HAMFU
HISTORY

INFORMATIONSTECHNIK UND ARMEE

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1993/1994
Leitung:
Bundesamt für Übermittlungstruppen
Divisionär E. Ebert, Waffenchef der Übermittlungstruppen

Schnelle Signalerfassung und Peilung mit Mehrkanal-Breitbandempfänger

Referent: Dr. K.G. Pfaff

Diese Vorlesung wurde durch die Stiftung HAMFU digitalisiert und als
PDF Dokument für www.hamfu.ch aufbereitet.

Schnelle Signalerfassung und Peilung mit Mehrkanal-Breitbandempfänger

Dr. K. G. Pfaff

Inhalt

1. Zusammenfassung
2. Heutiger Stand
3. Bedeutung der Beobachtung
4. Technische Herausforderung
5. Lösungsansätze für Kurzzeitsendungen
6. Realisierung mit Filterbankempfänger
7. Erfahrungen
8. Nachbetrachtung zum Filterbankempfänger
9. Lösungsansätze für den VHF/UHF-Bereich
10. Schlussbemerkung

Adresse des Autors:

C. Plath GmbH
Gotenstrasse 18
D-20097 Hamburg

Informationstechnik und Armee
33. Folge 1993/94

20549

1. Zusammenfassung

Schnelle Erfassung, Ortung und Identifizierung bzw. Einordnung der beobachteten Signale sind Grundvoraussetzung für eine wirkungsvolle Funkbeobachtung. "Sehende" Empfangseinrichtungen, nämlich Funkpeilempfänger bieten gegenüber üblichen Empfangseinrichtungen vom Prinzip her als zusätzliche "Sortier"-Kriterien die Einfallsrichtung und im Peilerverbund auf der Ortungsebene sogar Zielgebiete an.

Ein solcher "sehender Empfänger" soll möglichst breitbandig, frequenz- und zeitoffen sein. Im folgenden soll eine Darstellung der bisherigen Entwicklungen bis zu Geräten der neuesten Generationen gegeben werden, wobei auch auf das technische und operationelle Umfeld eingegangen wird.

Schliesslich werden verschiedene überraschende Beobachtungen vorgestellt, die ohne ein solches modernes Werkzeug mit Sicherheit nicht hätten durchgeführt werden können.

Ergänzend werden Ueberlegungen für den VHF/UHF-Bereich angestellt, wie dort mit einem modifizierten Scanverfahren möglicherweise ähnliche Ergebnisse erzielt werden können.

2. Heutiger Stand

Im Rahmen eines Funkkontrolldienstes werden über das Land verteilt an geeigneten Orten feste Stationen errichtet.

Mit der Einführung synthesizerabgestimmter Empfänger und der digitalen Kommandierung war bereits sichergestellt worden, dass die in einem Netz arbeitenden Peilempfänger

- zur gleichen Zeit
- auf die "gleiche Frequenz"

eingestellt wurden. Bezüglich der Zeitgleichheit muss allerdings die Kommandierung sorgfältig überdacht werden.

Nachdem dann auch noch die Peilwertermittlung digital vorgenommen wurde, war auch die selbsttätige Uebermittlung der Ergebnisse möglich. Insofern konnten die Systeme zumindest für Routineaufgaben weitgehend (voll-)automatisch betrieben werden. Bei über 18000 Testpeilungen (1 bis 22 MHz; 24-Stundenbetrieb), die im normalen Betrieb parallel sowohl automatisch als auch konventionell bemannt im Zeitraum von etwas über vier Wochen durchgeführt wurden, zeigte sich, dass etwa 75 % der Aufträge der Automatik überlassen werden konnten. Eine höhere Erfolgsrate ist nur durch die Einschaltung der erfahrenen Bediener erzielbar. Aus dieser Erfahrung heraus wurde die Peilbildübertragung eingeführt, wobei die am einzelnen Peilort zu beobachtenden Anzeigen in der Zentrale betrachtet und gegebenenfalls vom Operateur bewertet werden können. Viele Peilnetze sind heute mit einer derartigen Peilbildübertragung ausgerüstet.

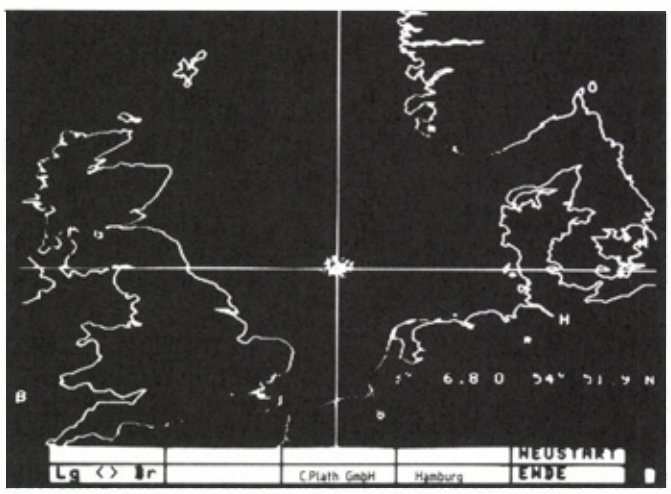


Fig. 1 Ortungsdarstellung (Punktwolke). Die Streuung erlaubt Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit

Unter Ausnutzung bekannter a priori Informationen konnte die

Datenrate auf ca. 3 Byte pro Einzelbild reduziert werden. Damit ergibt sich bei der typischen Uebertragungsgeschwindigkeit von 2400 Bd (von der Qualität her also einfache Telefonkanäle) für die Bilddarstellung eine Repetierfrequenz von 70 Bildern pro Sekunde. Für die Ortung werden alle Schnittpunkte berechnet, die sich aus den Einzelpeilungen der verschiedenen Peilstellen untereinander ergeben. Bei 8 Peilstellen müssen daher 28 Schnittpunkte berechnet werden. Für jeden Einzelpunkt stehen daher nur knapp 500 Microsekunden zur Verfügung. Aus der Streuung der so entstehenden Punktwolke(n) kann unmittelbar auf die Qualität der Ortung geschlossen werden (Fig. 1).

Wie sich gezeigt hat, sind derart aufgebaute Peilnetze ausserordentlich effizient. Menschliche Fehler, insbesondere auch die subjektive Gewichtung durch den Operateur, werden vom Prinzip her vermieden. In der Zentrale ist unmittelbar erkennbar, welche Peilstellen, z.B. aus Ausbreitungsgründen, schlechte Ergebnisse liefern, so dass diese bei der Ortungsberechnung unterdrückt werden können. (Wegen der Ausbreitungsbedingungen elektromagnetischer Wellen ist es keineswegs so, dass eine dem Senderort näher gelegene Peilstelle bessere Ergebnisse liefert.)

Für militärische Anwendungen werden häufig semimobile Anlagen in Shelter eingerüstet.

3. Bedeutung der Beobachtung

Grundsätzlich ist jede elektromagnetische Aussendung - ob gewollt oder ungewollt - interessant: dazu gehören beispielsweise auch Funkstörungen, etwa durch moderne thyristorgesteuerte Anlagen erzeugt oder durch Spannungsüberschläge an defekten Isolatoren in Hochspannungseinrichtungen und natürlich illegale Aussendungen.

Bei der militärischen Aufklärung lässt sich durch die Beobachtung des Funkverkehrs eine unbeeinflusste Bewertung der Lage ableiten. So hat beispielsweise die Station, die während des Beobachtungszeitraumes häufiger in Erscheinung tritt als andere Stationen, offensichtlich eine Zentralfunktion. Eine plötzliche Zunahme des Funkverkehrs deutet auf eine bevorstehende oder bereits begonnene Aktion hin.

Vor etwa 4 Jahren bestätigte die Funkaufklärung die von Gorbatschow in Gang gebrachte Veränderung im Sowjetblock: die Lage einer vorher eher aggressiven Haltung hatte sich deutlich in eine mehr defensiv-orientierte verändert.

Insgesamt liegt hier also eine interessante technische Aufgabe vor.

4. Technische Herausforderung

Wer im Seenotfall im Boot sitzt, möchte entdeckt werden (Fig. 2).

Auch für die Beobachtung ungewollt erzeugter Störungen (EMI) steht üblicherweise genügend Zeit zur Verfügung.

Im allgemeinen ist aber davon auszugehen, dass es die Funkaufklärung mit nicht kooperativen Partnern zu tun hat, die betrieblich oder auch mit technischen Mitteln alle Anstrengungen unternehmen, (möglichst) nicht entdeckt zu werden. Insofern werden sogenannte frequenzagile Sendeverfahren benutzt.

Hierzu gibt es vordergründig drei Verfahren:

- Beim Frequenzsprungverfahren (frequency hopping) wird die jeweilige Sendefrequenz in schnellem Rhythmus immer wieder verändert. Dabei wird angestrebt, die Verweildauer auf der jeweiligen Momentanfrequenz möglichst kurz zu halten. Da der Partner die Frequenzfolge kennt und den "Sprüngen" folgt, erhält er die Nachricht (scheinbar) unterbrechungslos. Der "Lauscher" hat kaum eine Chance.
- Beim Bandspreizverfahren (spread spectrum) wird das Sendespektrum durch eine zusätzliche Modulation um ein Mehrfaches gespreizt, so dass es mit einem unpräparierten Empfänger so gut wie nicht erfasst werden kann, unter Umständen sogar nicht einmal vom üblichen Rauschen zu unterscheiden ist. Der Partner dagegen (der im Besitz des

Schlüssels ist) ist in der Lage, mit seinem Empfänger das gespreizte Spektrum wieder zu komprimieren, so dass er die Nachricht entnehmen kann .

- Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Nachricht einem möglichst kurzen Impuls aufzumodulieren (Burst). Für einen kurzen Spruch (Dauer 3 Sekunden) mit Telefonqualität (Bandbreite 3 kHz) könnte beispielsweise die Nachricht in 30 ms übertragen werden, wenn man die Frequenzteilbänder entsprechend auf 300 kHz Bandbreite verteilt.

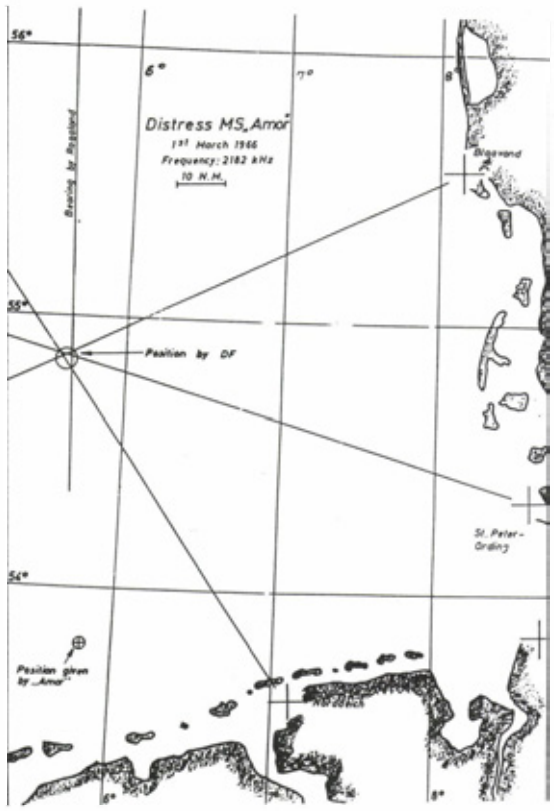


Fig. 2 Seenotfall "AMOR"

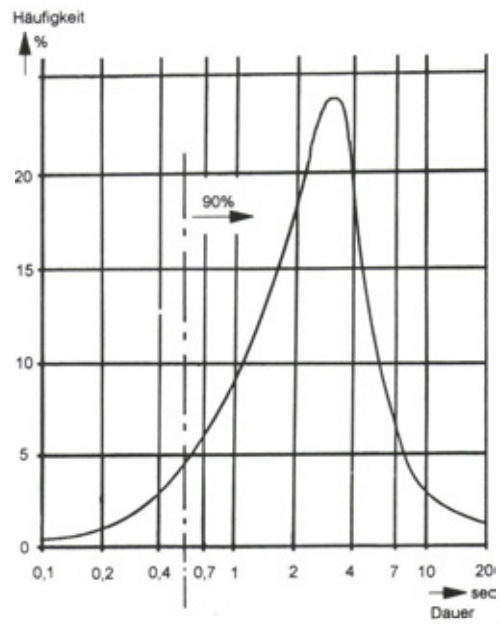


Fig. 3 Dauer von Kurzzeitsendungen

Wenn man ein gewisses Frequenzband mit einem Spektrum-Analysator betrachtet, fallen zunächst die Aussendungen mit vergleichsweise langer Sendedauer auf. Diese sind in der Regel längst bekannt und müssen nicht weiter betrachtet werden. Dazwischen treten aber immer wieder kurzzeitig andere Spektrallinien auf. Wie sich bei Versuchen gezeigt hat, sind etwa 90 % aller (Kurzzeit-) Sendungen dennoch länger als etwa 0.5 Sekunden, bieten also demnach eine gewisse Möglichkeit der Entdeckung, da - vereinfacht gesagt - mit zunehmender Sendedauer auch mehr Versuche zur Aufdeckung angestellt werden können (Fig. 3).

5. Lösungsansätze für Kurzzeitsendungen

Zur Erfassung eines grösseren Frequenzbandes bieten sich vorzugsweise zwei Verfahren an (Fig. 4):

- Absuchen des Bandes mit einem durchlaufenden Filter (Wobbelverfahren, Scanner)
- Auflösung in Teilspektren (FFT und WDF).

Der Nachteil der konventionellen Wobbel-Methode liegt bisher darin, dass die Suchgeschwindigkeit proportional zum Quadrat der für die Auflösung gewünschten Bandbreite ist. So muss beispielsweise die Suchgeschwindigkeit bei 100 Hz Bandbreite, was vorzugsweise für die Kurzwelle gilt, langsamer als 10 kHz pro Sekunde sein.

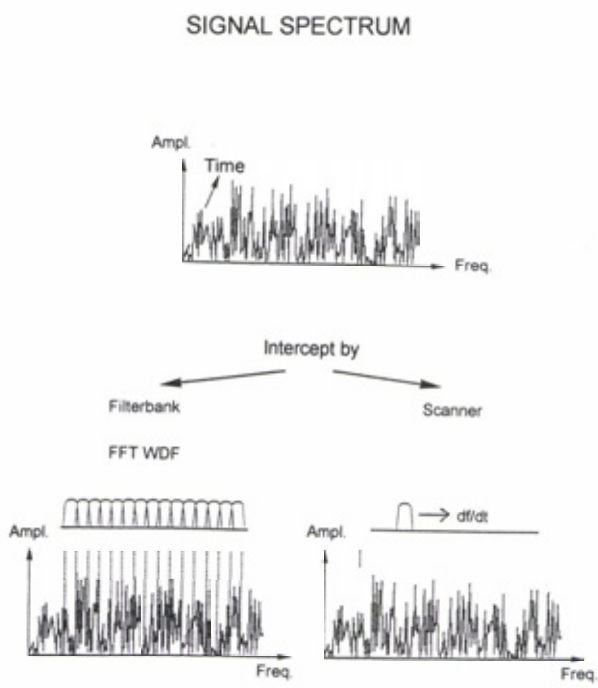


Fig. 4 Frequenzbandbeobachtung parallel und sequentiell

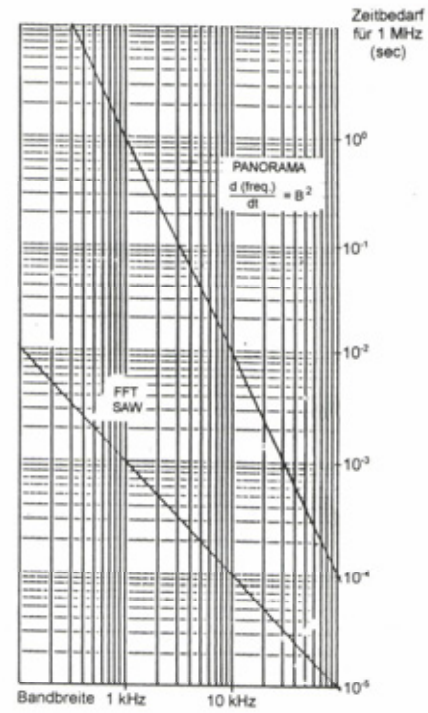


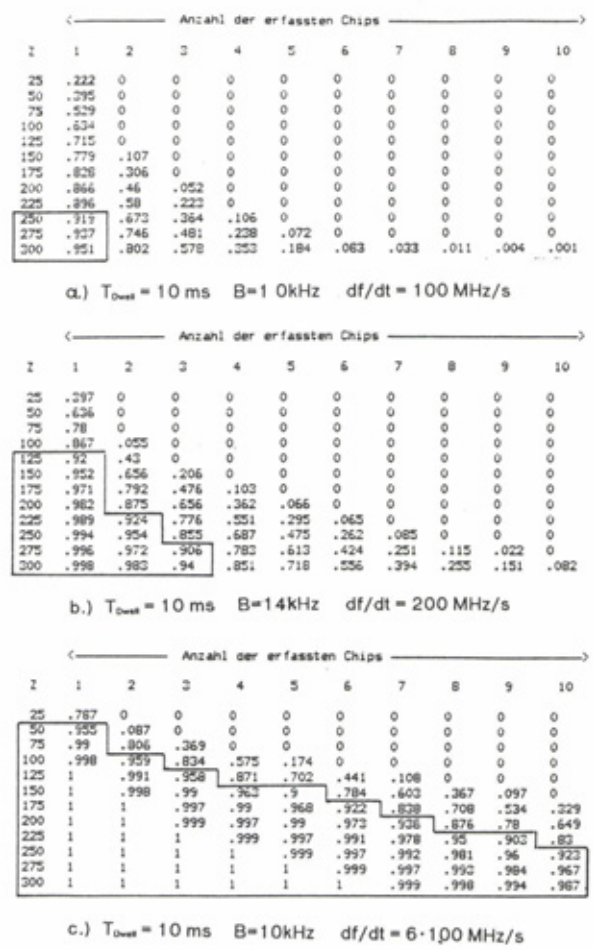
Fig. 5 Zeitbedarf und Bandbreite für ein 1 MHz Fenster bei FAST SCAN und FFT

Bei einer Auflösung von 10 kHz könnte dagegen immerhin bereits mit der respektablen Suchgeschwindigkeit von 100 MHz pro Sekunde gearbeitet werden. Aus dem Vergleich der genannten Geschwindigkeiten erkennt man, dass die Scanner-Methode im HF-Bereich, wo hohe Auflösung erforderlich ist, zur Aufdeckung frequenzagiler Aussendungen offensichtlich wenig geeignet ist.

Der Zeitbedarf zur Beobachtung eines 1 MHz breiten Frequenzbereichs in Abhängigkeit von der Selektionsbandbreite ist in Fig. 5 dargestellt.

Beim Filterbankverfahren (sehr viele Kanäle gleichzeitig parallel betrachtet), ist die "Suchgeschwindigkeit" umgekehrt proportional zur Auflösungsbandbreite. Bei einem Bereich von 100 kHz mit einer Auflösung von 125 Hz werden etwa 10 Millisekunden benötigt. Für die Kurzwellenbeobachtung, wo eine sehr grosse Auflösung gefordert wird, kommt daher für anspruchsvolle Anwendungen nur das Filterbankprinzip (schnelle Fouriertransformation, Wellendigitalfilter, Polyphasenfilter) in Frage.

Wenn man sich allerdings mit einer Auflösungsbandbreite von 10 kHz zufriedengeben kann, liegt die Erfassungswahrscheinlichkeit, wenigstens einen einzigen Fre-



Anzahl der erfassten Chips

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	.222	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	.395	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	.529	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	.634	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	.715	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	.779	.107	0	0	0	0	0	0	0	0
175	.828	.306	0	0	0	0	0	0	0	0
200	.866	.46	.052	0	0	0	0	0	0	0
225	.896	.58	.223	0	0	0	0	0	0	0
250	.919	.673	.364	.106	0	0	0	0	0	0
275	.937	.746	.481	.228	.072	0	0	0	0	0
300	.951	.802	.578	.353	.184	.063	.033	.011	.004	.001

a.) T_{Dwell} = 10 ms B=1 0kHz df/dt = 100 MHz/s

Anzahl der erfassten Chips

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	.297	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	.636	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	.867	.055	0	0	0	0	0	0	0	0
125	.92	.43	0	0	0	0	0	0	0	0
150	.952	.656	.206	0	0	0	0	0	0	0
175	.971	.792	.476	.103	0	0	0	0	0	0
200	.982	.875	.656	.362	.066	0	0	0	0	0
225	.989	.924	.776	.551	.295	.065	0	0	0	0
250	.994	.954	.855	.687	.475	.262	.085	0	0	0
275	.996	.972	.906	.783	.613	.424	.251	.115	.022	0
300	.998	.983	.94	.851	.718	.556	.394	.255	.151	.082

b.) T_{Dwell} = 10 ms B=14kHz df/dt = 200 MHz/s

Anzahl der erfassten Chips

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	.787	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	.955	.087	0	0	0	0	0	0	0	0
75	.99	.806	.369	0	0	0	0	0	0	0
100	.998	.959	.834	.575	.174	0	0	0	0	0
125	1	.991	.958	.871	.702	.441	.108	0	0	0
150	1	.998	.99	.963	.9	.784	.603	.367	.097	0
175	1	1	.997	.99	.968	.922	.838	.708	.534	.329
200	1	1	.999	.997	.99	.973	.938	.876	.78	.649
225	1	1	1	.999	.997	.991	.978	.95	.903	.83
250	1	1	1	1	.999	.997	.992	.981	.96	.923
275	1	1	1	1	1	.999	.997	.992	.984	.967
300	1	1	1	1	1	1	.999	.998	.994	.987

c.) T_{Dwell} = 10 ms B=10kHz df/dt = 6·100 MHz/s

Fig. 6 Erfassungswahrscheinlichkeit von FH-Sendungen

quenzsprung zu registrieren, bei einer Verweilzeit von 10 msec pro Sprung und einer Gesamtsendedauer von 3 Sekunden (entsprechend 300 Frequenzsprüngen) auch beim Scanner bei 95 %. Allerdings werden 5 Sprünge nur mit etwa 20 % Wahrscheinlichkeit entdeckt (Fig. 6).

Schliesslich kann man auch daran denken, Scan- und Filterbankmethode zu kombinieren.

6. Realisierung mit Filterbankempfänger

Bei den technischen Anforderungen an moderne konventionelle Empfänger ergeben sich für die digitale Signalverarbeitung erhebliche Probleme, die auch unter Einsatz modernster Technologie nur mit erheblichem Aufwand zu lösen sind. Die Hauptschwierigkeiten liegen zuerst einmal beim Analogdigitalwandler. Der erfassbare Dynamikbereich wird durch die Auflösung des A/D-Wandlers bestimmt. Pro Bit ergeben sich 6 dB Dynamik. Mit einem 16 Bit-Wandler erreicht man somit 96 dB. Ausserdem muss die A/D-Wandlung je nach Ausführungsform des Empfängers mindestens (theoretisch) 2- bis 3mal schneller sein als der Reziprokwert des Beobachtungsfrequenzbandes. Bei 100 kHz Bandbreite wird also eine Wandlerrate von 200 bis 300 kHz erforderlich. Die Preise für solche A/D-Wandler steigen überproportional mit dem Produkt aus Auflösung und Abtastrate, so dass allein aus wirtschaftlichen Gründen eine Beschränkung auf eine vernünftige Bandbreite erforderlich ist. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der A/D-Wandler wegen der Schalteffekte unter Umständen erhebliche Störungen erzeugen kann.

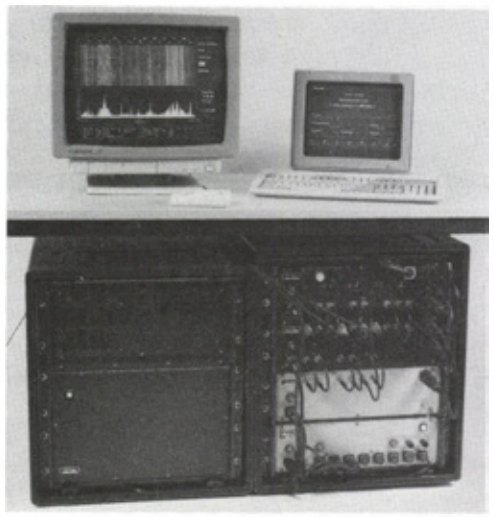


Fig. 7 FFT-Breitbandpeiler DFP 5300

Mit dem (Fig. 7) bereits 1990 vorgestellten Breitbandempfänger DFP 5300 konnten die hervorragenden Eigenschaften eines solchen Gerätes aus industrieller Fertigung unter Beweis gestellt werden. Das Gerät besteht aus einem weiterentwickelten Mehrkanalempfänger, einem aufwendigen Rechner (ca. 900 MIPS und ca. 250 MFLOPS) sowie einem hochauflösenden Bildschirm zur Anzeige der Peilung oder des zeitlichen Signalverlaufs (Wasserfalldarstellung) und des jeweiligen Momentanspektrums. Zur Bedienung des Gerätesatzes ist ein PC eingesetzt. Vom Volumen her kann der Gerätesatz bequem in einem Arbeitstisch untergebracht werden.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass bereits vor etwa zwanzig Jahren vom IFE (Institut für Fernmeldetechnik und Elektronik, Dr. G. Kosel) ein derartiges Funktionsmuster vorgestellt wurde, das auf dem damaligen Stand der Technik die überragenden Möglichkeiten erkennen liess, aber erstaunlicherweise nicht die angemessene Aufmerksamkeit fand.

7. Erfahrungen

Inzwischen konnten in vielfältigen Erprobungen Erfahrungen gesammelt werden, die immer wieder überrascht haben. Wie erwartet, ist die Aufdeckungswahrscheinlichkeit für Frequency Hopper ausserordentlich gross, insbesondere wenn der FFT-Peiler zusätzlich im Scan-Betrieb gefahren wird, wobei sich ein 1,6 MHz breites Band dann bei einer Auflösung von 2 kHz trotzdem wieder in etwa 30 msec beobachten lässt.

Die Verweilzeit eines Frequenzsprunges kann aus der im Spektrum auftretenden Amplitudenverteilung sehr genau abgeschätzt werden (sin(x)/x - Verlauf). Dabei fällt auf, was man natürlich auch vorher hätte erwarten können, dass die Peilspur (nämlich der jeweilige Spektralbedarf) umso grösser ist, je kürzer die Verweilzeit ist. Der Frequency Hopper wird damit zum "kooperativen Partner".

In dem für uns historischen Bild (Wasserfalldarstellung, Fig. 8) sind neben üblichen Sendern ein Chirp Sounder und vor allem einige Sprünge eines Frequenzsprungsignales zu sehen. (Die Mehrzahl der Sprünge liegt offensichtlich ausserhalb des 100 kHz breiten Fensters, aber die wenigen (zufällig) erfassten reichen zur Bestimmung der Einfallsrichtung aus.)

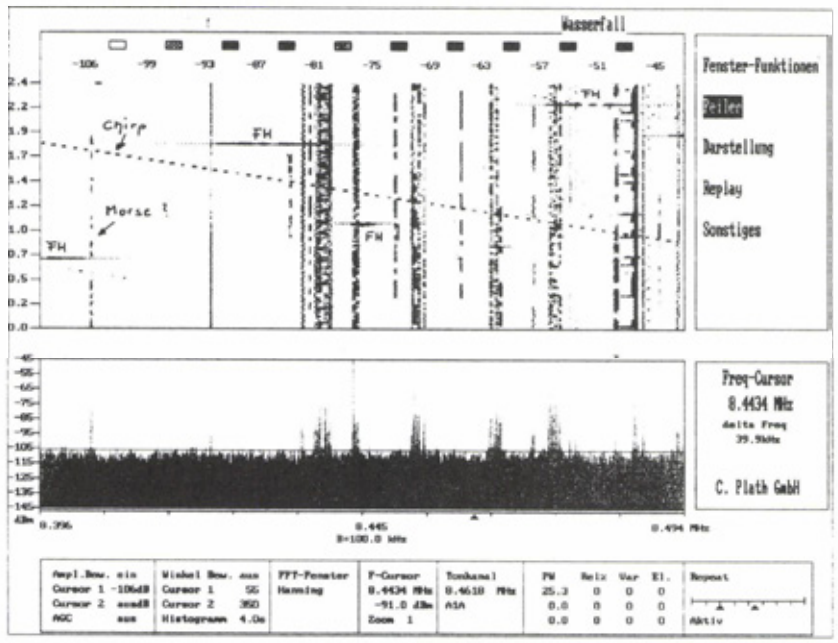


Fig. 8 Wasserfalldarstellung um 8,45 MHz ± 50 kHz

Wie sich bei bandgespreizten Sendungen zeigte, können auch Sendungen, die nahe am Rauschen liegen oder sogar etwas darunter, deutlich gepeilt werden. Die durch das Signal verursachte "Störlinie" hebt sich nämlich bei der Peilanzeige noch deutlich vom allgemeinen (verrauschten) Hintergrund ab.

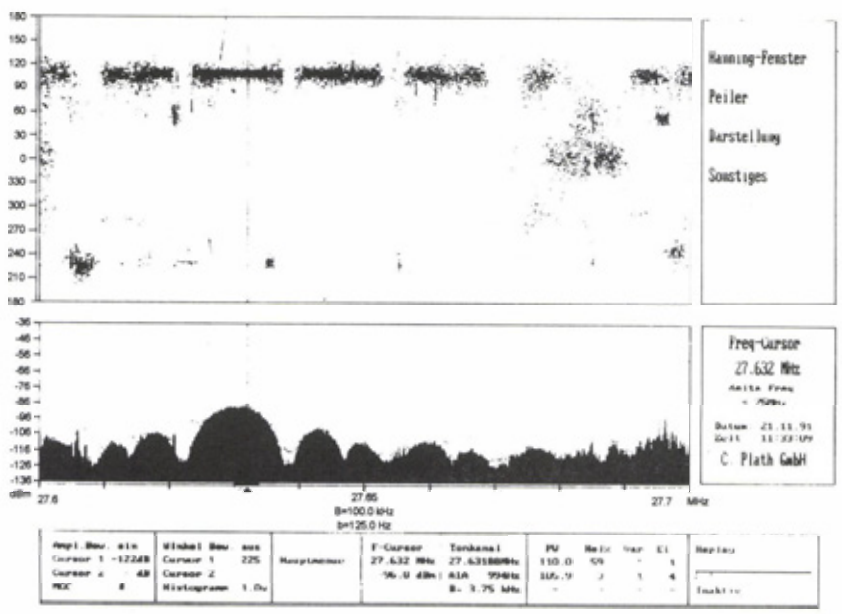


Fig. 9 Peilung und Spektrum einer Burstsendung

Die Erfassungswahrscheinlichkeit für Burstsendungen (Fig. 9) wird umso grösser (!), je kürzer der Impuls ist. Damit kann nämlich selbst bei ungenauer Frequenzabstimmung sehr häufig ein Peilergebnis ausgewiesen werden. Unter Zuhilfenahme der zeitlichen Koinzidenz an mindestens zwei (besser mehr) Peilstellen ergibt sich damit ein Ortungsergebnis mit hoher Wahrscheinlichkeit.

Mit dem neuen Werkzeug ist eine völlig neue, vorher nicht für möglich gehaltene Situation eingetreten: je schneller der Frequenzwechsel erfolgt, oder je grösser die Bandspreizung ist, desto leichter ist das Signal zu entdecken. Primitiv gesprochen: man muss nicht einmal sorgfältig abstimmen, um wenigstens die Einfallsrichtung (Peilung) des Signals zu erkennen.

Ausserordentlich überraschend war bei den Beobachtungen die unglaublich grosse Anzahl "exotischer" Aussendungen mit zeitlich sich ändernder Frequenz (Fig. 10). Auch die Zweisendertrennung in der Peilanzeige ist wesentlich besser als erwartet wurde. Da die Spektren der beiden etwa auf gleicher Frequenz arbeitenden Sender in jedem Augenblick geringfügig anders sind, ergeben sich deutlich ablesbare Peilanzeigen.

Fig. 11 zeigt das Peilbild von zwei (evtl. sogar drei) Frequenzsprungsendungen. Die "Rausch"-spuren bei etwa 30° und 320° sind genügend deutlich erkennbar; bei etwa 340° zeichnet sich eine weitere "Rauschspur" ab (Zeit 16:19:20 Uhr). Uebrigens kann man aus der sonst in der Spektrumdarstellung (Fig. 11a) miteingetragenen "Peak Hold"- Linie erkennen, dass im ganzen Beobachtungsfenster höhere Pegelwerte aufgetreten waren (Zeit 16:19:21 Uhr). In der Wasserfalldarstellung sieht man, dass der FH-Sender ein Nachrichtenpaket von knapp 10 Sekunden Dauer mit einem Hub von ca. 100 kHz absetzt (Fig. 11b).

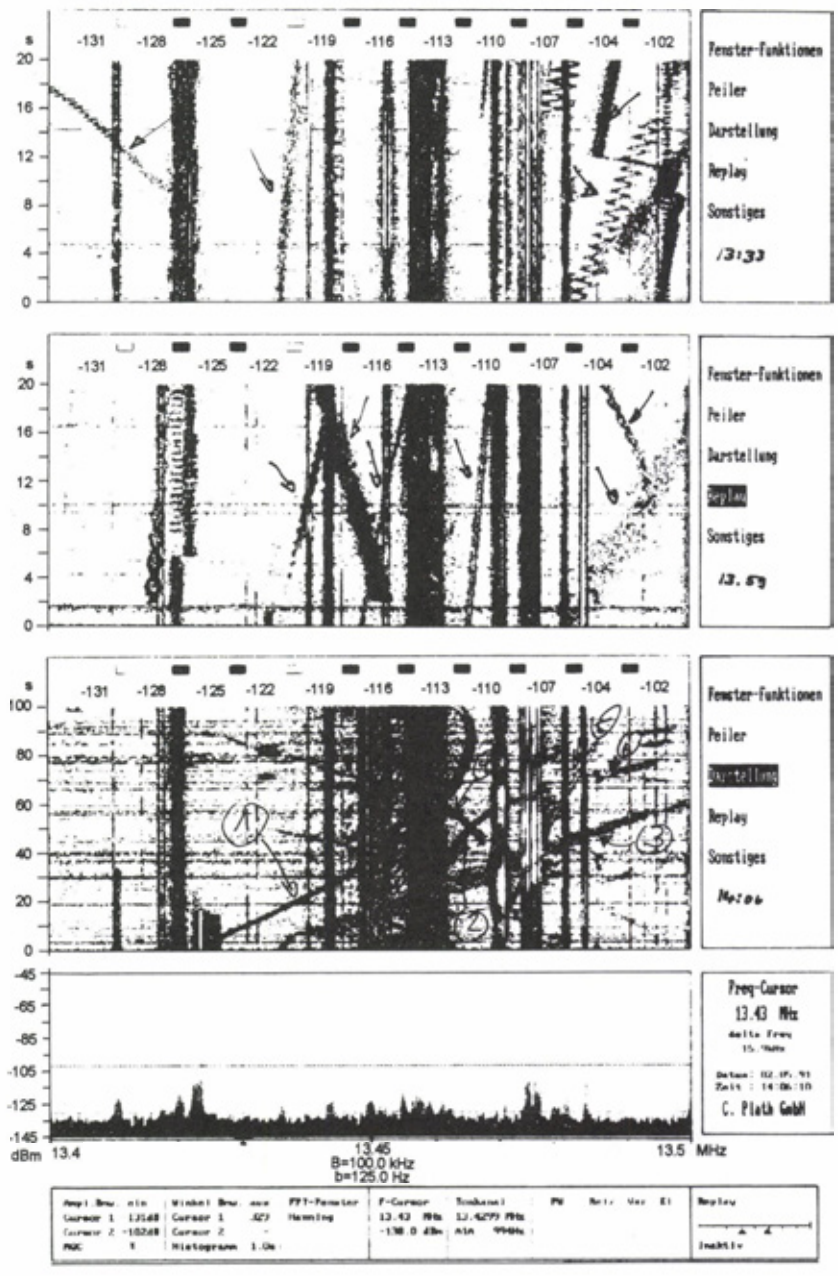


Fig. 10 "Exotische" Sendungen um 13,5 MHz ± 50 kHz
(Die Anzahl frequenzagiler Signale ist überraschend!)

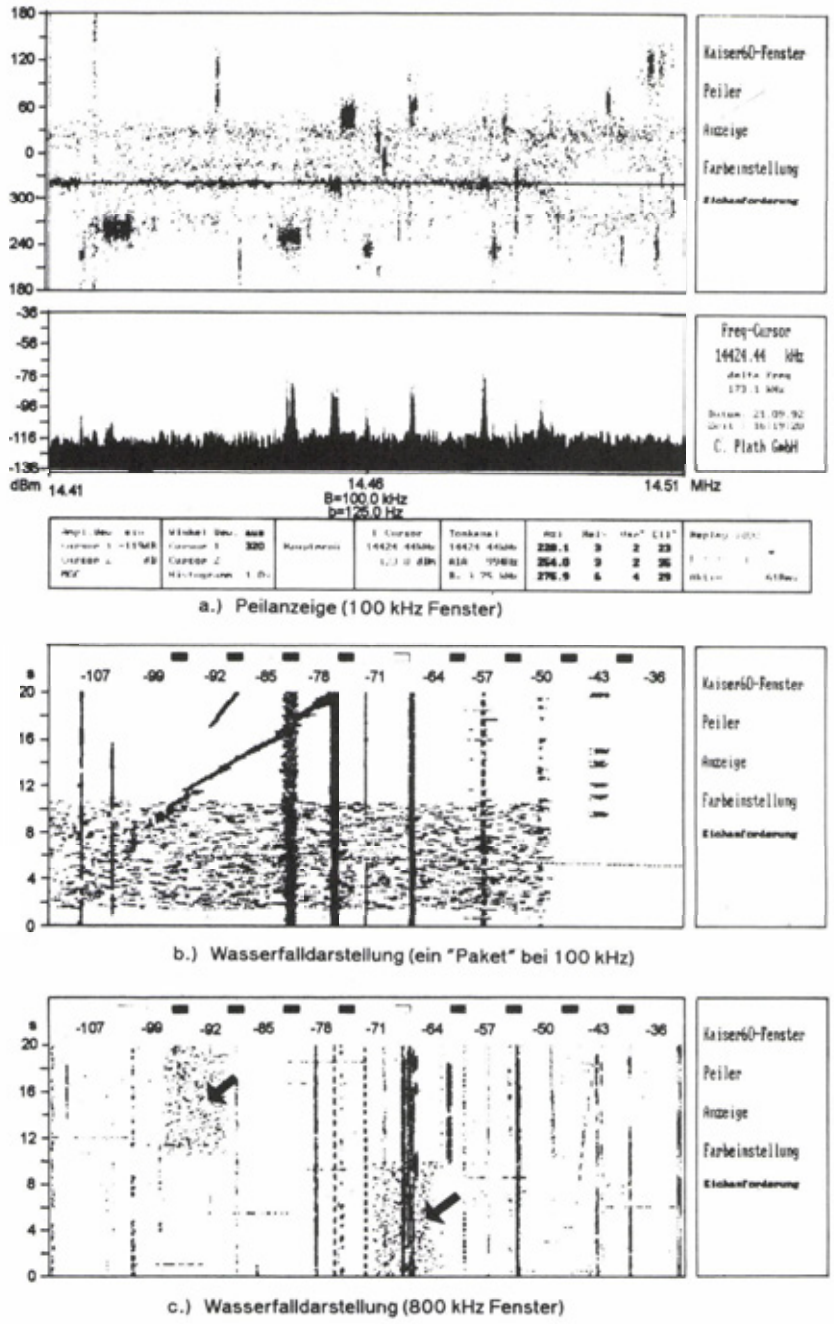


Fig. 11 Erfassung und Peilung eines FH-Senders

In Fig. 11c sind bei grösserer Beobachtungsbandbreite zwei Nachrichtenpakete erkennbar.

Sehr erfolgreich hat sich der Breitbandpeiler in Verbindung mit einem konventionellen Gerät bewährt. Eine grosse Zahl bisher in konventionellen Systemen nicht erfassbarer Signale konnte dadurch erfasst werden, dass ein üblicher moderner Kurzwellenpeiler vom Breitbandpeiler eingewiesen oder gegebenenfalls auf "Lauerstellung" gesetzt wurde. Die Aussendung eines frequenzveränderlichen Signals konnte fast immer zuverlässig als (scheinbare) Kurzzeitpeilung durchgeführt werden.

8. Nachbetrachtung zum Filterbankempfänger

Man kann sicherlich die Frage stellen, ob es auf weitere Zukunft zweckmässig ist, den Umweg über die Bilddarstellung ("Videogames"!) zu gehen. Immerhin muss ja zur Visualisierung ein erheblicher Aufwand an Signalverarbeitung geleistet werden. Aber es steht eindeutig fest, dass wir ohne dieses jetzt vorhandene Werkzeug kaum wüssten, nach was wir suchen sollten.

Bei dem jetzigen Gerät liegt der Datenfluss, wenn keine Vorabeinschränkungen vorgenommen werden oder vorgenommen werden können, der sich allein für die "Peilerei" ergibt, bei etwa 2,4 Megabit pro Sekunde. Das entspricht (etwas ungewöhnlich veranschaulicht) einer Papierflut von etwa 2 Leitz- oder Elba-Ordnern pro Sekunde. Eine intelligente Datenreduktion ist also zwingend erforderlich.

Zunächst sind allerdings Betrachtungen am Sensor anzustellen. Was in einer unzureichenden Analogdigitalwandlung verloren geht oder fälschlicherweise zusätzlich erzeugt wird, ist später kaum korrigierbar.

Da wir es hier mit einem Breitbandsystem zu tun haben, muss der insgesamt anliegende Leistungspegel berücksichtigt werden. Im ungünstigsten Falle werden sich alle momentan am Empfängereingang anliegenden Signale zu einem Summenpegel aufaddieren, der die Aussteuerungsgrenze des A/D-Wandlers "strapaziert". Will man in gleicher Weise alle Signale in einem z.B. 10-fach breiteren Frequenzband erfassen, ergibt sich zwangsläufig eine um 10 dB geringere Dynamik. Die Frage, ob eine derartige Einschränkung in Deutschland, Griechenland oder der Türkei tolerierbar ist oder nicht, kann nur in entsprechenden Erprobungen überprüft werden.

Eine Fragestellung auf erheblich weniger intellektuellem Niveau muss auch im Hinblick auf die von einem Operateur an einem Bildschirm vorzunehmende Beobachtung angebracht werden. Wenn in der Kombination aus Bildschirmauflösung und der Auflösung des Betrachterauges etwa 0,3 mm als ein vernünftiger Wert angesehen werden, können bei ca. 300 mm Schirmbreite 1000 Linien dargestellt werden. Bei einem 10mal grösseren Frequenzband könnte dies nur auf Kosten der Auflösung pro Frequenzzelle durchgeführt werden. Hierzu liegen uns bereits jetzt gewisse Erfahrungen mit einer weiter entwickelten Version des vorhandenen Gerätes, das mit einer Kombination von FFT (100 kHz) und Scanbetrieb arbeitet, vor. Bei einer Auflösung von dann 2 kHz wird damit der Bereich von 1,6 MHz erfasst.

Es ist ein Faktum, dass schnelle Erfassung und Analyse zueinander im Widerspruch stehen. Mit dem weitgehend frequenzoffenen "sehenden" Peiler ist die Erfassung und die Bestimmung der Einfallsrichtung und damit bei entsprechender Voraussetzung auch die Ortung sichergestellt. Die Klassifizierung oder Modulationserkennung erfordert einen zusätzlichen Zeitaufwand und ist teilweise sehr schnell möglich, beispielsweise für Amplituden-, Einseitenband- oder Frequenzmodulation, erfordert aber bei Morsetext oder Telexübertragung einen erheblichen Zeitaufwand. Es muss überdacht werden, inwieweit einige Aufgaben in die Nachverarbeitung verlagert werden. Bereits jetzt ist die Speicherung der Rohdaten der relevanten ZF-Signale vorhanden. Beim gegenwärtigen Stand der Technik könnten diese Daten auf andere Medien ausgelagert werden, so dass eine Nachbearbeitung sowohl mit Postprozessoren (für Standard-Routine) als auch über manuelle Vorgehensweise ermöglicht wird.

Hier ist möglicherweise auch für die Betreiber eine "Umstrukturierung" (wie in der Industrie) zur Anpassung an veränderte (Markt-) Erfordernisse zwingend gegeben.

Es scheint nachgewiesen, dass ein neues Zeitalter in der Funkaufklärung begonnen hat.

9. Lösungsansätze für den VHF/UHF-Bereich

Die Schwierigkeiten bezüglich Abtastrate und Dynamik waren früher diskutiert worden, und es versteht sich von selbst, dass die Anforderungen an die Leistung des eingesetzten Rechenwerks überproportional mit dem Produkt aus Abtastrate und Auflösung bei der Quantisierung steigen.

Insofern erhebt sich die Frage, ob der UHF/VHF-Bereich in ähnlicher Weise behandelt werden sollte, oder ob es nicht auch andere Lösungen gibt, zumal hier üblicherweise wesentlich gröbere Frequenzauflösungen zugestanden werden können.

Für eine Auflösungsbandbreite von 10 kHz unterscheidet sich die serielle Frequenzbandsuche von der parallelen Verarbeitung immerhin (oder nur noch ?) um den Faktor 100 (Fig. 5). Bei 14 kHz ergibt sich der Faktor 50. Also könnte man mit 50 entsprechend versetzt suchenden "Scannern" die gleiche Erfassungswahrscheinlichkeit erzielen (?).

Wenn man das Scanverfahren völlig konträr zu bisherigen Auffassungen modifiziert, erhält man ein Gerät, das eine erheblich höhere Erfassungswahrscheinlichkeit aufweist, da-

bei aber gleichzeitig gegenüber FFT-Lösungen bei deutlich geringerem technischem Aufwand die volle Dynamik, wie sonst üblich, gewährleistet.

Bei diesem modifizierten Scanverfahren wird der mehrkanalige Ueberlagerungsempfänger entgegen der sonst üblichen Konzeption bewusst auf Mehrempfangsstellen ausgelegt. Dabei wird zunächst gewollt und ausdrücklich zugunsten einer deutlich schnelleren Signalerfassungsgeschwindigkeit und Peilwinkelbestimmung auf eine eindeutige Frequenzzuordnung verzichtet.

Bei Empfängern mit tiefliegender Zwischenfrequenz, wenn diese also niedriger als die höchste Empfangsfrequenz ist, werden bisher bekanntlich Massnahmen unternommen, um die sogenannte Spiegelfrequenz zu unterdrücken. In diesem Sinne hätte also ein Empfänger, bei dem die Spiegelfrequenzunterdrückung ausdrücklich nicht vorgenommen wird, bereits die doppelte Erfassungswahrscheinlichkeit. Ein auf 80 MHz sendendes Signal würde bei den Oszillatorfrequenzen 80 + ZF und 80 - ZF empfangen werden.

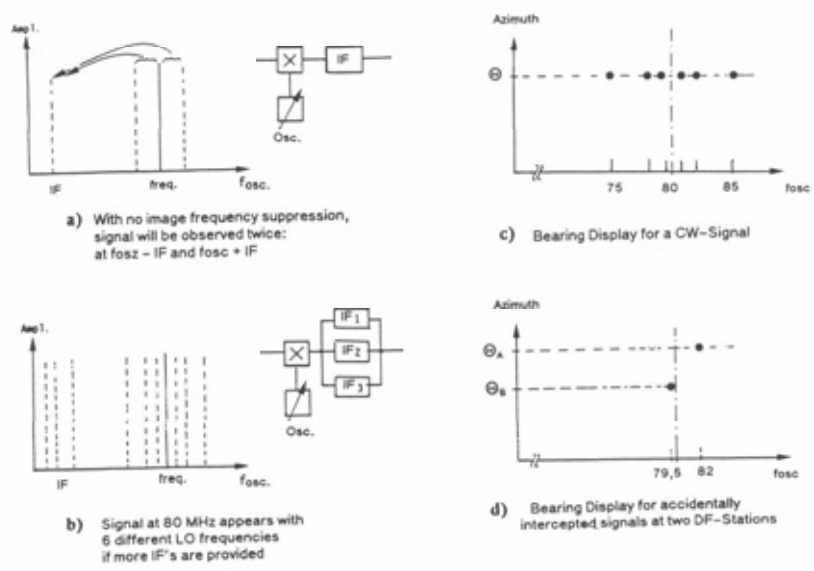


Fig. 12 Prinzip des Multiscan-Verfahrens (hier über Mehrfach-ZF)

Wenn man insgesamt beispielsweise drei unterschiedliche gleichzeitig wirkende Zwischenfrequenzen von beispielsweise 0,5, 1,8 und 3,2 MHz vorsieht, erhält man für einen einzigen Suchlauf im Vergleich zum konventionellen Suchempfänger eine 6-fach vergrösserte Erfassungswahrscheinlichkeit (Fig. 12).

Mit einer Anzeigeeinrichtung, die den Einfallswinkel des Signals über der (Oszillator-)Frequenz anzeigt, werden bei einem einzigen Suchlauf bei einem Dauersignal (konstanter Träger; CW) in diesem Fall 6, auf einer Winkellinie liegende Punkte in Form einer Perlenschnur angezeigt, deren Abstände untereinander sich entsprechend der gewählten Zwischenfrequenzen ergeben (Fig. 12b).

Der Einfachheit halber wurde angenommen, dass nur eine einfache Frequenzumsetzung stattfindet. Ein bei 80 MHz arbeitender Sender würde dabei jeweils eine Anzeige erzeugen, wenn bei wobbelnder Oszillatorfrequenz die Frequenzen 76,8 / 78,2 / 79,5 / 80,5 / 81,8 / und 83,2 durchfahren werden.

Bei einem Kurzzeitsignal, das zufällig erfasst worden war, wird möglicherweise nur ein einziger Punkt mit zugeordnetem Peilwinkel ausgewiesen, aus dem allerdings zunächst nicht abgeleitet werden kann, auf welcher Nominalfrequenz das erfasste Signal gesendet wurde. Allerdings können die aufgrund der ZF-Lagen möglichen Sendefrequenzen angegeben werden.

Eine zweite Peilstation, die ebenfalls diesen frequenzspringenden Sender zufällig einmal erfasst hat, würde ebenfalls einen Peilwinkel ausweisen. Im allgemeinen Fall werden die von den beiden Peilern angezeigten Punkte nicht bei der gleichen Frequenz auftreten, da ja die Suchläufe bei beiden Peilgeräten nicht in jedem Augenblick auf die gleiche Frequenz eingestellt sind. Wenn man der Einfachheit halber unterstellt, dass zunächst nur

ein einziger frequenzspringender Sender vorhanden ist, ist die Position ohne weiteres durch Triangulation bestimmbar. Und da die möglichen Zwischenfrequenzen, wie auch die Doppeldeutigkeiten, bekannt sind, kann mindestens nach einigen Suchläufen durch Ergebnisvergleich auch die aktuelle Sendefrequenz angegeben werden. Sie muss, um im Beispiel zu bleiben, entweder 3,2 oder 1,8 oder 0,5 MHz über oder unter der Oszillatorfrequenz liegen. Für das Beispiel wurden bewusst ungleichmässige Frequenzabstände zwischen den Zwischenfrequenzen gewählt. Wenn man die gleichen Ueberlegungen für alle beteiligten Peiler anstellt, lässt sich die eigentliche Sendefrequenz durch Vergleich der Ergebnisse immer herausfinden (Fig. 12d).

In jeder einzelnen Peilstation wird sich im allgemeinen ein anderer Peilwinkel ergeben. Im Bild sind beide "Peilbilder" überlagert.

Weil die Suchoszillatoren in beiden Peilstationen unterschiedlich laufen, tritt der hier beispielsweise gezeichnete Fall ein, dass nämlich das auf einer Frequenz von 80 MHz gesendete Signal in der einen Station bei der Oszillatorfrequenz von 79,5 MHz und in der anderen bei 81,8 MHz beobachtet wird.

Wegen der (gewollten) Mehrdeutigkeit in der Frequenzerfassung ergibt sich dabei eine Situation, wie sie in der folgenden Tabelle dargestellt ist:

f osz:	mögliche Signalfrequenz						
76,8	73,6	75,0	76,3	77,3	78,6	80,0	MHz
78,2	75,0	76,4	77,7	78,7	80,0	81,4	MHz
79,5	76,3	77,7	79,0	80,0	81,3	82,7	MHz
80,5	77,3	78,7	80,0	81,0	82,3	83,7	MHz
81,8	78,6	80,0	81,3	82,3	83,6	85,0	MHz
83,2	80,0	81,4	82,7	83,7	85,0	86,4	MHz

Für die festgestellten Oszillatorfrequenzen wurden dabei die möglichen Empfangsfrequenzen berechnet. Station A hatte das Signal bei einer Oszillatorfrequenz von 81,8 MHz erfasst. Wegen der bekannten Mehrdeutigkeiten kann das Sendesignal nur auf einer der sechs angegebenen Frequenzen aufgetreten sein. Eine entsprechende Situation ergibt sich auch für die Peilstelle B. Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, haben beide Peilstationen nur für die Frequenz von 80 MHz die häufigste Uebereinstimmung. Also kann nur dies die tatsächliche Sendefrequenz sein.

Ohne weitere Erklärung ist aus der Tabelle abzuleiten, warum eine äquidistante Frequenzdifferenz zwischen den zur Anwendung gebrachten Zwischenfrequenzen unzweckmässig ist.

Statt mehrere Zwischenfrequenzen vorzusehen, lässt sich eine derartige ausdrücklich gewollte Mehrfachempfangsmöglichkeit auch dadurch erreichen, dass man zwar nur eine ZF vorsieht, dem Ueberlagerungsoszillator aber ein Spektrum mit entsprechenden Nebenlinien aufprägt, so dass man zu vergleichbaren Ergebnissen kommt (Fig. 13).

Schliesslich ist es, um ein grösseres Ensemble von Eingangsdaten zu erhalten, auch denkbar, die beiden Verfahren zu kombinieren, um eine im Hinblick auf Aufwand und Auswertung optimale Einrichtung zu erhalten.

Für die Beobachtung bzw. Peilung wird von einem Mehrkanalempfänger mit mindestens 2, besser 3 oder 4 parallel laufenden Empfangskanälen ausgegangen, bei dem (wenn

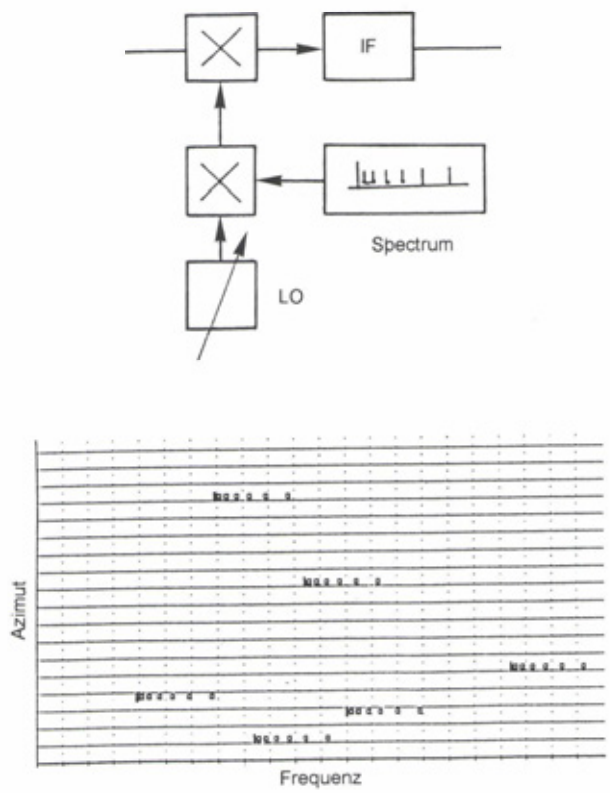


Fig. 13 Prinzip des Multiscan-Verfahrens (hier durch Oszillatorspektrum)

auf die Genauigkeit der Peilung Wert gelegt werden muss) der Gleichlauf bezüglich Amplitude und Phase in bekannter Weise entweder durch eine vorherige Eichphase oder aber eine nach der Signalaufnahme durchgeführten Korrektur sichergestellt ist.

Für eine Horchstation kommt es nur darauf an, den Mehrkanalempfänger zum "sehenden" Empfänger zu machen, bei dem die Einfallsrichtung zwar mit guter Winkelauflösung und auf jeden Fall reproduzierbar, aber sonst sehr ungenau sein darf.

Bisher liegen uns zu diesem Verfahren keine Erfahrungen in einem Beeka Valley Szenarium (viele FH-Sendungen gleichzeitig) vor. Und in der Mehrzahl aller diesbezüglich geführten Gespräche wird das Verfahren (wider bessere Einsicht?) von vornherein wegen der durch den Spiegelfrequenzempfang gegebenen Unsicherheit als untauglich abgelehnt.

Tatsächlich ergeben sich auf dem Peildisplay bereits nach kurzer Zeit die entsprechenden "Perlenschnüre", genauso, wie wir sie mit dem Einsatz unseres FFT-Gerätes im VHF-Bereich 52 - 72 MHz anlässlich eines NATO-Symposiums erhielten. Niemand hatte dabei nach der Sendefrequenz (welcher denn?) gefragt. Es ist richtig, dass die mit dem FFT-Gerät erzielten Analysemöglichkeiten (bisher) nicht gegeben sind. Auf der anderen Seite scheint der hier vergleichsweise geringe Aufwand besonders attraktiv zu sein.

10. Schlussbemerkung

Die Weiterentwicklungen der Kommunikationsverfahren haben folgerichtig auch einen Entwicklungsschub für die Funkerfassung und -peilung gebracht. Wegen des insgesamt gleichzeitig zu beobachtenden Frequenzbereichs müssen dabei Signalverarbeitungs- und Mustererkennungsverfahren entwickelt werden, die einen erheblichen Rechenaufwand erfordern. Dabei sollte die Signalverarbeitung in weiterer Zukunft unmittelbar am Empfänger ansetzen und nicht erst nachdem mit einem ähnlich grossen Aufwand eine Visualisierung auf dem Bildschirm erzeugt wurde. Bisher sind wir allerdings noch im einer Phase, in der bei jedem Versuch im Gelände sowohl für die Geräteentwickler als auch für die Funkbeobachter immer wieder neue Ueberraschungen beobachtet werden.