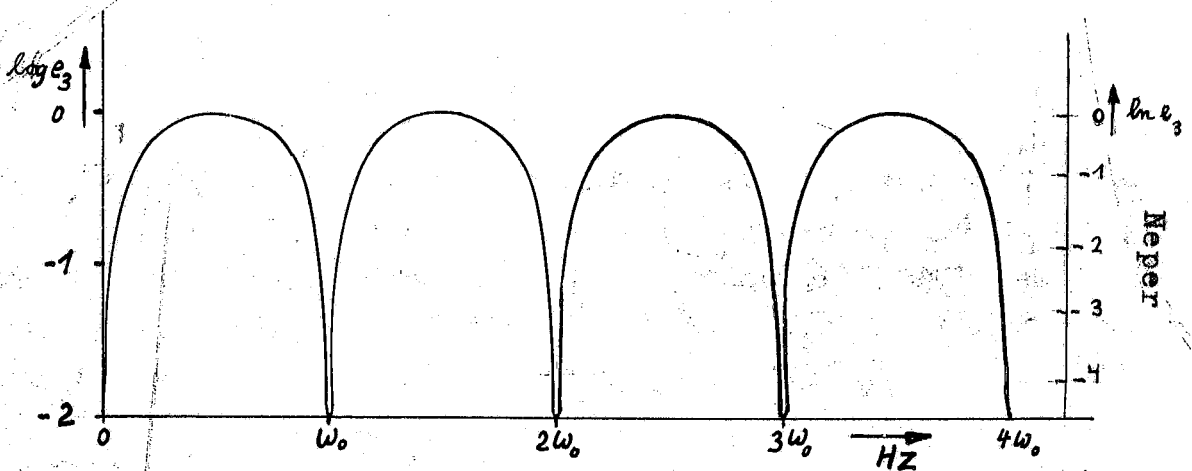


Bild 9. Durchlass des Oberfrequenzfilters (errechnet)

den Logarithmus der aus dem Filter austretenden nach Gl. (12b) berechneten Wechselspannung (also die Funktion $\log \sin\left[\left(\frac{\omega}{\omega_0} - n\right)\pi\right]$) unter der Annahme, dass der eintretende Strom alle Frequenzen mit gleicher Intensität enthält.

An die Verzögerungskette werden bei diesem Filter erhebliche Anforderungen gestellt. Einmal muss ihre Dämpfung möglichst frequenzunabhängig sein. Bei einer idealen Kette wird die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung durch die Gleichung

$$b = \frac{k_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\nu}{\nu_1}\right)^2}} \quad \nu_1 = \text{Grenzfrequenz der Kette} \quad (13)$$

dargestellt.¹⁾ Bei der später von uns verwendeten von der Firma Charpentier hergestellten Kette ist die Grundfrequenz $\nu_1 = 11000$ Hz. Im Bereich von 0 bis 1000 Hz dürfte nach G. (13)

¹⁾ Vilbig, Lehrbuch der Hochfrequenztechnik S.89

die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung weniger als 0,5% betragen. Leider haben Messungen an dieser Kette gezeigt, dass die Frequenzabhängigkeit ihrer Dämpfung wesentlich grösser ist. Der Grund dürfte darin liegen, dass bei Ableitung der Gl. (13) die Wirbelstrom- und Ummagnetisierungsverluste im Eisen der Selbstinduktion unberücksichtigt bleiben. Ein weiterer Fehler der verwendeten Verzögerungskette besteht darin, dass diese den durch sie hindurchlaufenden Strom vor allem bei grösseren Stromstärken verzerrt. Die Verzerrung wird ebenfalls durch das Eisen der Selbstinduktion hervorgerufen.

Mit Hilfe der uns zur Verfügung stehenden keinesfalls idealen Verzögerungskette der Firma Charpentier wurde ein Oberfrequenzfilter zusammengestellt. Die Verzögerungszeit der gesamten Kette beträgt $\tau_0 = 3,95 \cdot 10^{-3}$ sec. Demnach ist die Grundfrequenz dieses Versuchsfilters $\nu_0 = \frac{1}{\tau_0} = 253$ Hz. Zur Erprobung des Filters wurde an den Eingangstransformator ein Schwebungssummeer gelegt, der bei gleichbleibender Spannungsamplitude nacheinander die Frequenzen von 0 bis 10 000 Hz erzeugt. Der aus dem Filter austretende Strom lief über einen Verstärker auf einen Neumannschreiber und wurde von diesem aufgezeichnet. Der Erdungspunkt des Eingangstransformators wurde so gelegt, dass das Minimum des Austrittsstromes bei 1012 Hz besonders tief wurde. Das Ergebnis zeigt Bild 10.

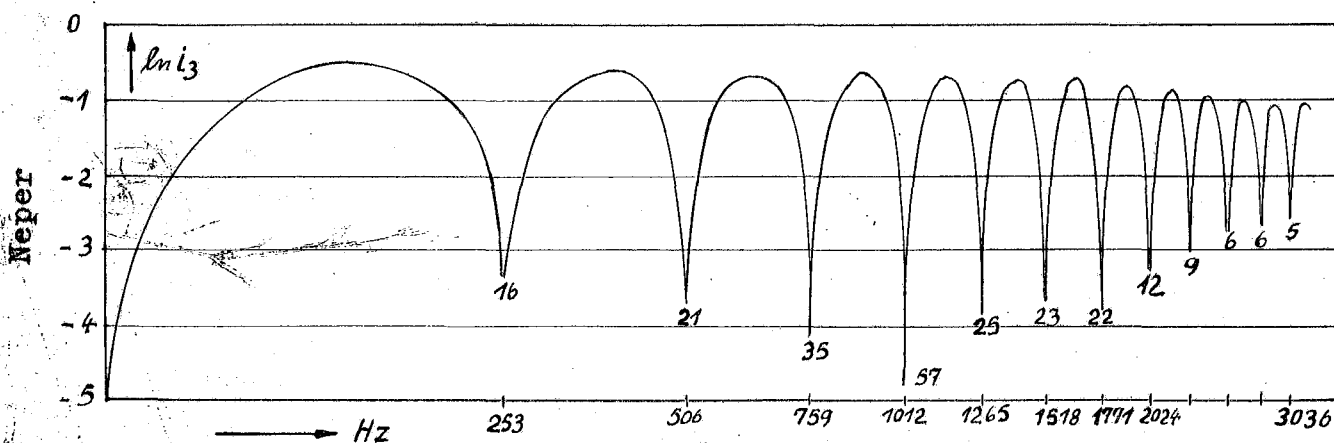


Bild 10. Durchlass des Oberfrequenzfilters (gemessen).

Die Frequenzen sind dabei ebenso wie die Stromstärken im logarithmischen Masstab aufgetragen. Man sieht bei der Frequenz 253 Hz und den zugehörigen Oberfrequenzen die scharfen Minima. Die an die Minima geschriebenen Zahlen bedeuten das Verhältnis der maximalen Stromstärke im benachbarten Durchlassbereich zur Stromstärke in diesem Minimum. Dieses Verhältnis ist im Rahmen dieser Arbeit als Entstörungsfaktor des Filters für die betreffende Oberschwingung zu bezeichnen. Die genauen Frequenzlagen der ersten vier Minima wurden stroboskopisch nachgemessen und innerhalb der Messgenauigkeit von ± 1 Hz als ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz von 253 Hz festgestellt. Besonders nach den hohen Frequenzen zu lässt die Güte des Filters stark nach. Dies hat seinen Grund in erster Linie in der Frequenzabhängigkeit der Dämpfung der Kette. Durch erhebliche Verlagerung des Erdungspunktes am Eingangstransformator liess sich z.B. selbst bei etwa 5000 Hz noch ein Entstörungsfaktor 20 erreichen. (Natürlich auf Kosten der Entstörungsfaktoren der anderen Minima). Das Filter lässt noch grössere Entstörungsfaktoren zu, wenn es mit schwächeren Strömen belastet wird. Vervielfachung des Eingangsstromes liess bei 5000 Hz den erreichbaren Entstörungsfaktor bis auf 10 herab sinken. Der Grund dafür liegt in der Stromverzerrung der Kette, die durch die veränderliche Permeabilität des Eisens ihrer Selbstinduktionen hervorgerufen wird. Eine verzerrte Sinusschwingung aber lässt sich nach Fourier darstellen durch eine unverzerrte Sinusschwingung nebst ihren Oberschwingungen. Es ergibt sich damit die Tatsache, dass durch das Eisen der Selbstinduktion in der Kette neue Oberschwingungen erzeugt werden, die im Filter natürlich nicht kompensiert werden. Diesen Effekt kann man bequem abhören, wenn man den Neumannschreiber durch einen Kopfhörer ersetzt. Dreht man mittels des Schwebungssummers die Frequenz des Eingangsstromes z.B. über das Minimum von 1012 Hz hinweg, nachdem man dieses Minimum durch günstige Einstellung des Erdungspunktes am Eingangstransformator so tief wie möglich gemacht hat, so hört man, wie in unmittelbarer Nähe des Minimums der Ton des Austrittsstromes plötzlich um eine Oktave höher springt. Der eigentliche Ton von 1012 Hz ist dann in Filter kompensiert und es

bleiben nur die durch Stromverzerrung in der Kette neu erzeugten Obertöne übrig.

Die mittels Neumannschreiber aufgenommenen Filterkurven geben noch ein zu ungünstiges Bild, da zu diesen Messungen das Filter bereits mit übermässig starken Strömen erregt wurde. Bei Erregung mit schwächeren Strömen liessen sich für einzelne Frequenzen Entstörungsfaktoren bis über 200 erreichen. Bisher ist gemäss obigen Messungen festzustellen, dass bis 1771 Hz Entstörungsfaktoren von 20 und mehr erreicht sind. Doch dürfte mit besserem Kettenmaterial noch wesentlich Besseres zu leisten sein.

Die zu diesem Versuch verwendete Kette ist zum Arbeiten mit Flugzeugschall noch zu kurz. Da bei Reiseflug die Grundfrequenz eines Flugzeugs rund 60 Hz beträgt, ist für weitere Versuche eine entsprechend längere Kette zu beschaffen, in deren Selbstinduktionen möglichst verlustfreie Eisenkerne enthalten sind als bei der Kette der Firma Charpentier.

Das Oberfrequenzfilter hat den weiteren Vorteil, dass es leicht und zwar nötigenfalls auch automatisch den veränderlichen Drehzahlen des Motors des Horcherflugzeugs anzupassen ist. Es ist dazu lediglich nötig, dass man den Punkt P (Bild 8) an dem sich die beiden Teilströme des Oberfrequenzfilters vereinigen, längs der Verzögerungskette verschiebt, wodurch man ein mehr oder weniger langes Stück der Kette einschaltet und damit die Grundfrequenz des Filters verändert. Diese Verschiebung lässt sich selbsttätig gestalten, wenn man die Verschiebung des Kontaktes P durch einen mit dem Motor gekuppelten Drehzahlmesser durchführen lässt.

Voraussetzung für die Wirksamkeit des Oberfrequenzfilters gegenüber dem Schall des Horcherflugzeuges ist, dass der Flugzeugklang nur aus einem Grundton und den entsprechenden Obertönen besteht. Die Übersetzung zwischen Motor und Propeller muss daher so gewählt sein, dass diese Forderung erfüllt wird. Bei mehrmotorigen Flugzeugen ist das Oberfrequenzfilter nur dann mit Erfolg zu verwenden, wenn dafür gesorgt ist, dass die Motoren synchron laufen.

die Aussichten zu machen, die der von uns beschrittene Weg für die akustische Peilung vom Nachtjäger aus bietet.

Wie schon früher ausgeführt, zeigt der Laufzeitdipol seinen vollen Entstörungsfaktor nur in einem ungestörten Schallfeld. Schallbeugung in der Nähe des Dipols oder am Dipol selbst muss weitgehend vermieden werden, da sich sonst die durch den Störschall erregten Ströme beider Mikrofone nicht mehr kompensieren lassen. Nun tritt zweifellos einmal an dem Dipol selbst und weiterhin an den Tragflächen des Horcherflugzeugs Schallbeugung auf. Um Störungen dieser Art zu vermeiden, muss man einerseits die Abmessungen der Mikrofone des Dipols klein gegenüber der Wellenlänge halten und darf andererseits den Dipol nicht unmittelbar an den Enden der Tragfläche anbringen. Man wird vielmehr zur Befestigung des Dipols ein Gestell verwenden müssen, das noch über die Tragflächenenden bis in ein hinreichend ungestörtes Schallfeld hinausragt. Das Gestell muss aus so dünnen Rohren gefertigt sein, dass es das Schallfeld nicht wesentlich beeinflusst. Rechnerische und experimentelle Bearbeitung dieses Beugungseinflusses stehen noch aus. Da man das über die Tragflächenenden hinausreichende Gestell nicht beliebig lang und die Mikrofone nicht beliebig klein machen kann, muss bis zur Klärung dieser Frage mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass Schallbeugung den bisher erreichten Entstörungsfaktor 40 wesentlich verringert.

Bei der Kritik des Laufzeitdipoles muss weiterhin nochmals erwähnt werden, dass er gegenüber den in unmittelbarer Nähe des Dipoles oder gar am Dipol selbst durch Anströmung entstehenden Geräuschen nur einen sehr schlechten Entstörungsfaktor hat. Doch werden bei hinreichend kleinen Abmessungen und aerodynamisch günstigen Formgebungen der Mikrofone und Dipolhalterungen die lautstärker auftretenden Frequenzen des Strömungsgeräusches in dem schon wegen der Schallabsorption in Luft nicht mehr interessierenden Gebiet über 600 Hz liegen.

Drittens muss berücksichtigt werden, dass die Entstörung des Dipoles nur gegen den ihn durch die Luft erreichenden Störschall wirksam ist. Um etwaigen über die Halterungen des Dipols heangeleiteten Körperschall zu vermeiden, ist eine ausreichende Körperschallisolation einzubauen.

Aus all den angeführten Gründen ist anzunehmen, dass der Entstörungsfaktor des am Flugzeug angebrachten Laufzeitdipols wesentlich schlechter wird, als der in den bisherigen Laboratoriumsversuchen gemessene Faktor 40.

Der Entstörungsfaktor des Oberfrequenzfilters dagegen, wie er oben definiert ist, ist sicherlich durch Verwendung besserer Verzögerungsketten noch wesentlich zu erhöhen. Doch welche Entstörung das Oberfrequenzfilter gegen den eigenen Flugzeugschall tatsächlich bringt, hängt leider mehr von folgendem ab. Wie schon im Anfang betont, gehört unterhalb 600 Hz zwar der grösste Teil des Flugzeugschalles zum Propeller- bzw. Motorklang. Doch liegen und bisher keine Messungen vor, wie gross der Anteil des nicht in diesen Klang passenden und daher durch das Filter durchlaufenden Flugzeuggeräusches ist. Ist dieser Anteil noch zu gross, so wird versucht, werden müssen, die Ursachen des nicht in den Propellerklang fallenden Geräusches zu finden und möglichst auszuschalten. Ehe diese Untersuchungen nicht durchgeführt sind, kann nicht gesagt werden, welchen Entstörungsfaktor Laufzeitdipol oder Oberfrequenzfilter für den am Flugzeug angebrachten Empfänger tatsächlich bringen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Entstörung des Oberfrequenzfilters auch gegen den durch feste Bauteile übertragenen Körperschall wirksam ist, soweit er den Frequenzen des Drehklanges angehört.

Da für den Bau des entstörten Empfängers das Oberfrequenzfilter hinter den Laufzeitdipol geschaltet werden soll, ist der Entstörungsfaktor der ganzen Anlage gleich dem Produkt aus den Entstörungsfaktoren der beiden Glieder. Wenn z.B. der Entstörungsfaktor des am Flugzeug angebrachten Laufzeitdipols nur 15 und der wirksame Entstörungsfaktor des Oberfrequenzfilters nur 10 betragen sollte, so hat die Anlage immer noch einen Entstörungsfaktor vom Wert $15 \times 10 = 150$. Bei einem solchen ^{am} Tragflächenende in 10 m Entfernung vom Motor angebrachten Schallempfänger wäre die Wirkung eines in 1500 m Entfernung fliegenden Flugzeuges etwa noch ebenso gross wie die Störwirkung des Horcherflugzeuges.

Zur akustischen Peilung zum Zwecke der Nachtjagd ist es

nötig, den vorgeschlagenen Schallempfänger in einer Anlage einzubauen, die Richtungspeilung gestattet. Da wohl nur unbeweglich im Flugzeug eingebaute Schallempfänger in Frage kommen, wird man zur Peilung eine Mikrofongruppe mit Laufzeitkompensation verwenden müssen, die von der AVA in früheren Arbeiten vorgeschlagene Grossgruppe bringt infolge eines statistischen Effektes nochmals einen zusätzlichen Entstörungsfaktor vom Wert \sqrt{n} (n ist die Zahl der in der Grossgruppe verwendeten Elementarempfänger)¹⁾. Es war vorgesehen, die Grossgruppe aus 50 Schallempfängern zusammenzusetzen. Der statistische Entstörungsfaktor dieser Gruppe wäre dann etwa 7. Dieser statistische Entstörungsfaktor multipliziert sich wiederum mit dem Entstörungsfaktor des Elementarempfängers. Der gesamte Entstörungsfaktor der aus entstörten Elementarempfängern aufgebauten Grossgruppe wäre dann $15 \times 10 \times 7 = 1050$.

Der entstörte Empfänger ist natürlich auch zum Bau einer Kleingruppe zum binauralen Hören nützlich. Den Vorteil einer kleineren Apparatur erkaufte man dann freilich mit dem Verzicht auf den zusätzlichen statistischen Entstörungsfaktor.

Um den vollen Raum abhören zu können, muss an jedem der beiden Tragflächenenden je eine Gruppe angebracht sein, die den betreffenden Halbraum zu erfassen gestattet.

Da der Durchmesser einer zum Richtungshören verwendeten Gruppe bei der für die Nachtjagd benötigten Peilschärfe etwa gleich der mittleren verwendeten Wellenlänge sein muss, kann man, um bei tragbaren Abmessungen zu bleiben, mit den verwendeten Frequenzen sicherlich nicht wesentlich unter 150 Hz heruntergehen. Da oberhalb 600 Hz sowohl die Schallabsorption in Luft merklich wird, als auch die Güte der Entstörungsglieder nachlässt, wird das zur Peilung verwendbare Frequenzgebiet etwa von 150 bis 600 Hz reichen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass nach der vorliegenden Arbeit die Aussicht besteht, mit den angegebenen Hilfsmitteln einen unmittelbar am Nachtlager anzubringenden akustischen Richtempfänger bauen zu können, mit dessen Hilfe man ein wenige Kilometer entferntes Bombenflugzeug akustisch orten kann.

¹⁾ Billig, Akustische Peilung mittels einer Mikrofongruppe, AVA-Bericht 41/6/12, S.12