

Ausgehend von der technischen Situation vor 50 Jahren berichten Dr. Rohde und Direktor i. R. Dipl.-Ing. Richard Leonhardt, der erste Entwicklungsleiter im Hause Rohde & Schwarz, über Anfänge und Schwerpunkte des R&S-Fertigungsprogramms.

# Erste Entwicklungen – und was daraus wurde

## Stand der Meß- und Nachrichtentechnik um 1930

Die Nachrichtentechnik im Ton- und Hochfrequenzbereich hatte schon ein beachtliches Niveau erreicht. Das telefonische Orts- und Weitverkehrsnetz befand sich in zügigem Ausbau; die Trägerfrequenztechnik auf Fernleitungen etablierte sich. Der Rundfunk war den Kinderschuhen entwachsen; erste öffentliche Versuche zur Fernsehübertragung kündigten sich an; transatlantische Verbindungen über Kurzwellen gewannen an Bedeutung.

Nachrichtentechnische Betriebsgeräte wurden bereits serienmäßig gefertigt, und das Angebot der dafür erforderlichen Bauelemente war breitgefächert. Die sich daraus bei der Entwicklung und Fertigung ergebenden meßtechnischen Aufgaben bedurften der Lösung. Wie ging man hierbei vor, und was stand zur Verfügung?

Für die schon auf eine längere Entwicklungszeit zurückblickende Fernsprechtechnik – mit der Post als Auftraggeber – gab es ein respektables Geräteprogramm, insbesondere von Siemens: Tonfrequenzgeneratoren, Spannungsindikatoren und Eichleitungen zur Bestimmung der wichtigsten Größen Pegel und Dämpfung sowie deren Frequenzabhängigkeit. Es herrschte noch die Lehrmeinung, daß mit Röhren bestückte Spannungsmesser wegen deren Instabilität nicht geeicht werden könnten und daher nur als Indikatoren für Spannungsgleichheit oder -Minimum verwendbar seien. Andererseits kam man wegen der niedrigen Pegel und der Hochohmigkeit um die Verwendung von Verstärkern nicht herum. Daneben gab es Meßbrücken für die Daten der Bauelemente und die Impedanz von Schaltungen. Der Elektronenstrahl-Oszillograf hatte die ersten Schritte der Entwicklung zu einem technischen Gerät hinter sich.

Wie stand es aber um die Meßtechnik bei hohen Frequenzen? Jeder technische Fortschritt hängt maßgeblich von den Möglichkeiten ab, die die zugehörige Meßtechnik bietet. Dies gilt besonders für die Hochfrequenztechnik mit ihren von den menschlichen Sinnen nicht unmittelbar erfaßbaren Erscheinungsformen. So waren in den vorangegangenen Jahrzehnten zwar zahlreiche Meßverfahren erdacht und erprobt worden; sie entstanden aber in der Regel im Rahmen der allgemeinen technischen Entwicklung in Forschungsinstituten oder bei den Herstellern von Hochfrequenz-Nachrichtengeräten. Spezialisten, die sich ausschließlich mit meßtechnischen Aufgaben beschäftigten, waren die Ausnahme und Spezialfirmen für HF-Meßgeräte außerhalb der USA unbekannt.

Angesichts dieses Standes ist es erstaunlich, welchen Umfang die Literatur zu diesem Thema schon angenommen

hatte. In der 1907 gegründeten Zeitschrift „Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie“ (später „Hochfrequenztechnik und Elektroakustik“) sind bis 1933 etwa 200 Beiträge über Hochfrequenz-Meßtechnik enthalten; ähnliches gilt im englischsprachigen Raum für die Zeitschrift „Proceedings of the Institute of Radio Engineers“ (ab 1913). Noch eindrucksvoller wirken die Lehrbücher – so das Buch von A. Hund „Hochfrequenzmeßtechnik“, dessen erste Auflage 1922 (!) erschien, der wegen der „außerordentlich schnell fortschreitenden Entwicklung“ 1928 eine zweite folgte mit 348 (!) Abschnitten vorwiegend über Meßverfahren und Meßanordnungen. Derselbe Verfasser, der in den USA tätig war, veröffentlichte 1933 bei McGraw-Hill eine englische Fassung mit dem Titel „High-Frequency Measurements“. Erste einschlägige Buchveröffentlichungen in den USA stammen von Moullin (1928) und Brown (1931).

Betrachtet man rückblickend den Einfluß, den diese Bücher auf unsere Arbeiten hatten, so zeigt sich, daß sie durch ihre Vielfalt eher verwirrend als fördernd wirkten; sie waren eben vom „wissenschaftlichen“ Standpunkt geschrieben, während wir unsere Aufgabe darin sahen, „technische“ Geräte zu entwickeln, die als Werkzeug (ohne spezielle Schulung) verwendbar waren, das heißt, unmittelbar und rasch das gesuchte Ergebnis zu liefern hatten. Diese inzwischen selbstverständliche Forderung war damals noch kaum erfüllt. Man brauchte einen „Meßkünstler“, der trotz improvisierter und unvollkommener Mittel bei Abschätzung der Fehlermöglichkeiten brauchbare Meßergebnisse erzielte. Ihn galt es zu ersetzen.

Wenn auch nicht im gleichen Ausmaß wie heute, so stellte auch damals die eigentliche meßtechnische Problematik nur den kleineren Teil der bei der Entwicklung von Geräten zu lösenden Aufgaben dar. Hierfür waren Kenntnisse dessen, was man heute mit Elektronik bezeichnet, wesentlich. Im Unterschied zur klassischen Meßtechnik stand die Problematik der Verwendung von Elektronenröhren im Vordergrund. Die Beherrschung ihrer Instabilität war Voraussetzung, wollte man die elektronische Meßtechnik auf eine solide Grundlage stellen. Als „Brevier“ hierfür diente das berühmte „Lehrbuch der Elektronenröhren“ von H. Barkhausen, das ab 1923, mit Erweiterung auf vier Bände, erschien.

## Absatzmöglichkeiten für elektronische Meßgeräte

Wie stand es Anfang der dreißiger Jahre damit? Gab es einen Markt für serienmäßig gefertigte elektronische Meßgeräte?

In der schon lange eingeführten Telefontechnik war die Messung der Übertragungseigenschaften insbesondere in dem sich rasch ausweitenden Fernverkehrsnetz zwingende Voraussetzung für einen einwandfreien Betrieb; hierzu waren an vie-

len Stellen Meßgeräte erforderlich. Diesen Bedarf deckten aber die Systemhersteller weitgehend selbst.

Auf dem Gebiet der Hochfrequenztechnik, also beim Rundfunk und bei der drahtlosen Nachrichtenübertragung, konnte man sich dagegen etwas länger mit experimentellen Methoden behelfen. Die Fachleute bei den großen Geräte-Herstellern waren in der Lage, nach den in der Literatur angegebenen Rezepten zu arbeiten oder für ihre spezielle Aufgabe ein Meßgerät zu bauen.

Mit der Ausdehnung der Hochfrequenztechnik über den Kreis dieser Spezialfirmen hinaus traten jedoch meßtechnische Probleme in Betrieben auf, die hierfür nicht gerüstet waren, beispielsweise bei den Herstellern von Bauelementen und Materialien, die feinmechanisch oder chemisch orientiert waren. Man versuchte, naheliegenderweise zunächst durch die Vergabe von Untersuchungsaufträgen an Hochschulen zu den erforderlichen Meßergebnissen zu kommen (nicht zuletzt ergaben solche Kontakte auch die Anregung zur Gründung der Firma Rohde & Schwarz, siehe Seite 5).

Auf längere Sicht aber war auch für diese Unternehmen die Beschaffung eigener Meßmittel unumgänglich. Eine ähnliche Situation herrschte bei den öffentlichen Auftraggebern, die für eigene Untersuchungen, zur Betriebsüberwachung und zu Abnahmen Meßmittel benötigten. Schließlich geriet die Hochfrequenztechnik in den Sog der Aufrüstung. Kurzum: Institutionen und Stäbe sowie die auf diesem Gebiet tätigen Firmen waren angesichts der umfangreichen Entwicklungsaufgaben froh, wenn sie nicht auch noch die zugehörige Meßtechnik selbst erstellen mußten.

Entsprechend wuchsen die Bedeutung und der Bedarf der Zuliefer-Industrie. Die steigenden Ansprüche der Rundfunkanstalten an die Versorgungs- und Übertragungsqualität war nur

mit einer Verbesserung der meßtechnischen Ausstattung sicherzustellen. Im Hintergrund standen für lange Zeit lediglich **Rundfunkgerätehersteller**, für deren Massenfertigung man bevorzugt eine speziell auf das Produkt zugeschnittene Prüftechnik einsetzte. Mit der wachsenden Komplexität der Geräte und dem damit verbundenen Entwicklungsaufwand sank jedoch auch hier wie andernorts die Tendenz zum Eigenbau von Meßgeräten.

Dieser Rückblick auf das technisch-wirtschaftliche Umfeld sollte eine Vorstellung vermitteln von den Startbedingungen des „Physikalisch-technischen Entwicklungslabors Dr. Rohde & Dr. Schwarz“.

## Entwicklungsmethodik und Zielsetzung

In der Pionierphase wurde die Entwicklung eines neuen Gerätetyps vielfach durch einen Kundenauftrag ausgelöst. Dabei bestand zwar eine dem Angebot zugrunde liegende Vorstellung über den einzuschlagenden Weg, die Durchführbarkeit aber erwies sich erst am auszuliefernden Prototyp. War er erfolgreich und allgemein verwendbar, so wurde er in das Lieferprogramm aufgenommen. Andere Anregungen ergaben sich aus dem Eigenbedarf, denn wir mußten unsere internen Meßmöglichkeiten ja ebenfalls ausbauen.

Formalismus war klein geschrieben, und so wurde der heute unumgängliche Entwicklungsauftrag mit seiner detaillierten Zielbeschreibung sozusagen durch Zuruf erteilt. Diese Situation erlaubte Entwicklungsdauern, die nach Wochen zu zählen waren – eine von heute aus gesehen geradezu atemberaubende Geschwindigkeit. Dem kam entgegen, daß die Geräte,

### vita pro electronica

Mein Leben mit der Elektronik begann im Jahre 1919. Ich war 13 Jahre alt, als mir mein Vater aus Heeresbeständen einen Löschfunkensender (wer denkt bei dem Wort „Rundfunk“ noch an diesen Ursprung?), einen Detektorempfänger, Drehkondensatoren, Spulen und Verstärkerrohre schenkte. Damit begann das Basteln. Ich wurde Radioamateur (1923). Es faszinierte mich, daß man mit kurzen Wellen Kontinente überbrücken konnte, und mir wurde klar, wie wichtig es dabei ist, die Frequenz genau einzuhalten.

Die Begeisterung für die Hochfrequenz teilte ich mit Hermann Schwarz, den ich 1929 beim Studium der Technischen Physik in Jena traf. Wir bauten den ersten Interferenzwellenmesser (Titelbild dieser Jubiläumsschrift), der – nach unser beider Doktorexamen – den Einstieg in unsere 1933 gegründete Firma bedeutete. Das Interesse an der HF-Meßtechnik war allgemein groß; nur gab es damals noch wenig Fachleute.

„Elektronik“ hieß das neue Wort (geprägt von der seit 1930 in den USA erscheinenden Zeitschrift »Electronics«) für alles, was mit Elektronenröhren zu tun hatte: Empfänger, Verstärker, Sender. Wir setzten Elektronenröhren schon in unseren ersten Meßgeräten ein und bauten damit später auch Geräte für cm-Wellen, wie sie die Radartechnik im Zweiten Weltkrieg erforderte, sowie den ersten europäischen UKW-Hörfunksender (1949). Röhren enthielt auch unsere erste tragbare Quarzuhr, auf die ich 1937 ein Patent erhielt.

Der Transistor (1947) brachte einen grundsätzlichen Wandel. Man lernte, Kombinationen aus Transistoren und anderen Bauelementen auf kleinstem Raum unterzubringen (Integrated Circuit, IC), und aus weiteren Kombinationen, diesmal mit Speichern, wurden Rechner (Mikroprozessoren 1971) – zwei Elektronik-Generationen, von denen unsere Geräte sehr früh profitierten.

Wer wie Hermann Schwarz und ich diese ganze dramatische Entwicklung

aktiv miterlebt hat, kann das Staunen über die erreichte Perfektion nicht verlieren. Unsere Enkel tragen Quarzuhren mit Computern am Arm; für sie sind Stereoklang und Farbfernsehen längst, Heimcomputer und Bildschirmtext bald selbstverständlich. Intelligente elektronische Systeme dringen unaufhörlich vor: in Haushalt und Schule, in Büros, Fabriken und Krankenhäuser, im militärischen Bereich und im Weltraum. Unsere Mitarbeiter entwickeln, konstruieren und produzieren „computer-aided“.

Die digitale Revolution setzt sich fort, Kommunikation über Lichtwellenleiter kommt, die Solid State Technology wird nochmals um Größenordnungen leistungsfähiger. Daten- und Nachrichtentechnik wachsen zusammen mit einer von Software-Aufgaben geprägten Zukunft. – Unser Stolz, zum Erreichten beigetragen zu haben, ist verbunden mit dem Wunsch, daß die Technik auch in Zukunft dem Wohl der Menschheit dient.

Lothar Rohde

zumindest was die Anzahl der Bauelemente betrifft, vergleichsweise recht einfach waren und daß der Bearbeiter alle Funktionen in einer Person vereinigte: als Planer, Konstrukteur, Entwickler, Prüfer und meist noch als Vertriebsingenieur. Dies und die begrenzten, erst schrittweise zu erarbeitenden Möglichkeiten der exakten Nachprüfbarkeit brachten es mit sich, daß es nicht immer gelang, die technischen Daten im erwünschten Maße sicherzustellen. Aus dem Bemühen, diese Mängel zu beheben, entstanden die detaillierten Angaben von Garantiewerten, die sich häufig über mehrere Seiten des Datenblatts erstreckten, und strenge Regeln für ihre Einhaltung. Zusammen mit geschickten und soliden konstruktiven Lösungen, ansprechendem Design sowie einer hochwertigen Feinmechanik und Fertigungstechnik war dies die Basis für den Begriff **Elektronische Präzision**, der zum Image und Symbol der Firma wurde.

Wie schon erwähnt, war seinerzeit elektronische Meßtechnik weitgehend identisch mit Nachrichtenmeßtechnik. Unser Programm umfaßte zunächst den ganzen Bedarf, zumindest für Hochfrequenz. Diese Zielsetzung geriet ins Wanken, als nach dem Krieg die Anwendung elektronischer Mittel zur Messung auf fast allen Gebieten von Physik, Chemie, Technik und Medizin zum Durchbruch kam. Ein Programm solcher Breite ist kaum vorstellbar; für die notwendige Spezialisierung bot sich das klassische Gebiet der **Nachrichtenmeßtechnik** an, für das Rohde & Schwarz ein breites Programm hochwertiger Geräte liefert.

Von der Vielfalt der Produkte des Hauses und den darin realisierten originellen, geschickt publizierten Lösungen ging in der Frühzeit offenbar so etwas wie Faszination aus, was sich Äußerungen von Fachleuten entnehmen läßt. Besonders angezogen hiervon waren ideenreiche junge Ingenieure, die danach strebten, in einem solchen illustren Kreis mitarbeiten zu dürfen.

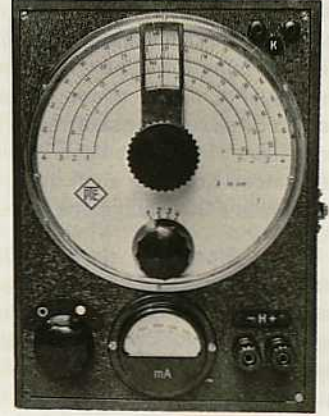
## Erste Produktlinie: Frequenzmesser, Frequenznormale

Während der Tätigkeit der Firmengründer an der Universität Jena entstand als erste gemeinsame Entwicklung ein Gerät für die Bestimmung der zentralen Größe Frequenz mit einer für die damaligen Verhältnisse sehr hohen Genauigkeit (Titelbild und Presse-Echo, Seite 86). Das bei diesem Prototyp angewendete Konzept lieferte die Basis des **Allwellen-Frequenzmessers WIP**, eines ab Firmengründung tragenden R&S-Produkts. Die erheblichen Anforderungen auch an die mechanische Präzision gaben wesentliche Impulse zur Förderung der Feinmechanik, die im Laufe der Jahre einen hohen Stand erreichte. So wurden bald die anfänglichen Steckspulen durch eine voluminöse Spulentrommel ersetzt. Wesentlichen Anteil an der großen Eichkonstanz hatten keramische Spulenkörper mit aufmetallisierter Wicklung (frühe gedruckte Schaltung) und keramische Kondensatoren mit kleinem, definiertem Temperaturkoeffizienten – Entwicklungen, auf die wir maßgeblichen Einfluß hatten. Nach einigen Jahren schloß sich als Schwestergerät der **UKW-Frequenzmesser WID** an, der mit einem nominalen oberen Frequenzbereich von 3000 MHz in das noch kaum bearbeitete Gebiet der Dezimeter-Wellen vorstieß.

Voraussetzung für große Meßgenauigkeit war neben hoher Bauelemente-Konstanz eine entsprechend große Anzeigegenauigkeit der analogen Skalen (digitale Anzeigeverfahren im heutigen Sinne gab es ja noch nicht). Einer Vergrößerung der Skalenlänge waren – trotz der Aufteilung auf acht Teilbereiche – konstruktive Grenzen gesetzt. So blieb der Bereich

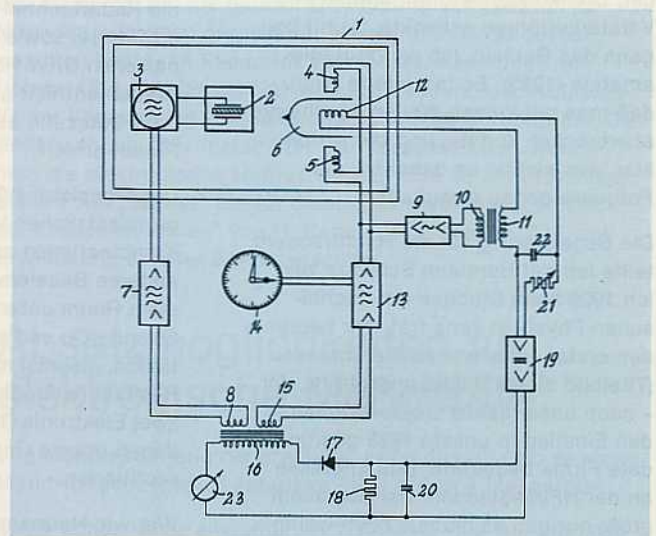


Allwellen-Frequenzmesser WIP für 50 kHz bis 50 MHz, die erste Entwicklung nach Firmengründung, und Resonanzfrequenzmesser WAR für Dezimeterwellen von 1935 (unten).



des „Feinmessers“, dessen Meßgenauigkeit entscheidend ist, eng begrenzt (z. B. 1:1,5); die Dehnung des Bereichs auf beispielsweise 1:1000 wurde ermöglicht durch die Verwendung von Harmonischen der Frequenz der Generatoren, die der „Grobmesser“ (für den Gesamtbereich) und der „Feinmesser“ darstellten. Zur Beobachtung der Übereinstimmung zweier Harmonischer diente die **Interferenz** mit ihrer praktisch unbegrenzten Auflösung; so wurde der Kopfhörer – für die Beobachtung der Differenzfrequenz – zum Symbol der Frequenzmessung.

Ein zweites Bein der Frequenzmeßtechnik (und des Firmenumsatzes) stellten die **Resonanzfrequenzmesser** dar. Im Prinzip bestehen solche Geräte nur aus einem abstimmbaren Resonanzkreis und einem parallelgeschalteten Spannungsmesser, etwa einem simplen Kristalldetektor. Dem gegenüber Interferenzwellenmessern um Größenordnungen geringeren Aufwand entsprechen auch die vergleichsweise geringe



„Piezoelektrisch gesteuertes Zeitnormal“, patentiert ab 7. Juli 1937, Erfinder Dr. Lothar Rohde – wichtige Voraussetzung für die Entwicklung der ersten tragbaren Quarzuhr der Welt.

Frequenzmeßanlage  
aus den vierziger Jahren;  
im linken Gestell  
die tragbare Quarzuhr CFQ.

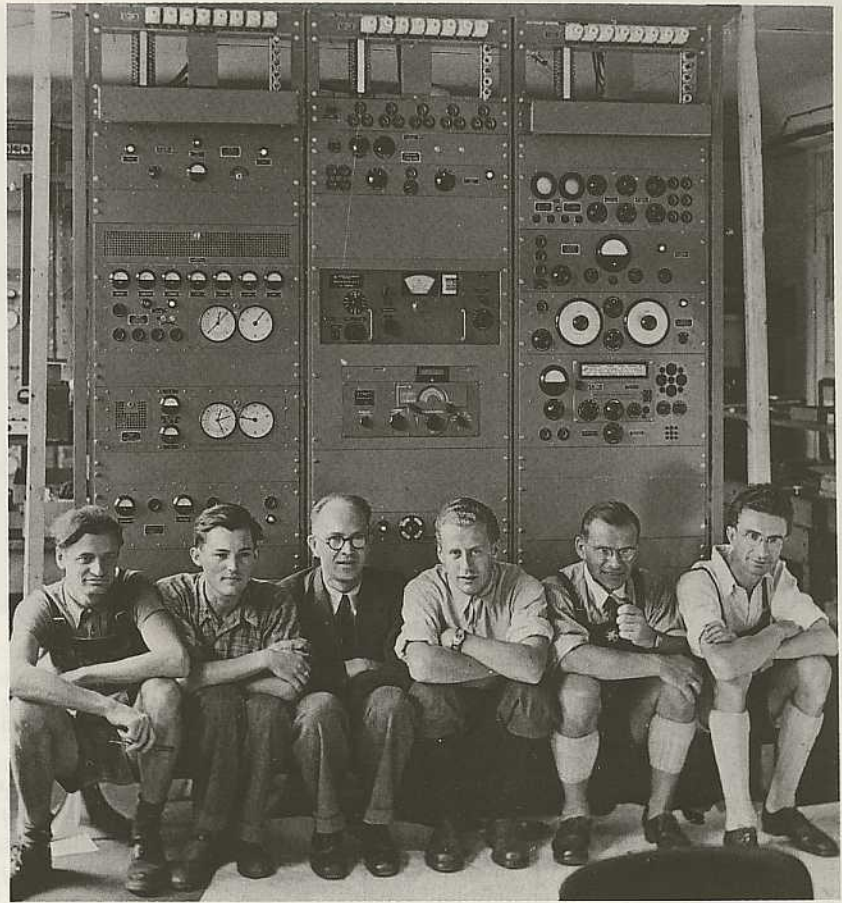
Genauigkeit und Empfindlichkeit. Trotzdem spielten Resonanzfrequenzmesser seinerzeit eine erhebliche Rolle – die Ansprüche waren eben noch bescheiden. Ein origineller früher Vertreter dieser Bauart ist der **Resonanzfrequenzmesser für Dezimeterwellen WAR**, dessen Abstimmung mit einem Schleifer auf einem Drahtbügel eine obere Frequenzgrenze von 750 MHz ermöglichte. Resonanzfrequenzmesser wurden in zahlreichen Ausführungen auf den Markt gebracht, wobei sich ihre Anwendung überwiegend zu sehr hohen Frequenzen verschob; die begrenzte Genauigkeit und das Vordringen anderer Techniken ließen diese Gattung jedoch aussterben.

Historisch interessant ist, daß Rohde & Schwarz erste Frequenzmesser-Typen zur Lizenzfertigung an Dritte vergeben hat. Dies war das Ergebnis von Überlegungen bei der Firmengründung, sich nämlich nur mit der Geräteentwicklung zu beschäftigen und die Fertigung außer Haus vornehmen zu lassen. Doch der Übergang vom Labor zur Fabrik war aus mancherlei Gründen unvermeidbar.

Unsere Erfahrungen mit Oszillatoren hoher Frequenzkonstanz und das offensichtliche Bedürfnis nach einem hochwertigen Frequenznormal führten 1937 zu dem Entschluß, eine **Quarzuhr** zu entwickeln. Zu lösen waren hierbei Probleme, wie hochkonstanter Schwingquarz und Thermostat, stabiler Frequenzteiler sowie eine mit 1000 Hz anzutreibende Synchronuhr. Im Interesse hoher Zuverlässigkeit wurde – wenn auch noch ohne tiefsinnige Theorie dazu – angestrebt, mit möglichst wenig Bauelementen auszukommen. Da eine Uhr bei Netzausfall natürlich nicht stehen bleiben darf, mußte der Betrieb aus einer Batterie möglich sein. So entstand die **Quarzuhr CFQ**.

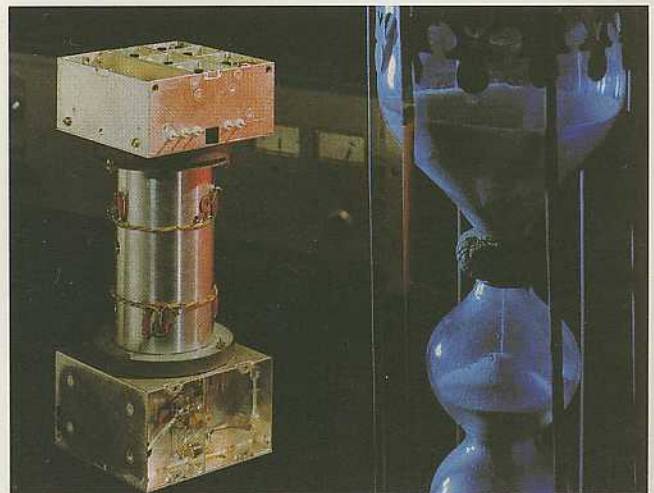
Zu dieser Zeit wurde schon an der „Physikalisch-technischen Reichsanstalt“ und an Staatsinstituten anderer Länder an Frequenznormalen gearbeitet, die eine hohe Präzision erreichten und sogar zur Feststellung von Unregelmäßigkeiten der Erdumdrehung führten; den dortigen „physikalischen“ Anlagen wollten wir indes eine „technische“ Ausführung gegenüberstellen. Für damalige Begriffe schien unser Ergebnis recht „handlich“ und galt (mit 36 kg Gewicht) auch als transportabel. Wir bemühten uns dennoch, bald auch eine **Kleinquarzuhr** zu schaffen. Vergleicht man die Ergebnisse mit dem heute erreichten Stand der Quarz-Armbanduhr, so zeigt sich die geradezu dramatische Entwicklung, die die Mikroelektronik mit sich gebracht hat. Das Volumen verringerte sich auf  $\frac{1}{100000}$ , das Gewicht auf  $\frac{1}{1000}$  (einschließlich Stromversorgung) – Werte, von denen man damals nicht einmal zu träumen gewagt hätte. Dabei bieten Quarz-Armbanduhr auf Tastendruck noch vielerlei Zusatzinformationen; nur in der Gangkonstanz sind Abstriche zu machen.

Wenn man bestrebt ist, die Genauigkeit einer Meßgröße erheblich zu verbessern, stellt sich stets die Frage nach einem angemessenen Eichnormal. Zum Prüfen des Ganges der Quarzuhren standen damals ausschließlich drahtlose Zeitzeichen zur Verfügung, die über astronomische Beobachtungen von der Erdumdrehung abgeleitet waren. Das Verfahren



erwies sich als langwierig und zeigte, daß im Zuge einer Genauigkeitssteigerung der Aufwand für die Schaffung einer Prüfmöglichkeit höher liegen kann als für die Entwicklung des Prüflings.

Die stark steigenden Forderungen an die Frequenzgenauigkeit im Funkverkehr und für Ortungsverfahren sicherten Normalfrequenzgeräten einen guten Absatz. So entstanden um die Quarzuhr als Mittelpunkt bald umfangreiche **Anlagen für Normalzeit- und Normalfrequenzzentralen und zur Frequenzkontrolle**. Unsere eigene sorgfältig gewartete Anlage lieferte über Jahrzehnte dem Bayerischen Rundfunk und AFN das von diesen Stationen ausgestrahlte Zeitzeichen. Die Weiterentwicklung dieser Anlagen machte Gebrauch von der inzwischen aktuellen Digital- und Zähltechnik. Als Herz dienten

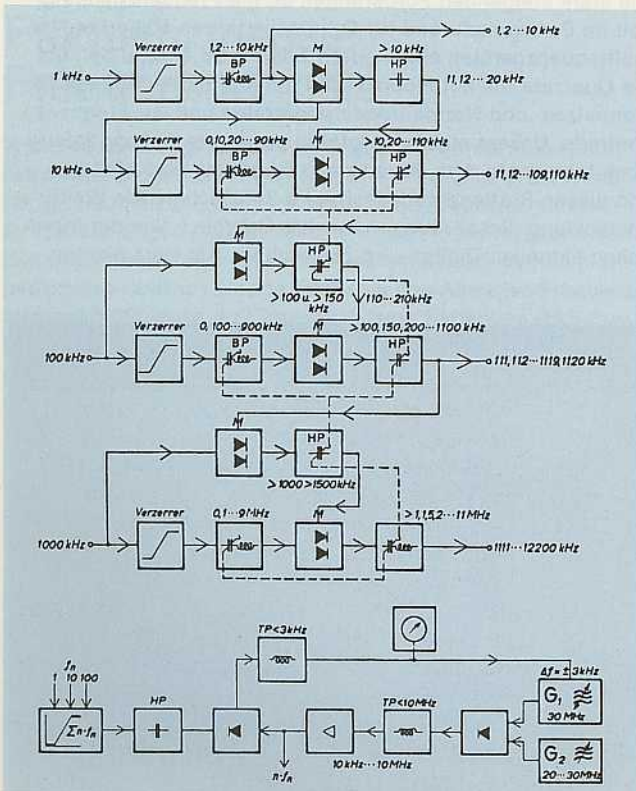


Resonanzzelle des Atomfrequenznormals XSR von 1967 neben einer historischen Sanduhr.

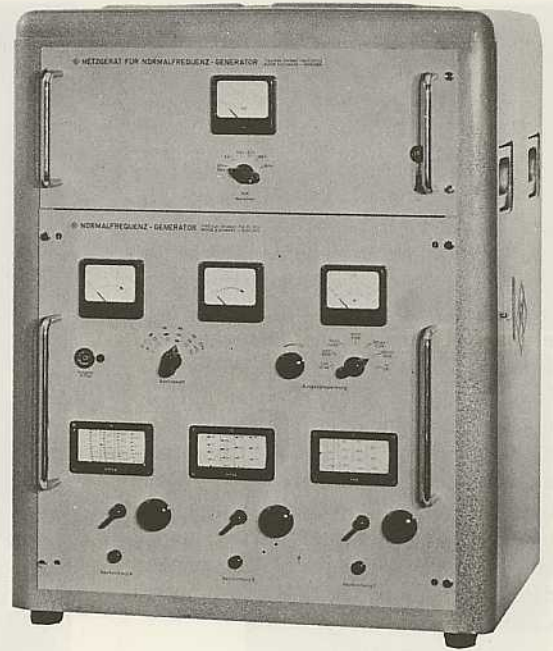
mehrfach verbesserte Quarzoszillatoren, wobei das Hauptproblem – die Langzeitstabilität (Alterung) der Quarze – hohen Meßaufwand erforderte.

Als um 1950 aus den USA die ersten Veröffentlichungen über **Atomuhren** eintrafen, fanden diese natürlich unsere besondere Aufmerksamkeit. Die recht aufwendige Ableitung eines Zeittaktes aus einer naturgegebenen Atomresonanz weit im GHz-Bereich versprach zumindest eine gute Langzeitkonstanz. Bei den ersten Atomuhren der Forschungsinstitute handelte es sich um sehr voluminöse Anlagen, deren Umwandlung in handliche technische Geräte nicht absehbar war. Erst als ein Verfahren bekannt wurde, die Resonanzfrequenz eines Rubidium-Isotops in einer Gaszelle mit optischen Mitteln zu erfassen, schien diese Möglichkeit gegeben, und nun griffen wir die Entwicklung auf. Das erforderte die Einarbeitung in das für den Elektroniker abseits liegende Gebiet der Atomphysik und die Lösung physikalisch-chemischer Probleme. Als Resultat kam 1967 das **Atomfrequenznormal XSR** ins Programm. Es liefert eine Normalfrequenz von 5 MHz bei einer Instabilität von nur einigen  $10^{-11}$ ; das Volumen liegt bei  $5 \text{ dm}^3$ . Zusammen mit weiteren Einschüben entstehen Normalzeit-/frequenz-Systeme in Gerätekastengröße.

Aus den hochgenauen Frequenzen, die nun zur Verfügung standen, ließen sich durch Frequenzteilung und -vervielfachung dichte Frequenzraster erzeugen, mit denen zahlreiche Kontrollaufgaben zu lösen waren. Es lag aber der Wunsch nahe, aus einer einzigen Normalfrequenz eine frei wählbare, harmonische Einzelfrequenz abzuleiten und damit ohne Verlust an Genauigkeit weite Frequenzbereiche in feinen Stufen zu überstreichen – eine Technik, für die sich die Bezeichnung **Synthesizer** eingeführt hat. Arbeiten in dieser Richtung begannen um 1941; über erste Ergebnisse berichtete Lothar Rohde unter dem Titel „Normalfrequenz und Frequenzmessung“ im Sammelband »Fortschritte der Hochfrequenztechnik«, Band 2, Seite 242 bis 328 (1943). Behandelt sind hier die Möglichkeiten der Addition ausgefilterter Spektrallinien



Blockschaltbilder aus der Veröffentlichung von Lothar Rohde über „Normalfrequenz und Frequenzmessung“ (1943) zum Prinzip der Frequenzsynthese und -analyse.



1954: Normalfrequenz-Generator XUA für 30 Hz bis 30 MHz in Stufen von 100 und 1 kHz quarzgenau rastbar, dazwischen stetig mit einem Fehler unter 0,5 Hz einstellbar.

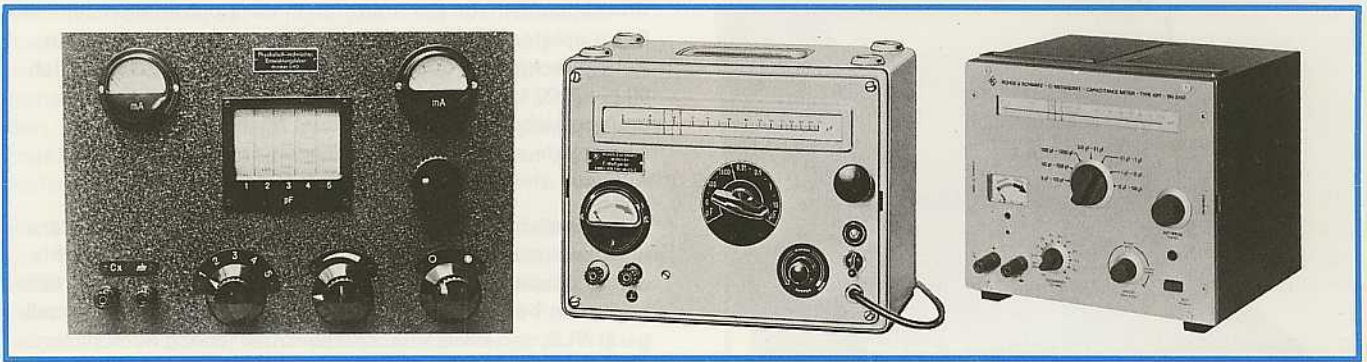
und deren Auswahl durch Dekadenschalter speziell zur Steuerung von Sendern und Empfängern sowie die Phasensynchronisation (heute PLL – Phase-Locked Loop – genannt) eines in seiner Frequenz veränderbaren Generators auf eine von beispielsweise 1000 Spektrallinien.

Als wir nach dem Krieg das Problem wieder aufgriffen, entstand als erste Entwicklung in dieser Richtung der **Normalfrequenz-Generator XUA**; er kam 1954 auf den Markt und fand auch international Beachtung. Dieses nach dem Verfahren der Frequenzsynthese arbeitende Gerät mit 30000 Rastfrequenzen und der Möglichkeit der Interpolation zwischen diesen war als Meßsender und zur Frequenzmessung konzipiert. Ihm folgten Generationen von Synthesizern mit dekadischer Frequenzeinstellung; heute ist kaum noch ein Generator der Meß- und Nachrichtentechnik und kein hochwertiger Funkempfänger (mit „quasikontinuierlicher Abstimmung“) denkbar, der nicht von der Synthesizer-Technik Gebrauch macht, nicht zuletzt dank der Vereinfachung und Verkleinerung der Baugruppen durch integrierte Schaltungen.

## Scheinwiderstandsmeßgeräte

Wie schon im ersten Aufsatz dieser Jubiläumsschrift erwähnt, kam ein Anstoß zur Firmengründung aus dem Wunsch der keramischen Industrie, die dielektrischen Verluste ihrer verbesserten keramischen Materialien laufend zu untersuchen. Das anfängliche Aufgabengebiet der Messung der Werte und Verlustfaktoren von kapazitiven und induktiven Bauelementen weitete sich bald aus zur Scheinwiderstandsmessung an Zwei- und Vierpolen von Gleichstrom bis zu Zentimeterwellen – heute als **Netzwerkanalyse** bezeichnet. An einigen Produktlinien lassen sich die Veränderungen durch die Forderungen des Marktes und die Nutzung verbesserter Technologien anschaulich machen.

In der klassischen Zeit der Elektrotechnik war das Messen von Scheinwiderständen stets verbunden mit einer Brückenschaltung, die es in zahlreichen Varianten gab. Man brauchte neben der eigentlichen **Meßbrücke** Bezugsnormen sowie zur Speisung einen Generator und zur Anzeige einen empfindlichen Indikator. Der Abgleich der Brücke nach Real- und Ima-



Drei Generationen – 1934, 1948, 1968 – Kapazitätsmeßgeräte: KRH (0 bis 200 nF), KARU (0 bis 10  $\mu$ F) und KRT (0,5 pF bis 100  $\mu$ F); Fehlergrenzen aller drei Geräte  $\pm 1\% \pm 0,5$  pF.

ginärteil war mühsam, die Fehlerquellen vermehrten sich bei hohen Frequenzen; der meist umfangreiche Aufbau und die schwierige Beherrschung des Abgleichs unter Ausschluß von Fehlern ließen im Laborjargon den „Brückenheiligen“ entstehen – schließlich konnte bei weitem nicht jeder mit dem Meßplatz umgehen.

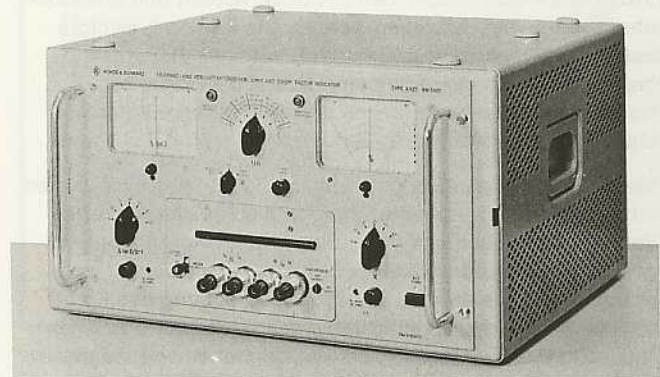
Die Mitarbeiter unseres Labors waren alle hochfrequenztechnisch geprägt, das heißt Resonanzkreise, Oszillatoren und Röhrenvoltmeter gehörten zu ihrem Handwerkszeug. So lag es nahe, diese Bauelemente zur Lösung heranzuziehen, und so beruhen lange Zeit viele Geräte auf einer Anwendung des **Resonanzprinzips**. Hiermit ließ sich schon bei geringem Aufwand das angestrebte Entwicklungsziel erreichen, komplette Meßgeräte anzubieten, also solche, die keiner zusätzlichen Hilfsapparate bedürfen. Die unbestreitbaren Vorteile der Brücken- und Kompensations-Verfahren waren Anlaß, noch in späteren Jahren auch diese Technik zu pflegen, wobei die Nachteile durch Maßnahmen zur Bedienungsvereinfachung bis zur Automatisierung von Abgleich und Fehlerkorrektur abgeschwächt wurden.

Beginnen wir mit Geräten zur **Messung von Induktivitäten und Kapazitäten**. Für diese Grundbedürfnisse jedes Hochfrequenzlabors entstanden mit der Firmengründung das **Kapazitätsmeßgerät KRH** und das **Selbstinduktionsmeßgerät LRH** – Geräte, die sich dank ihrer Verbreitung einen legendären Ruf erworben haben. Sie machten vom Resonanzprinzip Gebrauch, bei dem die Meßfrequenz auf die Resonanz eines mit dem Meßobjekt gebildeten Schwingkreises abgestimmt wird und die Skala in der Meßgröße geeicht ist. Rund 20 Jahre waren diese Geräte am Markt, nach etwa zehn Jahren in verkleinerter Ausführung, mit erweitertem Meßbereich und erhöhtem Ablésekomfort als **C-Meßgerät KARU** und **L-Meßgerät LARU**. Diese Typen wurden nach etwa weiteren 20 Jahren von den Modellen **KRT** und **LRT** abgelöst, zeitgemäß der Halbleitertechnik in Aufbau und Anwendung angepaßt, doch im Prinzip unverändert. Nachdem die Umfrage nach „R&S-Oldies“ (Schlußbeitrag) ergeben hat, daß noch zahlreiche Geräte auch aus den vierziger Jahren in Betrieb sind, dürften – bei der erwiesenen Langlebigkeit – mehr als 10 000 C- und L-Meßgeräte von Rohde & Schwarz die Labors bevölkern.



Kapazitätsmesser mit Toleranzeinstellung KSR zum Sortieren von Kondensatoren (1934).

Beim Prüfen und Klassieren von Bauelementen will man meist die relative Abweichung vom Sollwert bestimmen, das heißt, man wünscht eine **Toleranzanzeige**. Dies war besonders aktuell bei der mit der Firmengründung zeitlich zusammenfallenden Einführung von Keramikkondensatoren. Gemäß der erläuterten Philosophie wurden auch hierfür Geräte nach dem Resonanzprinzip entwickelt, so der **Kapazitätsmesser mit Toleranzeinstellung KSR**. Wenn auch für den Toleranzabgleich eine direkt in % ablesbare Skala vorhanden war, so mußte diese doch unter Beobachtung einer (trägheitsfreien) Glimmlampe von Hand nachgestellt werden. In einem Datenblatt von 1935 wird eine Sortierleistung von 1000 Stück pro Stunde genannt – sicher eine mühsame Arbeit. Zur Beschleunigung und Automatisierung sollte deshalb die Abweichung direkt als Spannungswert gewonnen werden. Hier zeigte sich die Überlegenheit des Brückenprinzips mit einem phasenempfindlichen Gleichrichter. Durch Vergleich mit einem entspre-



Toleranz- und Verlustfaktorzeiger KVZT, ein in Brückenschaltung aufgebautes, volltransistorisiertes Gerät zum Messen und Klassieren großer Stückzahlen von Widerständen, Kondensatoren und Spulen nach Betrag und Phase (1965).

chenden Normal lassen sich für C, L und R Sollwertbereiche von  $1:10^5$  bis  $10^7$  überstreichen, unabhängig vom Phasenwinkel und ohne irgendwelche Abgleichmaßnahmen am Gerät. Diese Möglichkeiten wurden genutzt im **Toleranzzeiger KZS**, der etwa ab 1950 für 25 Jahre seine Aufgabe erfüllte. Das Meßgerät war auf eine einzige als Kompromiß gewählte Frequenz von 20 kHz beschränkt. Dies und die noch fehlende Möglichkeit, neben dem Unterschied des Betrages auch den des Verlustfaktors gegenüber dem Normal anzuzeigen, führte in den sechziger Jahren in Weiterentwicklung zum **Toleranz- und Verlustfaktorzeiger KVZT**, mit dem sich nun in Stufen von 120 Hz bis 1 MHz die Abweichung bestimmen ließ bei einem noch ausgedehnteren Sollwertbereich. Allerdings zeigte die volle Ausschöpfung der Möglichkeiten des Meßprinzips, wie stark dabei der Aufwand steigt und daß die erreichte Perfektion der rentablen Nutzung im Wege stehen kann. In der Zwischenzeit wurden Aufgaben dieser Art weitgehend von Meßautomaten übernommen.



Verlustfaktor-Meßgerät für 0,1 bis 10 MHz,  
1934 entwickelt von Rohde & Schwarz, gefertigt für Siemens.

Kehren wir mit der Betrachtung der Verlustfaktormessung noch einmal zu den Anfängen der Firmengeschichte zurück. Der **Material-Verlustfaktor** war am besten an ebenen Platten zu bestimmen, die zwischen Metallflächen eingespannt wurden. Zusammen mit einem mit Mikrometer verstellbarem Zweiplatten-Kondensator in einem verlustarmen Träger bildeten sie das Kernstück eines **Verlustfaktor-Meßgeräts** für 0,1 bis 10 MHz. Bei ihm handelte es sich um einen der wenigen Typen, die in den ersten Jahren nur entwickelt und produziert, aber anderweitig vertrieben wurden. Die Messung erfolgte nach dem Resonanzprinzip durch Ersatz des Meßobjekts gegen den durch einen Reihenwiderstand bedämpften Normalkondensator. Varianten dieses Prinzips dienen der Messung von Kondensator-Verlusten.

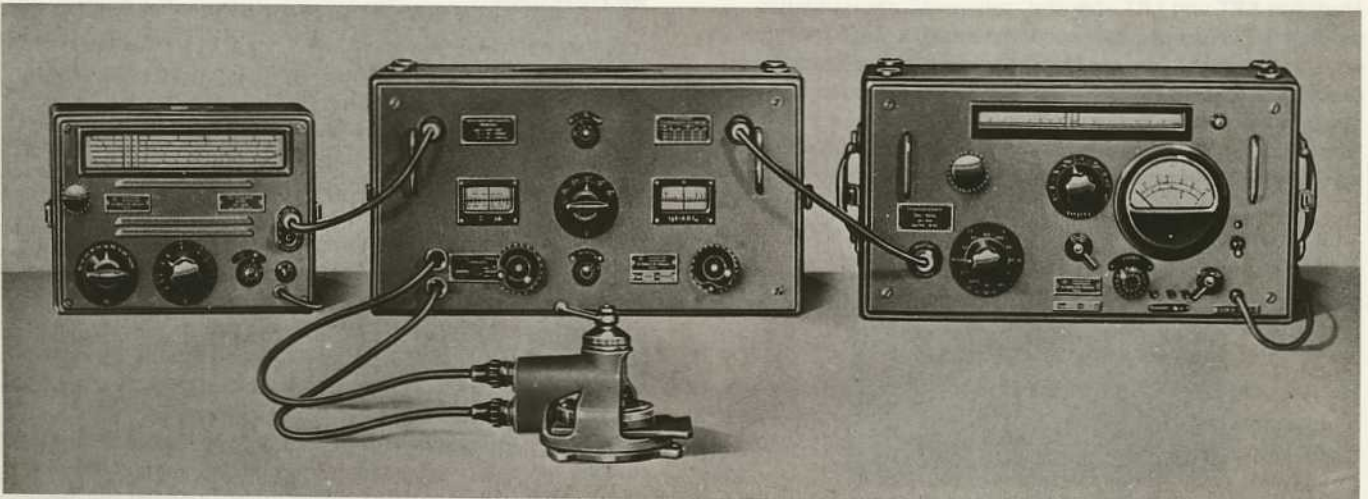
Speziell zur Material-Verlustmessung bei tieferen Frequenzen nutzten wir das Brückenverfahren in der 1947 entwickelten **Verlustfaktormeßbrücke VKB**, die mit einer Anzahl von Meßgefäßen für feste und flüssige Isolierstoffe universell verwendbar war. Sie erforderte – in Durchbrechung des Kompletteräte-Prinzips – zusätzlich einen Generator und einen Nullindikator. Die Messung der dielektrischen und magnetischen Eigenschaften von Materialien bei sehr hohen Frequenzen versprach aufschlußreiche Einblicke in Aufbau und

Anwendbarkeit von Kunststoffen in der Hochfrequenztechnik. Dafür entstand nach 1955 ein **Stoffkonstanten-Meßplatz in Koaxialtechnik**, zu dessen Gesamtumfang (Frequenzbereich 80 bis 7000 MHz) mehr als zehn Gerätetypen und eine umfangreiche Applikation zählten. Auch hier zeigte sich wieder, wie enorm mit zunehmenden Anforderungen der Aufwand steigt.

Die erheblichen Schwankungen des Verlustfaktors von Keramik-Kondensatoren in der Frühphase ihrer Fertigung machte eine Stückprüfung erforderlich. Hierfür entwickelten wir 1936 nach dem bewährten Resonanzprinzip das **Verlustfaktormeßgerät VLS**, das beim Meßobjektwechsel jedoch noch nachgestellt werden mußte und dessen Anzeige-Empfindlichkeit der Prüflingskapazität proportional war. Es gelang, diese bei der Reihenmessung hinderlichen Eigenschaften durch eine andere aus der Hochfrequenztechnik abgeleitete Schaltung zu umgehen: Die Stromaufnahme der Röhre eines selbsterregten Generators hängt von der Dämpfung seines Schwingkreises ab; das Meßobjekt bildet einen Teil des Schwingkreises; die Änderung des Anodenstroms liefert die  $\tan \delta$ -Anzeige.



Stoffkonstanten-Meßplatz (1958) für die Untersuchung der Materialeigenschaften von festen und flüssigen Stoffen bei Frequenzen bis 7 GHz.



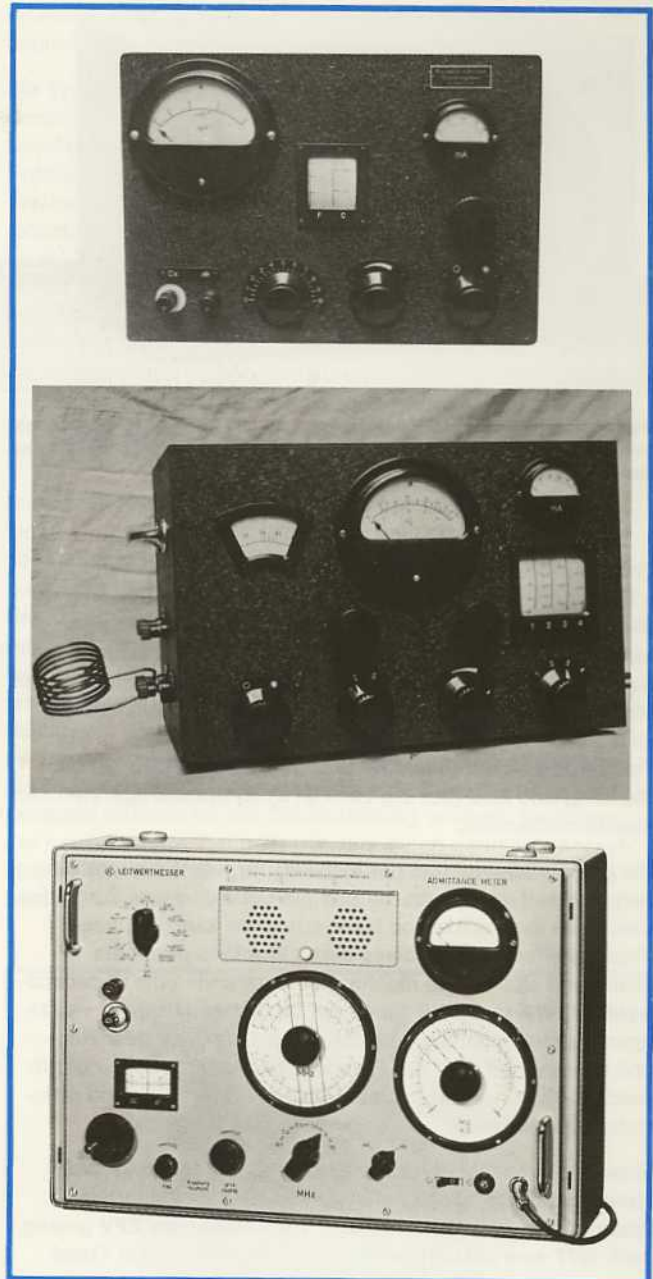
Meßplatz mit Verlustfaktormeßbrücke VKB (Mitte), RC-Summer, selektivem Anzeigeverstärker und Schutzringkondensator als Prüfobjekt-Adapter (1947).

Mit einer Schaltung zur Kompensation des Einflusses des Kapazitätswertes auf die Anzeige erfüllte das hierauf basierende **Verlustfaktormeßgerät VKS** mit einer einzigen Röhre die gestellten Anforderungen, das heißt: Kondensator anschließen, Verlustfaktor ablesen. Das gleiche leistete später der erwähnte KVZT (Brückenschaltung), aber mit einem Vielfachen des Aufwandes.

Da der Hauptanteil der Dämpfung eines Resonanzkreises von den Verlusten der Spule herrührt, war es wesentlich, auch diese messen zu können. Das wurde besonders aktuell mit der Verwendung von Massekernen und später von Ferriten. Schon 1935 entstand hierfür das **Gütfaktormeßgerät RVQ**. An einen Serienschwingkreis aus Meßobjekt und verlustarmem Kondensator wird eine (kleine) bekannte Spannung angelegt und die Resonanzspannung an der Spule angezeigt; das Verhältnis der beiden Spannungen entspricht dem **Gütfaktor**, der somit nach Abstimmung auf Maximum direkt angezeigt wird. Damit stand auch für diese Größe ein Gerät zur Verfügung, das mit seiner einfachen Handhabung und der direkten Anzeige des Meßwerts dem gesteckten Ziel gut entsprach – zumindest nach der Behebung „kleiner Nebeneffekte“, deren Klärung in der Meßtechnik häufig einen erheblichen Anteil des Entwicklungsaufwandes beansprucht. Hierauf weiterbauend folgte nach dem Krieg das **Gütemeßgerät QVH** mit erweitertem Frequenz- und Meßbereich. Als schließlich schnelle elektronische Zähler zur Verfügung standen, ließ sich ein Meßprinzip realisieren, das von der Definition des logarithmischen Dämpfungsdekrementes Gebrauch macht: Stößt man einen Schwingkreis durch einen Impuls zu freien Schwingungen an und bestimmt die Anzahl der Schwingungen zwischen zwei bestimmten Amplituden, so ist diese der gesuchten Kreisgüte proportional. Hiermit wurde im **Digitalen Gütfaktormeßgerät QDM** (1970) ein Gerät realisiert, das den Wunsch „Anschließen – Ablesen“ voll erfüllt, wobei das Ergebnis, dem Zählprinzip entsprechend, digital angezeigt wird.

Eines der Hauptprobleme bei der Entwicklung universeller Scheinwiderstandsmeßgeräte besteht in der **Realisierung eines Normals für die Wirkkomponente**, das einerseits über mehrere Zehnerpotenzen veränderbar, andererseits frequenzunabhängig sein muß. Anfangs standen als Lösung nur Widerstandsdekaden zur Verfügung, aufgebaut aus Draht- und Schichtwiderständen; die Obergrenze im Kiloohm-Bereich ließ deren Verwendung im Rahmen der bevorzugten Resonanzmethoden nur als Reihenschaltungs-Ersatzwiderstand zu. Aus der Beschäftigung mit Diodenschaltungen ergab sich, daß der Eingangswiderstand einer solchen Schaltung, der nur von der Belastung auf der Gleichstromseite abhängt, eine geeignete von Kiloohm bis Megohm veränderbare Wirkkomponente darstellt, mit der sich somit ein Gleichstromwiderstand als Hochfrequenzwiderstand eichen läßt, der bis zur Frequenzgrenze der Diodenschaltung, also bis in den GHz-Bereich, frequenzunabhängig bleibt. Legt man diesen Wirkwiderstand an einen Schwingkreis, so kann man als reziproken Meßwert den Leitwert der Parallelschaltung aus Kondensator und Widerstand (nach Differenz-Substitution) ablesen. Dies wurde symbolisiert durch die Bezeichnung **Leitwertmesser VLU** und **VLUK** für den Frequenzbereich 0,1 bis 100 MHz. Die 1937 entstandenen Geräte waren über Jahrzehnte die Standardtypen für Messungen an Schwingkreisen und deren Komponenten.

Mit der zunehmenden Anwendung sehr hoher Frequenzen – insbesondere in der Ortungs- und Funktechnik – und der damit verbundenen Leitungssysteme, speziell der Koaxialtechnik, interessierten die Meßgrößen **Wellenwiderstand**, **Reflexionsfaktor** und **Übertragungsmaß**. Für deren Bestimmung wurden Meßleitungen und Richtkoppler in zahlreichen Varianten in das Programm aufgenommen. Mit Richtkopplern ließen sich direktzeigende Durchgangsleistungsmesser realisieren, die auch heute noch Bedeutung haben. Den Leitungs-

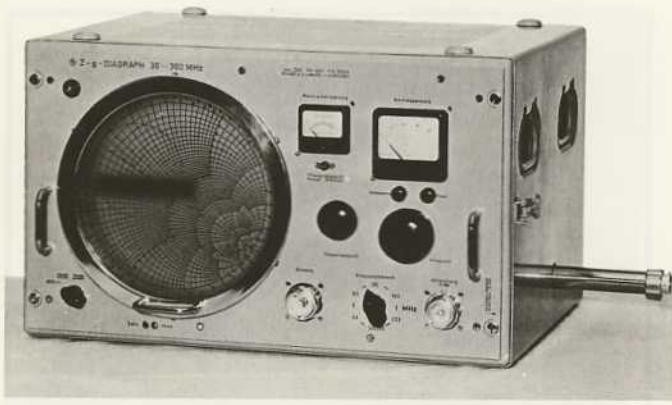


Mitte der dreißiger Jahre entstanden das Verlustfaktormeßgerät VLS für 2 bis 1000 pF (fünf Geräteversionen) und  $\tan \delta$  0 bis  $\approx 40 \cdot 10^{-4}$  (oben), das Gütfaktormeßgerät für Selbstinduktionsspulen RVQ für Q von 10 bis 600 bei 0,1 bis 10 MHz (Mitte) und der Leitwertmesser VLU (VLUK) für  $C \pm 1000$  (100) pF und  $R$  1 k $\Omega$  bis 200 (10) M $\Omega$  bei 0,1 bis 10 (100) MHz.



Digitales Gütfaktormeßgerät QDM (Q 10 bis 1000) mit automatischem Meßablauf (1970).





Z-g-Diagraph ZDU (30 bis 300 MHz; Typ ZDD 300 bis 2400 MHz) zur direkten Anzeige komplexer Widerstände und Übertragungskennwerte auf einem Diagramm (1951).

Eingangswiderstand nach Betrag und Phase zu bestimmen, erforderte jedoch erheblichen Aufwand bei der Auswertung. Mit dem **Z-g-Diagraphen ZDU** gelang Anfang der fünfziger Jahre ein Durchbruch. Nach einfachem Abgleich lieferte das Gerät in einem Leitungsdiagramm mit einem Leuchtpunkt den Impedanzwert oder das Übertragungsmaß und ermöglichte so in kurzer Zeit die **Aufnahme von Ortskurven** über große Frequenzbereiche. Dieser Meßkomfort machte ZDU (30 bis 300 MHz) und ZDD (300 bis 2400 MHz) zu Standardgeräten der Koaxialmeßtechnik.

Die Einschränkung, daß der Meßwert für jede Frequenz einzeln ermittelt werden mußte und die Ortskurve erst durch das Verbinden der Punkte von Hand zustande kam, ließ nach Möglichkeiten suchen, diese durch **Wobbeln** direkt als Leuchtbild sichtbar zu machen. So entstanden die **Impedanzwobblers ZWA** und **ZWD** für 10 bis 1000 MHz. Mit ihren vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten – als Ortskurve oder Real- und Imaginärteil über der Frequenz bei linearer oder logarithmischer Skala – boten sie ein Beispiel universeller und rationeller Meßtechnik.

Einen weiteren Generationen-Schritt stellen die **Vektorvoltmeter** dar, die in noch breiteren Frequenzbereichen zwei Spannungen darstellen. Mit dem **Vector Analyzer ZPV** gelang R&S 1977 eine zukunftsweisende Entwicklung. Dem Trend

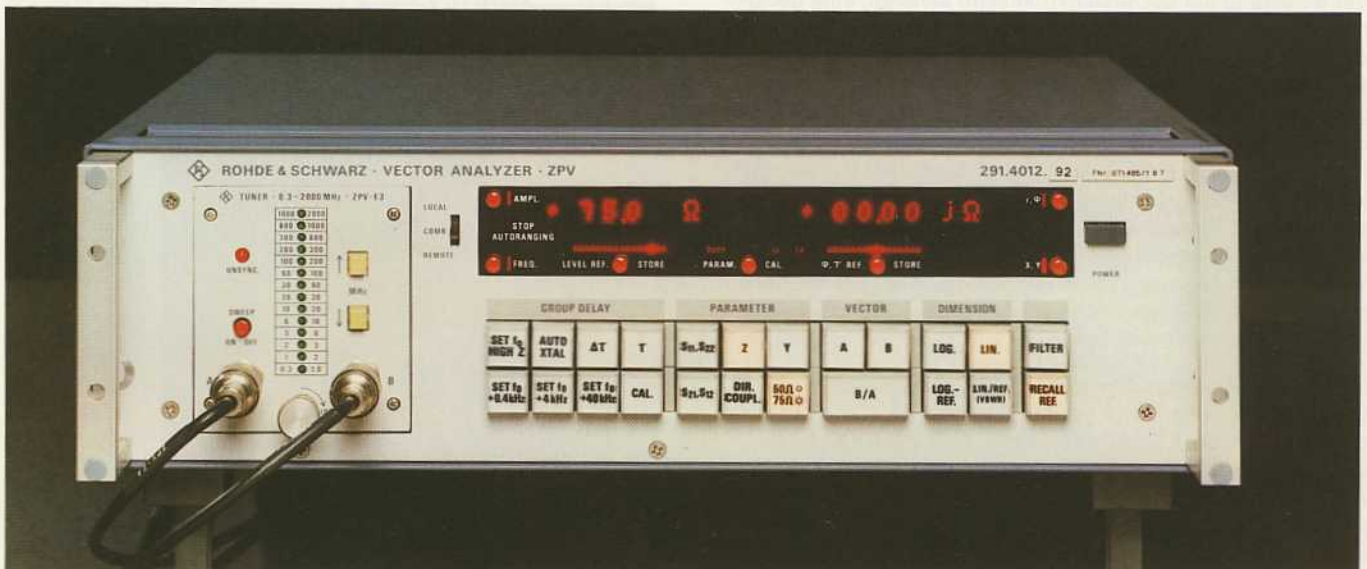


Wobbelmeßplatz Polyskop SWOB (0,5 bis 400 MHz) zur gleichzeitigen Darstellung der Frequenzabhängigkeit von Übertragungsmaß und Impedanz auf einem Bildschirm (1958).

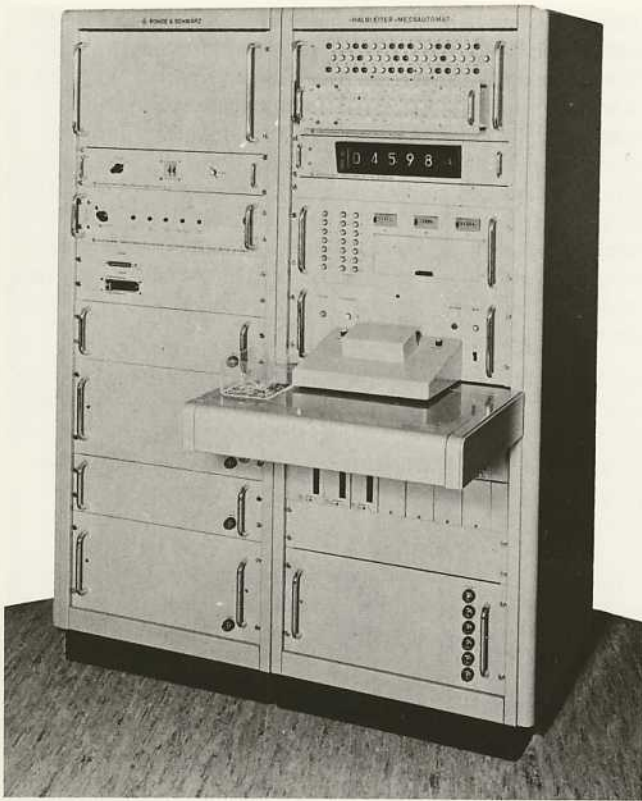
entsprechend handelt es sich um ein digitales Meßgerät; es ermöglicht durch automatische Abgleichrichtungen, Auswerte-Rechner und Programmsteuerung schnell und bequem selbst umfangreiche Netzwerkanalysen.

Neue Möglichkeiten eröffneten auch die unter dem Markenzeichen **Polyskop SWOB** bekanntgewordenen Meßplätze (1958). Es handelt sich um Wobbelgeneratoren mit sehr weitem Frequenzbereich und einem oder mehreren linearen und logarithmischen Anzeigeverstärkern, deren Ausgangsspannungen die Beträge von **Übertragungsmaß und Impedanz auf einem großen Bildschirm über der Frequenz** darstellen. Durch reichhaltiges Zubehör entstand ein ganzes System. Problemlose Anwendung und anschauliche Darstellung führten zu einer breiten Einführung, insbesondere zu Prüf- und Abgleichzwecken in der Massenfertigung, wo es auf hohe Meßgeschwindigkeit ankommt, so auch bei Rundfunkgeräteherstellern.

Mit der rasanten Entwicklung der Halbleitertechnik und dem Aufkommen integrierter Schaltungen wurde deutlich, daß die Prüfung dieser in riesigen Stückzahlen produzierten komplexen Bauelemente nur mit **Automatischen Testsystemen (ATS)** durchführbar ist. In dieser Erkenntnis begann Rohde & Schwarz, aufbauend auf einer Reihe von Halbleiter-Meßgeräten, Anfang der sechziger Jahre mit der Entwicklung solcher



Vector Analyzer ZPV – ein mikroprozessorgesteuertes Vektorvoltmeter mit zwei Meßkanälen. Frequenzbereich heute mit drei Tunern 10 Hz bis 2 GHz.



Halbleiter-Meßautomat BMA aus dem Jahr 1967 mit „Ja/Nein“-Aussage; er prüfte bis zu 20 Parameter von etwa 1200 Halbleitern in der Stunde.

Systeme. In einer neuerlichen Pionierphase mußten zahlreiche Probleme gelöst und die Testsysteme den unterschiedlichen Kundenwünschen angepaßt werden. Die rasche Weiterentwicklung der Technologie der Bauteile und der Technik der Computer stellte sich zunächst der erwünschten Standardisierung entgegen. Neben der eigentlichen Meßaufgabe mit ihren kurzen Taktzeiten schoben sich Fragen der **Programmierung** in den Vordergrund – für die Betriebsspannung der Bauelemente, für die Meßgrößen und deren Auswertung sowie den Prüfablauf. Zahlreiche Lösungswege wurden besprochen, vom „gelöteten Programm“ über Lochkarten bis zum Rechnereinsatz mit dessen bekannter Software-Problematik. Eine eigene **Prüfsprache** war zu schaffen und eine große Anzahl spezieller Baugruppen zu umfangreichen Anlagen zusammenzufügen. Schon bei der Prüfung integrierter Schaltungen stellt sich die Aufgabe der **Analyse komplexer Schaltkreise**. Daraus leitet sich als weiterer Schritt die Prüfung ganzer Gerätebaugruppen ab – Voraussetzung für den Test und die Wartung moderner Elektroniksysteme, wie sie unter anderem das Militär betreibt. Aufgaben dieser Art stehen derzeit im Vordergrund.

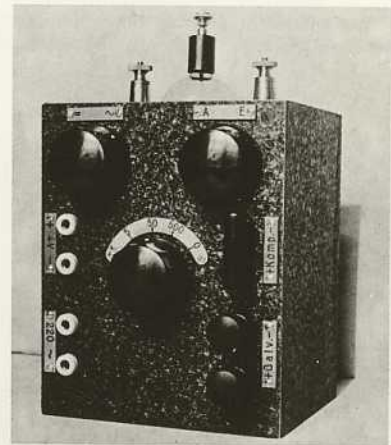
## Spannungsmesser, Feldstärkemesser

Wenden wir uns nun einer weiteren Produktgruppe zu, die vom Anfang bis heute einen erheblichen Anteil des R&S-Programms darstellt: den Spannungsmessern. Da es gemäß der Zielsetzung des Hauses galt, den weiten Spannungsbereich von Mikrovolt bis Kilovolt über den Frequenzbereich von Gleichstrom bis Gigahertz abzudecken, entstand eine Vielzahl von Gerätetypen. Sie sind alle der Kategorie **Röhrenvoltmeter** zuzuordnen, da sich nur durch die Verwendung von Elektronenröhren und später von Halbleitern die Forderungen nach breitem Frequenz- und Spannungsbereich bei hoher Eingangsimpedanz erfüllen lassen. Dafür muß man die Inkonstanz dieser Bauelemente in Kauf nehmen, deren Beherrschung im

Interesse einer befriedigenden Meßgenauigkeit eine der maßgeblichen Entwicklungsaufgaben darstellte.

**Die Typenvielfalt läßt sich nach der Wirkungsweise gliedern:** Gleichrichter-(Dioden-)Voltmeter ohne und mit nachfolgendem Gleichspannungsverstärker, mit dem Vorteil der weitgehenden Frequenzunabhängigkeit der Anzeige; Spannungsmesser mit Breitband-Vorverstärker mit begrenztem Frequenzbereich, jedoch um mehrere Zehnerpotenzen höherer Empfindlichkeit; selektive Spannungsmesser nach dem Überlagerungsprinzip, die dank ihrer kleinen Bandbreite eine weitere Empfindlichkeitssteigerung bis unter die Mikrovoltgrenze erlauben; sie bieten die zusätzliche Möglichkeit, die Komponenten eines Frequenzgemisches getrennt zu ermitteln und führen damit zur Klasse der Frequenzanalytoren; verbindet man einen Meßempfänger dieser Art mit einer Antenne mit bekanntem Wandlungsfaktor, so entsteht ein Feldstärkemesser.

Die Entwicklung des Fertigungsprogrammes sei wieder an einigen Beispielen erläutert. Schon bei Versuchen mit sehr hohen Frequenzen im Hochschulinstitut wurde ein **Spannungsmesser mit sehr kleiner Eingangskapazität** benötigt. Das Gerät war mit einer speziell angefertigten Röhren-Diode bestückt, deren Anodenkappe als Anschluß diente. Daraus entstand mit der Firmengründung das **Kompensations-Röhrenvoltmeter UDC**. Die Bezeichnung deutet an, daß der Scheitelwert der Wechselfspannung durch eine äquivalente Gleichspannung kompensiert werden konnte. Die Reihe handlicher Geräte eröffnete das **Taschen-Röhrenvoltmeter UDT** mit eingebauter Batterie für die Diodenheizung (erdfrei). Es folgte der netzgespeiste Typ **UDN** mit dem durch definierte Anlaufstrom-Kompensation auf 2 V herabsetzbaren kleinsten Meßbereich. Dem Wunsch, noch erheblich kleinere Spannungen



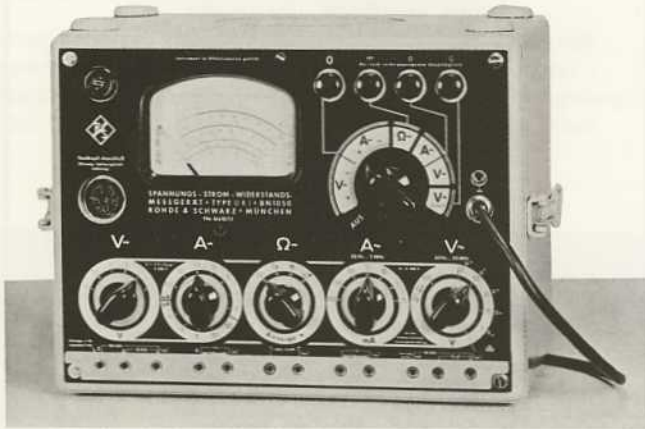
Kompensations-Röhrenvoltmeter UDC für 0,5 bis 500 V (1933) und Taschen-Röhrenvoltmeter UDT für 0 bis 250 V, mit Spannungsteiler-Vorsatz bis 2500 V (1936).



Röhrenvoltmeter UTK (Bild) und Taströhrenvoltmeter UTKT für 0,03 bis 3 V und 10 kHz bis 300 MHz entstanden 1936.



UKW-Tast- und Durchgangsvoltmeter UDND für 0,1 bis 50 V und 500 MHz als Tastvoltmeter sowie bis 1000 V und 2000 MHz mit Durchgangsköpfen (1941).



Erstes hochohmiges Universal-Multimeter in Europa (1952): Spannungs-Strom-Widerstands-Meßgerät URI.

breitbandig messen zu können, kam das **Taströhrenvoltmeter UTKT** entgegen, das mit einer Triode nach dem Audion-Prinzip, also mit Gleichrichtung im Gitterkreis arbeitete. Einer weiteren Steigerung der Empfindlichkeit auf diesem Weg stand die zunehmende Nullpunkt-Instabilität entgegen. Der Name des Gerätes zeigt, daß hier – erstmals – die Eingangsschaltung in einem beweglichen **Tastkopf** untergebracht war. Als in den fünfziger Jahren genügend stabile Halbleiterdioden zur Verfügung standen, konnten die Vorteile des Tastkopf-Prinzips voll genutzt werden: Die Eingangskapazität sank bis

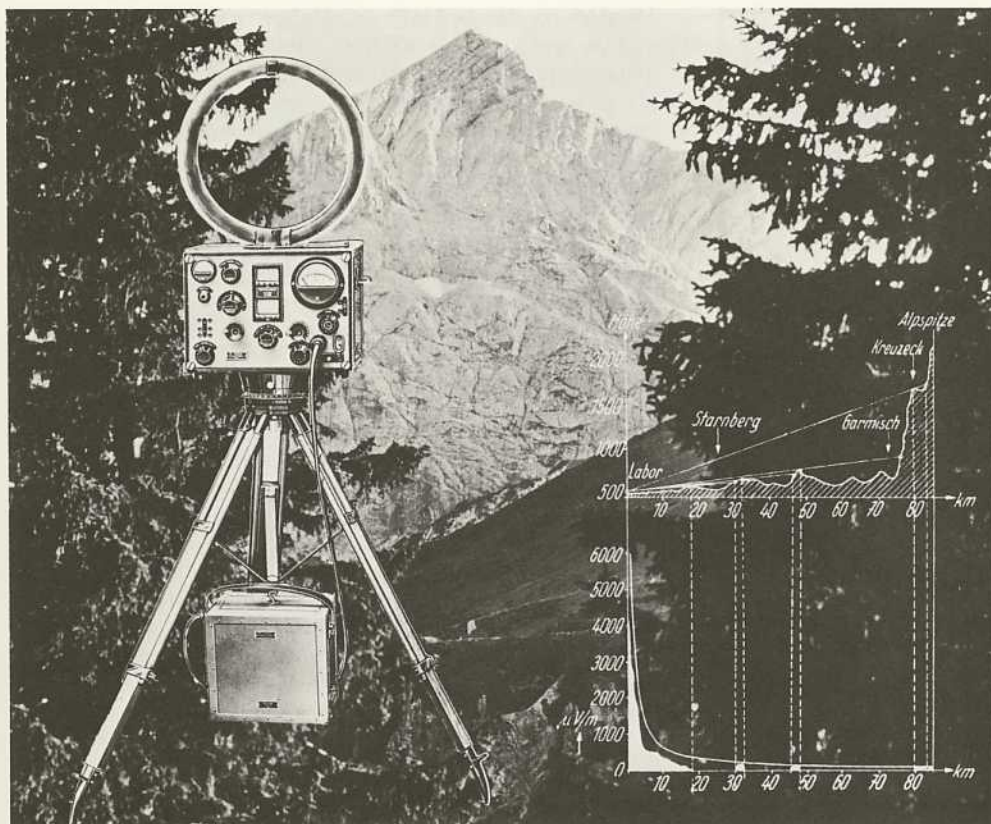
unter 1 pF beim **UHF-Millivoltmeter URV**, das dank eines Zerhacker-Gleichstromverstärkers und einer Schaltung zur Linearisierung des Skalenverlaufs Spannungen ab 3 mV anzeigte. Es wurde zum Stammvater mehrerer Generationen gleichnamiger Typen mit weiter verbesserten Eigenschaften bis zu einer Variante mit Digitalanzeige. Die Geräte waren auch mit **Durchgangsköpfen** zu betreiben, wie das schon mit dem Aufkommen der Koaxialtechnik entwickelte **UKW-Tast- und Durchgangsvoltmeter UDND**. Solche Meßköpfe stellen ein weitgehend reflexionsfreies koaxiales Leitungsstück dar, das ohne zu stören in ein gleichartiges Koaxialsystem eingefügt werden kann.

Die Reihe der **Universal-Röhrenvoltmeter** eröffnete in den vierziger Jahren der **Gleich-Wechselspannungsmesser UGW**, ein Gleichstromverstärker mit vorschaltbarem Diodengleichrichter in handlichem Gehäuse. Er wurde 1950 abgelöst vom **Spannungs-Strom-Widerstands-Meßgerät URI**, das fünf Betriebsarten bot, wobei alle Meßgrößen an den getrennten Eingängen anliegen dürfen; zusätzlich steht ein Tastkopf zur Verfügung. Dem auf Grund der vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten in hohen Stückzahlen verkauften URI folgten ähnliche „Multimeter“ mit Halbleiterbestückung.

Die untere Grenze für eine breitbandige Spannungsmessung lag Mitte der dreißiger Jahre bei etwa 20 mV (Typ UTKT). Deshalb war der Schritt zu **Breitbandvoltmetern mit Vorverstärker** zwingend. Als erstes Gerät dieser Art entstand der **Aperio-dische Meßverstärker UVM**, der bei einer oberen Frequenzgrenze von 200 kHz noch 5  $\mu$ V (begrenzt durch das Eigenrauschen) anzeigte. Nach Verbesserung der Technik der Frequenzgang-Entzerrung konnte die Frequenzgrenze im **Mikro-voltmeter UVM** bald auf 1 MHz heraufgesetzt werden. Mit dem Übergang zur Halbleiterbestückung entstand (unter der gleichen Bezeichnung) ein Gerät mit auf 15 MHz erweiterter Frequenzgrenze und der Eigenschaft, wahlweise Effektivwert oder Scheitel-Scheitel-Wert anzuzeigen. In einem Entwicklungsschritt gelang es schon während des Krieges, die Frequenzgrenze auf 10 MHz hinauszuschieben und später in einem weiteren Schritt auf 30 (dann 40) MHz im **HF-Millivoltmeter UVH**. Die Eingangsstufe hatte man in einen Tastkopf eingebaut, um Meßfehler durch Zuleitungen zu vermeiden.

Bei der Entwicklung von universellen Spannungsmessern haben sich in den letzten Jahren die Gewichte verschoben. Nachdem die Probleme des Frequenzgangs und der Stabilität weitgehend gelöst sind, treten Fragen der Anzeige (digital mit analoger Tendenzanzeige, linear und logarithmisch), der damit erreichbaren hohen Meßgenauigkeit, der Kurvenformbewertung und der Systemfähigkeit in den Vordergrund. Der Mikroprozessor, der auch hier Eingang gefunden hat, bietet Meßkomfort sowie Möglichkeiten zur automatischen Kalibrierung und Programmsteuerung.

Doch schalten wir wieder 45 Jahre zurück und wenden uns der Entstehung der Gruppe der **selektiven Voltmeter** zu. Eine fundamentale Größe ist seit Beginn der drahtlosen Übertragungstechnik die HF-Feldstärke; zu ihrer Messung waren die Fachleute anfangs auf Improvisation oder Eigenbau angewiesen. Dieser Sachverhalt gab schon in den ersten Firmenjahren Anlaß zur Entwicklung von **Feldstärkemeßgeräten**. Es entstand die Reihe der **Fernfeldmesser HHF**, Meßempfänger mit (geeichter) Rahmenantenne und linearer/logarithmischer Anzeige, wahlweise auch mit Batteriebetrieb, konstruktiv der Verwendung im Gelände angepaßt. Der interessierende Frequenzbereich von 0,1 bis 100 MHz war auf drei Geräte-Typen aufgeteilt, entsprechend den von den verschiedenen Funkdiensten benutzten Bereichen. Ausgehend von der Überlegung, daß ein erheblicher Teil der Messungen in der Nähe eines Senders durchgeführt wird, entwickelte R&S gleichzeitig weniger aufwendige **Nahfeldmesser HHN**, die statt des



1937 wurde mit dem Fernfeldmesser HHF erstmalig die Ausbreitung einer 9-m-Welle zwischen München und den Alpen vermessen.

Meßempfänger ein einfaches Röhrenvoltmeter benutzen und leichter zu transportieren waren. – Diese Stammväter aller Feldstärkemesser wurden erst nach zwei Jahrzehnten abgelöst; einerseits durch inzwischen zwei Generationen des **Feldstärkemeßgerätes HFH**, das den Bereich von 0,1 (0,01) bis 30 MHz abdeckt; andererseits durch das **VHF-UHF-Feldstärkemeßgerät HFU** für 25 bis 1000 MHz. Für diese Neukonstruktionen wurden – bei unveränderter Aufgabenstellung und gleichem Meßprinzip – die Möglichkeiten des technischen Fortschritts (Synthesizer) genutzt und die Meßvorschriften für die Bewertung von Funkstörungen berücksichtigt.

Die rasche Erweiterung des Frequenzbereichs für militärische Anwendungen war auch für uns Anlaß, uns nach oben zu strecken, und so begann schon 1939 die Entwicklung des **Feldstärkemeßgerätes HFD** für den Bereich 90 bis 470 MHz, dessen Meßempfänger als **Funkmeß-Beobachtungsempfänger Samos** bald große Bedeutung gewann; dieser war erstmals auch für die eben aktuell werdende Frequenzmodulation eingerichtet. Eine Variante – Typ **Fanö** – konnte Frequenzen bis 1,6 GHz erfassen.

Von Anfang an wurden die Meßempfänger der Feldstärkemesser als selektive Spannungsmesser angeboten, da sie ja als Überlagerungsempfänger mit aperiodischem Eingang eine weitgehend frequenzunabhängige (Resonanz-)Verstärkung liefern. Daneben entstand eine Reihe derartiger Geräte, mit denen es dank sehr kleiner Bandbreiten gelang, die untere Meßbereichsgrenze unter  $0,1 \mu\text{V}$  zu drücken. Ein früher Vertreter dieser Art war das **Selektive Mikrovoltmeter USVH** für 10 kHz bis 30 MHz und  $0,1 \mu\text{V}$  bis 1 V. Das diesbezügliche Programm weitete sich durch zahlreiche Typen aus bis zu einer oberen Grenze von 13 GHz.

Daneben entstand ab 1949 eine Reihe von **Überwachungsempfängern ESM und ESG** für den VHF-Bereich mit Amplituden- und Frequenz-Demodulation, die zwar keine direkte Spannungsmessung erlauben, jedoch ihres universellen Einsatzes wegen für Meßzwecke und als Betriebsempfänger weite Verbreitung fanden. Sie stellen ein frühes Bindeglied

zwischen Meß- und Nachrichtentechnik in unserem Produktspektrum dar.



Von unten: Fernfeldmesser HHF (1937). Funkmeß-Beobachtungsempfänger Samos (1942), erster Rundfunkempfänger mit integriertem UKW-FM-Empfangsteil (1949), VHF-FM-Überwachungsempfänger ESM 180 (AM/FM, 30 bis 180 MHz).



Um 1938 entstanden der Leistungs-Meßsender SML (200 mV bis 10 V an 150  $\Omega$ ) und der Ohmsche Eichleiter DUR, der es ermöglichte, aus dem SML kleinste Spannungen abzuleiten.

## Meßgeneratoren

Im Laufe der Jahre entwickelte Rohde & Schwarz weit über hundert Ausführungsformen von Meßgeneratoren mit Frequenzen von weniger als 1 Hz bis über 10 GHz, mit Sinus- und Puls-Ausgangsspannung, für die verschiedensten Modulationsarten, mit freischwingendem LC- oder RC-Oszillator oder als Synthesizer für universellen Einsatz oder angepaßt an spezielle Meßaufgaben. Im Rahmen dieser Darstellung können nur einige Zielsetzungen erwähnt werden, und zwar solche, die die ersten Entwicklungsschritte bestimmten. Mehr noch als auf anderen Gebieten wurde die Meßgeneratoren-Entwicklung durch den Eigenbedarf initiiert; denn fast jede Messung setzt eine in ihrer Frequenz veränderbare, bekannte und stabile Spannung voraus. Wie so oft erwies sich auch hier, daß Geräte, die für uns nützlich waren, auch dem Kundenbedarf gerecht wurden und daher ins Lieferprogramm einfließen.

Zwei typische Applikationen kamen in Betracht: Einerseits die allgemeine Labormesstechnik (Dämpfung, Kalibrierung, Verhalten von Bauelementen und Schaltungen), für die wegen der geringen Empfindlichkeit der Voltmeter Generator-Ausgangsspannungen von bis zu einigen Volt erwünscht waren; andererseits die klassische Prüfung von Funkempfängern, wozu die Erzeugung sehr kleiner Spannungen im Vordergrund stand. Diese konträren Forderungen ließen sich am besten durch zwei unterschiedliche Typenreihen erfüllen, die unter der Bezeichnung **Leistungs-Meßsender** und **Empfänger-Prüf-sender** liefen. Eine weitere bestimmende Größe war der zu überstreichende Frequenzbereich. Für Tonfrequenz benutzten wir in den ersten Jahren das seinerzeit beliebte Schwebungssummer-Prinzip, mit dem sich der ganze Frequenzbereich kontinuierlich überstreichen läßt. Bei Hochfrequenz-Generatoren hatten wir uns für einen Schnitt bei 10 MHz entschlossen in Anpassung an die Realisierbarkeit von Schwingkreisen und

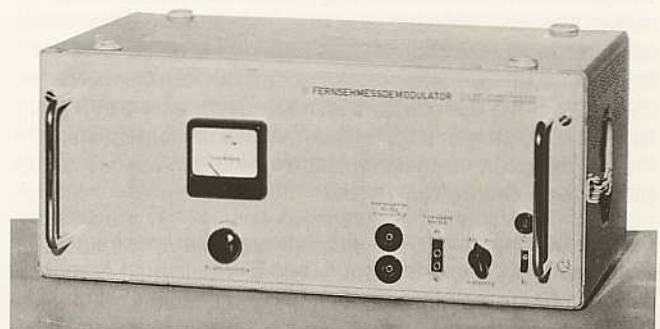
Verstärkern, das heißt: Es gab Meßgeneratoren für 0,1 bis 10 MHz und für 10 bis 100 MHz. Diese nicht gerade anwenderfreundliche Aufteilung konnte mit fortschreitender Technologie verlassen werden. Erhebliche Anstrengungen waren erforderlich zur Schaffung einer kontinuierlichen, frequenzunabhängigen Spannungsteilung mindestens über  $1:10^5$  und deren Nachweis sowie eines hochfrequenzdichten Aufbaus. Erste nach diesen Gesichtspunkten entstandene Geräte, die ab 1938 breiten Eingang fanden, waren der **Empfänger-Prüf-sender SMP** und der **Leistungs-Meßsender SML**, beide für 0,1 bis 10 MHz. Um auch aus letzterem kleine Spannungen ableiten zu können, entwickelten wir den **Ohmschen Eichleiter DUR**, einen Vorläufer der später in zahlreichen Varianten produzierten Eichleitungen.

Das Meßsender-Programm weitete sich rasch aus in Frequenz, Leistung (auch 500 W waren verfügbar) und Modulationsart. Die Preisliste umfaßte 1940 15 Typen, 1944 26 Typen; später lag die Anzahl der lieferbaren Grundausführungen meist über 30, ständig angepaßt an den technischen Fortschritt und die Forderungen des Marktes. Seit Jahren führt auch auf diesem Gebiet der Weg in Richtung der **Meßsysteme** mit der Möglichkeit der Automatisierung von Meßabläufen, etwa für die standardisierbare Funkgeräteprüfung. Damit haben auch hier Rechner mit Software und Mikroprozessoren Einzug gehalten.

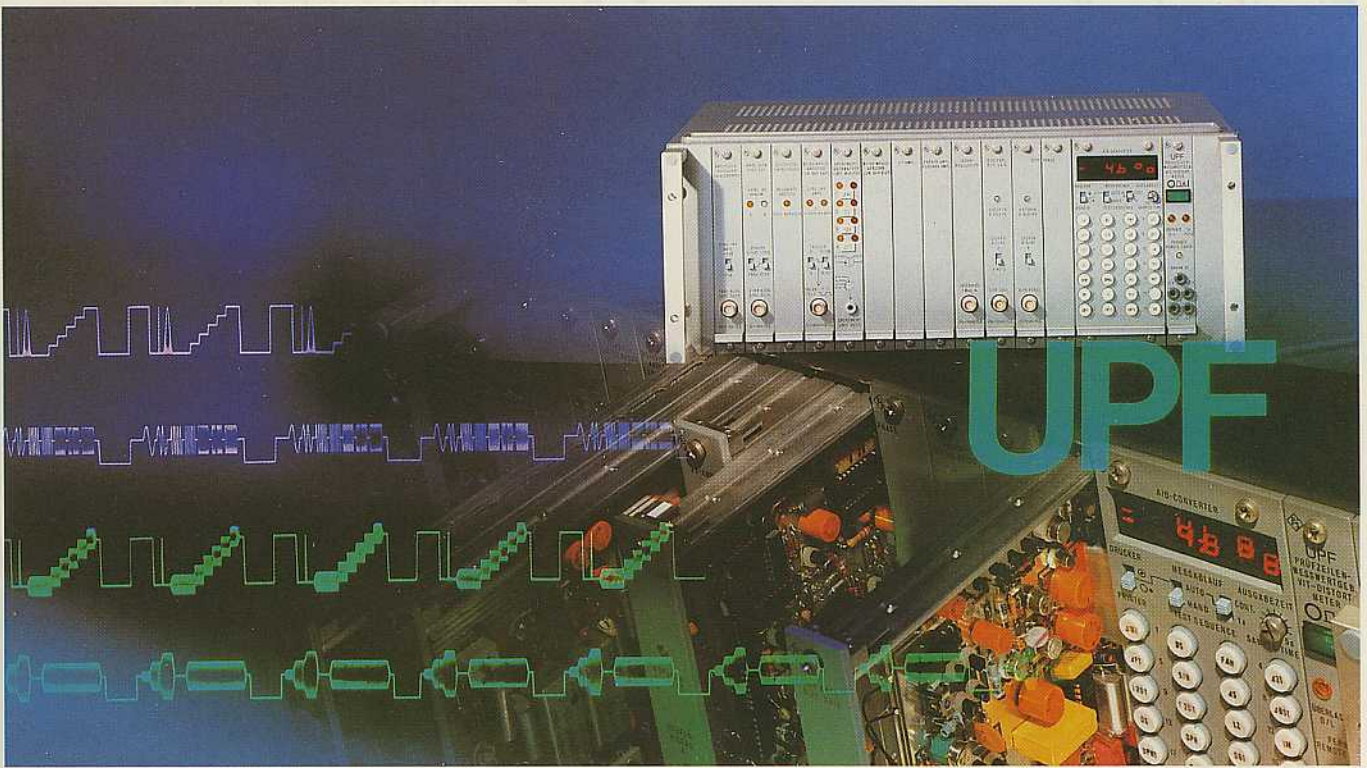
## Meßtechnik für Hörfunk und Fernsehen

Während die Mehrzahl der bisher behandelten Geräte für eine universelle Anwendung konzipiert war, fordert das **Fernsehen** Geräte, die speziell den dort auftretenden Signalformen und deren Normen angepaßt sind. Mit der Fernseh-Meßtechnik entwickelte sich ein selbständiges Arbeitsgebiet von erstaunlichem Umfang, bedingt durch die Komplexität des TV-Übertragungssystems und die hohe Empfindlichkeit gegenüber Abweichungen vom Sollzustand in einem der Übertragungsglieder. Der sorgfältige Abgleich und die laufende Qualitätsüberwachung setzen eine umfangreiche meßtechnische Ausrüstung voraus.

Wir begannen 1951 mit der Entwicklung von Meßgeräten für das Fernsehen. Erste Schritte waren die Schaffung eines Breitband-Oszilloskops und von Generatoren für die verschiedenen Signalkomponenten und das komplette Bildmuster. Einen Meilenstein bildete 1954 der **TV-Meßdemodulator AMF**, der in Varianten bis heute eine zentrale Funktion in dieser Meßtechnik erfüllt. Er stellt einen idealen Empfänger dar, der ein HF-Fernsehsignal in den Videobereich umsetzt und hier Veränderungen auf dem Übertragungsweg zu beobachten gestattet. Weiter zu erwähnen ist der **Fernsehsender-SBTF**, bei dem (in Vorläuferstufen schon 1954) erstmals das



Fernseh-Meßdemodulator AMF für Bereich I, III, IV/V, ein Präzisions-Demodulator für das Bild- und Tonsignal von Fernsehsendern (1954).



Prüfzeilen-Analysator UPF für die Qualitätsüberwachung von Fernseh-Bildsignalen während des laufenden Programms (ab 1970).

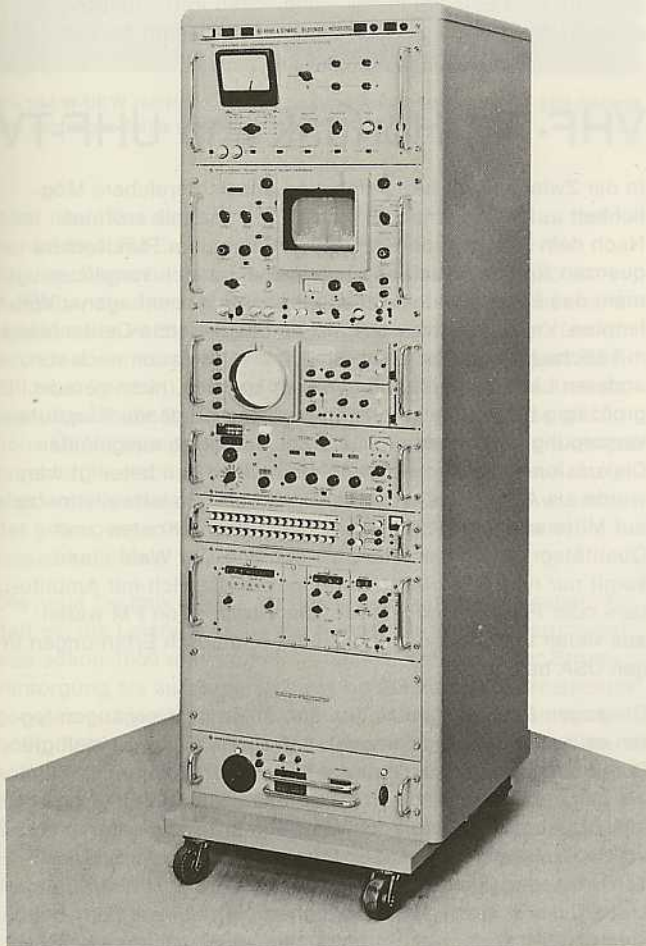
Prinzip der Zwischenfrequenz-Modulation angewendet wurde: Die normgerecht modulierte Zwischenfrequenz wird in einen

beliebig wählbaren HF-Kanal verzerrungsfrei umgesetzt; dieses Prinzip fand später breite Anwendung auch bei Großsendern.

Die Vielzahl der Geräte, die zur Durchführung eines kompletten Meßprogramms für ein Fernsehübertragungssystem erforderlich ist, führte zu deren Zusammenfassung in **Bildsender-Meßgestellen** (ab 1956); sie wurden zur unabdingbaren Prüfeinrichtung jeder Sendeanlage. Welcher Entwicklungsaufwand für diesen Meßgerätepark zu leisten war, zeigt sich darin, daß hierfür schon bis 1970 mehr als 30 Entwicklungsaufträge bearbeitet worden waren.

Einen neuen Impuls gab 1970 die Einführung der **Prüfzeilen-Meßtechnik**, bei der alle Parameter zur Beurteilung der Übertragungsgüte an Hand von Testsignalen bestimmt werden, die ausschließlich in die im Empfänger nicht sichtbaren Zeilen eingetastet werden. Dieser speziellen Aufgabe waren alle bekannten Meßverfahren anzupassen. Da sich so während des Programms die Qualität laufend überwachen läßt, lag es nahe, diese Prüfaufgabe von Meßautomaten durchführen zu lassen – wieder eine Erweiterung des Arbeitsgebietes.

Grundsätzlich bestehen für den **Hörfunk** entsprechende Meß- und Überwachungsaufgaben. Wegen der erheblich geringeren Anforderungen an Bandbreite und Signalform ließen sich diese jedoch zunächst mit Geräten der allgemeinen Meßtechnik oder mit angepaßten Varianten erfüllen. Mit Einführung der Stereoübertragung stiegen aber auch hier die Ansprüche und machten spezielle Meßanlagen für FM-Sender erforderlich. Eine Überwachung der Übertragungsqualität während des Programms, die beim Fernsehen mit der Prüfzeilenteknik eine so elegante Lösung gefunden hatte, erwies sich beim Hörfunk als schwierig. Erst ein von Rohde & Schwarz unter der Bezeichnung **Audiodat-System** realisiertes Verfahren brachte 1974 die Lösung: Das Programm selbst wird zur Beurteilung herangezogen. Man analysiert es am Anfang und Ende der Übertragungsstrecke und vergleicht die Ergebnisse in codierter Form, nachdem sie in einem schmalen Kanal über die gleiche Übertragungsstrecke zusammengeführt wurden.



In Bildsender-Meßgestellen faßt Rohde & Schwarz seit 1956 die zahlreichen Meßgeräte für Fernseh-Übertragungssysteme zusammen.

# Einstieg in die Nachrichtentechnik

Bis 1945 waren wir mit der Entwicklung und Fertigung von Meßgeräten so ausgelastet, daß nur ganz vereinzelt Geräte entstanden, die am Rande dieses Programms lagen (wie der



Zu den ersten R&S-Entwicklungen nach 1945 gehörten Rundfunkempfänger für Personenautos und Omnibusse.



Tonfrequenz-Wiedergabeanlagen wurden auch für die Ausstattung von Kinos mit Ausgangsleistungen bis zu mehreren tausend Watt angeboten.

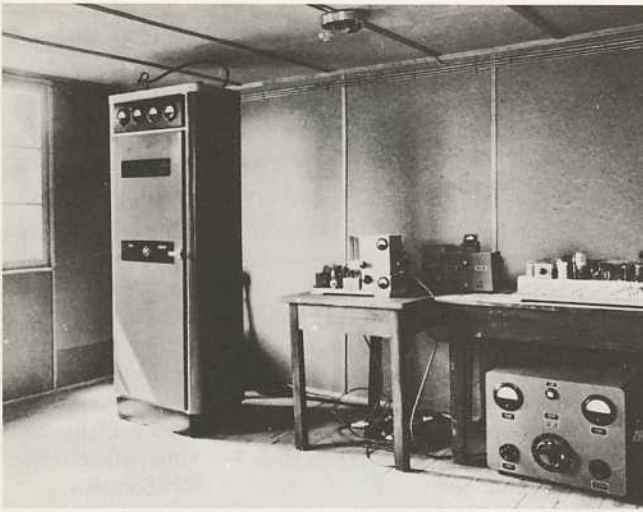
Empfänger Samos). Nach der tiefgreifenden Zäsur, die das Kriegsende mit sich brachte, schien es indes unsicher, ob für hochwertige Meßgeräte in absehbarer Zeit wieder ein breiter Bedarf entstehen wird. R&S konnte zwar im wesentlichen seine Stamm-Mannschaft zusammenhalten, und auch die weiteren Startbedingungen waren, verglichen mit der allgemeinen Situation, günstig. Aber in welche Richtung sollte das aufgestaute Entwicklungspotential angesetzt werden?

Mit Sicherheit konnte man davon ausgehen, daß die eingeführten Gebiete der Nachrichtentechnik ihre Bedeutung behalten werden, vor allem der Rundfunk. Unserer Ausrichtung auf die Hochfrequenztechnik entsprechend, bauten wir zunächst **Rundfunkempfänger für Personenaautos und Omnibusse**. Außerdem war schon in den ersten Monaten der Besatzungszeit ein Bedarf darin erkennbar, daß die sonst so perfekt ausgerüstete US-Army ihren Soldaten nicht genügend Lautsprecheranlagen zur „Musikberieselung“ bereitstellte. Da sich ein größerer Bestand an Leistungsröhren (RV 12 P 35) und der damaligen Universalröhre RV 12 P 2000 fand, lag es nahe, um diese herum einen Tonfrequenzverstärker zu bauen; denn damals war eine Entwicklung nur sinnvoll, wenn man bereits im Besitz aller erforderlichen Bauteile war. Der so im Stil unserer Meßtechnik entstandene **Kraftverstärker ATL** mit 75 W Ausgangsleistung (dokumentiert im ersten Nachkriegs-Datenblatt vom November 1945) wurde zur Keimzelle eines recht umfangreichen Programms von **Tonfrequenz-Wiedergabeanlagen** mit „Ausgangsleistungen von 12 bis zu mehreren tausend Watt“. Der Aufbau nach der Bausteinmethode ergab eine hohe Flexibilität, und so fand sich auch eine der Anwendungen in der Ausrüstung von Kinos. Als dann aber die alteingeführten Firmen mit voller Kraft auf den Markt zurückkehrten, zogen wir uns aus diesem artfremden Geschäft Anfang der fünfziger Jahre zurück. Wenn damit dieser Zweig auch nur eine Episode in der technischen Firmengeschichte darstellt, so förderte er doch die Erfahrungen im Anlagenbau.

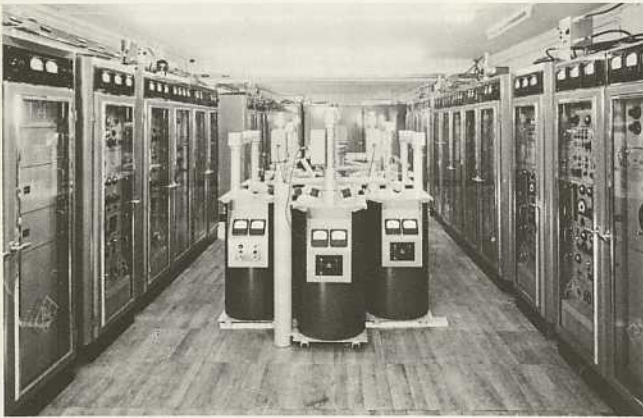
## VHF-FM-Hörfunk und UHF-TV

In der Zwischenzeit hatte sich eine aussichtsreichere Möglichkeit auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik eröffnet. Nach dem Krieg wurde eine Neuverteilung der Rundfunkfrequenzen für den Mittel- und Langwellenbereich vorgenommen; das Ergebnis steht im sogenannten Kopenhagener Wellenplan. Verständlicherweise wurde das besetzte Deutschland mit sechs Frequenzen oberhalb 950 kHz, die auch noch von anderen Ländern mitbenutzt werden konnten, nicht gerade großzügig bedacht. Hiermit war eine befriedigende Rundfunkversorgung nicht zu erreichen. In den dadurch ausgelösten Diskussionen, an denen Dr. Rohde maßgeblich beteiligt war, wurde als Alternative erwogen: Drahtfunk, Gleichwellennetze auf Mittelwellen, Kurzwellen; doch sprachen Kosten- und Qualitätsgründe gegen diese Vorschläge. Zur Wahl stand somit nur noch die **Übertragung im VHF-Bereich mit Amplituden- oder Frequenzmodulation**; die Vorzüge von FM waren aus vielen Untersuchungen bekannt und durch Erfahrungen in den USA belegt.

Die engen Beziehungen zu den Entscheidungsvorgängen legten es nahe, daß wir uns auch an der Realisierung beteiligten. Dem kam entgegen, daß wir die in Betracht kommende Technik beherrschten durch zahlreiche Entwicklungen im Gebiet der Ultrakurzwellen, so auch von frequenzmodulierbaren Meßsendern und entsprechenden Empfängern. Im erprobten Stil des Hauses wurde in wenigen Monaten ein **250-W-UKW-Sender** erstellt, der in einem fast sportlichen Wettlauf mit der Konkurrenz mit tatkräftiger Unterstützung der Ingenieure des Senders München am 28. Februar 1949 als erster UKW-Hörfunksender Europas den Sendebetrieb aufnahm.



Den ersten europäischen UKW-Hörfunksender installierte Rohde & Schwarz für den Bayerischen Rundfunk 1949 in München-Freimann.



6 x 10-kW-UKW-Hörfunksendeanlage mit Antennenweichen - seit Anfang der sechziger Jahre in Südafrika in Betrieb.

Aber noch war die Zahl der Hörer verschwindend klein, denn nur wenige FM-Empfänger aus den USA standen zur Verfügung. Diese Basis zu verbreitern war eine vordringliche Aufgabe, der sich die Rundfunkindustrie in der gerade erst anlaufenden Aufbauphase nur ungern annahm. So griffen wir auch hier ein durch die Entwicklung des **AM/FM-Supers ESF** (Bild auf Seite 31). Dieses für das breite Publikum bestimmte, leistungsfähige Gerät bewies in überzeugender Weise die hohe Übertragungsqualität der neuen Technik. Unser Exempel brachte die etablierten Rundfunkgerätehersteller rasch dazu, eine entsprechende Fertigung aufzunehmen, so daß wir nach der gelungenen Initialzündung diesen Bereich wieder verlassen konnten.

Die neue Technik stellte genügend viele andere Aufgaben. So galt es, die Leistungsreihe der **Sender bis 10 kW** auszubauen, was schon 1950 einen ersten Abschluß fand; von der Stromversorgung bis zur Beherrschung großer Hochfrequenzleistungen gab es eine Menge Probleme, Schutzschaltungen waren nötig, Kühlung sowie Reservebetrieb mit automatischer Umschaltung. Die Hochfrequenz-Energie mußte aber auch optimal abgestrahlt werden, also griffen wir die Entwicklung von **Sendeanennen** auf. Dabei waren nicht nur Aufgaben aus der HF-Technik zu lösen, wie Strahlungsdiagramm, reflexionsarme Anpassung, Belastbarkeit bis 30 kW; die Anbringung der ausladenden Strahlergebilde auf hohen Masten mit den drohenden Wind- und Eisbelastungen erforderte Festigkeitsberechnungen und konstruktive Lösungen wie im Stahlbau - dazu beim Montagepersonal Schwindelfreiheit. Es entstanden für



Parallel mit der Einführung von UKW-Hörfunk und Fernsehen in der Bundesrepublik Deutschland entstanden bei Rohde & Schwarz Sendeanennen verschiedenster Größe, Richtcharakteristik und Leistung.

die unterschiedlichen Forderungen zahlreiche Bauformen von Antennen. Der weite Spielraum des UKW-Bereichs veranlaßte die Rundfunkanstalten, mehrere Programme einzuplanen, die von einer Sendestelle ausgestrahlt werden sollten. Hierfür getrennte Antennen zu errichten war nicht akzeptabel. Also mußten alle Programme einer Antenne zugeführt werden, wozu **Weichen** erforderlich waren, die auch 10 kW übertragen konnten - ein neues Arbeitsgebiet hatte sich aufgetan.

Soll nach den Gesetzen der Ausbreitung ultrakurzer Wellen ein möglichst großes Empfangsgebiet versorgt werden, ist die Sendeanenne in möglichst großer Höhe anzubringen. Besonders günstige Bedingungen bieten Berggipfel; der Sender steht also häufig abseits von Gebieten mit Leitungsversorgung. Wie bringt man am günstigsten das zu übertragende Programm dorthin? Es lag nahe, mit einem hochwertigen Empfänger den nächstgelegenen Sender mit gleichem Programm zu empfangen und dieses auf einer anderen Frequenz wieder abstrahlen. Für das unter der Bezeichnung **Ballempfang** bekanntgewordene Verfahren schufen wir den **UKW-Ballempfänger ESB**. In ihm wurde alles vereinigt, was zur hohen Übertragungsqualität beiträgt - ein dem Hause gemäßes Spitzenprodukt. Mit dem ESB entstanden umfangreiche Anlagen zum Empfang mehrerer Programme und mit automatischer Umschaltung bei Ausfall eines Gerätes oder der Übertragungsstrecke. Das Verfahren fand Eingang in vielen Regionen mit entsprechenden geografischen Bedingungen. Die später in großer Zahl eingesetzten Fernsehsumsetzer benutzen das gleiche Prinzip.





Hochwertiger UKW-Ballempfänger ESB (1951) für die drahtlose Programmübertragung zu einem Tochtersender.

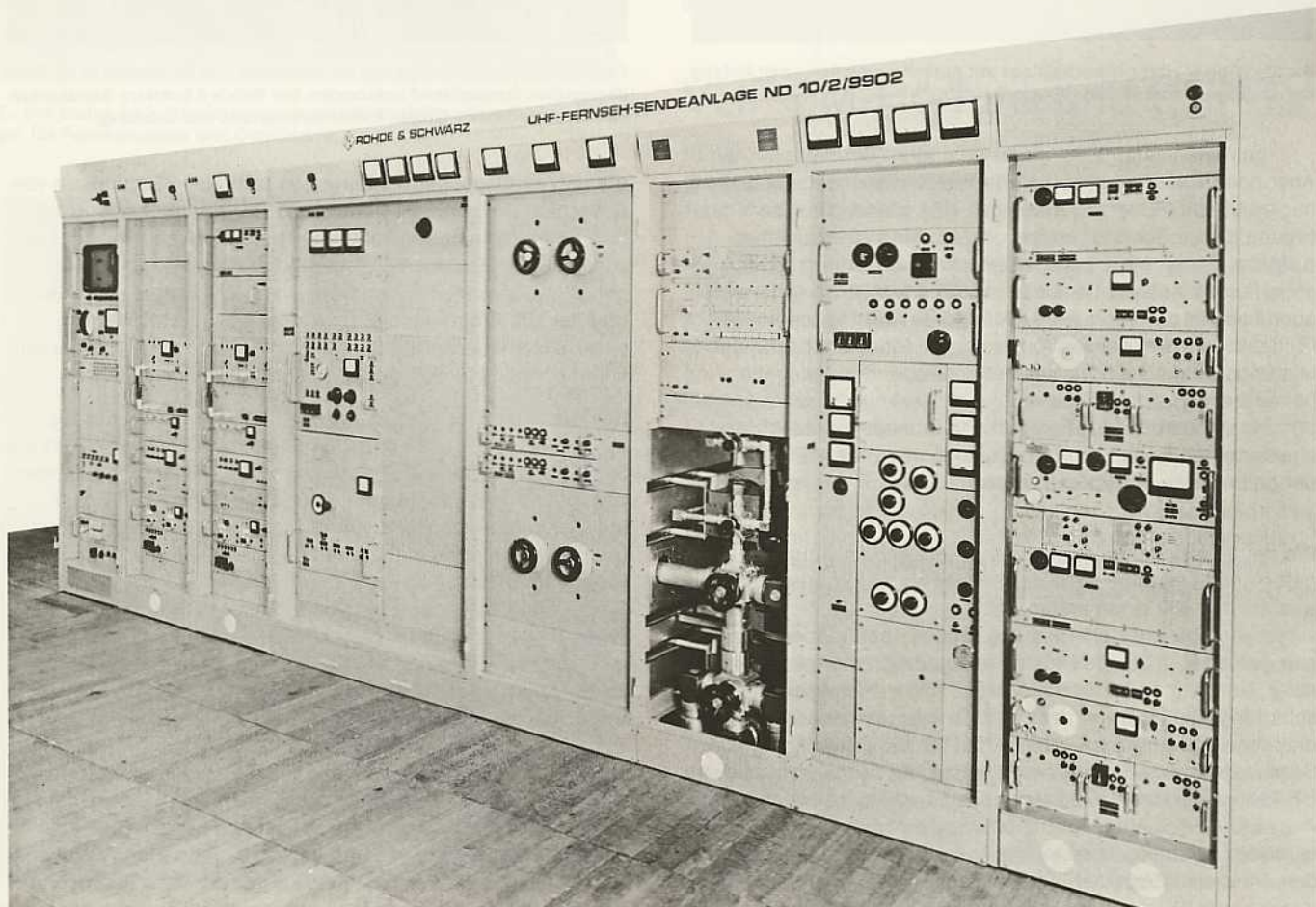
Damit war in kurzer Zeit ein umfassendes Angebot entstanden, mit dem sich alle Aufgaben beim Aufbau von UKW-Sendernetzen erfüllen ließen; zur Abrundung stand das reichhaltige R&S-Meßgeräteprogramm bereit. Der Erfolg bewies, daß das Konzept vom Kunden angenommen wurde; es blieb bis heute gültig über mehrere Gerätegenerationen, in denen die Fortschritte der Technik genutzt und neu aufgetretene Forderungen berücksichtigt wurden. Sie hingen zusammen mit der ab 1963 eingeführten **Stereo-Übertragung** und dem Wunsch nach **unbemanntem Betrieb auch großer Sendeanlagen**, der nur durch Automatisierung, optimale Reserveschaltung, Fernsteuerung und Fernüberwachung sicherzustellen ist.

Eine vergleichbare Situation wie bei der Einführung des FM-Rundfunks ergab sich bei der Wiedereröffnung des **Fernsehens** im Dezember 1952. Hier beschränkte sich Rohde & Schwarz zunächst auf die intensive Bearbeitung der zugehörigen Meßtechnik (siehe Seite 32). Die dabei gesammelten Kenntnisse der komplexen Videotechnik waren zusammen mit den Erfahrungen im Bau von UKW-Sendern 1956 die Basis für

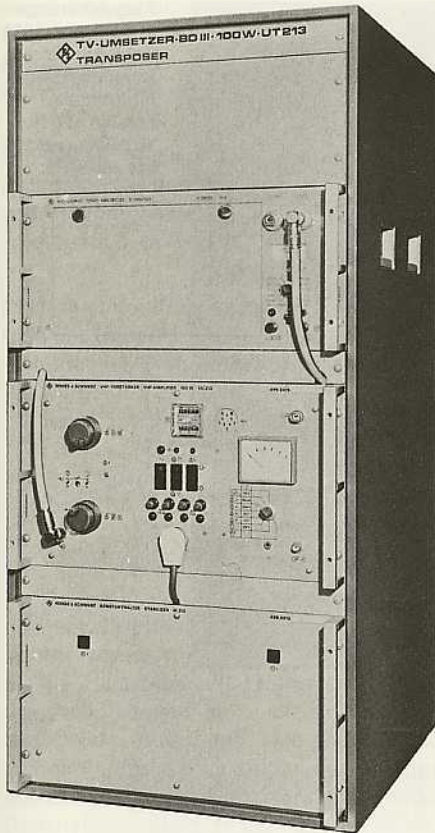
die Aufnahme von **UHF-TV-Sendern** in das Fertigungsprogramm. Die wesentlich größere Zahl der verfügbaren Kanäle in diesem Bereich IV/V gegenüber Bereich III ließ auch eine höhere Zahl der benötigten Sender erwarten. Die Endstufen waren zunächst mit Tetroden, dann mit Klystrons bestückt; bald war auch hier das ganze Leistungsspektrum von einigen Watt bis 20 kW abgedeckt.

Meilensteine bei der stetigen Weiterentwicklung ergaben sich aus dem Übergang zum **Farbfernsehen** (ab 1967) und der damit zusammenfallenden generellen Anwendung der Zwischenfrequenz-Modulation sowie 1980 aus dem Start der von uns als erste realisierten **Zweitträger-Zweitonen-Übertragung**. Daneben stand das Bestreben, den getrennten Tonsender durch die des Übersprechens wegen schwierige gemeinsame Verstärkung von Bild und Ton einzusparen, was auch bis zu den mittleren Leistungsstufen gelang. Für Automatisierung, Reserveschaltungen u. a. gilt das bei den UKW-Sendern Gesagte. Beim **Präzisionsoffset-Betrieb**, für den uns die Erfahrung in der Normalfrequenz-Erzeugung zugute kam, werden die Trägerfrequenzen zweier im selben Kanal arbeitender Sender um einen geringen Betrag gegeneinander versetzt, der auf  $10^{-9}$  genau eingehalten werden muß.

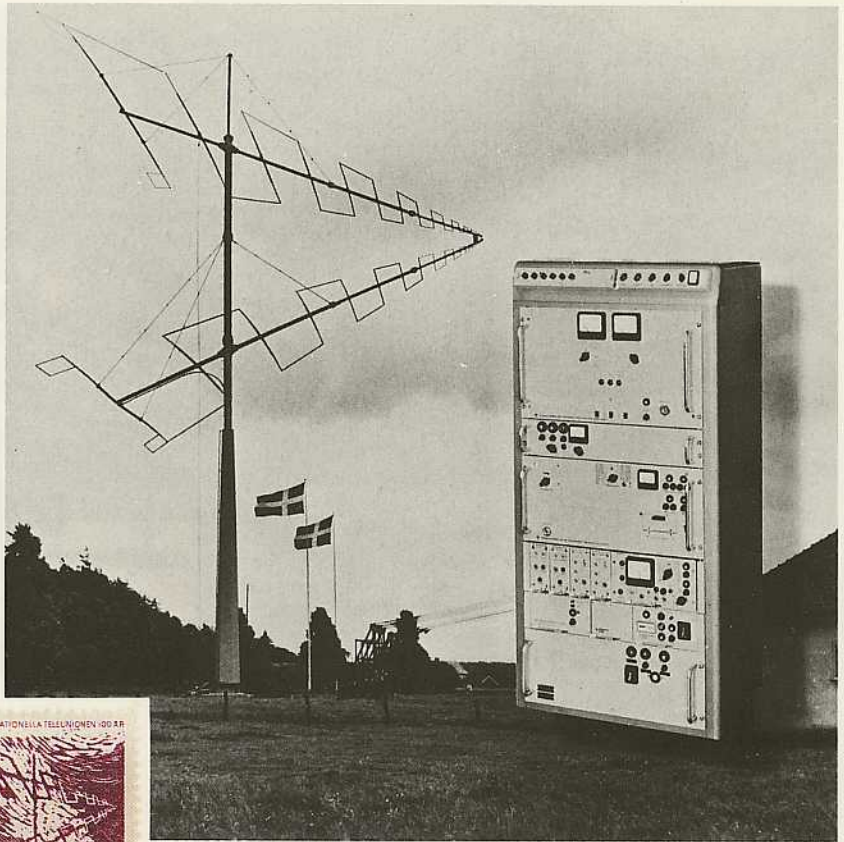
Schon mit der Einführung des Fernsehens hatten wir die auf dem UKW-Gebiet gesammelten Erfahrungen an reflexionsarmen **Antennen und Weichen** auf den neuen Frequenzbereich übertragen. Seitdem ist Rohde & Schwarz maßgebender Lieferant für TV-Antennen mit allen gewünschten Diagrammformen. Die Schwierigkeiten – besonders in bergigem Gelände – einer einwandfreien Fernsehversorgung mit den hohen Anforderungen an Reflexionsfreiheit sind nur durch das Aufstellen zahlreicher **TV-Umsetzer** meist kleiner Leistung zu überwinden. Auch an diesem breiten Markt ist R&S beteiligt, seit 1959.



UHF-Fernseh-Sendeanlage aus den sechziger Jahren für Schwarzweiß- und Farbfernsehensignale mit 10/2 kW Leistung.



100-W-TV-Umsetzer UT 213, Empfangsbereiche I, III, IV/V, Sendebereich III – einer aus der Vielzahl der seit 1959 von R&S gelieferten Umsetzer.



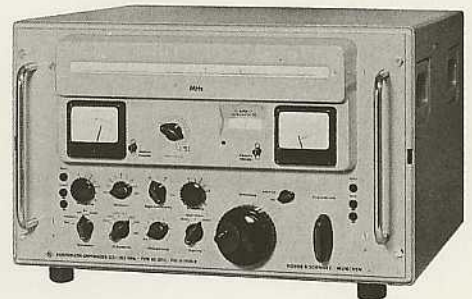
1963 entwickelte R&S seinen ersten selbstabstimmenden, ferneinstellbaren Einseitenband-KW-Sender. Die kurz zuvor in Schweden errichtete drehbare logarithmisch-periodische 35-kW-Richtstrahlantenne diente der dortigen Post als Briefmarkenmotiv.

## Kurzwellentechnik

Die Erfolge auf dem Gebiet der Rundfunksender legten es nahe, Nachrichtensender auch für andere Dienste und Frequenzbereiche zu entwickeln. Dafür bot sich zunächst der Kurzwellenbereich an mit seiner damaligen Monopolstellung für den interkontinentalen Nachrichtenverkehr. So entstand ab 1952 bei Rohde & Schwarz eine Typenreihe von **Sendern mit 100 W bis 20 kW** für alle Modulationsarten – von Telegrafie in AM oder mit Frequenzumtastung bis zur Telefonie. Zur Frequenzerzeugung dienten bald **Synthesizer**; der einfache Frequenzwechsel, den sie ermöglichen, wurde zunächst durch Vorprogrammieren der Verstärkerstufen auf mehrere Kanäle genutzt. Ein weiterer Schritt zur Betriebsvereinfachung war der **selbstabstimmende Verstärker**, der sich selbsttätig auf eine ausgewählte Synthesizer-Steuerfrequenz in wenigen Sekunden abgleicht; er schuf die Voraussetzungen für die **Ferneinstellung** unbemannter Sender. 1963 entwickelten wir unseren ersten selbstabstimmenden und ferneinstellbaren Kurzwellensender mit **Einseitenband-Modulation**. Der Kurzwellenbereich gewann für militärische Nachrichtenverbindungen mit ihren strengen Sonderbedingungen an Bedeutung; wir bauten dafür Sender und Sender-Empfänger-Kombinationen, sogenannte **Transceiver**, zum Einsatz auf Schiffen und Fahrzeugen.

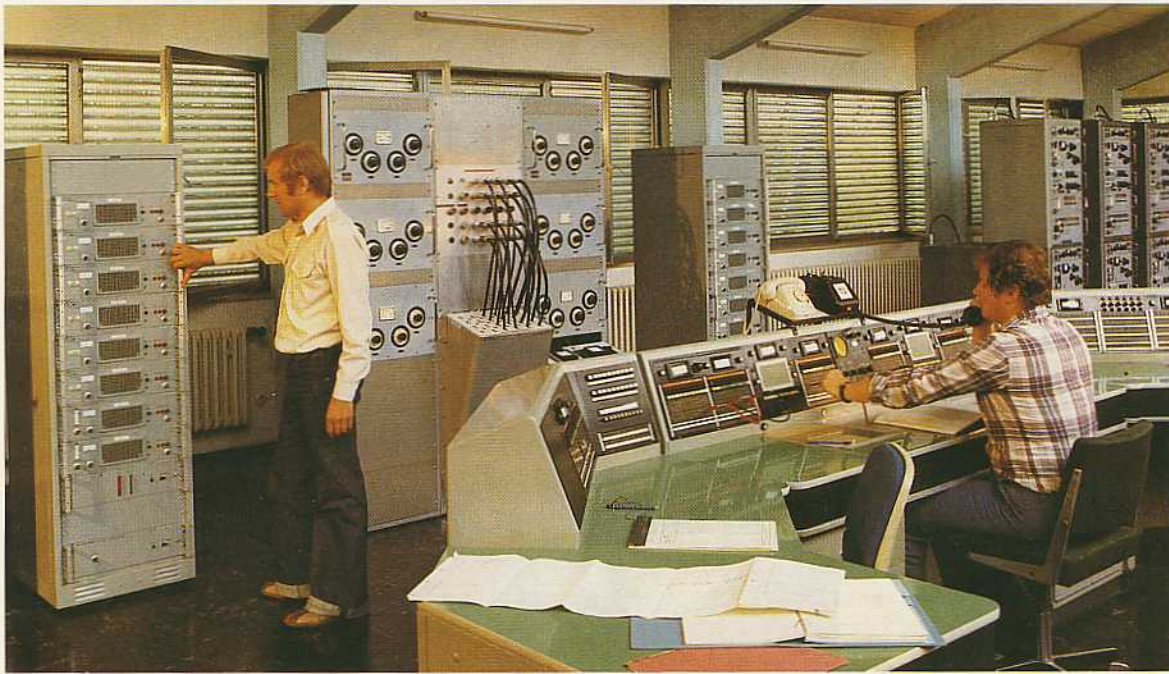
Im Gegensatz zum Rundfunkbetrieb sahen wir die kommerzielle Empfangstechnik in diesem Bereich ebenfalls als unser Metier an. 1953 wurde die Entwicklung des **Kurzwellenempfängers EK 07** in Angriff genommen. Mit diesem Gerät – einem Muster der Feinmechanik – strebten wir die nach dem Stand der Technik beste Empfangsleistung an; so wurde für hohe Frequenzgenauigkeit schon die Oszillatorfrequenz im

Sinne einer Synthesizer-Technik erzeugt. Der EK 07 blieb für lange Zeit ein Standardgerät der Kurzwellen-Empfangstechnik bis in Folgetypen der Mikroprozessor Eingang fand mit Speicherung und Funktionssteuerung.



Rund zwei Jahrzehnte setzte der Kurzwellenempfänger EK 07 Maßstäbe auf dem Gebiet der HF-Empfangstechnik (ab 1955).

Das Arbeitsgebiet wurde abgerundet durch **Sende- und Empfangsantennen** (für kurze Wellen). Aus der Vielzahl von Bauformen ragten heraus die breitbandigen Doppelkonus-Reusenantennen und die drehbaren logarithmisch-periodischen „Bauwerke“ mit einer Belastbarkeit bis 30 kW. Die für andere Antennen erforderlichen **Anpaßgeräte** bildeten ein weiteres Aufgabengebiet. Da in Empfangszentralen häufig mehrere Empfänger an einer Antenne betrieben werden, ist das Zwischenschalten von **Trennverstärkern** erforderlich; deren Verzerrungsfreiheit zu verwirklichen war eine weitere reizvolle Aufgabe.

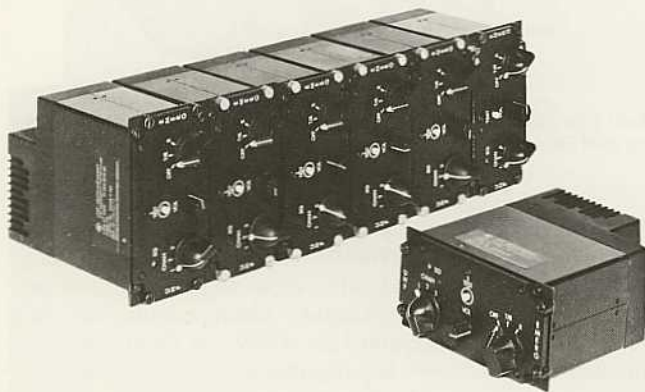


Flugsicherungs-  
sender (seit 1958  
bei R&S) für die  
Kommunikation  
im Frequenz-  
bereich 100 bis  
162 MHz und 225  
bis 400 MHz.

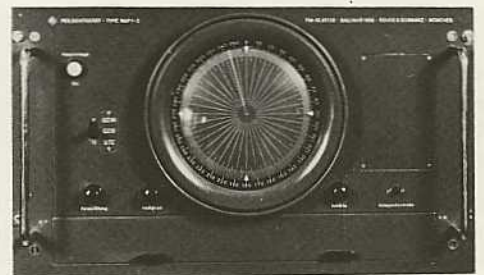
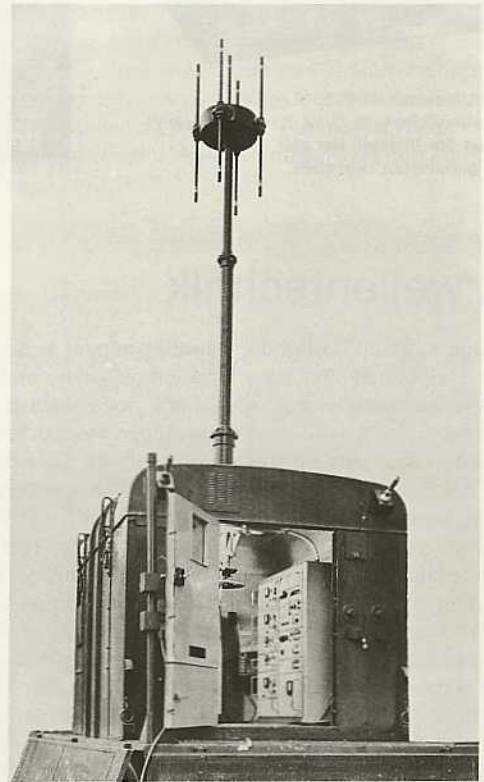
## Flugsicherung und Funkerfassung

Ähnlich wie bei der Kurzwelle verlief auch die Entwicklung im VHF- und UHF-Bereich. Hier galt es, vor allem die Aufgaben der **Kommunikation** in der Flugsicherung zu erfüllen. Zur Einstellung auf die zahlreichen, festliegenden Frequenzkanäle, auf denen sich die Boden-Bord-Verbindungen abspielen, wurden die **Sender und Empfänger** vorzugsweise mit Synthesizer-Steuerung ausgerüstet; zusammen mit selbstabstimmenden Verstärkern ist die Programmierung oder Ferneinstellung der Kanalfrequenzen in einfacher Weise möglich.

Mit dem Übergang zu Transistoren auch in den Leistungsstufen der Sender ließ sich eine **Breitbandtechnik** realisieren, die den Kanalwechsel weiter vereinfacht. Die hohe Betriebsbereitschaft, die von solchen Anlagen gefordert wird, ist nur



VHF-UHF-Bordtransceiver gibt es von R&S für militärische Flugzeuge seit 1972 (im Bild UHF-Notfunkgerät XT 2000); ein VHF-AM-Kleinsprechfunkgerät für Segelflugzeuge entstand bereits 1954.



Oben: Automatische VHF-Sichtpeilanlage NAP 1 im Shelter. Unten: Sichtgerät zum NAP 1. Der erste Peiler dieser Art wurde im April 1957 auf dem Münchener Flughafen Riem in Betrieb genommen.

durch eine automatische Umschaltung auf Reservegeräte sicherzustellen; auch hierfür bietet die Breitbandtechnik den Flughäfen, auf denen üblicherweise mehrere Kanäle gleichzeitig in Betrieb sind, rationelle Lösungsmöglichkeiten.

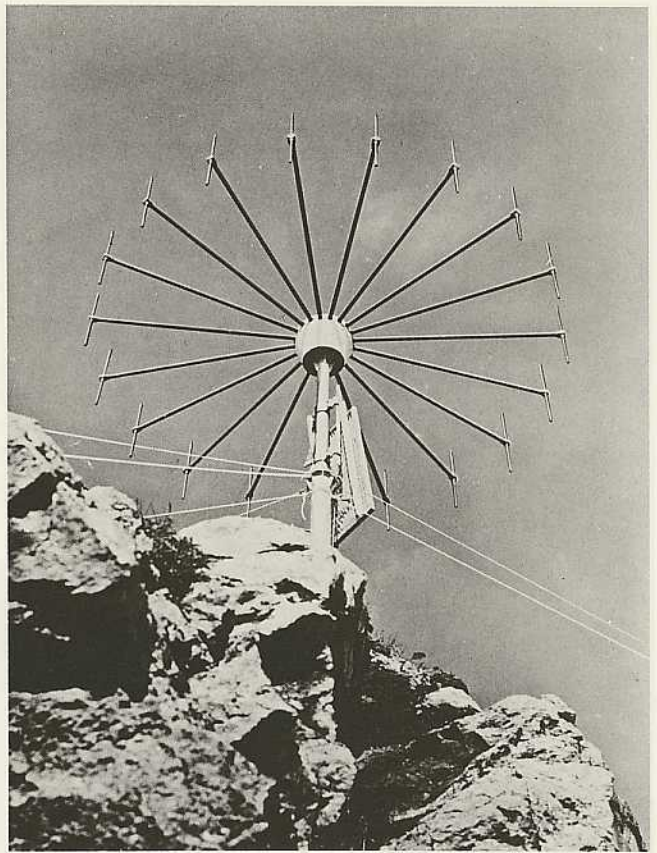
Ergänzt wurde das Programm durch eine reiche Auswahl an **Antennen**. Bei dem meist geringen Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne fand deren möglichst gute Entkopplung besondere Beachtung.

Die genannten Geräte waren ausschließlich für die Ausstattung der Bodenstationen bestimmt. Als die Entwicklung von militärischen Flugzeugen in unserem Land wieder aufgegriffen wurde, lag es nahe, die gesammelten Erfahrungen auch für den Bau von **Bordgeräten** einzusetzen; so entstanden ab 1973 Sender, Empfänger und Transceiver für alle Nachrichtebänder, angepaßt an die sehr kritischen Bedingungen des Flugbetriebs.

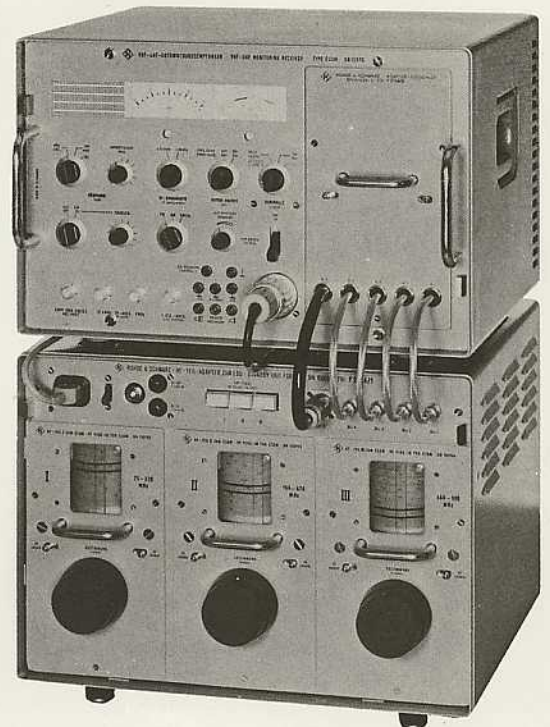
Eine entscheidende Bedeutung kommt in der Flugsicherung der **Ortung der Flugzeuge** zu. Die Ansicht, daß man mit der hochentwickelten Radartechnik allein sämtliche Forderungen erfüllen könne, wurde nicht von allen zuständigen Stellen geteilt. Zusätzlich sollte daher die altbewährte **Funkpeilung** eingesetzt werden; sie liefert zwar zunächst nur die Richtung zum Objekt, dafür ergibt sich aber die Zuordnung zum angepeilten Flugzeug unmittelbar, da als Signal die Trägerfrequenz des ohnehin geführten Sprechfunkverkehrs mit der Bodenstation dient. Diese Aufgabe paßte als Symbiose zwischen Meß- und Nachrichtentechnik offenbar gut ins Programm von Rohde & Schwarz. 1953 wurden daher Arbeiten an **Flugsicherungspeilern** begonnen; wegen der Geschwindigkeit des Ziels und der kurzen Sendezeiten kam nur eine unmittelbare Ergebnisanzeige in Betracht. Nach ersten Versuchen mit H-Adcock-Antennen erkannte man bald die Vorzüge von Großbasis-Antennen, und so entstand der Peiler nach dem **Doppler-Prinzip** mit elektronisch rotierender Antenne.

Dieses Verfahren erwies sich als so tragfähig, daß es im Prinzip bei allen Nachfolgetypen und allen Frequenzbereichen einschließlich Kurzwelle beibehalten werden konnte. Mit verfeinerter Schaltungstechnik wurden Empfindlichkeit und Genauigkeit gesteigert und dank moderner Technologie die Abmessungen der Peilempfänger bis zum Tischgerät verringert. Da zur Ortsbestimmung Peilungen von mindestens zwei Standorten erforderlich sind, entstanden andererseits **weiträumige Peilsysteme** mit Fernübertragung der Meßwerte und Fernsteuerung des Betriebsablaufs. Der Erfolg der intensiven Beschäftigung mit diesem Spezialgebiet ist unsere führende Stellung auf dem Weltmarkt.

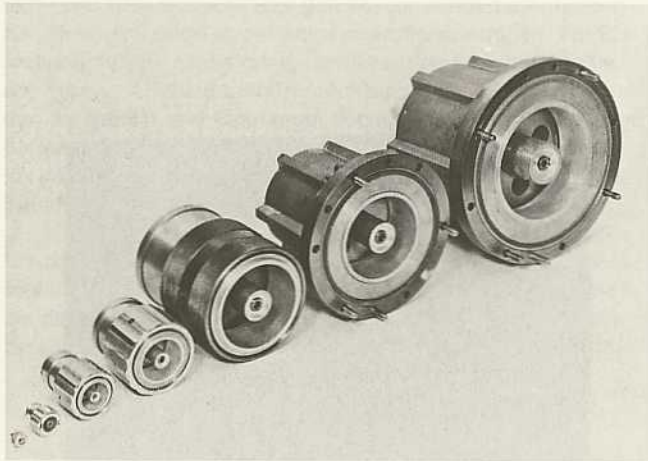
Es zeigte sich bald, daß diese Peiltechnik nicht nur zum Orten von Verkehrsobjekten anwendbar ist, sondern allgemein zur Bestimmung der Richtung zu nicht näher bekannten Sendern. Damit eröffnete sich uns das weite Gebiet der **Funkerfassung**. Dabei sind im gesamten Bereich des interessierenden Spektrums von VLF bis SHF die Frequenzbelegung und deren Veränderung zu überwachen, Frequenz und Form eines aus dem meist dicht besetzten Spektrum ausgewählten Signals zu analysieren sowie Nachrichteninhalte und Einfallsrichtung zu überprüfen und daraus Rückschlüsse auf die Signalquelle zu ziehen. Solch umfangreiche Aufgaben lassen sich bei den hohen Anforderungen an die Geschwindigkeit der Erfassung und die Auflösung nur mit Hilfe modernster elektronischer Mittel bis hin zur Rechneranwendung erfüllen. Die Applikationen sind so vielfältig, und der Bedarf ist so groß, daß sich mit der Funkerfassung und Funkortung ein eigener Bereich der Firma beschäftigt.



1958 verlief die Erprobung eines VHF-Großbasis-Doppler-Peilers von Rohde & Schwarz auf einem 2200 m hohen Berg in der Schweiz erfolgreich.



VHF-UHF-Überwachungsempfänger ESUM mit HF-Teil-Adapter (1968) zum Einsatz für feste und bewegliche Funkdienste, für AM- und FM-Sendungen, Flugfunk und alle anderen Funksignale im Frequenzbereich 25 bis 1300 MHz. Eingangsspannungsbereich 1  $\mu$ V bis 1 V, Anzeigebereich linear 20 dB, logarithmisch 0 bis 80 dB $\mu$ V.



## Koaxialstecker Dezifix

Zum Schluß des historischen Teils soll noch eine Spezialentwicklung dargestellt werden, an der das Motto „Erste Entwicklungen – und was daraus wurde“ auf unerwartete Weise deutlich wird: die HF-Steckerfamilie Dezifix.

Als 1943 durch zahlreiche Geräteentwicklungen die Grundlage einer umfassenden Meßtechnik im Gebiet der Dezimeterwellen geschaffen worden war, stellte sich die Frage nach einem hierfür brauchbaren, lösbaren koaxialen Verbindungselement mit folgenden Eigenschaften: kleiner Reflexionsfaktor, definierte Trennebene, geringer Kopplungswiderstand, leichte Lösbarkeit und nur ein einziges einheitliches Kupplungsteil. Mit dem **Zwitterprinzip** ließen sich diese Forderungen erfüllen und die Stecker-Buchse-Probleme mit den unvermeidlichen

Den HF-Kurzhubsteckern Dezifix lag das Konstruktionsprinzip der Feuerwehrschauchkupplungen zugrunde. Im Laufe der Jahre entstanden über 500 Dezifix-Typen mit Durchmessern zwischen 7 und 160 mm.

störenden Übergangsstücken aus der Welt schaffen. Anregungen zur Konstruktion des Kuppelmechanismus für den Außenleiter lieferten die Schlauchverbindungen der Feuerwehr. Im Hinblick auf die damals verfügbaren verlustarmen Koaxialkabel wurde ein Durchmesser des Außenleiters von 21 mm gewählt. Nach dem Krieg, als wir wieder auf dem Gebiet hoher Frequenzen tätig wurden, griffen wir auf diese Lösung zurück und führten die nun Dezifix genannte Koaxialverbindung mit Bajonettverschluß an unseren Geräten ein.

Es lag nahe, dieses Prinzip auch bei den neuen UKW-Sendern anzuwenden, doch war die bestehende Bauform den großen HF-Leistungen nicht gewachsen. So konstruierte man Zwitterstecker mit größeren, für die Koaxialkabel geeigneten Durchmessern. Dabei trat ein weiterer Vorzug dieses Konstruktionsprinzips in den Vordergrund, daß nämlich zur Lösung einer Verbindung bei unseren **Kurzhubsteckern** Dezifix nur eine minimale Bewegung in axialer Richtung erforderlich ist – welche nützliche Eigenschaft bei den armdicken Kabeln der Sendertechnik!

In rascher Folge entstanden Konstruktionen mit **fünf abgestuften Durchmessern** des Außenleiters zwischen 21 und 160 mm. Da zu dieser Zeit der Streit um den anzuwendenden Wellenwiderstand noch nicht entschieden war, mußten nahezu alle Typen in drei **Varianten für 50, 60 und 75  $\Omega$**  gefertigt werden. Nimmt man hinzu, daß für jeden Kabeltyp ein spezielles Anschlußteil erforderlich ist und daß auch der Betrieb im Freien (bei Antennen) gefordert wurde, so ist es nicht verwunderlich, daß die Preisliste bald **über 500 Dezifix-Typen** auswies. Dazu gehörten auch zahlreiche **Übergangsstücke** zu anderen Stecksystemen, die schon in reicher Auswahl auf dem Markt waren. Das Umrüsten auf andere Systeme bedeutete indes Einbußen an Genauigkeit.

Die verschiedenen Dezifix-Typen wurden in die **DIN-Norm** aufgenommen – eine der Voraussetzungen für eine breite Einführung. Wir brachten unser Steckersystem auch bei dem internationalen Normengremium der IEC ein; aber bis die dort übliche langwierige Prozedur abgelaufen war, hatte sich die Situation verändert. Neuen Auftrieb gab es, als das zuständige Komitee des amerikanischen **IEEE** die Vorzüge des Zwitterprinzips anerkannte und in den sechziger Jahren eine Normung für Meßzwecke in Angriff nahm. Wir hatten schon vorher eine **Ausführung (A) mit kleinerem Durchmesser (7 mm)** konstruiert. Hauptanlaß hierfür war, daß der Durchmesser des Urtyps (B) von 21 mm nur eine Übertragung bis 6 GHz zuläßt, während der 7-mm-Typ eine Grenzfrequenz von 18 GHz aufweist. Diese Bauform entsprach den sehr strengen Forderungen des amerikanischen Komitees und wurde daher in die entstehende Norm aufgenommen.

Aber trotz aller Anstrengungen gelang es auch der IEEE-Norm nicht, eine hochwertige Koaxialverbindung für Meßzwecke in nennenswertem Umfang auf dem Markt durchzusetzen, der schon von vielen anderen, einfacheren Stecksystemen beherrscht wurde. Damit ließen auch wir die Dezifix-Ära ausklingen – ein Beispiel dafür, daß selbst eine physikalisch optimale Lösung nicht zum durchschlagenden Erfolg zu führen ist, wenn bereits weltweit verbreitete Systeme dagegenstehen. Glücklicherweise blieb dies in der Geschichte des Hauses ein Ausnahmefall.