

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1965/1966
Leitung: Abteilung für Übermittlungstruppen, Oberstdivisionär E. Honegger

Störbeeinflussung zwischen Funkgeräten im massierten Einsatz

Referent: A. Zimmermann

Störbeeinflussung zwischen Funkgeräten im massierten Einsatz

Es ist allgemein bekannt, dass sich Funkgeräte, welche auf verschiedenen Frequenzen arbeiten, gegenseitig stören können, wenn zwischen den Geräten, bzw. zwischen ihren Antennen nicht ein genügender, räumlicher Abstand eingehalten wird. Unter Störung soll im Nachfolgenden nicht etwa ein Gerätedefekt, sondern eine Beeinträchtigung der normalen Uebermittlung verstanden werden. Grundsätzlich können zwischen beliebigen Funkgeräten solche Störungen auftreten. Wir wollen uns aber auf den massierten Einsatz von gleichartigen Kleinfunkgeräten beschränken, um die Uebersicht nicht zu verlieren.

Damit die zu behandelnden Effekte nicht nur prinzipiell, sondern auch zahlenmässig dargestellt werden können, stützen sich die Angaben auf ein neues volltransistorisiertes Kleinfunkgerät mit folgenden mittleren Daten:

- Empfängerempfindlichkeit	0,2 μ V
- Sendeleistung	0,5 ... 0,9 W
- Phasenmodulation mit einem Spitzenhub von	\pm 5 kHz
- Frequenzbereich, 4 m-Band	77,5 ... 87,5 MHz
- Gewicht	1,8 kg
- Volumen	ca. 1,1 l

Mit solchen modernen, tragbaren Kleinfunkgeräten lässt sich bei einer Sendeleistung von 0,5 W und einer Empfängerempfindlichkeit von 0,2 μ V eine Funkstreckendämpfung von 148 db überbrücken. Je nach verwendeter Antenne und je nach Gelände können damit sehr unterschiedliche Reichweiten erzielt werden.

BILD 1:

Im Bild 1 sehen wir die Streckendämpfung als Funktion der Distanz für 20% Ortswahrscheinlichkeit und mittleres Gelände, für eine Frequenz im 4m-Band und zwei verschiedenen Antennen. Mit der normalen $\lambda/4$ Geräteantenne erreicht man mit 20% Ortswahrscheinlichkeit eine Distanz von ca. 7 km, bei beidseitiger Verwendung von Fernantennen 3m über Boden eine Distanz von ca. 20 km. Die hohe Uebertragungsdämpfung von 148 db ist erwünscht, auch wenn der Einsatz der Geräte normalerweise auf kürzere Distanz erfolgt, da der Einfluss der Antennenstandorte und des Zwischengeländes beträchtliche Abweichungen von der berechneten Uebertragungsdistanz in negativem oder positivem Sinn ergeben kann (siehe die statistische Verteilung der Feldstärke).

Sollen nun mehrere Funkgeräte auf relativ engem Raum, z.B. im Militär in Kommandoposten oder bei der SBB in Bahnhöfen in verschiedenen Netzen, d.h. auf verschiedenen Frequenzen, betrieben werden, so können sich die Geräte unter Umständen gegenseitig stören. Wie wir aus der Kurve sehen, beträgt die Streckendämpfung für eine Distanz von 10 m nur noch ca. 30 db. Den Rest von 148 - 30 =

-2-

118 db müssen die Geräte selbst aufbringen, um sich auf die Distanz von 10 m nicht gegenseitig zu stören. Wie wir noch sehen werden, ist diese hohe Anforderung nicht in jedem Falle erfüllbar.

Die Störungsursachen können ganz verschiedenartigen Ursprungs sein, sie können sowohl beim Sender wie auch beim Empfänger liegen.

BILD 2:

Bild 2 zeigt je die vier wichtigsten Störursachen beim Empfänger und beim Sender.

- Empfänger:
- a) Ungenügende Selektion
 - b) Nebenempfangsstellen
 - c) Intermodulation
 - d) Empfindlichkeitsschwund
- Sender:
- e) Modulationsspektrum
 - f) Nebenwellen
 - g) Seitenbandrauschen
 - h) Seitenbandstörungen durch Stromversorgung

Wir sehen die Lage der einzelnen Störursachen im Frequenzband, bzw. die verschiedenen Einwirkungen des Störsenders auf den Empfänger, denn die Störung wird sich immer im Empfänger bemerkbar machen ob die eigentliche Ursache nun bei ihm selbst oder beim Sender liegt.

Es ist uns praktisch nicht möglich diese Störungen vollständig unwirksam zu machen, denn einerseits darf der Preis der Geräte nicht beliebig ansteigen und andererseits hat ein Funkgerät in erster Linie die Aufgabe als Uebermittlungsmittel für grössere Distanzen zu dienen. Diese Hauptforderungen bestimmen die Grundkonzeption des Gerätes, womit auch schon die Anlagen für die Störbeeinflussung auf kurze Distanzen festgelegt sind. Es ist dann die Aufgabe des Geräteentwicklers, die Detailschaltungen und den Aufbau zu wählen, dass ein vernünftiger Kompromiss zwischen verschiedenen, einander widersprechenden Forderungen zu einem brauchbaren Gerät führt.

Im Nachfolgenden soll nun jede einzelne Störungsursache etwas näher betrachtet werden.

BILD 3:

a) Störung infolge ungenügender Selektion

Zur Trennung der Empfangskanäle werden im ZF-Teil in jedem Fall elektrische (LC) oder mechanische Filter (Quarzfilter; magnetostruktive Filter) benötigt. Der Uebergang vom Durchlassbereich zum Sperrbereich erfolgt je nach Aufwand mehr oder weniger steil. Eine statisch gemessene Dämpfung von 80 ... 90 db im Nachbarkanal wird für ein tragbares Kleinfunkgerät als gut betrachtet. Eine weitere Erhöhung der Selektion über diesen Wert hinaus bringt praktisch keine Verbesserung mehr, da dann eine Störung nicht mehr durch den Träger des Störsenders, sondern durch dessen Modulationsseitenbänder erfolgt, wie

-3-

wir noch sehen werden. Im doppelten Kanalabstand ist die Selektion in den meisten Fällen so gross, dass die andern Störungsursachen sowieso überwiegen.

BILD 4:

b) Nebenempfangsstellen

Jeder Ueberlagerungsempfänger hat grundsätzlich Nebenempfangsstellen. Ihre Lage ist gegeben durch die Gleichung

$$f_s = \frac{m f_o + f_z}{n}$$

f_s = Störfrequenz

f_o = Oszillatorfrequenz

f_z = Zwischenfrequenz

m, n = beliebige ganze Zahlen

Für unsere Betrachtungen sind nur diejenigen interessant, welche in das benutzte Frequenzband von 77,5 ... 87,5 MHz fallen. Bei Berücksichtigung aller Ordnungszahlen m & n bis 10 fallen etwa 12 Störfrequenzen in das betrachtete Band. Ihre Störfähigkeit nimmt ab mit zunehmendem Abstand vom Nutzkanal und höherer Ordnungszahl.

Ausser den vorerwähnten Nebenempfangsstellen, verursacht durch den ersten Ueberlagerungsozillator, gibt es vorallem im Durchlassbereich des HF-Kanals (ca. ± 1 MHz) auch noch Empfangsstellen, an deren Zustandekommen der zweite Ueberlagerungsozillator beteiligt ist, wenn in der 1. ZF nicht für eine genügende Selektion gesorgt wird. Bei dem besprochenen Gerät erfolgt die Selektion durch ein Quarzfilter in der ersten Zwischenfrequenz, so dass die zweite Mischstufe keine Nebenempfangsstellen bringt.

Die Dämpfung der Nebenempfangsstellen beträgt bei diesem Gerät mehr als 80 db. Die meisten Störungen treten sogar erst oberhalb 100 ... 110 db auf, wo dann die HF-Stufe und 1. Mischstufe durch das starke Eingangssignal vollständig übersteuert werden, was die Bildung von Oberwellen höheren Grades begünstigt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Störungen durch Nebenempfangsstellen über das ganze Band möglich sind. Zwischen 80 und 100 db Dämpfung lässt sich ein Nebenwellenplan aufstellen und bei der Frequenzwahl berücksichtigen. Ab 110 db nimmt die Zahl der Nebenempfangsstellen stark zu, so dass eine Berücksichtigung bei der Frequenzplanung schwierig sein wird.

BILD 5:

c) Intermodulation

Wirken zwei Sender mit ganz bestimmtem Frequenzabstand Δf und $2 \Delta f$ gleichzeitig auf den Empfänger, so kann sich infolge der Nichtlinearität der Verstärkerstufen die Sollfrequenz f_e des Empfängers bilden. Durch Kombination

-4-

des Signals von Sender 2 mit der 2. Oberwelle des Senders 1 bildet sich die Empfangsfrequenz gemäss folgender Ableitung:

Kennlinie: $i = I_0 + S \cdot \Delta u + \frac{T}{2} \Delta u^2 + \frac{W}{6} \Delta u^3 + \dots$

Sender 1: $A \cdot \cos \omega_1 t$

Sender 2: $B \cdot \cos \omega_2 t$

$\Delta u:$ $A \cdot \cos \omega_1 t + B \cdot \cos \omega_2 t$

Δu in die Kennliniengleichung eingesetzt ergibt:

$i = I_0$	Gleichstrom im Arbeitspunkt
$+ \frac{T}{4} (A^2 + B^2)$	Richtstrom
$+ (SA + \frac{W}{8}A^3 + \frac{W}{4}AB^2) \cos \omega_1 t$	Grundwelle ω_1
$+ (SB + \frac{W}{8}B^3 + \frac{W}{4}A^2B) \cos \omega_2 t$	Grundwelle ω_2
$+ \frac{T}{4} A^2 \cos 2\omega_1 t$	2. Harmonische von ω_1
$+ \frac{T}{4} B^2 \cos 2\omega_2 t$	2. Harmonische von ω_2
$+ \dots$	3. Harmonische
$+ \dots$	Kombinationsfrequenzen $\omega_1 \pm \omega_2$
$+ \frac{W}{8} A^2 B \cos (2\omega_1 - \omega_2)t$	Kombinationsfrequenz $2\omega_1 - \omega_2$
$+ \dots$	
$+ \dots$	

Für die Bildung der Intermodulation dritten Grades interessiert vor allem $2\omega_1 - \omega_2$:

Sender 1:	$2 \times (f_e + \Delta f + m_1)$	$= 2 f_e + 2 \Delta f + 2 m_1$
Sender 2:	$-(f_e + 2 \Delta f + m_1)$	$= \frac{(f_e + 2 \Delta f + m_2)}{+2m_1 - m_2}$

-5-

f_e : Empfangsfrequenz
 Δf : Frequenzabstand
 m_1 : Modulation des Senders 1
 m_2 : Modulation des Senders 2

Wir erhalten also aus den beiden Frequenzen unsere Empfangsfrequenz moduliert mit den Modulationen der beiden Störsender. Beim Sender 1 findet eine Hubverdoppelung statt, was die Breitbandigkeit der Störung erhöht.

Eine genau gleichartige, aber in ihrer Wirkung schwächere Störung erfolgt durch zwei Sender mit den Frequenzabständen $2\Delta f/3\Delta f$, $3\Delta f/4\Delta f$ usw.

Die Intermodulationsstörung ist am ausgeprägtesten innerhalb der Schaltbreite, d.h. der HF-Durchlassbandbreite von ca. $\frac{1}{2}$ MHz, weil bis zur 1. Mischstufe keine Abschwächung der Störsender erfolgt.

Die Intermodulationsfestigkeit beträgt für Δf 50/100 kHz 65 db (beide Sender gleich stark ankommend). Intermodulationsstörungen höheren Grades sind zu etwa 80 db Abstand gemessen worden.

Bei der Frequenzplanung sind nach Möglichkeit konstante Frequenzabstände zu vermeiden, um Intermodulationsstörungen dritten Grades auszuschliessen.

d) Empfindlichkeitsschwund

Sämtliche bekannten Verstärkeranordnungen haben einen begrenzten Aussteuerungsbereich. Wird eine bestimmte Eingangsspannung überschritten, so findet eine Begrenzung des Ausgangssignals statt. Beim FM-Empfänger wird dieser Effekt bewusst ausgenutzt zur Befreiung des Nutzträgers von unerwünschter Amplitudenmodulation und von andern Störsignalen wie Rauschen und Impulsstörungen. Treffen zwei Signale auf einen Begrenzer, so wird das schwächere nahezu vollständig unterdrückt, sobald das Verhältnis der beiden Spannungen grösser als etwa zwei ist.

Ein ähnlicher Effekt tritt an der Eingangsstufe eines Empfängers oder an der ersten Mischstufe unter dem Namen Empfindlichkeitsschwund auf. Ein schwaches Nutzsignal wird beim Eintreffen eines starken Störträgers anderer Frequenz verdrängt, ohne dass von der Modulation des Störträgers etwas bemerkt wird, da dieser sich weit ausserhalb des Durchlassbereiches befinden kann.

Wenn wir uns in Bild 5 nochmals die Gleichungen ansehen, die für das Aussteuern einer nichtlinearen Kennlinie mit zwei Signalen massgebend sind, sehen wir, dass die Grundwelle für ω_1 nicht nur von A, sondern auch von der Amplitude B der Frequenz ω_2 abhängt.

Da die dritte Ableitung der Kennlinie W normalerweise negativ ist, erkennt man sofort, dass für genügend grosses B als Folge die Grundwelle geschwächt, oder gar ausgelöscht werden kann.

-6-

Da sowohl für den Empfindlichkeitsschwund als auch für die Intermodulation dritten Grades die dritte Ableitung W der Übertragungskennlinie massgebend ist, besteht ein fester Zusammenhang zwischen Empfindlichkeitsschwund und Intermodulation. Definieren wir den Empfindlichkeitsschwund als Verhältnis der Störspannung zur Nutzspannung bei einem Verstärkungsabfall von 3 db, so gilt

$$E_{db} = 1,5 \cdot J_{db} - 8 \text{ db}$$

Mit einer Intermodulationsfestigkeit von 65 db erhalten wir für den Empfindlichkeitsschwund 89 db, jeweils auf ein Nutzsignal von 0,2 μ V bezogen.

BILD 6:

Wegen der geringen Selektion des Antennenkreises ist dieser Effekt über den ganzen Frequenzbereich von 10 MHz bemerkbar. Innerhalb der HF-Durchlassbreite beträgt der Abstand zwischen minimalem Empfängernutzsignal und Störsendersignal 90 ... 110 db, um in 10 MHz-Abstand gegen 120 db und mehr anzusteigen.

BILD 7:

e) Modulationsspektrum

Bei Frequenzmodulation werden nicht wie bei Amplitudenmodulation nur die Seitenbänder mit dem Abstand der Modulationsfrequenz, sondern ein sehr viel breiteres Spektrum ausgesendet. Dies gilt auch noch, wenn Übermodulation durch einen Hubbegrenzer mit nachfolgendem Tiefpassfilter verhindert wird. Der Verlauf der Modulationsspektren lässt sich messen oder mit Hilfe der Besselfunktionen berechnen. Es liegen auch Angaben über Messungen für Sprachmodulation vor.

Anstelle von Sprachmodulation kann mit guter Näherung weisses Rauschen verwendet werden, dessen Spitzen durch den Hubbegrenzer beschnitten werden. Wie in Bild 7 ersichtlich, wird das so gemessene Spektrum etwas weniger breit, als dasjenige eines reinen Sinustones von 3 kHz. Bis zu etwa 60 db Dämpfung stimmen alle Messungen gut mit den berechneten Spektren überein. Ab 60 db biegen die gemessenen Kurven ab, was offenbar auf geringe Unlinearitäten der Modulationskennlinie und Störungen durch Eigenrauschen zurückzuführen ist. Im Abstand von 20 kHz vom Träger ergibt sich eine Dämpfung von etwa 70 db. Dieses Spektrum ist physikalisch bedingt und lässt sich ohne Reduktion des Spitzenhubes oder der max. NF-Modulationsfrequenz nicht verschmälern. (Die an sich mögliche Verwendung eines Quarzfilters nach der Modulation scheidet aus Preisgründen aus.)

Bei einem optimal dimensionierten System wird sich die Empfängerselektionskurve eng an die Umhüllende des Seitenbandspektrums anschmiegen. Jede weitere Verteilerung der Bandfilterflanken bedingt nur vermehrten Aufwand, ohne dass praktisch ein Nutzen resultiert (mit Ausnahme von Störungen durch unmodulierte Träger).

BILD 8:

f) Nebenwellen

Da die Senderausgangsfrequenzen beim besprochenen Gerät nicht direkt erzeugt wird, sondern durch Mischung aus der Frequenz des Hauptoszillators (66,8 ... 76,8 MHz) mit der modulierten Zwischenfrequenz 10,7 MHz entsteht, sind grundsätzlich Nebenwellen zu erwarten. Eine in der Frequenz konstante Störung für

-7-

alle Geräte ergibt die 8. Harmonische von 10,7 MHz = 85,6 MHz mit einem verachtfachen Hub, also Δf ca. ± 40 kHz. Der Abstand gegenüber dem Nutzträger liegt etwa bei 70 ... 90 db. Durch den stark nichtlinearen Senderverstärker ergeben sich in diesem Zusammenhang weitere etwa gleich starke Störungen entsprechend der Gleichung

$$f_s = m f_0 \pm n f_z$$

Weil diese Störungen je nach Senderfrequenz im ganzen Band von 77,5 ... 87,5 MHz auftreten können, müssen sie bei einer Frequenzplanung berücksichtigt werden.

Die Störwirkung ist umso stärker, je näher die Störfrequenz bei der Sollfrequenz liegt, weil dann die Selektion des Senderverstärkers unwirksam wird.

BILD 9:

g) Seitenbandrauschen

Aus der Literatur (Frequenz Bd. 15/1961 Nr. 6 und Bulletin des SEV Bd. 47/1956 Nr. 12) ist bekannt, dass jeder Sender, auch im unmodulierten Zustand, nicht nur eine diskrete Trägerfrequenz, sondern auch ein breites Rauschspektrum ausstrahlt. Dessen Ursache liegt im Grundgeräusch der verwendeten Röhren, bzw. Transistoren, welches sich der Trägerfrequenz überlagert. Während über Transistorsender noch keine diesbezüglichen Angaben bekannt sind, kennt man das Senderrauschen bei Röhrengeräten, welches je nach Frequenzabstand 70 ... 120 db unter der Trägerleistung liegt.

Da die Seitenbandstörungen durch die Stromversorgung (Vibrator, Transistorumformer, etc.) meistens überwiegen, soll das Seitenbandrauschen hier nicht weiter untersucht werden; es liegt auch bei Transistorgeräten mehr als 90 db unter der Trägerleistung, wie eigene Messungen gezeigt haben.

h) Seitenbandstörungen durch die Stromversorgung

Erfolgt die Gleichstromversorgung des Senders nicht direkt aus einer Batterie, sondern über den Umweg eines mechanischen Zerhackers oder eines Transistorumformers, so ist als Folge davon mit einem erhöhten Geräuschpegel des Senders zu rechnen. Je nach der Flankensteilheit der normalerweise erzeugten Rechteckimpulse ergibt sich ein mehr oder weniger breites, der Senderfrequenz überlagertes Spektrum. Die einzelnen Spektrallinien haben dabei einen konstanten Abstand voneinander, entsprechend der Umformerfrequenz. Ihre Amplitude hängt von den eingesetzten Siebmitteln im Gleichrichterteil und von den Abschirmmassnahmen, die getroffen wurden, ab. Es hat sich gezeigt, dass eine möglichst "hochfrequenzdichte" Abschirmung des Transistorumformers anzustreben ist, damit nicht Hochfrequenzenergie in den Umformer gelangt, dort moduliert wird und wieder irgendwie in den Sender zurückstrahlt.

Eine unangenehme Eigenschaft dieser Störung ist, dass sich in den unlinearen Verstärkerstufen eine Modulation jeder einzelnen Spektrallinie durch das Sprachspektrum des Nutzträgers ergibt. Bei den in Transistorumformern verwendeten relativ hohen Frequenzen, z.B. 7 kHz, ergibt sich dadurch in einem durch diese Seitenbänder gestörten Empfänger ein verständliches Nebensprechen.

-8-

Dies ist in den meisten Fällen unangenehmer als eine nur die Empfindlichkeit herabsetzende Störung durch den Träger (wie z.B. beim Empfindlichkeitsschwund).

Ausser der möglichst guten Siebung aller Spannungen und einer guten Abschirmung könnte eventuell durch Wahl einer niedrigen Umformerfrequenz das Nebensprechen unverständlich gemacht werden. Da die Störung als solche aber trotzdem vorhanden wäre und eine vollständige Behebung der Umformerstörungen kaum möglich ist, ergibt sich auch hier die Notwendigkeit, den Frequenzabstand zwischen zwei örtlich unmittelbar beieinanderliegenden Funknetzen genügend gross zu wählen. Es wurden folgende Werte für den Störabstand erreicht:

$$\Delta f = 25 \text{ kHz: } 90 \text{ db}$$

$$\Delta f \Rightarrow 50 \text{ kHz: } \gg 95 \text{ db}$$

Die Differenz zwischen 148 db und dem Störabstand ist diejenige Funkstreckendämpfung, welche durch Distanzieren der beiden Geräte erreicht werden muss, wenn keine verständliche Störung auftreten soll.

BILD 2:

Zusammenfassung aller Störungsmöglichkeiten

Wie wir gesehen haben, ist für einen störungsfreien, gleichzeitigen Betrieb von mehreren Funknetzen nicht nur die Empfängerselektion massgebend, sondern es sind noch mindestens sieben andere Punkte zu berücksichtigen. Es wird dabei von einem vernünftigen Aufwand bei der Konstruktion des Gerätes ausgegangen. Einige Störabstände könnten durch spezielle, aufwendige Massnahmen noch etwas verbessert werden. Der praktisch erzielte Gewinn stände aber in keinem Verhältnis zum notwendigen Aufwand. Wir müssen uns daher mit den Tatsachen abfinden und durch eine richtige Frequenzplanung und vernünftigen Einsatz der Geräte die effektiven Störungen auf ein Minimum reduzieren.

Mit der Frequenzplanung lassen sich die Störungen durch b) Nebenempfangsstellen, f) Nebensendestellen, c) Intermodulation, e) Störungen durch das Modulationsspektrum und sofern überhaupt notwendig, a) Störung durch ungenügende Selektion, weitgehend vermeiden.

Die Störungen d) Empfindlichkeitsschwund, g) Seitenbandrauschen und h) Seitenbandstörungen durch die Stromversorgung, sind nur durch räumlich genügende Distanzierung der Geräte vermeidbar, vor allem für relativ enge Frequenzabstände.

BILD 10:

Wir sehen, dass alle Störungen, Dämpfungen von etwa 90 ... 110 db gegenüber dem Nutzsignal aufweisen, mit Ausnahme der Intermodulation, der Nebensendefrequenzen und des Modulationsspektrums, welche bei 60 ... 70 db liegen.

Betrachten wir nur die im betreffenden Frequenzabstand am meisten wirkende Störung, wobei wir noch aufteilen in stets vorhandene Störungen und auf diskrete Frequenzen beschränkte Störungen, erhalten wir Bild 11.

-9-

BILD 11:

Durch Uebertragung der Funkstreckendämpfung lässt sich je ein Distanzmasstab anbringen für die beiden Antennen $\lambda/4$ -Stab und Fernantenne. Man sieht, dass je nach Antenne und je nach Frequenzabstand für die konstanten Störungen eine räumliche Distanzierung der Geräte von 5 ... 100 m gefordert werden muss. Selbstverständlich kann man die Geräte auch näher beeinander betreiben, wenn man auf die volle Ausnützung der Empfindlichkeit verzichten kann, denn ein genügend starkes Nutzsignal wird nicht gestört werden. Wenn wir beim Einsatz der Geräte darauf achten, dass wir nur in Ausnahmefällen bis an die Empfindlichkeitsgrenze von $0,2 \mu\text{V}$ gehen, so werden uns im allgemeinen die besprochenen Störungen nicht auffallen.

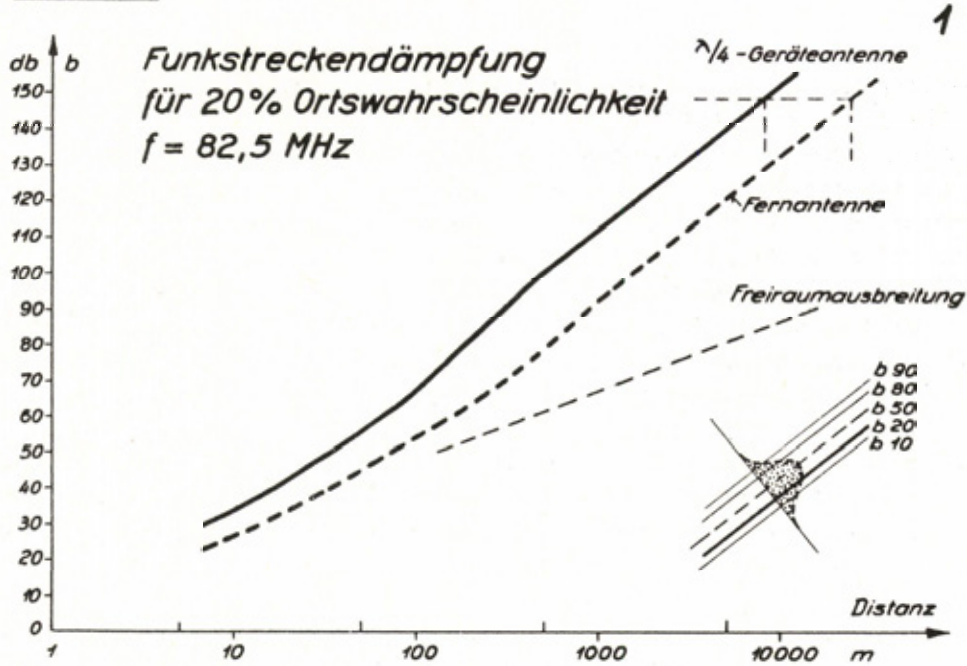
Man kann es auch anders ausdrücken und sagen, dass bei unmittelbar nebeneinander betriebenen Geräten verschiedener Frequenz eine Nutz-Verbindung auf eine Distanz von einem Km oder weniger, im allgemeinen nicht gestört werden kann. (Bei mittleren Ausbreitungsverhältnissen).

Bei den diskreten Störungen, vor allem bei den Nebensendefrequenzen und der Intermodulation hilft nur eine Frequenzplanung, wenn man nicht Störungen bis zu Distanzen von 500 m in Kauf nehmen will.

Abschliessend kann gesagt werden, dass es dem Geräteentwickler mehr Schwierigkeiten bereitet, ein Gerät zu machen, welches auf sehr kurze Distanzen (d.h. einige Meter) weder gestört wird, noch andere Geräte stört, als ein solches, welches sichere Verbindung über mehrere Km gestattet.

10.10.63
383/202

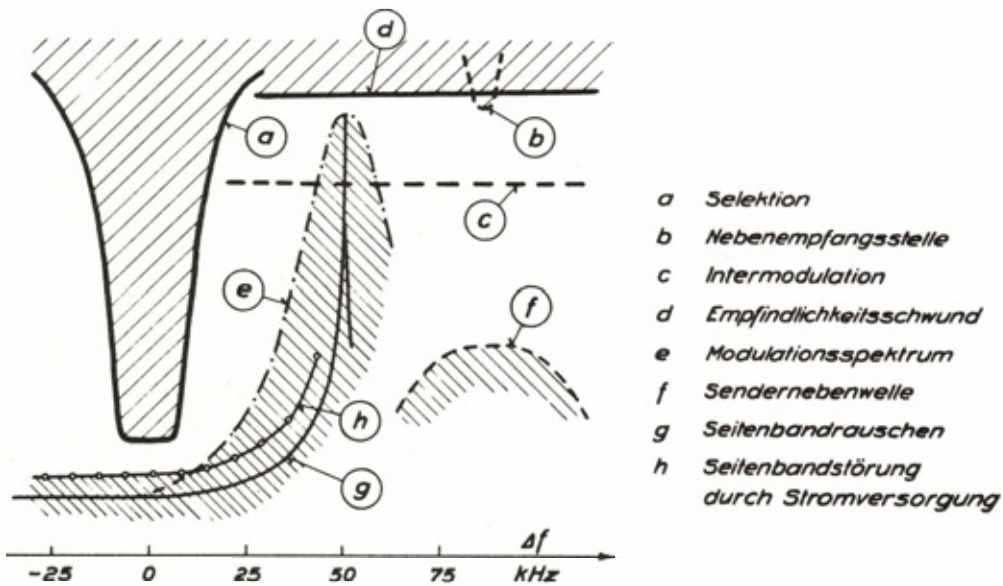
AUTOPHON



AUTOPHON

Störungsursachen bei Funkgeräten

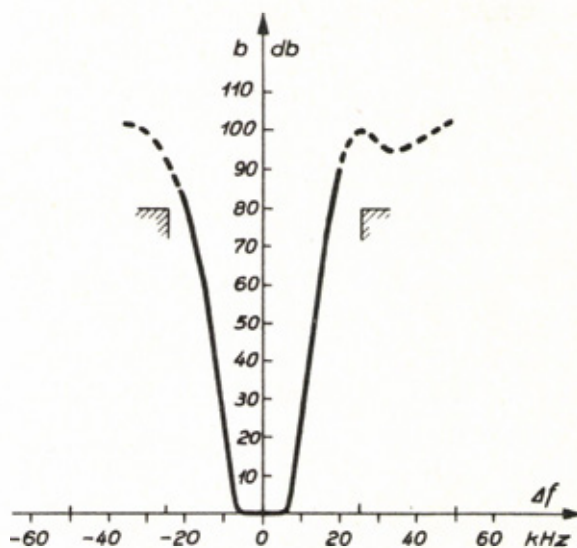
2



AUTOPHON

3

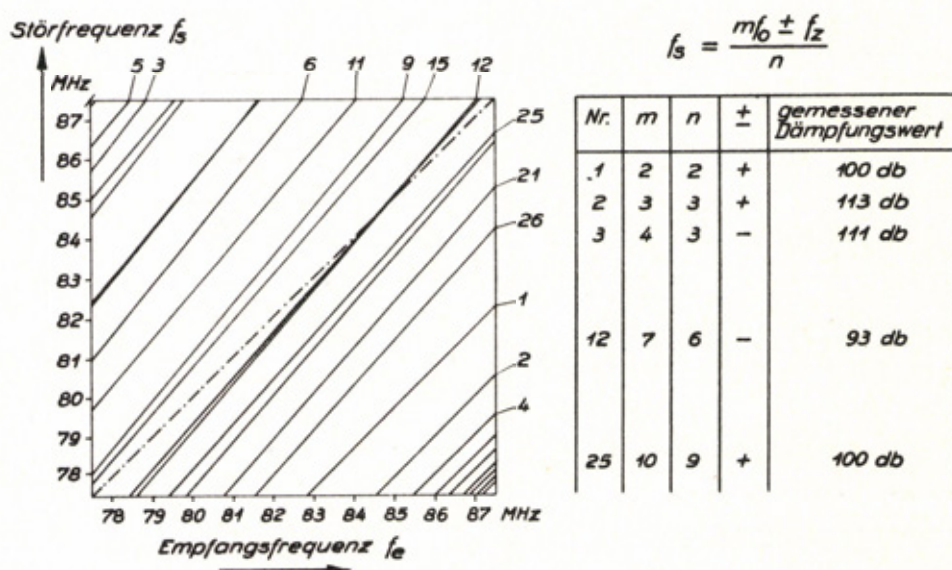
Empfängerselektion



AUTOPHON

4

Nebenempfangsfrequenzen



AUTOPHON

5

Entstehung der Intermodulation

Kennlinie: $i = I_0 + S \cdot \Delta u + \frac{T}{2} \cdot \Delta u^2 + \frac{W}{6} \Delta u^3 + \dots$

Sender 1: $A \cdot \cos \omega_1 t$ $f_1 = f_0 + \Delta f + m_1$

Sender 2: $B \cdot \cos \omega_2 t$ $f_2 = f_0 + 2 \Delta f + m_2$

$\Delta u = A \cos \omega_1 t + B \cos \omega_2 t$

Δu in die Kennliniengleichung eingesetzt ergibt:

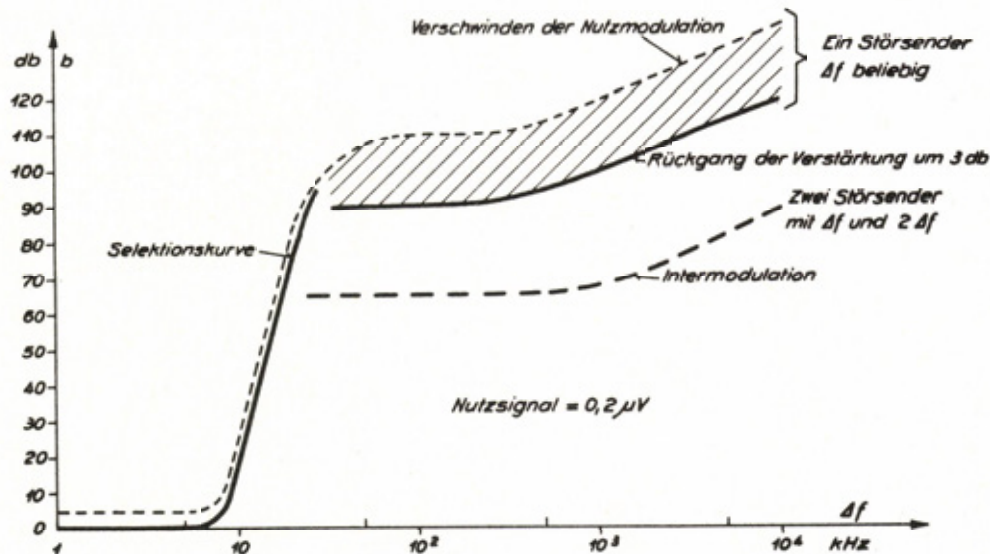
$i = I_0$	Gleichstrom im Arbeitspunkt
$+ \frac{T}{4} (A^2 + B^2)$	Richtstrom
$+ (SA + \frac{W}{8} A^3 + \frac{W}{4} AB^2) \cos \omega_1 t$	Grundwelle ω_1
$+ (SB + \frac{W}{8} B^3 + \frac{W}{4} A^2 B) \cos \omega_2 t$	Grundwelle ω_2
$+ \frac{T}{4} A^2 \cos 2 \omega_1 t$	2. Harmonische von ω_1
+
+
$+ \frac{W}{8} A^2 B \cos (2 \omega_1 - \omega_2) t$	Kombinationsfrequenz $2\omega_1 - \omega_2$
+
+

$2f_1 - f_2 = (2f_0 + 2\Delta f + 2m_1) - (f_0 + 2\Delta f + m_2) = \underline{\underline{f_0 + 2m_1 - m_2}}$

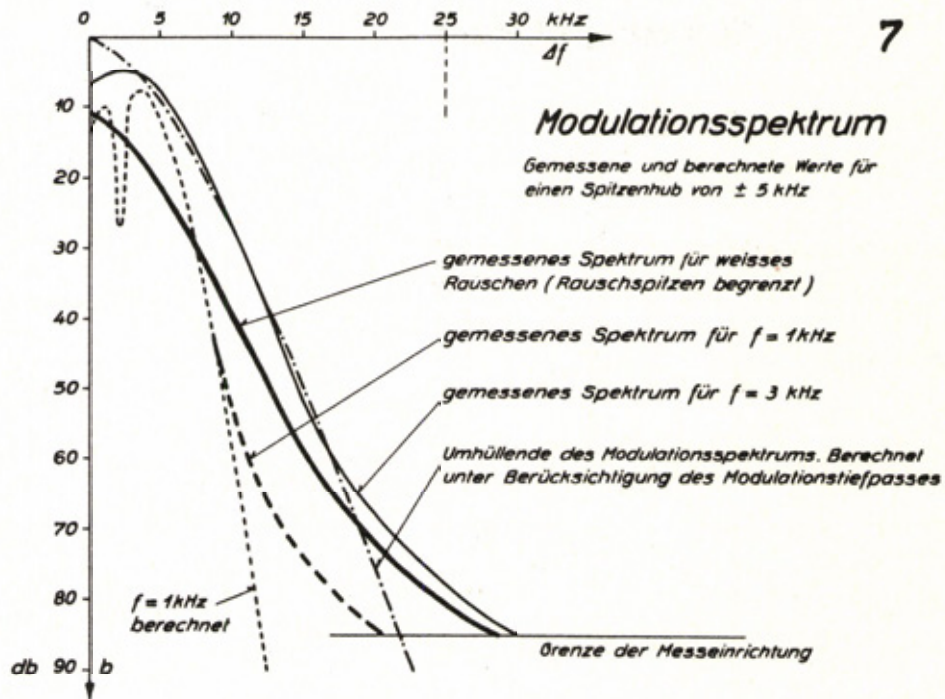
AUTOPHON

6

Intermodulation u. Empfindlichkeitsschwund



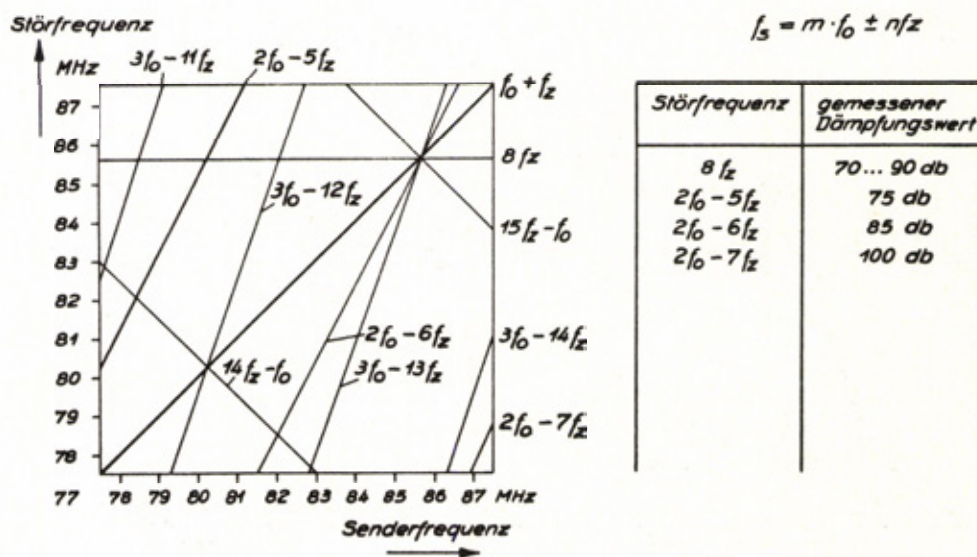
AUTOPHON



AUTOPHON

Nebensendefrequenzen

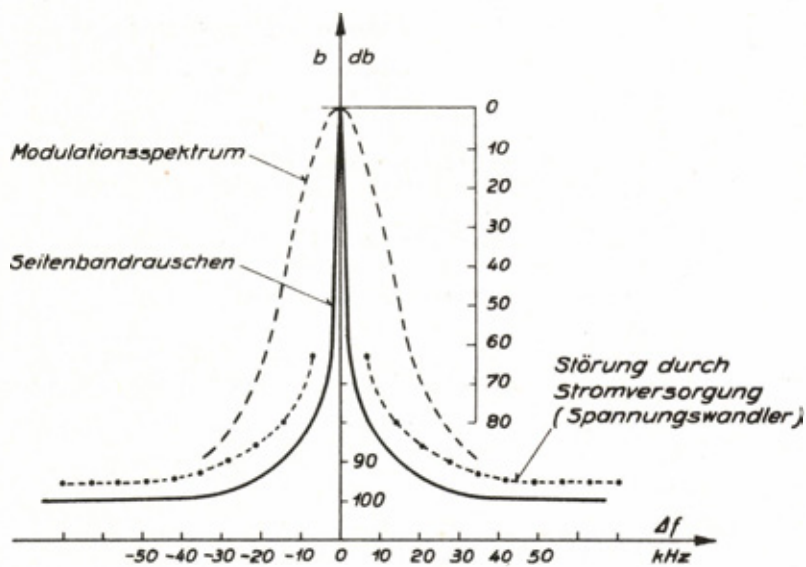
8



AUTOPHON

9

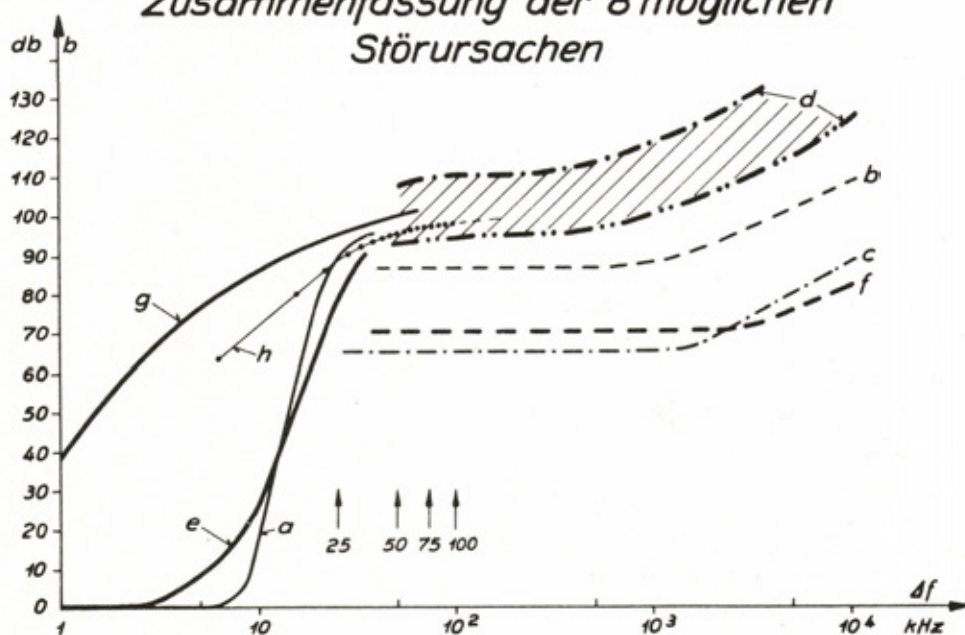
Senderspektrum



AUTOPHON

10

Zusammenfassung der 8 möglichen Störursachen



AUTOPHON

11

Zusammenfassung der wirksamen Störursachen

