

FUNKTECHNISCHE MONATSHEFTE

Monatsausgabe des „Funk“

Herausgegeben von Dr. P. Gehne und Prof. G. Leithäuser

Abonnementpreis vierteljährlich RM 3,—. Beim Postbezug sind hierin die Zeitungsgebühr von 9 Pfg. und die Verpackungskosten von 2 Pfg. enthalten.
Die Zustellungsgebühr beträgt im Vierteljahr 6 Pfg.

MAI 1936

HEFT 5

Die gegenseitige Modulationsbeeinflussung elektrischer Wellen

Von Dr.-Ing. W. Pfitzer

Über den sogenannten Luxemburg-Effekt haben wir bereits mehrfach ausführlich berichtet. Neuerlich vom Reichspostzentralamt angestellte Versuche geben uns aber Anlaß, auf diese Frage noch einmal zurückzukommen. Wir möchten uns dabei nicht nur auf die Wiedergabe der Beobachtungsergebnisse beschränken, sondern einleitend eine kurze zusammenfassende Übersicht über den augenblicklichen Stand der Frage geben, und im Anschluß an diesen Bericht auf eine Möglichkeit zur Erklärung dieser Erscheinung hinweisen.

Die Schriftleitung

In den letzten Jahren ist eine Erscheinung bei der Ausbreitung der elektrischen Wellen beobachtet worden, die bei der Übertragung der Modulation eines Senders auf einen anderen, in der Wellenlänge sehr verschiedenen, Sender bezeichnet werden muß. Bei dieser anfangs „Luxemburg-Effekt“ genannten Modulationsbeeinflussung wird unter gewissen Voraussetzungen beobachtet, daß beim Abstimmen eines Empfängers auf einen Sender ein zweiter mit ganz anderer Frequenz arbeitender Sender leise mitgehört werden kann. Besonders deutlich ist dies während der Programmpausen des eingestellten Senders, wenn dieser so nur eine unmodulierte Trägerwelle ausstrahlt. Der mitgehörte Sender, als Störsender bezeichnet, verschwindet im Empfänger, wenn der abgestimmte, also gestörte Sender abgeschaltet wird oder wenn der Empfänger etwas verstimmt wird.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind im Jahre 1933 in England mit dem Rundfunksender Luxemburg als Störsender beim Empfang anderer Sender gemacht worden; daher die Bezeichnung „Luxemburg-Effekt“ für die neue Erscheinung. Die Modulationsübertragung ist später auch für andere Sender festgestellt worden; sie ist also nicht nur dem Sender Luxemburg eigentümlich. Durch besondere Versuche zwischen den Sendern Beromünster und Luxemburg wurde als Bedingung für das Zustandekommen und die Beobachtung der Vorgänge folgendes ermittelt:

1. Die Sender müssen möglichst große Leistungen haben. Der Sender Luxemburg mit 150 kW Trägerwellenleistung ist der stärkste Rundfunksender im westlichen Europa; daher konnte bei diesem Sender die Modulationsübertragung verhältnismäßig leicht festgestellt werden.
2. Der zu empfangende Sender soll, vom Empfänger aus gesehen, hinter dem Störsender oder seitlich davon liegen.
3. Die Beeinflussung ist am größten, wenn der Störsender im Langwellen-Rundfunkbereich (1000 bis 2000 Meter) und der gestörte, im Empfänger abgestimmte Sender im Mittelwellenbereich (200 bis 600 m) arbeiten.

4. Im Empfänger müssen die Raumwellen des gestörten Senders zur Wirkung kommen, daher ist die Modulationsbeeinflussung fast nur nachts beobachtet worden.

5. Die Stärke der Störmodulation nimmt bei niedrigeren Modulationsfrequenzen und bei kleineren Feldstärken zu.

Bei den Versuchen ist selbstverständlich geprüft worden, ob das Mithören des zweiten Senders im Empfänger nicht durch Oberwellen des Senders, ungenügende Trennschärfe der Empfänger oder durch Modulation in der ersten Empfängerstufe (Kreuzmodulation) hervorgerufen wird. Die Beeinflussung der von dem einen Sender ausgestrahlten Wellen durch die des anderen kann danach nur außerhalb des Empfängers zustande kommen. Die Wellen des abgestimmten Senders müssen also während des gemeinsamen Ausbreitungsweges durch die des Störsenders moduliert werden.

Da die Modulationsbeeinflussung nur bei den sog. Raumwellen festgestellt worden ist, so liegt der Gedanke nahe, die Entstehung der Modulation in den höheren Gebieten der Atmosphäre, der Ionosphäre, zu suchen, der ja auch sonst ein erheblicher Einfluß auf die elektrischen Wellen zugeschrieben wird. Infolge der strahlenbrechenden Eigenschaften ist die Ionosphäre bekanntlich befähigt, elektrische Wellen, die sie erreichen, zur Erde zurückzubeugen. Dabei werden die Wellen mehr oder weniger stark absorbiert. Diese Absorption ist nach einem der bisher bekanntgewordenen Erklärungsversuche die Ursache für die Beeinflussung, d. h. letztere erfolgt nur dann, wenn die Felder der Sender an der gleichen Stelle auf die ionisierten Schichten auftreffen. Für die Wellen des gestörten Senders zeigt die Ionosphäre dabei ein im Takt der Modulation veränderliches Reflexionsvermögen. Je stärker das einwirkende Feld des Störsenders ist, um so mehr wird das Reflexionsvermögen der Ionosphäre für die gestörten Wellen herabgesetzt. Ist das einfallende Feld, wie in unserem Falle, moduliert, so wird diese Modulation jeder Welle aufgedrückt, die an diesem Teil der Ionosphäre reflektiert wird. Die Wellen der gestörten Sender werden somit zum Träger der Modulation des Störsenders.

Beobachtungen der Modulationsbeeinflussung bei deutschen Sendern

Mit Rücksicht auf die durch die Modulationsbeeinflussung möglichen Störungen des Rundfunkempfangs wurden vom Reichspostzentralamt im Winter 1934/35 Versuche durchgeführt, die besonders Aufschluß über die Störungen beim Empfang deutscher Sender geben sollten. Es sei hier erwähnt, daß seit Bekannt-

werden der Modulationsbeeinflussung durch die Zeitschriften viele Rundfunkteilnehmer über Störungen dieser Art klagen. Nachprüfungen ergaben in den meisten Fällen, daß das Mithören des zweiten Senders entweder nicht genügend trennscharfen Empfängern oder Übersteuerung der Empfänger durch zu lange Antennen zuzuschreiben war.

Um bei den Untersuchungen eindeutige Ergebnisse sicherzustellen, wurden diese nach Programmschluß der täglichen Sendungen — d. h. in der Zeit von 1 bis 5 Uhr — vorgenommen. Der Deutschlandsender als Störsender sandte in schneller Zeitfolge sein musikalisches Pausenzeichen mit einem Aussteuerungsgrad von etwa 50 %, während die Sender Leipzig, München, Breslau, Heilsberg und Berlin als empfangende, d. h. gestörte Sender Trägerwellen ausstrahlten, die nur selten durch das Pausenzeichen des betr. Senders unterbrochen wurden. Die Beobachtungen wurden mit Dreikreisempfängern (Zweistufen-Hochfrequenzverstärkung, Gleichrichter, Zweistufen-Niederfrequenzverstärkung) an zwei nördlich von Berlin gelegenen Orten vorgenommen. Hinsichtlich der bei den Versuchen zu verwendenden Empfänger hat sich ergeben, daß Zwischenfrequenzempfänger auszuschließen sind, damit nicht Oberwellen oder Kombinationswellen zwischen der einfallenden und der Zwischenfrequenzwelle den Vorgang vortäuschen. Bei den Versuchen ist besonders geprüft worden, daß das Mithören des Störsenders nicht im Empfänger zustande kam. Nach dem Abschalten der gestörten Sender Leipzig und München wurde in der Nähe des Empfängers ein Hilfssender auf derselben Welle so betrieben, daß am Empfänger die gleiche Feldstärke wie vom fernen Sender vorhanden war. Die Störmodulation des weiterhin in Betrieb befindlichen Deutschlandsenders konnte auf der Trägerwelle des Hilfssenders nicht beobachtet werden. Daraus läßt sich schließen, daß im Empfänger die Störmodulation nicht zustandekommen konnte. Bei Abschalten des gestörten, also im Empfänger abgestimmten, Senders verschwand die Störmodulation stets im Augenblick des Abschaltens. Die Trägerwelle des gestörten Senders war also an der Erscheinung bestimmt beteiligt.

Sendern sogar einen Winkel von nahezu 90° miteinander bilden. Die Störmodulation ist auch schwach nachweisbar zwischen zwei Sendern im Mittelwellenbereich, bei unseren Versuchen München und Leipzig; der Sender Leipzig der kürzeren Welle war auf der Münchener Welle mitzuhören; im umgekehrten Falle konnte keine Modulationübertragung festgestellt werden.

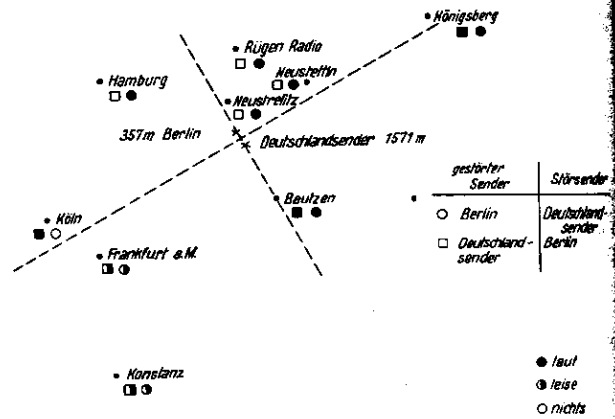


Abb. 2. Lageplan für die Beobachtung der Störmodulation zwischen dem Sender Berlin und dem Deutschlandsender

Durch eine zweite Versuchsreihe wurden die Vorgänge für zwei nahe beieinander liegende Sender untersucht. Die zu Standen der Deutschlandsender mit einer langen und der Sender Berlin mit einer mittleren Welle zur Verfügung. Die Entfernung zwischen den beiden Sendern beträgt 40 km. An Stelle des Pausenzeichens wurden die Sender mit einer Frequenz von 300 Hz bei einem Modulationsgrad von 70 bis 80 % für den Störsender moduliert. Die Modulation des Störsenders wurde bei dieser Versuchsreihe in jeder Minute mehrere Sekunden abgeschaltet und dafür der am Empfänger eingestellte, also gestörte Sender mit 3 bis 5 % Aussteuerungsgrad ebenfalls mit 300 Hz moduliert. Durch den Lautstärkevergleich beider Modulationen sollte die Möglichkeit gegeben werden, die Störmodulation größenordnungsmäßig zu bestimmen. Bei dem Versuch wurde sowohl der Deutschlandsender als auch Berlin als Störsender benutzt. Die örtliche Lage der Sender und der Empfangsstellen bei diesem Versuch zeigt Abb. 1, in der an jedem Empfangsort die Beobachtungsergebnisse der Modulationsbeeinflussung beim Empfang jedes der beiden Sender eingetragen sind.

Die Versuche beweisen, daß die Modulationsübertragung auch bei wenig voneinander entfernten Sendern auftritt, und zwar wird nicht nur der Empfang der Mittelwelle durch die Langwelle beeinflusst, sondern es tritt auch der umgekehrte Fall ein. Allerdings scheint im zweiten Fall die räumliche Anordnung stark von Einfluß zu sein, da die Störmodulation nur an den Orten festgestellt wurde, die in der Nähe der Senkrechten zur Verbindungsstelle der beiden Sender oder südlich davon liegen. Die Größe der Störmodulation durch den Deutschlandsender war auf der Berliner Welle in fast allen Richtungen gleich stark und weniger als 1 %.

Messung des Störmodulationsgrades

Bei einer dritten Versuchsreihe wurde der Modulationsgrad zahlenmäßig bestimmt und seine Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger untersucht. Zu diesem Zwecke wurden der Deutschlandsender und der Sender Berlin als Störsender und die Sender Langenberg und Heilsberg als zu empfangende (gestörte) Sender benutzt. In Schneidemühl wurde eine feste Messstelle eingerichtet; mit einer beweglichen, in einem Kraftwagen untergebrachten Meßanordnung wurden die Messungen auf der Strecke Berlin—Trier mit den Me-

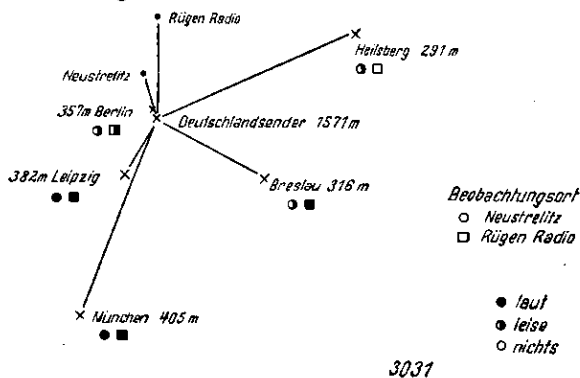


Abb. 1. Lageplan für die Beobachtung der Störmodulation

Die geographische Lage der Sender und der Empfangsstellen zeigt Abb. 1; neben jedem Sender sind die Empfangsbeobachtungen der Modulationsbeeinflussung auf der Welle des betreffenden Senders eingetragen. Die Versuche ergaben die Bestätigung dafür, daß die Störungen am stärksten dann auftreten, wenn die beiden Sender und der Empfänger auf einer Geraden liegen, wenn der Störsender zwischen dem gestörten Sender und dem Empfänger liegt und wenn der Störsender auf einer langen Rundfunkwelle, der gestörte Sender auf einer Mittelwelle arbeitet. Im umgekehrten Falle sind Störungen nicht nachweisbar gewesen; d. h. beim Empfang des Deutschlandsenders konnte eine Störmodulation durch einen Mittelwellensender nicht beobachtet werden. Bei Abweichungen von der Geraden tritt die Beeinflussung schwächer auf; sie ist noch vorhanden, wenn die Richtungen vom Empfänger zu den

punkten Dessau, Eisenach, Marburg, Koblenz und Trier ausgeführt. Die zu messenden Sender wurden mit 300 und 1000 Hz bei 70 bis 80 % Aussteuerung moduliert. Zur Eichung des Empfängers diente ein modulierbarer Hilfssender mit der gleichen Modulationsfrequenz wie der

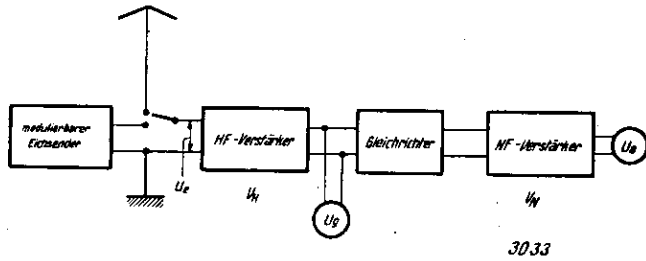
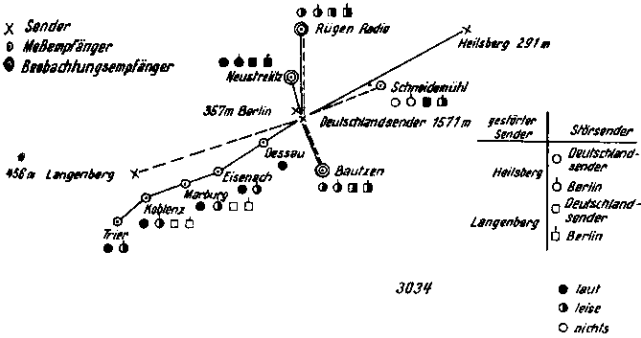


Abb. 3. Empfänger für Modulationsgrad-Messung

Störsender, der auf gleiche hochfrequente Eingangsspannung und gleiche niederfrequente Ausgangsspannung am Empfänger eingestellt wurde (Abb. 3). Zur Ergänzung der Beobachtung wirkten drei Empfänger in Bautzen, Neustrelitz und Rügen-Radio mit.

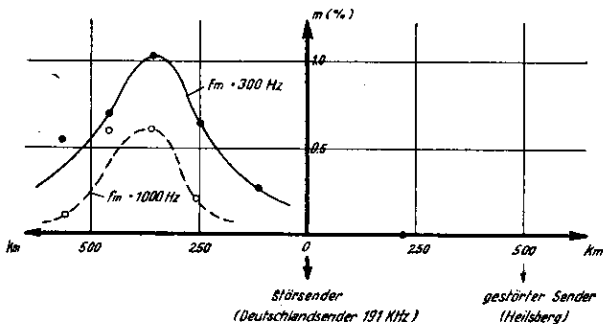
Abb. 4 zeigt die geographische Lage der Sender und Empfänger. Neben jedem Empfangsort sind die Beobachtungsergebnisse der Modulationsbeeinflussung eingetragen. In Übereinstimmung mit früheren Beobachtungen wurde zunächst festgestellt, daß die Störmodulation am größten an den Orten ist, die auf der Verbindungslinie der



3034

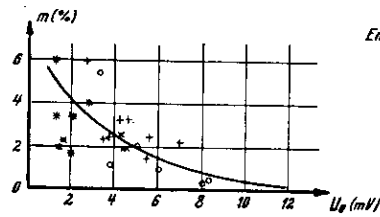
Abb. 4. Lageplan für die Messungen des Störmodulationsgrades

beiden Sender über den Störsender hinaus liegen. Die Störmodulation ist noch auf der Senkrechten dieser Verbindungslinie durch den Störsender vorhanden, nicht dagegen an Orten zwischen Störsender und gestörtem Sender. An allen Meßpunkten wurde regelmäßig beobachtet, daß beim Abschalten der Modulation des Störsenders die Störmodulation am Empfänger verschwand. Die Messungen des Modulationsgrades auf der Strecke Dessau—Trier haben eine Abhängigkeit von der Frequenz und einen ausgeprägten Höchstwert in etwa 350 km vom Deutschlandsender ergeben; je höher die Frequenz der Störmodulation ist, desto kleiner ist der Modulationsgrad (Abb. 5). Diese Frequenzabhängigkeit ist auch bei ausländischen Ver-



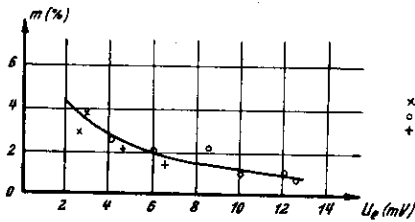
3035

Abb. 5. Abhängigkeit des Störmodulationsgrades von der Entfernung bei $f = 1031$ kHz



Empfänger Sender Langenberg 658 KHz
 $f_m = 300$ Hz

x gemessen am 22.1.35
o " " 24.1.35
+ " " 25.1.35
* " " 26.1.35



3036

Abb. 6. Abhängigkeit des Störmodulationsgrades von der Stärke der Trägerwelle des gestörten Senders

suchen festgestellt worden. Die Spitzenwerte der Modulation wurden auf der Strecke Dessau—Trier mit 1,5 % bei 300 Hz und 0,8 % bei 1000 Hz gemessen; in Schneidemühl wurden größere Modulationsgrade, und zwar 6 % für 300 Hz und 4 % für 1000 Hz, festgestellt. In Schneidemühl ist ferner in Übereinstimmung mit van der Pol eine Zunahme des Modulationsgrades mit abnehmender Feldstärke gefunden worden, die aus der Abb. 6 zu ersehen ist. Untersuchungen mit den Sendern Beromünster und Luxemburg haben als höchsten Modulationsgrad 12 % ergeben.

Auf Grund der bisherigen Vorstellungen über die Modulationsbeeinflussung ist zu erwarten, daß die Störmodulation von mehreren Sendern gleichzeitig auf einer Trägerwelle gehört werden kann. Das ist auch tatsächlich beobachtet worden. Bei einer Versuchsreihe, bei der Beromünster nachts nur seine ungedämpfte Trägerwelle aussandte, wurden in Neustrelitz auf der Trägerwelle von Beromünster die Modulationen mehrerer Sender gleichzeitig im Empfänger gehört; aus dem Gemisch konnten mit Hilfe eines zweiten Empfängers Luxemburg und Droitwich festgestellt werden. Die anderen Sender waren so schwach, daß ihre Deutung nicht gelang.

Die Ergebnisse aller bisherigen Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Modulationsübertragung von einer Welle auf eine andere ist nur während der Dämmerung und nachts zu beobachten.
2. Sie ist regelmäßig und stark vorhanden, wenn der Störsender eine lange Welle, der gestörte Sender eine Mittelwelle hat. Beeinflussungen treten auch zwischen zwei Sendern im Mittelwellenbereich auf, wobei der Störsender sowohl eine kleinere als eine größere Welle als der gestörte Sender haben kann. Bei nahe beieinanderliegenden Sendern ist auch eine Störmodulation der langen Welle durch die Mittelwelle nachweisbar gewesen.
3. Bei weit auseinanderliegenden Sendern ist die Modulationsübertragung am größten, wenn Empfänger, Störsender und gestörter Sender in dieser Reihenfolge auf der Verbindungslinie der beiden Sender liegen. In einer bestimmten Entfernung vom Störsender hat die Störmodulation einen Höchstwert. Die Störungen sind schwächer an allen Orten, die seitlich von der Verbindungslinie liegen; sie treten nicht auf an Orten, die auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Sendern liegen.
4. Die Stärke der Störmodulation nimmt mit steigender Modulationsfrequenz ab. Die größten bisher gemessenen Modulationsgrade betragen etwa 12 %. In den meisten Fällen liegen sie unter 1 %. Bei Störungen von Mittelwellen durch Langwellensender ist der Modulationsgrad

unter sonst gleichbleibenden Bedingungen um so größer, je länger die Welle des Mittelwellensenders und je kleiner seine Feldstärke ist.

Ernstliche Störungen des Rundfunks sind bei den bisher gemessenen Modulationsgraden nicht zu befürchten und auch nicht bekanntgeworden. *Zeichnungen vom Verfasser*

*

Man hat die Erscheinung des Luxemburgeffekts aus Vorgängen in der Heavisideschicht zu erklären versucht. Berechnungen K. Försterlings (Hochfrequenztechnik und Elektroakustik Bd. 45, Heft 5, Seite 145), haben nun gezeigt, daß der beschriebene Effekt eintreten muß, wenn die Leitfähigkeit der unteren Heavisideschicht im wesentlichen durch freie Elektronen bedingt ist. Danach kommt der Luxemburgeffekt auf folgende Weise zustande, die der leichteren Verständlichkeit halber nicht exakt wissenschaftlich wiedergegeben werden soll.

Wie gesagt, ist eine der Voraussetzungen für das Auftreten des Effektes, daß die Leitfähigkeit der unteren Heavisideschicht im wesentlichen durch freie Elektronen bedingt ist. Diese freien Elektronen besitzen eine Geschwindigkeit, die von der Temperatur abhängig ist. Sie beträgt bei der in der unteren Heavisideschicht herrschenden Temperatur von etwa $-53^{\circ} 90\,000$ m/sec. Wärmegeschwindigkeit. Die freie Weglänge der Elektronen, d. h.

das Mittel der zwischen je zwei Zusammenstößen eines Elektrons mit Atomen liegenden Wege, beträgt etwa 20 cm. Die Zahl der freien Elektronen bleibt, solange ihre Geschwindigkeit und die freie Weglänge konstant bleiben, im wesentlichen ungeändert. Das gleiche gilt für das Absorptionsvermögen für elektrische Wellen.

Diese Absorption läßt sich dadurch erklären, daß die elektrische Welle den freien Elektronen eine zusätzliche Schwingungsenergie erteilt. Infolge der Erhöhung der Geschwindigkeit steigt auch die Zahl der Zusammenstöße der freien Elektronen mit den Atomen. Dadurch wächst die Zahl der freien Elektronen, die nun wiederum mit Atomen zusammenprallen. Der dadurch bedingte Energieverlust macht sich als Dämpfung der elektrischen Welle bemerkbar. Der den Elektronen erteilte Geschwindigkeitszuwachs kann, wie die Rechnung zeigt, in der Größenordnung der Wärmegeschwindigkeit liegen. Entsprechend dem Geschwindigkeitszuwachs wächst auch die Absorption jeder Welle, die mit den Elektronen in Wechselwirkung tritt.

Ist nun die eine Welle moduliert, so wird sich die Absorptionsfähigkeit der Schicht im Rhythmus der Modulationsschwingung ändern. Die unmodulierte Welle erfährt eine Dämpfung in dem gleichen Rhythmus. Ihr also nach der Beugung in der Heavisideschicht die Modulation der modulierten Welle aufgezwungen. *Dr. Schram*