

Dopplerpeiler

*Erfahrungsberichte über Entwicklung und Einsatz von Dopplerpeilern.
Peter Baier, DJ3YB - Günther Zopp, DL9SU - Stefan Traub, DL4SAK
(Vortrag auf der VHF / UHF 1984)*

Das böswillige Stören unserer Relaisstellen ist in den letzten Jahren zunehmend zu einem beliebten Zeitvertreib von verschiedenen „Relaisgeistern“ geworden. Um diese, dem Amateurfunk schädlichen Zustände in Grenzen zu halten, müssen die Sendeorte durch Funkpeilung ermittelt werden. Dazu eignen sich Dopplerpeiler besonders gut, weil sie bei einfacher Adaption an einem der meist vorhandenen FM-Empfänger das Peilergesamt direkt anzeigen. Im Mobilbetrieb ist dies von großer Bedeutung, da reflexionsbedingte Missweisungen nur während der Fahrt durch eine instabile Richtungsanzeige zu erkennen sind.

Neben der Anwendung im Mobilbetrieb eignet sich der Dopplerpeiler auch für die großräumige Erfassung von Störausstrahlungen. In Verbindung mit einem Kommunikationstransceiver und einem Mikrocomputer lässt sich eine automatische Peilstation aufbauen.

Beide Anwendungen wurden bereits bei der VHF-UHF 1980 in einem Vortrag von Günther Zopp, DL9SU behandelt. Die nun folgenden Beiträge belassen sich sowohl mit der Weiterentwicklung des Mobilpeilers, wie auch mit der automatischen Peilstation.

Ein neuer Dopplerpeiler für den Mobilbetrieb

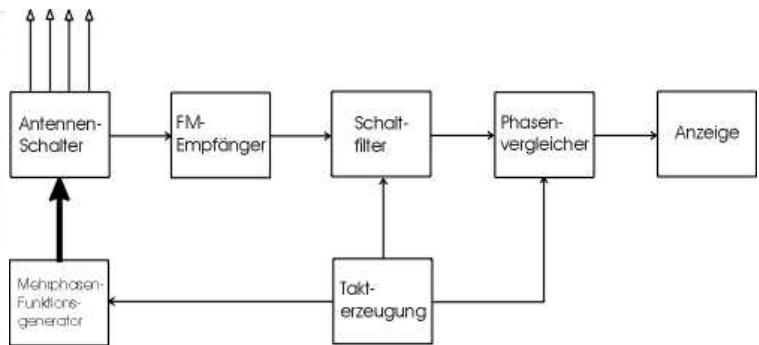
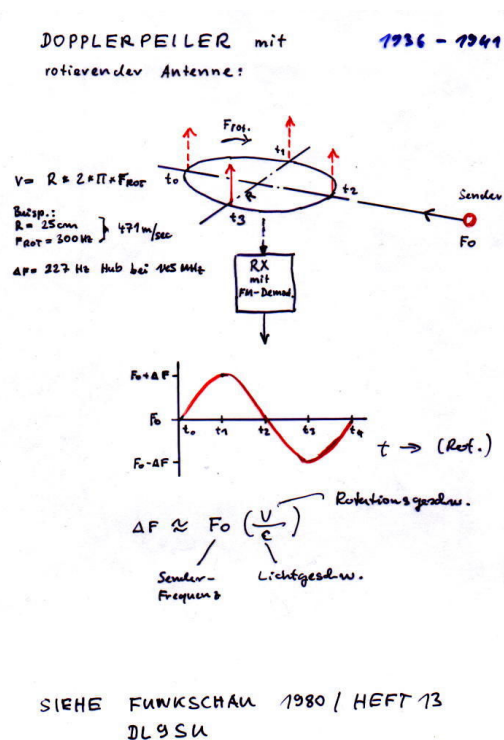
Peter Baier, DJ3YB

Zielsetzung der Weiterentwicklung des DL9SU- und des W7BEP-Peilers waren Verbesserungen im Bereich der Intermodulationseigenschaften (Störspektrum), der thermischen Stabilität und der Langzeitstabilität. Ferner sollte eine ausführliche Bauanleitung erstellt werden.

Die theoretischen Grundlagen des Dopplerpeilers sind aus zahlreichen Veröffentlichungen bekannt (<1> <2> <3>).

Bild 1 zeigt das vereinfachte Schaltungsprinzip, Bild 2 den Funktionsstromlauf des realisierten Peilers:

Die einzelnen Elemente des Antennenarrays werden mit Hilfe des Antennenschalters elektronisch in „Rotation“ versetzt. Der daraus resultierende Phasenhub (Doppler-Frequenzhub) der empfangenen Welle erzeugt im FM-Demodulator niederfrequente Impulse im Takt der Antennenumlaufzeit („Rotation“ der Antenne - hörbarer „Peil“-Ton).



Im Phasenvergleichsblock wird die gefilterte demodulierte NF mit dem Referenzsignal des Antennenumlaufes (=Bezugsphase) verglichen. Das daraus resultierende Differenzsignal steht in direkter Beziehung zum Einfallswinkel der empfangenen Welle. Es kann analog (sample & hold Phasendetektor [PD] und uA-Meter) oder digital (digitaler PD und numerischer Anzeige oder LED-Windrose, bzw. Interface für PC und Notebook) ausgewertet werden.

Die bisher im Amateurfunk eingesetzten Peiler unterscheiden sich sowohl in der Anzahl der Antennenelemente (4 oder 8), als auch in der Art der Antennentastung (Antennenschalter mit Ansteuerung, Störspektrum).

Der beschriebene Peiler arbeitet mit einem 4-Antennen-Array, welches im Selbstbau leichter mit der nötigen Genauigkeit und

mechanischen Stabilität zu realisieren ist, als ein Gebilde mit höherer Elementzahl. Die in <5> beschriebene Antennenkonstruktion wurde im Prinzip übernommen, aber hinsichtlich Symmetrie, Regenschutz und Stabilität verbessert. Die mit einem selbstgebaute Antennenprüfstand gemessene Verzerrung der Windrose (Missweisung ohne Mehrwegeausbreitung) beträgt +4 Grad. Bild 5 zeigt die Linearität der Peilanzeige. An einen PKW montiert ist die Verzerrung, abhängig von der Dachform, der Dachgröße und dem Dachabstand, erheblich größer.

Antennenschalter

Der Antennenschalter bestimmt die Intermodulationseigenschaften des Systems. Einfach aufgebaute Antennenschalter mit serieller Harttastung (wie sie auch im Internet angeboten werden und in <1> <3> beschrieben sind) erzeugen ein breitbandiges Seitenbandstörpektrum aller einfallenden Wellen. Das führt zu Nachbarkanalstörungen, wenn das Band mit starken Signalen belegt ist und das zu peilende Signal schwach ist (scheinbare Desensibilisierung des Rx). Zusätzlich wird die Peilung durch die Mittenfrequenzablage stärker beeinflusst als nötig (Gruppenlaufzeit des ZF-Filters). Kommerzielle Dopplerpeiler verwenden daher die erheblich aufwendigeren Antennenschalter (Antennenmodulatoren) mit überlappender Weichtastung. Für Amateurfunkanwendungen beschrieb W7BEP <5> einen mit Dual-Gate-MOS-FETs aufgebauten „rf-summer“, welcher durch einen 4-Phasengenerator gesteuert wird. Bild 3.1 zeigt die Schaltfunktion, die unter Berücksichtigung der FET-Kennlinie in einer ROM-Tabelle abgelegt ist. Der Aufbau und die mangelnde Filterung führen bei diesem Peiler zu einem Übersprechen von Taktfrequenzen in den RF-Signalpfad und heben die Wirkung des an sich idealen „rf-summer“ wieder auf. Ferner zeigte sich, dass die Zwangsanpassung der FETs zu einem weiteren Empfindlichkeitsverlust führt. Aus diesem Grunde wurde das Schaltungsprinzip des FET-„rf-summer“ verlassen und ein Antennenmodulator mit PIN-Dioden als steuerbares Dämpfungsglied realisiert (Bild 4).

Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass es im durchgeschalteten Zustand das Empfangssignal um nur 1.5 dB dämpft. Wie in <5> gefordert, sind die nicht durchgeschalteten Antennenelemente mit 50 Ohm abgeschlossen.

Dazu ist der Fußpunkt des antennenseitig angeschlossenen Lastwiderstandes über eine I/4-Leitung mit der Shunt-Diode verbunden.

Bei durchgeschalteter Seriendiode wirkt die Shuntodiode als Kurzschluss; die Leitungstransformation trennt den Lastwiderstand von der Masse. Im gesperrten Zustand öffnet die Seriendiode den Weg zum Empfänger und die am Ende hochohmige I/4-Leitung verbindet den Fußpunkt des Lastwiderstandes mit der Masse.

Die Steuerkennlinie des Antennenmodulator-Dämpfungsgliedes ist in Bild 3.3 dargestellt; sie erfordert einen speziellen 2-Phasen-Funktionsgenerator, wenn der gewünschte Intermodulationsabstand erreicht werden soll. Der zeitliche Verlauf des Steuerstromes ist unter Berücksichtigung der Wandlerkennlinie in Bild 4 dargestellt. Dabei lässt sich eine Ähnlichkeit mit der invertierten ABS(SIN) -Funktion erkennen.

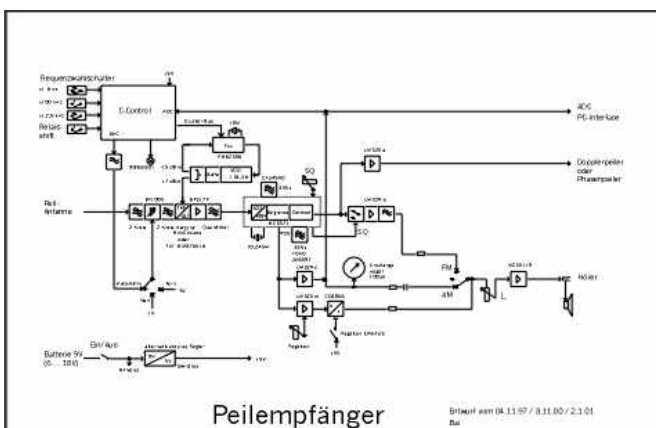
4-Phasen Funktionsgenerator für die Antennensteuerung

Der neu konzipierte Funktionsgenerator (DP4) ist auf dieser Grundlage aufgebaut. Die Synthese des Signals erfolgt durch Doppelweggleichrichtung und anschließender Invertierung der sinusförmigen Eingangsspannung. Die für die überlappende Tastung nötige, um 90 Grad verschobene 2. Phase (Phase 3 und 4 wiederholen sich und werden nur multiplext) wird in gleicher Technik aus dem cos-Eingangssignal erzeugt. Das Splitten der Halbwellen auf die vier Stromquellen für die Antennensteuerung übernimmt ein Analogschalter. Voraussetzung für dieses Konzept ist jedoch der mit der Umlauffrequenz phasensynchrone sin / cos-Generator. Er wurde ähnlich der Applikation <8> mit dem Filterbaustein MF10 realisiert. Alle Takte des Peilers werden aus Stabilitätsgründen von einem, in der Frequenz umschaltbaren Quarzoszillator abgeleitet (DP2). Die zweite Quarzfrequenz ist nötig, wenn man absichtlichen selektiven Störungen ausweichen will.

Die Schaltung zeichnet sich durch hohe Konstanz und ausgezeichnete Reproduzierbarkeit aus.

Gegenüber der seriellen Harttastung verbessern sich die Störabstände um ca. 20 dB (siehe Graphik).

Peilempfänger mit großem Pegelbereich



Wie bereits erwähnt, kann für den FM-Empfänger ein bereits vorhandenes Gerät verwendet werden. Die NF-Verbindung zum Peiler sollte aber direkt vom Diskriminator aus über eine „Diodenbuchse“ geführt werden. Aus Stabilitätsgründen wird vom Empfänger eine temperaturunabhängige Grundlaufzeit, sowie eine geringe Gruppenlaufzeitverzerrung der Filter gefordert. Sender mit großer Frequenzablage lassen sich nur dann einwandfrei peilen, wenn eine AFC vorhanden ist

Ein Handpeiler mit automatischer Bereichsumschaltung für den Pegelbereich 30 nV bis 1V wurde bei der VHF / UHF 1988 vorgestellt (siehe Tagungsheft). Da einige Bauteile nicht mehr lieferbar sind, wird derzeit an einer Neuentwicklung in SMD-Technik gearbeitet, welche auch mit einem PC-Interface ausgestattet werden kann. Ferner ist es möglich, den gesamten geforderten Pegelbereich direkt anzuzeigen, wenn der Empfänger aus Baugruppen des Panoramaempfängers „UNI-SCAN“ <9> zusammengestellt wird (Funkschau 1980).

oder die Frequenz entsprechend feinstufig abgestimmt werden kann.

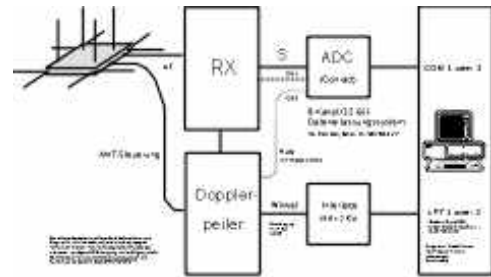
Für Nahfeldpeilungen ist ein S-Meter wünschenswert, das Eingangsspannungen bis über 100 mV anzeigt. Da der Anzeigebereich marktgängiger Geräte meist schon unter 10 uV endet, muss dem Empfänger ein einstellbares Dämpfungsglied vorgeschaltet werden. Die maximal zulässige Dämpfung ist durch die Schirmung des Empfängers vorgegeben. Die Peilerfunktion ist aber gestört,

Dopplerpeiler dj3yb

wenn das Lecksignal die Größenordnung der gedämpften Antennenspannung annimmt. Manche Empfänger haben die Eigenschaft, dass sie die Phase bei Übersteuerung pegelabhängig drehen und damit die Peilung verfälschen. Eine bessere Handhabung lässt sich durch die Anwendung eines elektronisch gesteuerten PIN-Dioden-Dämpfungsgliedes <6> erzielen, das zu diesem Zweck entweder mit der AGC des Empfängers verbunden, oder mit einem log. Potentiometer von Hand eingestellt wird.

PC-Schnittstelle

Für Dokumentationszwecke kann die Aufzeichnung der Peildaten mit einem PC oder Notebook nützlich sein. Die beiliegende Zeichnung zeigt ein Interface, welches die Parallelschnittstelle zur Übertragung der Peildaten und die serielle Schnittstelle für den S-Meterwert (RSSI, ADC von Conrad) nutzt. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anwendung des C-Control Mikrocomputers von Conrad (COM-Schnittstelle für Peilung und S-Wert).



Interface für Peildatenaufzeichnung mit Notebook-PC

Signalverarbeitung

Die vom Empfänger an den Peiler gelieferte NF besteht aus einem Signalgemisch von Rauschen, Sendermodulation, und den Pulsen der auszuwertenden Peilerumlauffrequenz. Das für die Signalaufbereitung nötige Schmalbandfilter (schmalere Bandpass für die Umlauffrequenz, DP3) wird in allen bekannten Dopplerpeilern eingesetzt. Wegen der Mehrdeutigkeit, sowie der Quantisierung in acht Stufen ist sowohl eine analoge Vor-, und Nachselektion erforderlich (antialiasing). Neben der Bandbreite des Kondensatorschaltfilters bestimmen die analogen Vorfilter den modulationsbedingten Jitter der Peilanzeige. Auch ist der NF-Pegel so zu wählen, dass die Vorstufen nicht übersteuert werden. Zur exakten Pegelanpassung an den jeweils verwendeten Empfänger besitzt die realisierte Schaltung einen Fensterkomparator am Ausgang des Kondensatorschaltfilters. Im Peilbetrieb dient die Anordnung als Indikator für Mehrwegeempfang. Leider ist die Spannung etwas richtungsabhängig (4-Antennen-Array). Der Pegelabgleich sollte deshalb bei 0 Grad Peilrichtung (Fahrtrichtung) in einem reflexionsarmen Gebiet (freie Wiese) vorgenommen werden.

Schwierige Filterdimensionierung

Die unterschiedlichen Forderungen, wie kurze Einschwingzeit, geringer Modulationsjitter der Peilanzeige, Indikator für Mehrwegeempfang, Linearität der Richtungsanzeige (Oberwellen), und thermische / Langzeitstabilität, führen teilweise zu Zielkonflikten bei der Dimensionierung. Bei Optimierung auf den geringsten Modulationsjitter werden Einschwingzeit und thermische Stabilität negativ beeinflusst. Kürzere Einschwingzeiten (100 - 500 ms) lassen sich durch Vergrößern der Filterbandbreite nur bei erhöhtem Modulationsjitter erzielen.

Die Optimierung der Störsicherheit durch eine bessere Vorselektion der analogen Filter wirkt sich auf die thermische Stabilität negativ aus. Die bauteileabhängige Temperaturdrift steigt mit zunehmender Selektion (Laufzeit) der analogen Filter und wirkt sich negativ auf die thermische Stabilität aus. Die bauteileabhängige Temperaturdrift steigt mit zunehmender Selektion. Aus heutiger Sicht wäre daher der Einsatz der neueren DSP-Technik (FIR-Filter) sinnvoll.

In der (1983) realisierten Schaltung ist deshalb eine Bandbreitenumschaltung vorgesehen, mit welcher auf eine ruhige oder eine agile Peilanzeige umgeschaltet werden kann.

Phasenvergleich zur Generierung des Peilwertes

Für den Phasenvergleich wird eine Standardschaltung <3> benutzt, welche aus der Kombination Frequenzteiler / Latch zusammengesetzt ist. Die realisierte Schaltung verwendet einen 8-BIT Zähler (Auflösung 1.4 Grad), der mit dem Antennenumlauf synchronisiert ist.

Beim Null-Durchgang des vom Schaltfilter gelieferten Auswertesignals wird der Zählerstand vom Latch übernommen und bis zum nächsten Übernahmeimpuls gespeichert.

Die Latch-Ausgänge liefern das Peilergebnis als 8-Bit breites Datenwort an die PC-Schnittstelle. Nur mit Hilfe der „Intelligenz“ eines PCs oder eines Mikrokontrollers ist es sinnvoll, die Peildaten numerisch anzuzeigen (siehe „Autonomer Peiler“).

Für die direkte Datenausgabe ist eine Windrose mit 16 LEDs vorgesehen. Zur Verbesserung der Auflösung werden die benachbarten LEDs vom niederwertigen Halbbyte in der Helligkeit beeinflusst (Stromflusswinkelsteuerung über den Magnitude-Comparator IS12).

Die LED-Windrose enthält einen 4-Bit-Binärcodekoder, welcher die 16 Leuchtdioden ansteuert. Sie wird zusammen mit dem S-Meter in ein separates Kunststoffgehäuse mit einer Streulichtabdeckung eingebaut.

Digitale Nordung der Peilanzeige

Zum Ausgleich von Laufzeittoleranzen (Rx und Schaltfilter) muss die Nordrichtung (Fahrtrichtung) der Peilanzeige kalibrierbar sein. In den bekannten Standardschaltungen ist dazu eine mit Potentiometer abstimmbare Laufzeitstufe (Monoflop) vorgesehen, welche den Übernahmeimpuls verzögert an das Latch weiterleitet. Wegen der unzureichenden Reproduzierbarkeit und mangelhaften Stabilität wurde die Anlagenschaltung durch einen einstellbaren Zwischenzähler (IS3, 4) und einen Addierer (IS13) ersetzt. Anstelle des Potentiometers sind zwei HEX-kodierte Schalter vorgesehen. Damit lässt sich die Nordung in 22,5 Grad Grobstufen (= 1 LED), und 1.4 Grad Feinstufen (= 1 LSB) präzise einstellen.

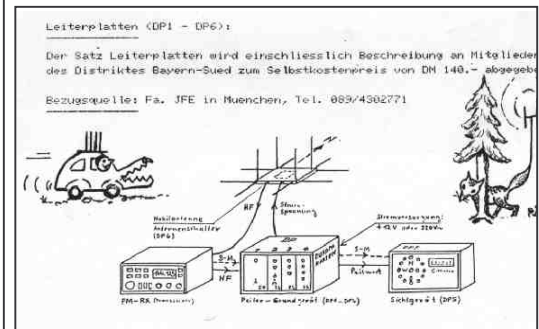
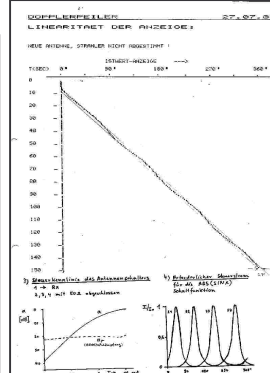
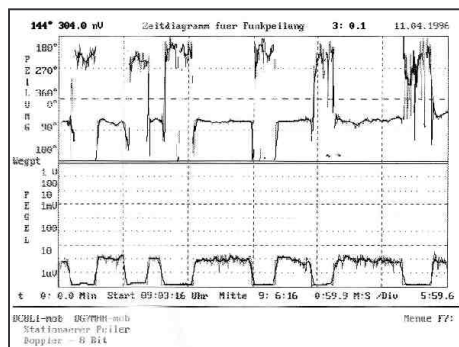
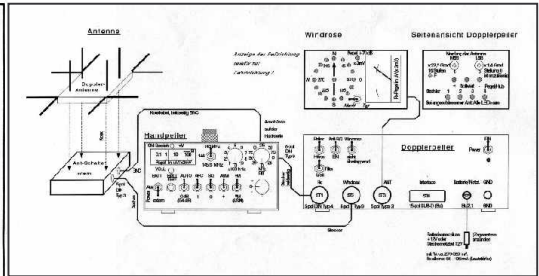
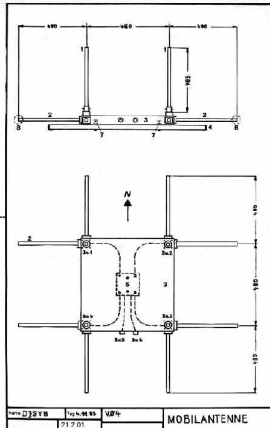
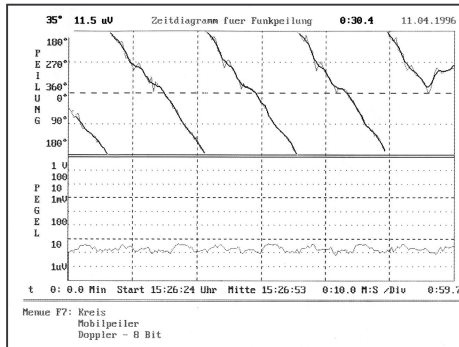
Dopplerpeiler dj3yb

Erweiterung auf ein 8-Antennen-Array

Das Systemkonzept berücksichtigt auch die Möglichkeit, mit den beschriebenen Baugruppen durch Umlöten von Brücken und einer Baugruppen-Kaskadierung einen Peiler mit 8'er Antennenarray aufzubauen.

Einsatz als Mobilpeiler

Die praktische Erprobung im PKW zeigte die Überlegenheit des Automatikpeilers gegenüber Handpeilern, wenn während der Fahrt gepilt werden soll. Vor allem erkennt man reflexionsbedingte Missweisungen durch eine instabile Anzeige sehr schnell. Daraus geht auch hervor, dass man niemals im Stehen peilen darf. Ähnlich wie bei Fuchsjagen zu Fuß, sind im schwierigen Gelände Erfahrung und Geschick des Fuchsjägers ausschlaggebend für den Erfolg. Nur im freien Gelände ist die Peilanzeige so stabil, dass nach „Kurs“ gefahren werden kann, wenn dies der Straßenverlauf zulässt.



Literaturhinweise:

1	Rogers, Terrence; WA4BVY:	A Dopple Sc Ant;	QST May 1978
2	Norman, C; DC3KE:	High-Speed-Peiler;	Selbstverlag
3	Zopp, Günther, DL9SU:	Neues Amateur-Peilverfahren mit dem Dopplereffekt Automatisches Peilen mit dem Dopplereffekt Get notch Q's in the hundreds	VHF/UHF 1980 München Funkschau 1980, Heft 13-16 und 1981, Heft 23 Electronic Design 16 73 Magazine June 1981
4	Kaufmann, Mike:	DF-Breakthrough	UHF-Unterlage, Teil 3
5	Cunnigham, David, W7BEP:	Minimal Computer mit Z80-CPU	MC 1983 Heft 1
6	Baier, Peter, DJ3YB	UHF/VHF Direction Finding Großbasispeiler nach dem Dopplerprinzip	Tech-Notes Vol. 8 #1, 1981 Nachrichtentechn. Fachberichte Bd. 12 1958 S. 85-90
7	Wiesemann, Reinhard Watkins Johnson Company Steiner, F. SEL Pfortsheim	VHF/UHF-Ortung in der Stadt Interproducing the MF-10 Panorama-Empfänger mit Tracking-Zusatz	Ortung und Navigation, Heft 2 1980 Funkschau 1980, Heft 12
8	Rohde & Schwarz, München		
9	National Semiconductor Peter Baier, DJ3YB		