



# Telegraphen-Fernsprech- Funk- und Fernseh-Technik

Herausgegeben von der Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost

Schriftwaltung:

DR. FRITZ VILBIG

HERMANN SCHULZ

SIEGFRIED MÄHLISS

Sämtliche Zuschriften an VERLAG RICHARD DIETZE, Berlin W 62, erbeten

31. JAHRGANG

MÄI 1942

HEFT 5

## Gleichwellenfunk und Effekt der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung (Luxemburg-Effekt)

(Mitteilung aus dem Amt für Wellenausbreitung der RPF, München)

Von F. Vilbig

DK 621. 396. 11 : 621. 396. 812  
538. 56

*Es wird untersucht, ob mit Gleichwellensendern sich gegenüber einem Einzelsender bei gleicher Gesamtleistung eine Verringerung des Effekts der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung ergibt. Es zeigt sich, daß der Störmodulationsgrad um so kleiner ist, je geringer die „Feldstärkebelastung“ der Ionosphäre an der Reflexionsstelle ist. Bei gleicher Gesamtstrahlungsleistung verringern sich also die Störungen mit wachsender Zahl und zunehmendem Abstand der Gleichwellensender. Bei Gleichwellensendern erhält man unter der Voraussetzung eines gleichen Verhaltens der Ionosphäre neben einem konstanten Störmodulationsgrad einen variablen Anteil, der örtlich und bei nicht genauem Synchronismus der Gleichwellensender zeitlich schwankt.*

$$n_0 = \sqrt{1 - \frac{N e^2}{m \pi c^2} \lambda^2}$$

ist dabei der Brechungsindex,  $N$  die Zahl der Träger je  $\text{cm}^3$ , d. h. die Trägerdichte der Schicht,  $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$  die Elementarladung und  $m = 9 \cdot 10^{-28}$  die Masse eines Elektrons,  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $\lambda$  die Wellenlänge. Da der Absorptionskoeffizient mit dem Quadrat der Wellenlänge anwächst, erklärt sich damit die Beobachtung, daß die gegenseitige Beeinflussung von Wellen mit wachsender Wellenlänge des Störsenders zunimmt. Infolge der Änderung des Absorptionskoeffizienten wird auch die Absorption der Welle des gestörten Senders rhythmisch geändert, wodurch eine Kreuz- oder Störmodulation der Welle des einen durch den anderen Sender erfolgt.

Auf Grund weiterer theoretischer Untersuchungen zogen Bailey und Martyn folgende Schlüsse:

1. Die Größe der aufgedrückten Störmodulation  $M$  wächst mit dem Quadrat der Feldstärke  $\mathcal{E}$  des störenden Senders an der Reflexionsstelle der Ionosphäre. Es ist also  $M = \text{const} \cdot \mathcal{E}^2$ . Die Störmodulation ist somit proportional der Strahlungsleistung  $N_S$  des störenden Senders, da die Feldstärke  $\mathcal{E}$  mit  $\sqrt{N_S}$  zunimmt.
2. Die Größe der Störmodulation wächst mit steigender Wellenlänge des Störsenders.
3. Die Störmodulation nimmt mit höherer Modulationsfrequenz des Störsenders ab.
4. Die Störmodulation ist am größten, wenn  $\lambda_S : \lambda_G = \cos \alpha_S : \cos \alpha_G$  ist, wobei  $\lambda_S, \lambda_G$  die Wellenlänge,  $\alpha_S$  und  $\alpha_G$  Einfallswinkel der Störwelle (S) bzw. der gewünschten Welle (G) ist. Diese Bedingung entspricht der Forderung, daß beide Wellen im gleichen Schichtgebiet der Ionosphäre reflektiert werden.
5. Der tägliche Gang der Störmodulation soll während der Nacht und am frühen Morgen die geringsten Werte zeigen und gegen Sonnenaufgang ansteigen. Gegen Mittag soll die Störung am stärksten sein, sofern noch Raumwellen reflektiert werden und gegen Abend wieder abnehmen.

Das Superpositions-gesetz, nach dem sich jede Welle im Raum so ausbreitet, als ob nur sie allein ausgestrahlt würde, verliert für die Ionosphäre seine Gültigkeit. Bei hinreichend großen Senderleistungen findet eine gegenseitige Beeinflussung der Senderwellen statt, die sich in einer Kreuzmodulation bemerkbar macht, d. h. es wird das Programm des einen Senders der Welle des anderen Senders mit aufgedrückt [1, 2, 3, 4, 9]. Da dieser Effekt der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung der Wellen erstmalig beim Sender Luxemburg bemerkt wurde, wird er vielfach auch als „Luxemburg-Effekt“ bezeichnet. Später wurde dieser Effekt auch bei anderen Sendern festgestellt. Da die Untersuchungen ergaben, daß für das Auftreten dieser Störung weder ungenügende Trennschärfe der Empfänger, noch Spiegelfrequenzen bei Überlagerungsempfängern oder Oberwellen der Sender verantwortlich gemacht werden konnten, lag die Vermutung nahe, daß der Effekt durch die Ausbreitung der Wellen in der Ionosphäre hervorgerufen wird.

Die beiden Physiker Bailey und Martyn stellten folgende, heute wohl allgemein anerkannte und durch die Beobachtung weitgehend bestätigte Hypothese auf: Die in der Ionosphäre vorhandenen freien Elektronen erfahren unter dem Einfluß der Wellen des modulierten, starken Störsenders rhythmische Änderungen ihrer mittleren Geschwindigkeit im Takte der Modulation. Dabei wird die Häufigkeit des Zusammenstoßes von Elektronen mit Gasmolekülen, d. h. die Stoßzahl  $\nu$  beeinflusst und dadurch der Absorptionskoeffizient

$$\alpha = \frac{1}{n_0} \frac{N e^2}{2 \pi m c^3} \nu \lambda^2$$

der betreffenden Ionosphärenschicht rhythmisch geändert.

Die insbesondere vom Reichspostzentralamt im Jahre 1935 angestellten Beobachtungen [5, 6, 9] bestätigen im großen und ganzen die Theorie. Insbesondere zeigte sich ein mit der Leistung des Störsenders proportionales Anwachsen des Störmodulationsgrades, sowie eine Abnahme des Effekts mit wachsender Modulationsfrequenz. Ferner ergaben die Versuche eine Abhängigkeit des Effekts von der Lage des Empfangsortes von den beiden Sendern. Es gelang Dr. Großkopf [7] unter Berück-

sichtigung der Strahlungsdiagramme der Senderantennen, diese Entfernungsabhängigkeit theoretisch zu erfassen und durch Versuche zu bestätigen. Danach ergibt sich ein Ausbleiben der Störmodulation in der Umgebung des gestörten Senders, sowie ein Minimum in der doppelten Entfernung der Sender, und zwar auf der vom gestörten Sender abgewandten Seite hinter dem Störsender. Dieses Minimum ist zwar in der Praxis durch das Hinzutreten weiterer Raumwellen meist nur schwach ausgeprägt, jedoch nachweisbar. Neu war insbesondere in der Theorie von Dr. Großkopf, daß auch in einer gewissen Entfernung jenseits des gestörten Senders, also auf der vom Störsender abgewandten Seite, ebenfalls wieder eine Störmodulation auftritt, was der Versuch auch bestätigte.

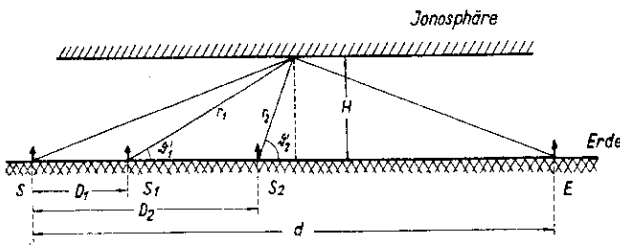


Abb. 1. Gegenseitige Lage des gestörten Senders S, der störenden Gleichwellensender S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> sowie des Empfängers E

Der bisher beobachtete maximale Störmodulationsgrad liegt bei etwa 1 %, ist also immerhin noch so gering, daß ernstliche Störungen des Rundfunks bisher noch in keinem Fall auftraten. Da der Störeffekt jedoch proportional mit der Senderleistung anwächst, ist er unbedingt in Rechnung zu setzen, wenn in Zukunft eventuell eine weitere Verstärkung der Senderleistungen in Erwägung gezogen wird. Die normale Strahlungshöchstleistung der Sender beträgt gegenwärtig etwa  $N_S = 100$  kW. Eine Erhöhung der Senderleistungen, z. B. auf  $N_S = 150$  oder  $200$  kW zum Zwecke der Erhöhung der Empfangsfeldstärken, ist praktisch nicht sehr wirkungsvoll, da die Feldstärke nur mit  $\sqrt{N_S}$  anwächst, im Beispiel also nur um  $\sqrt{1,5} = 1,22$  bis  $\sqrt{2} = 1,41$ , d. h. um 22 bzw 41 % zunehmen würde. Um eine wirklich ins Gewicht fallende Feldstärkeerhöhung zu erzielen, müßte die Zunahme mindestens eine zwei- bis dreifache sein, d. h., es müßte eine Leistungssteigerung um rund eine Zehnerpotenz erfolgen. Damit würde jedoch der Effekt der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung etwa zehnfach höhere Werte des Störmodulationsgrades zeitigen. Die dann auftretenden Störungen dürften das zulässige Maß weit überschreiten. Der Effekt der gegenseitigen Mo-

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \pm \mathcal{E}_2$

$$= E_0 \left[ \underbrace{\frac{d - D_1}{H^2 - \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2}}_A \sin \left[ \omega \left( t - \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2}}{c} \right) \right] + \underbrace{\frac{\frac{d - D_2}{2} - D_2}{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2}}_B \sin \left[ \omega \left( t - \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2}}{c} \right) + \xi \right] \right]$$

$$= E_0 \left[ 2 \frac{\frac{d - D_1}{2} - D_1}{H^2 + \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2} \sin \left[ \omega \left( t - \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2}}{2c} \right) + \frac{\xi}{2} \right] \right.$$

$$\cdot \cos \left[ \omega \left( \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2}}{2c} \right) + \frac{\xi}{2} \right]$$

$$\left. - \left( \frac{\frac{d - D_2}{2} - D_2}{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2} - \frac{\frac{d - D_1}{2} - D_1}{H^2 + \left(\frac{d - D_1}{2}\right)^2} \right) \sin \left[ \omega \left( t - \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d - D_2}{2}\right)^2}}{c} \right) + \xi \right] \right]$$

dulationsbeeinflussung setzt also der angängigen Erhöhung der Senderleistungen schließlich eine natürliche Grenze.

Damit entsteht nun die Frage, ob die Aufteilung der gesamten Senderleistung auf mehrere, räumlich voneinander getrennte Einzelsender, die untereinander im Gleichwellenbetrieb arbeiten, eine Verringerung des Effekts der gegenseitigen Modulation bewirkt. (Daß der Gleichwellenbetrieb bei gleicher Gesamtleistung eine günstigere Feldstärkeverteilung innerhalb des gesamten Versorgungsgebiets ermöglichen kann, als dies bei einem einzigen Sender der Fall ist, geht aus einer früheren Arbeit des Verfassers [8, 9] hervor.)

Gegeben seien zwei gleich starke Gleichwellensender S<sub>1</sub> und S<sub>2</sub> mit den Abständen D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub> von dem gestörten Sender S (Abb. 1). Für die Berechnung sei dabei angenommen, daß alle 3 Sender in einer Reihe stehen und auch der Empfänger längs der Verbindungslinie dieser Sender bewegt werde. Der Abstand des Empfängers E vom gestörten Sender sei d. Die Reflexion erfolge für alle Sender in der gleichen Höhe H der Ionosphäre. Alle weiteren, für die Berechnung erforderlichen Größen können aus Abb. 1 entnommen werden. Die von den beiden Gleichwellensendern am Reflexionspunkt der Ionosphäre hervorgerufenen Feldstärken sind unter der Annahme niedriger Antennen ( $h \ll \lambda/4$ )

$$\mathcal{E}_1 = \frac{E_0}{r_1} \cos \theta'_1 \sin \omega \left( t - \frac{r_1}{c} \right)$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{E_0}{r_2} \cos \theta'_2 \sin \left[ \omega \left( t - \frac{r_2}{c} \right) + \xi \right].$$

Dabei ist

$$E_0 = 0,377 \frac{h_{(m)} J(A)}{\lambda_{(m)}} \cdot 10^{-3}$$

$$= 300 \sqrt{N_{S(KW)}} \cdot 10^{-3} \text{ (Volt)}$$

und  $\xi$  die Phase zwischen den beiden, von den Gleichwellensendern abgestrahlten Trägern. Berücksichtigt man ferner, daß, wie aus Abb. 1 hervorgeht,

$$\sin \theta'_1 = \frac{H}{r_1}, \quad \cos \theta'_1 = \frac{\sqrt{r_1^2 - H^2}}{r_1}$$

$$\sin \theta'_2 = \frac{H}{r_2}, \quad \cos \theta'_2 = \frac{\sqrt{r_2^2 - H^2}}{r_2}$$

$$r_1 = \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} \text{ ist,}$$

so ergibt sich für die resultierende Feldstärke

Schwankt die cos-Funktion zwischen den Werten 1 und 0, dann ändert sich die resultierende Feldstärke zwischen den Grenzwerten

$$E_0 \left[ \frac{d - D_1}{2} - \frac{d - D_2}{2} \right]$$

$$E_0 \left[ \frac{d - D_1}{2} + \frac{d - D_2}{2} \right]$$

$$E_0 [A + B] \quad (\text{für } \cos \dots = 1)$$

und

$$E_0 \left[ \frac{d - D_2}{2} - \frac{d - D_1}{2} \right]$$

$$E_0 [B - A] \quad (\text{für } \cos \dots = 0)$$

Demzufolge schwankt auch der Störmodulationsgrad  $M = \text{const} \cdot E_0^2$  zwischen den Grenzen

$$M = \text{const} \cdot E_0^2 [A + B]^2 \quad \text{und}$$

$$M = \text{const} \cdot E_0^2 [B - A]^2$$

In Abb. 2 ist der Verlauf des Störmodulationsgrades  $M$  in Abhängigkeit von der Entfernung  $d$  des Empfängers vom gestörten Sender eingetragene, wobei die Entfernungen  $D_1$  und  $D_2$  der beiden Gleichwellensender variiert sind.

Dabei muß jedoch noch berücksichtigt werden, daß in der Umgebung des gestörten Senders die Störmodulation ein Minimum zeigt, da dort die Bodenwelle ( $b$ ) des gestörten Senders seine Raumwellen ( $r$ ) so stark übersteigt, daß der tatsächliche Störmodulationsgrad

$$m = M \frac{r}{r+b}$$

am Empfangsort praktisch zu Null wird. Der Verlauf der Raumwellen ( $r$ )- und der Bodenwellenfeldstärke ( $b$ ) sowie des Verhältnisses  $\frac{r}{r+b}$  in Abhängigkeit von der Entfernung ist für eine Wellenlänge  $\lambda = 500$  m und eine Bodenleitfähigkeit  $\sigma = 10^{-13}$  in Abb. 3 eingetragen. Für Entfernungen über 500 km ist  $\frac{r}{r+b}$  praktisch gleich „1“, so daß dann  $m \approx M$  ist.

Abb. 2 a zeigt den Fall eines Einzelsenders ( $D_1 = D_2$ ) doppelter Leistung eines Gleichwellensenders. Vergleicht man damit die Kurven Abb. 2 b bis f, so erkennt man, daß sich die Zahl der Maxima und der Minima bei Aufteilung der Gesamtleistung auf 2 Gleichwellensender erhöht. Beachtenswert ist insbesondere, daß die durch Pfeile gekennzeichneten Minimastellen sich jeweils in der doppelten Senderentfernung  $2 D_1$  bzw.  $2 D_2$  befinden. (Praktisch dürften diese Minima jedoch durch zusätzliche Raumstrahlen stark getrübt sein.) Als wichtigstes Ergebnis folgt jedoch, daß die absoluten Maximalwerte mit wachsendem Abstand  $D_2 - D_1$  der beiden Gleichwellensender sich verringern und daß ferner bei gleicher Gesamtstrahlungsleistung der Störmodulationsgrad zweier Gleichwellensender geringer ist als

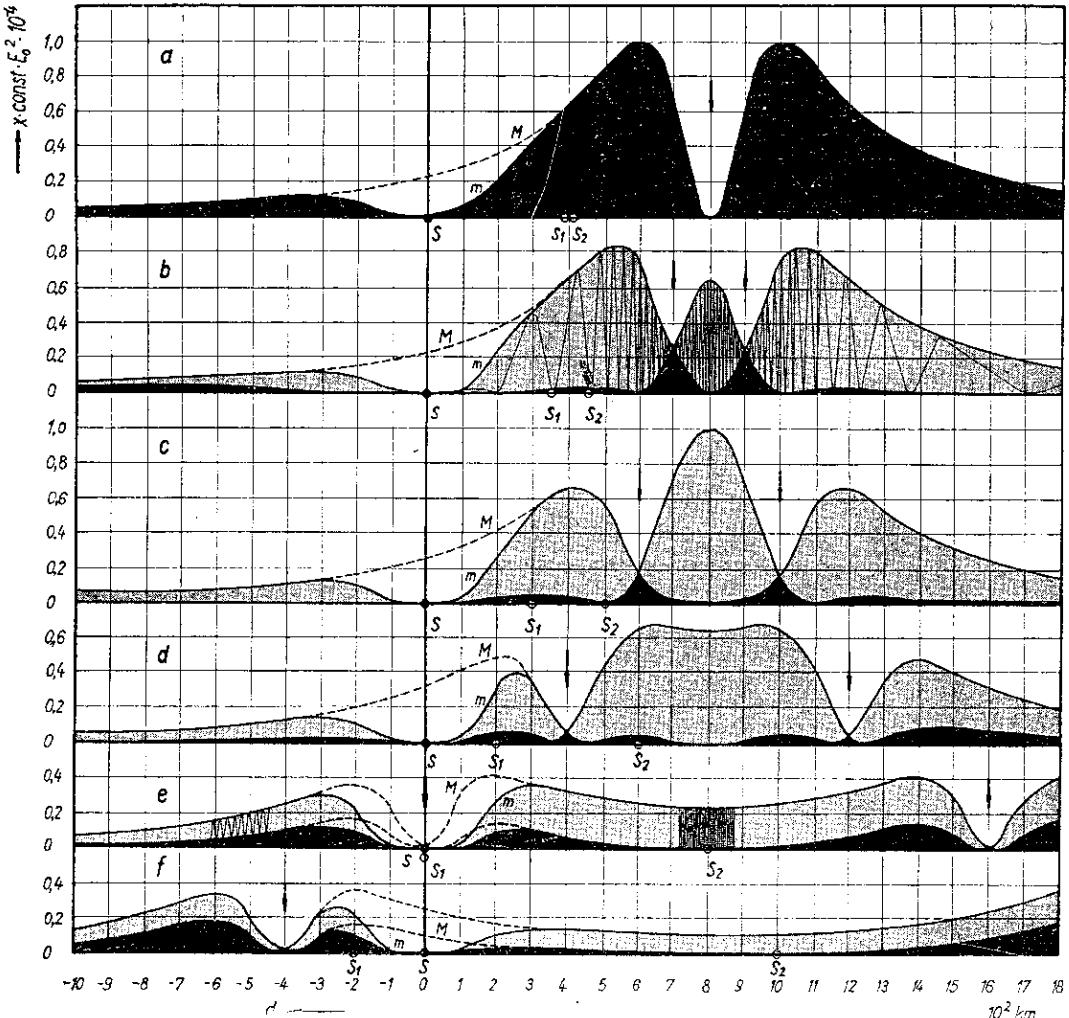


Abb. 2. Verlauf des Störmodulationsgrades  $M$  in Abhängigkeit von der Entfernung  $d$  des Empfängers vom gestörten Sender  $S$  bei verschiedenen Abstand der störenden Gleichwellensender  $S_1$  und  $S_2$  (Niedrige Antenne  $h < \lambda/4$ )

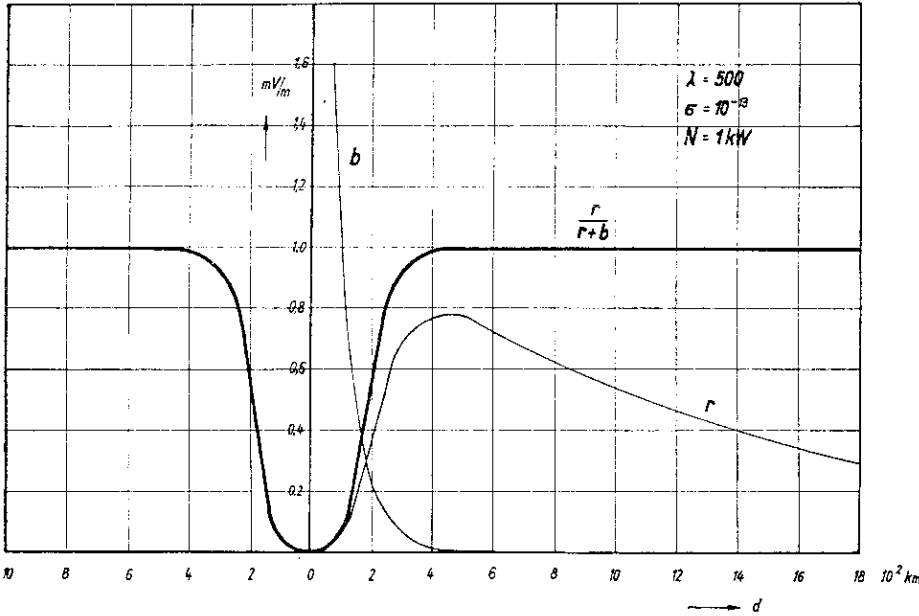


Abb. 3. Verlauf der Raumwellen ( $r$ )- und der Bodenwellenfeldstärke ( $b$ ) sowie des Verhältnisses  $\frac{r}{r+b}$  in Abhängigkeit von der Entfernung (Niedrige Antenne  $h < \lambda/4$ )

der eines Einzelsenders. Der Störmodulationsgrad ist also um so kleiner, je geringer die „Feldstärke-Belastung“ der Ionosphäre an der Reflexionsstelle ist. Der Vorteil der Gleichwellensender gegenüber einem Einzelsender wird noch deutlicher, wenn man berücksichtigt, daß die maximalen Werte bei den Gleichwellensendern nur an einzelnen Stellen bzw., wie wir noch sehen werden, nur zeitweise erreicht werden, da, wie in Abb. 2 b eingezeichnet ist, die Störmodulationsgrade zwischen den beiden Grenzkurven schwanken. Unter der Voraussetzung eines in allen Fällen gleichen Verhaltens der Ionosphäre ergeben sich die durch die Hüllkurven der schwarzen Flächen gekennzeichneten „festen“ Störmodulationsgrade, denen sich bei den Gleichwellensendern die zwischen den Grenzkurven verlaufenden veränderlichen Störmodulationsgrade überlagern. Die durch die Grenzkurven eingehüllten Flächen für die veränderliche Störmodulation sind zur besseren Kennzeichnung in den Abbildungen grau eingezeichnet.

Die örtliche und zeitliche Abhängigkeit des Störmodulationsgrades kann aus dem Faktor

$$\cos \left[ \omega \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2}}{2c} + \frac{\xi}{2} \right],$$

der aus der Gleichung für die resultierende Feldstärke entnommen werden kann, ermittelt werden. So tritt z. B. der Grenzwert  $E_0 (A + B)$  immer dann ein, wenn  $\cos [\dots] = 1$ , oder

$$\omega \frac{\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2}}{2c} + \frac{\xi}{2} = 0, 2\pi, 4\pi \dots$$

$$= k\pi \quad (k = 0, 2, 4 \dots),$$

somit

$$\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2} = \left(k - \frac{\xi}{2\pi}\right) \lambda \quad \left(\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}\right)$$

ist. In Abb. 4 ist für  $D_1 = 350$  km und  $D_2 = 450$  km die Abhängigkeit der Funktion

$$\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2} = f(d)$$

von der Entfernung  $d$  eingetragen. Setzt man nacheinander für  $k$  die Werte 0, 2, 4... ein, so kann man aus Abb. 4 die Entfernungen  $d$  ermitteln, bei denen obige Gleichung erfüllt ist und bei denen also die Feldstärken  $E_0 (A + B)$

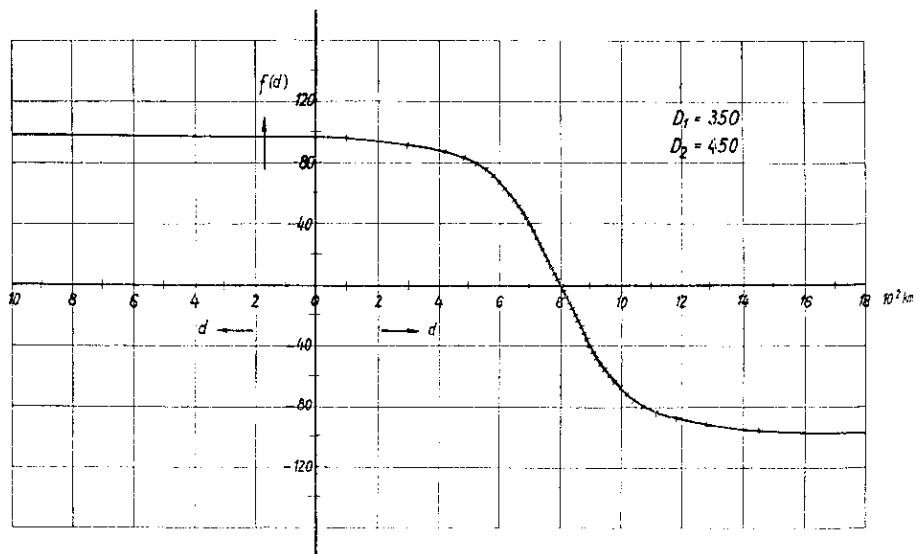


Abb. 4.  $\sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_2\right)^2} - \sqrt{H^2 + \left(\frac{d}{2} - D_1\right)^2} = f(d)$

erreicht werden. In ähnlicher Weise kann man mit  $\cos [\dots]$  die Stellen ermitteln, an denen die Feldstärken  $E_0(B-A)$  erreicht werden und man kann somit leicht die örtlichen Feldstärkeschwankungen und damit die örtlichen Störmodulationsgradschwankungen ermitteln. Für  $\xi = 0$  ist dies z. B. in Abb. 2 b und teilweise in Abb. 2 e eingetragen. Man sieht aus diesen Abbildungen, daß die Folge

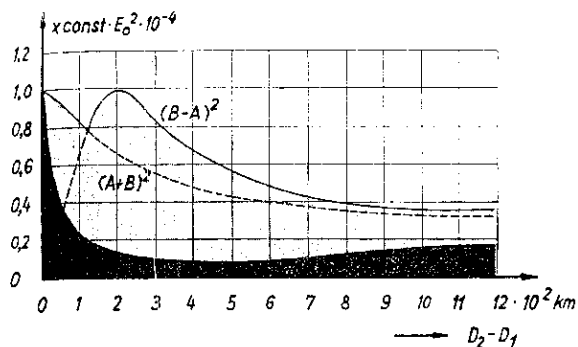


Abb. 5. Abhängigkeit des Störmodulationsgrades vom Abstand  $(D_2 - D_1)$  der störenden Gleichwellensender für  $\frac{D_1 + D_2}{2} = 400 \text{ km}$  (Niedrige Antenne  $h < \lambda/4$ )

der Schwankungen am dichtesten in der Umgebung von  $D_1 + D_2$  ist und daß von hier aus nach beiden Seiten die Abstände zweier Maxima oder Minima sich vergrößern. Sind die beiden Gleichwellensender nicht völlig in Gleichlauf, so ändert sich die Phase  $\xi$  mit der Zeit und es wandern wie auch sonst beim Gleichwellenfunk die Maxima und Minima in der Zeit  $t = \frac{1}{df}$ , wenn  $df$  die Frequenzdifferenz der Sender ist. Es tritt dann an jedem Empfangsort für eine gewisse Zeit der durch die Grenzkurven gegebene maximale Störmodulationswert auf.

Aus Abb. 2 konnte man bereits sehr schön den günstigen Einfluß der Vergrößerung des Abstandes  $D_2 - D_1$  auf die Verringerung des Störmodulationsgrades entnehmen. Dies zeigt weiterhin deutlich Abb. 5, in der die maximalen Werte für den „festen“ und die „veränderlichen“ Störmodulationsgrade, die aus Abb. 2 entnommen wurden, in Abhängigkeit vom Abstand  $D_2 - D_1$  der Gleichwellensender eingetragen sind.

Um noch die Frage zu klären, ob sich die Ergebnisse wesentlich ändern, wenn der mittlere Abstand  $\frac{D_1 + D_2}{2}$  (Schwerpunkt der Gleichwellensender) variiert wird, wurde für  $D_2 - D_1 = 200 \text{ km}$  der mittlere Abstand zwischen 400 und 700 km geändert. Wie Abb. 6 zeigt, bleibt der grundsätzliche Kurvenverlauf praktisch erhalten.

Damit ist nunmehr erwiesen, daß zunächst bei Sendern mit Antennenhöhen, die gleich oder kleiner als  $\lambda/4$  sind, durch Übergang von einem Einzelsender zum Gleichwellenbetrieb der Störmodulationsgrad verringert werden kann. Da die modernen Sender größtenteils mit schwundmindernden Antennen ausgerüstet sind, soll nun weiter untersucht werden, ob auch hierfür derselbe Erfolg eintritt.

Für schwundmindernde Halbantennen sind die am Reflexionspunkt der Ionosphäre wirkenden Feldstärken

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= \frac{E_0}{r_1} \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \sin \theta'_1 \right) \cos \theta'_1 \sin \omega \left( t - \frac{r_1}{c} \right) \\ \mathcal{E}_2 &= \frac{E_0}{r_2} \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \sin \theta'_2 \right) \cos \theta'_2 \sin \left[ \omega \left( t - \frac{r_2}{c} \right) + \xi \right]. \end{aligned}$$

Führt man wieder für  $\sin \theta'_1, \cos \theta'_1, \sin \theta'_2, \cos \theta'_2, r_1$  und  $r_2$  die aus Abb. 1 bereits früher ermittelten Werte ein, so wird damit die resultierende Feldstärke

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 \\ &= B_0 \left[ \frac{\cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{H}{d/2 - D_1} \right) \sin \left[ \omega \left( t - \frac{1}{c} \sqrt{H^2 + (d/2 - D_1)^2} \right) \right]}{A} \right. \\ &\quad \left. + \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \frac{H}{d/2 - D_2} \right) \sin \left[ \omega \left( t - \frac{1}{c} \sqrt{H^2 + (d/2 - D_2)^2} \right) + \xi \right] \right] \end{aligned}$$

Man erhält auch hier wieder die Grenzwerte

$$\begin{aligned} E_0(A + B) \text{ und} \\ E_0(B - A) \end{aligned}$$

und kann mit diesen wieder die Grenzwerte für den Störmodulationsgrad ermitteln. Die Ergebnisse sind in Abb. 7 eingetragen. Vergleicht man die Kurven der Abb. 7 mit denen der Abb. 2, so erkennt man, daß auch bei schwundmindernden Antennen der Übergang vom Einzelsender zum Gleichwellenbetrieb den Störmodulationsgrad mit wachsendem Senderabstand  $D_2 - D_1$  vermindert. Außerdem ist der Störmodulationsgrad bei Verwendung schwundmindernder Antennen gegenüber normaler Antennen ( $l < \lambda/4$ ) wesentlich verringert.

Sowohl Abb. 2 als auch Abb. 7 zeigt, daß in der unmittelbaren Umgebung des gestörten Senders der Stör-

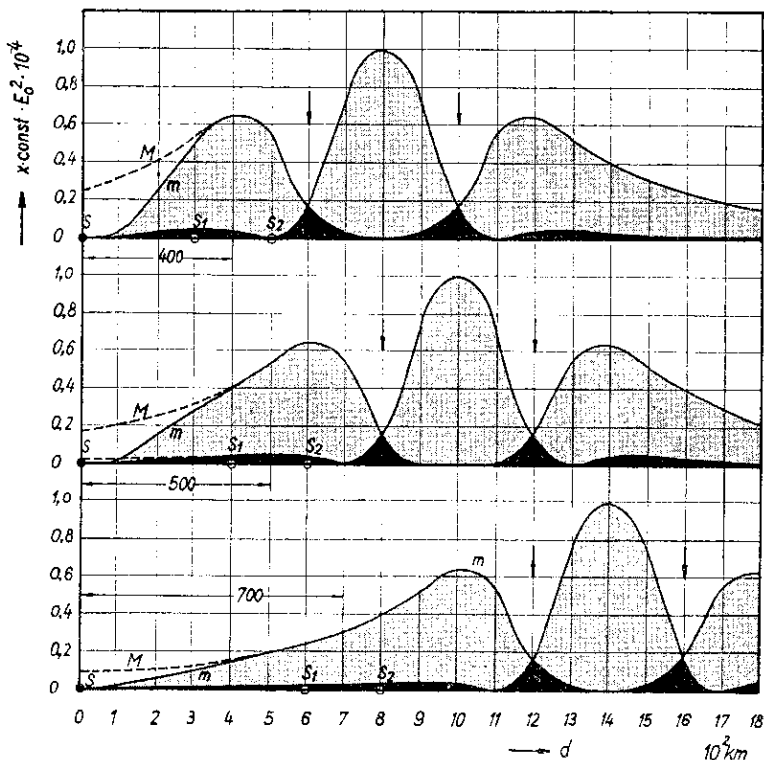


Abb. 6. Abhängigkeit des Störmodulationsgrades von der Entfernung  $d$  bei konstantem Abstand  $D_2 - D_1 = 200 \text{ km}$ , aber verschiedenem mittlerem Abstand (Schwerpunkt Abstand)  $\frac{D_1 + D_2}{2}$  der störenden Gleichwellensender

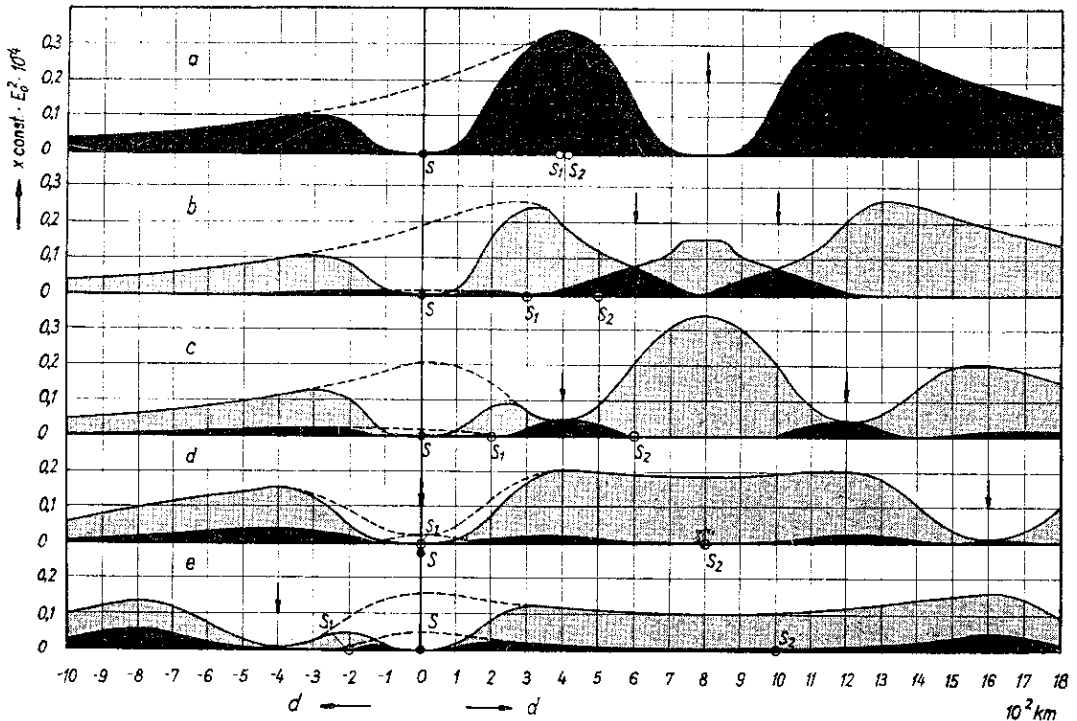


Abb. 7. Verlauf des Störmodulationsgrades in Abhängigkeit von der Entfernung  $d$  des Empfängers vom gestörten Sender  $S$  bei verschiedenem Abstand der störenden Gleichwellensender  $S_1$  und  $S_2$  (Halbwellenantenne  $h > \lambda/2$ )

modulationsgrad sehr gering ist, da dort die Bodenwellenfeldstärke die Raumwellenfeldstärke stark übersteigt und somit  $\frac{r}{r+b}$  praktisch den Wert Null besitzt. Die Voraussetzung gilt für den Fall einer niedrigen Antenne ( $l < \frac{\lambda}{4}$ ) des gestörten Senders. Da die Abb. 2 und 4 zeigen, daß der Störmodulationsgrad durch Verwendung schwundmindernder Antennen bei den Störsendern wesentlich verringert werden kann, ist die Frage von Interesse, welcher Einfluß die Verwendung schwundmindernder Antennen beim gestörten Sender zu erwarten ist. In Abb. 8 ist entsprechend

der Abb. 3 der Verlauf der Raum- ( $r$ ) und der Bodenwellen ( $b$ ), sowie des Verhältnisses  $\frac{r}{r+b}$  in Abhängigkeit von der Entfernung eingetragen. Würde man in den Abb. 2 und 7 den mit den aus Abb. 8 ermittelten Werten  $\frac{r}{r+b}$  für schwundmindernde Antennen berechneten Verlauf des tatsächlichen Störmodulationsgrades eintragen, so würde sich eine nur unerhebliche Änderung des Kurvenverlaufs in der Umgebung des gestörten Senders gegenüber den Kurven für eine  $\lambda/4$ -Antenne des gestörten Senders ergeben. Praktisch ändert sich sonst an den Er-

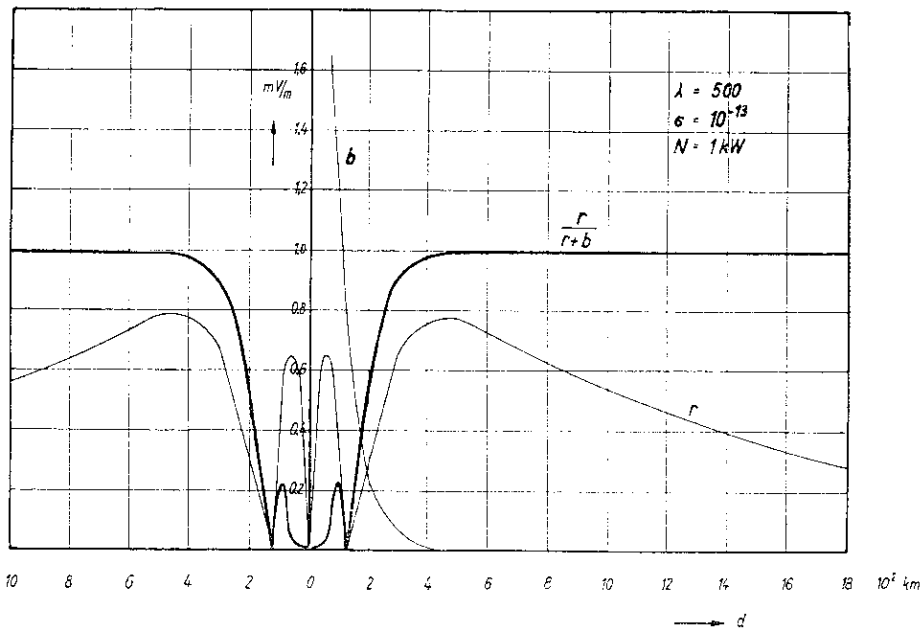


Abb. 8. Verlauf der Raumwellen ( $r$ )- und Bodenwellenfeldstärke ( $b$ ) sowie des Verhältnisses  $\frac{r}{r+b}$  in Abhängigkeit von der Entfernung (Halbwellenantenne  $h > \lambda/2$ )

gebissen nichts. Da bei zwei Gleichwellensendern gegenüber einem Einzelsender sich der Störmodulationsgrad verringert, soll ferner noch die Frage untersucht werden, ob bei gleichbleibender Gesamtleistung sich der Störmodulationsgrad weiter vermindert, wenn die Zahl der Gleichwellensender erhöht wird.

Die z. B. von drei Gleichwellensendern, die in einer Reihe liegen sollen, hervorgerufene resultierende Feldstärke am Reflexionspunkt der Ionosphäre ist unter der Annahme niedriger Antennen ( $l < \lambda/4$ )

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

$$= E_0 \left[ \frac{d/2 - D_1}{\sqrt{H^2 + (d/2 - D_1)^2}} \sin \left[ \omega \left( t - \sqrt{H^2 + \left( \frac{d}{2} - D_1 \right)^2} \right) \right] \right. \\ + \frac{d/2 - D_2}{\sqrt{H^2 + (d/2 - D_2)^2}} \sin \left[ \omega \left( t - \sqrt{H^2 + \left( \frac{d}{2} - D_2 \right)^2} \right) + \xi \right] \\ \left. + \frac{d/2 - D_3}{\sqrt{H^2 + (d/2 - D_3)^2}} \sin \left[ \omega \left( t - \sqrt{H^2 + \left( \frac{d}{2} - D_3 \right)^2} \right) + \psi \right] \right]$$

Die Feldstärken schwanken dabei zwischen den Grenzwerten

$$\begin{aligned} A + B + C \\ A + B - C \\ A - B + C \\ A - B - C \end{aligned}$$

und dementsprechend die Störmodulationsgrade zwischen den Werten

$$\begin{aligned} M &= \text{const} \cdot E_0^2 (A + B + C)^2, \\ M &= \text{const} \cdot E_0^2 (A + B - C)^2, \\ M &= \text{const} \cdot E_0^2 (A - B + C)^2, \\ M &= \text{const} \cdot E_0^2 (A - B - C)^2. \end{aligned}$$

In der Umgebung des gestörten Senders ist unter Berücksichtigung der Bodenwelle wieder der tatsächliche Störmodulationsgrad

$$m = M \frac{r}{r + b},$$

der mit wachsendem Abstand sich immer mehr dem Wert

$$m \approx M$$

nähert und schließlich praktisch mit ihm zusammenfällt. In Abb. 9 ist der Verlauf der Grenzwerte des Störmodulationsgrades eingetragen. Die Helligkeit der Flächen soll einen Hinweis auf die Häufigkeit geben, mit der sich der Störmodulationsgrad verteilt, wobei die hellsten Flächen der geringsten Häufigkeit entsprechen. Zum Vergleich sind in Abb. 9a die Verteilung des Störmodulationsgrades bei einem Einzelsender, in Abb. 9b und 9c die zweier Gleichwellensender jeweils gleicher Gesamtleistung eingetragen. Dabei zeigen Abb. 9b und c wiederum, daß mit zunehmendem Abstand der Sender der Störmodulationsgrad kleiner wird. Der Vergleich der Kurven der Abb. 9 ergibt somit, daß sich mit wachsender Zahl der Gleichwellensender der Störmodulationsgrad weiter verringert.

Schrifttum:

- [1] Försterling, K., Über die gegenseitige Beeinflussung zweier elektrischer Wellen in der Heavisideschicht. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 45, Heft 5 (1955) 145.
- [2] Wagner, K. W., Versuche über die gegenseitige Modulationsbeeinflussung elektrischer Wellen (Luxemburg-Effekt). (Expériences sur „l'interaction“ des ondes.) Onde électr. 14, Nr. 159 (1955) 152.
- [3] Graffi, D., Der Luxemburg-Effekt. (L'effetto Lussemburgo.) Alta Frequenza 5, Nr. 1 (1956) 42.
- [4] Bailey, V. A., Einige durch elektrische Wellen in der Ionosphäre verursachte Effekte. (On some effects caused in the ionosphere by electric waves.) Philos. Mg. 23, Nr. 157 (1937) 929.
- [5] Bäumlér, M. u. Pfitzer, W., Untersuchung der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung elektrischer Wellen mit deutschen Rundfunksendern. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 46, Heft 6 (1955) 181.
- [6] Pfitzer, Untersuchung der gegenseitigen Modulationsbeeinflussung elektrischer Wellen (Luxemburg-Effekt) mit deutschen Rundfunksendern. Technischer Bericht des Reichpostzentralamts Nr. 653 vom 2. 4. 1935.
- [7] Großkopf, J., Die gegenseitige Modulationsbeeinflussung elektromagnetischer Wellen in der Ionosphäre. Hochfrequenztechnik u. Elektroak. 51, Nr. 1 (1938) 18.
- [8] F. Vilbig, Der Gleichwellendrahtfunk, Europ. Fernsprechdienst 1938 Nr. 48, S. 26.
- [9] F. Vilbig, Lehrbuch der Hochfrequenztechnik. 2. Aufl. 1939 Akademische Verlagsgesellschaft.

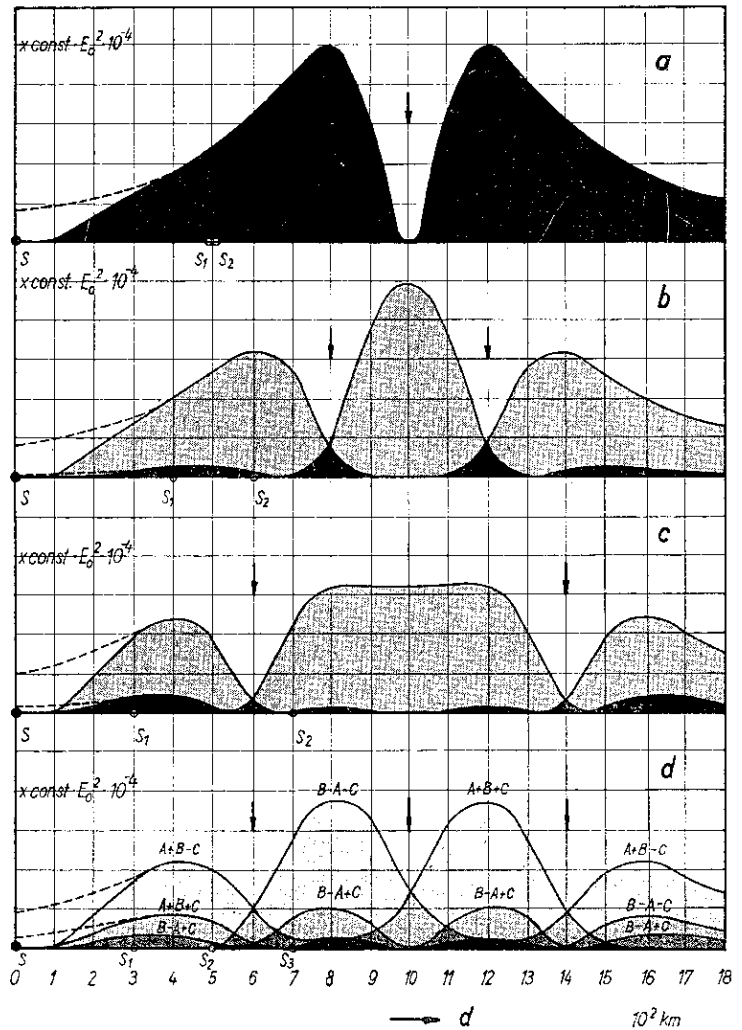


Abb. 9. Verlauf des Störmodulationsgrades in Abhängigkeit von der Entfernung  $d$  des Empfängers vom gestörten Sender  $S$  bei verschiedenem Abstand der Störsender  
 a) für einen  
 b) und c) für zwei  
 d) für drei Gleichwellensender  
 (Niedrige Antennen  $h < \lambda/4$ )