

Von der AEG-Fernmeldetechnik zu AFT microwave und AMSAP

Ferrite in der Nachrichtentechnik

Von Heinz Wollenhaupt

Was sind Ferrite?

Ferrite werden in der Elektrotechnik benötigt, um Verluste in induktiven Bauelementen wie Transformatoren, Übertrager oder Spulen gering zu halten. Speziell in der analogen Nachrichtenübertragungstechnik kam es im Laufe der Zeit zu einem stetig wachsenden Einsatz von Ferriten in der Schaltungstechnik. Es soll hier kurz aufgezeigt werden, welche Bedeutung die Ferrite hatten und welche Produkte in der Backnanger Industrie seit dem Beginn der AEG-Fernmeldetechnik in Backnang im Jahr 1946 gefertigt wurden.

Allgemeine Entwicklung der Ferrite-Forschung bis 1945

Der deutsche Chemiker Siegfried Hilpert (1883 bis 1951) meldete 1908 ein Patent an, in dem als magnetisches Kernmaterial erstmals verschiedene magnetische Oxide mit elektrisch isolierenden Eigenschaften zur Anwendung kamen. Als Zusammensetzung solcher Legierungen schlug er Eisenoxid mit verschiedenen Zusätzen vor. Wegen der recht hohen Verluste der damaligen Versuchsliegierungen wurde diese Entwicklung jedoch nicht weiterverfolgt. Das gesamte Material – Eisenoxid mit unterschiedlichen metallischen Zusätzen – wird später als Ferrit bezeichnet.

Erst 1930 griffen die Japaner Takeshi Takei und Yogoro Kato das Thema Ferrite wieder auf: Sie mischten die ersten Ferritlegierungen mit Zink und Eisen und fügten daraus noch das weichmagnetische Metallpulver „Sendust“ zu. Zur kommer-

ziellen Anwendung der Werkstoffe gründeten Kato und Takei 1935 die Firma TDK, die eine Massenproduktion der Magnet- und Ferritkerne für Spulen in Empfängerkreisen exklusiv für den japanischen Markt aufzogen.

In den 1930er-Jahren forschte auch die AEG im Berliner Gerätewerk Oberspree unter Mithilfe von Siegfried Hilpert, inzwischen Professor für Chemie und chemische Technologie an der TH Braunschweig, an den Eigenschaften von Ferriten unterschiedlicher Zusammensetzung. Ausgangsmaterial war kein Eisenpulver, sondern Oxide, die im fein gemahlenden Zustand gemischt, gepresst und gesintert¹ wurden. Die Forschungen wurden jedoch vorzeitig eingestellt, da vordringlichere Aufgaben – der Kriegsbeginn stand bevor – ausgeführt werden mussten.²

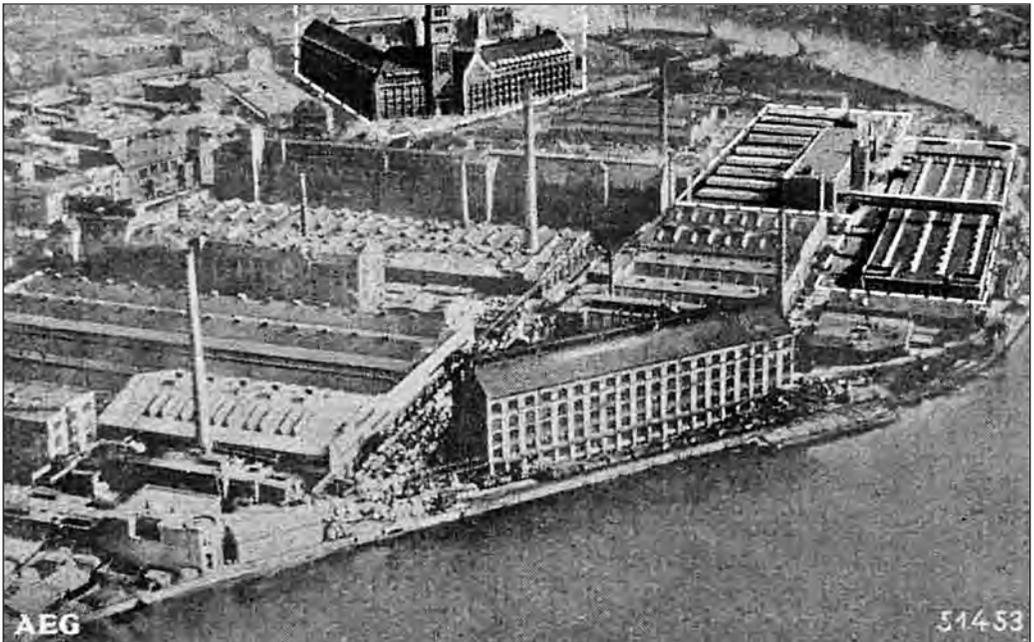
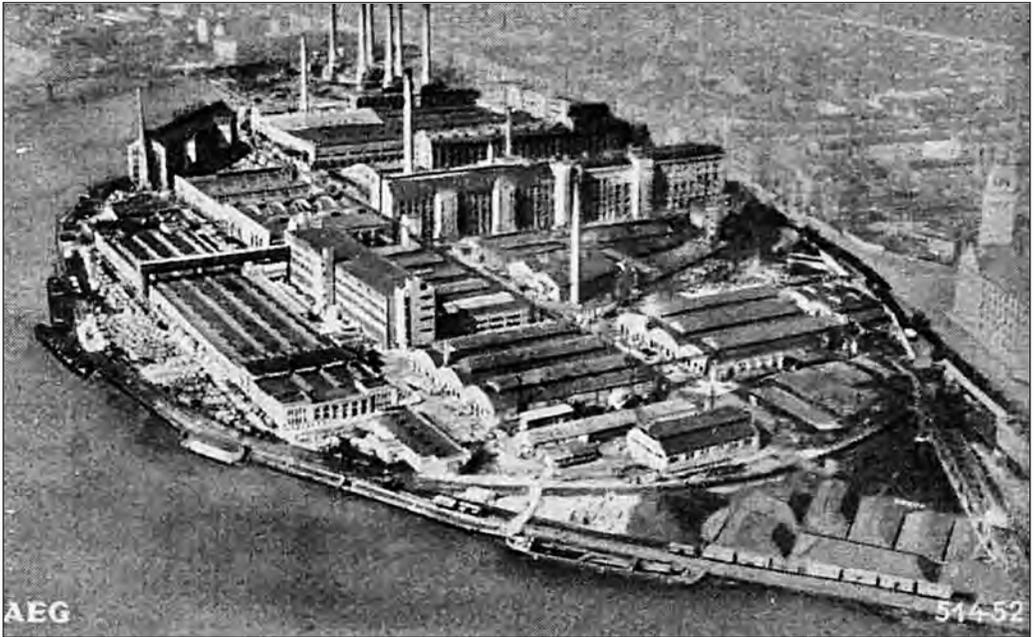
Allerdings gab es bereits 1938 einen Überblick über die vielfältigen Einzellösungen und die umfangreichen Weiterentwicklungen von Ferritwerkstoffen im Zusammenhang mit der Übertragung in höheren Frequenzbereichen.³ Bis 1945 wurde bei der AEG-Gerätetechnik Berlin-Oberspree die MEK 8 (Mehrkanalübertragung von bis zu acht Kanälen) fertig entwickelt. Ein Exemplar dieser MEK 8 kann im Technikforum Backnang angesehen werden. Für die in den entsprechenden Frequenzbereichen verlustarmen Spulen und Filter wurden speziell entwickelte Ferrite eingesetzt.

Der niederländische Physiker Jakob Louis Snoek (1902 bis 1950) begann Anfang der 1940er-Jahre am Philips Natuurkundig Laboratorium in Eindhoven, einem Forschungslabor des niederländischen Unternehmens Philips, mit der Erforschung von Kupfer-Zink-Ferriten. Seine Versuche

¹ Sintern bedeutet – laut Duden – (pulverförmige bis körnige Stoffe, besonders Metall) durch Erhitzen [und Einwirkenlassen von Druck] oberflächlich zum Schmelzen bringen, zusammenwachsen lassen und verfestigen.

² Wolf Kissling: Spulen für die Übertragungstechnik. – In: AEG Mitteilungen 1938, 38-04.

³ Ebd.



Das Berliner AEG-Kabelwerk Oberspree Mitte der 1930er-Jahre.

fürten zu einem Ferritmaterial mit hoher Güte und sehr hoher Permeabilität (= Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder). Es wurde klar, dass mit einer Veränderung der Herstellungsprozesse und der Grundbestandteile sich noch erheblich bessere Werte erzielen ließen, insbesondere im Hinblick auf die Kernverluste bei höheren Frequenzen.

Durch das Einfügen nicht magnetischer Zink-Eisen-Verbindungen in die magnetische Spinellstruktur des Magnetits wurde ab 1940 der Grundstein für die Entwicklung der späteren weichmagnetischen Ferritkerne gelegt.⁴

Backnang als Kompetenzzentrum für Ferrite

1945 wurden die in Berlin-Oberschöneweide von der AEG angesiedelten Fabriken von der sowjetischen Besatzung enteignet und in sogenannte „Sowjetische Aktiengesellschaften“ (SAG) umge-

wandelt. Diese mussten Reparationsleistungen erbringen und gingen in den 1950er-Jahren in das Volkseigentum der DDR über. Berlin-Oberschöneweide blieb mit etwa 30000 Arbeitern der größte Industriestandort der DDR.

Zahlreiche Mitarbeiter des Bereichs Fernmeldetechnik in der AEG verließen nach Ende des Zweiten Weltkriegs Berlin-Oberschöneweide und zogen in den Westen zur 1946 neu gegründeten AEG-Fernmeldetechnik in Backnang, um hier ihr Wissen wieder einzubringen. In kurzer Zeit wurde die AEG-Fernmeldetechnik Backnang das Kompetenzzentrum für Ferrite innerhalb des AEG-Konzerns in Westdeutschland. Der Entwicklungsleiter in Backnang, Klaus Sixtus, sah die wesentlichen Anwendungen von Ferritkernen in den verminderten Wirbelstromverlusten von Spulen in der Filtertechnik, der Trägerfrequenztechnik oder der Schwingkreisspulen in der Rundfunktechnik. Er berichtete von einer Vielzahl von zusätzlichen Mischstoffen wie Nickeloxid, Zinkoxid, Manganoxid oder Kupferoxid, um nur einige zu nennen.⁵



Die Spulenwicklerei bei der AEG-Fernmeldetechnik in Backnang im Jahr 1950.

⁴ Vgl. dazu: Svatopluk Krupicka: Physik der Ferrite und der verwandten magnetischen Oxide. Prag 1973.

⁵ Klaus Sixtus: Physik und Technik der Massekerne. – In: AEG Mitteilungen 41/1951, S. 135 bis 142. Der promovierte Physiker Klaus Sixtus wurde 1905 in Dresden geboren. Er kam 1947 mit seiner Familie nach Backnang und verzog 1955 nach Frankfurt/Main. StAB, Alte Einwohnermeldekartei, Karte „Dr. Klaus Sixtus“.

Das Ganze war jedoch noch in der Erforschung und die Anwendungsbreite nicht abzusehen. Zwei Jahre später konnte Sixtus in einer Fachzeitschrift schon von einer Vielzahl neuer Anwendungen berichten und lieferte eine erste Übersicht der Einsatzmöglichkeiten in der Nachrichtentechnik, die bezogen auf die Frequenzen bereits in den UKW-Bereich (100 MHz) vorgerückt waren.⁶ Letztlich machte schon zu dieser Zeit die Ferritentwicklung eine *Verwendbarkeit auch für höhere Frequenzen* möglich.⁷



Das Pressen von Ferritkernen bei Telefunken in Backnang (Aufnahme von 1955).

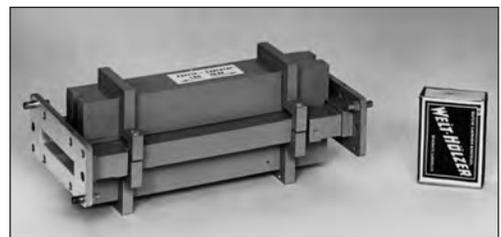
Entwicklung von Zirkulatoren

1955 begannen die Entwicklungsarbeiten am neuen Richtfunksystem FM 600 (960)/4000 für die Deutsche Bundespost. Dabei handelte es sich um ein breitbandiges Richtfunksystem, bei dem

die bei Telefunken in Ulm neu entwickelte Wanderfeldröhre TL6 mit fünf Watt Leistung für den Einsatz vorgesehen war. Eine Wanderfeldröhre verlangt jedoch bei ihrem Einsatz sowohl eingangs- wie auch ausgangsmäßig eine optimale Anpassung.⁸ Sie funktioniert nur dann störungsfrei, wenn sie in der verwendeten Schaltung reflektionsfrei angepasst werden kann.⁹ Um dieses zu erreichen und um die Anpassung zu optimieren, mussten passende Richtungsleitungen entwickelt werden.

Mit dieser Aufgabe beauftragte der Backnanger Entwicklungsleiter Erwin Willwacher im Jahr 1956 Rudolf Steinhart, den späteren Leiter des Produktbereichs Richtfunk. Im Sommer 1956 entdeckte Erich Pivitt, der anlässlich seiner Bewerbung bei der Telefunken GmbH in Backnang, die 1954 die AEG-Fernmeldetechnik übernommen hatte, eine Laborbesichtigung bekam, im Labor von Steinhart einen Ferrit-Isolator. Seit dieser Zeit war Pivitt ebenfalls intensiv mit der Weiterentwicklung von Isolatoren zu Hochleistungszirkulatoren betraut (dazu später mehr).

Wie erstaunlicherweise gering beachtet der Einsatz von Ferriten in der Hochfrequenztechnik im Vergleich zu anderen Einsatzmöglichkeiten auch noch 20 Jahre später war, zeigt ein Handbuch von AEG-Telefunken aus dem Jahr 1974: In der 178 Seiten starken Zusammenstellung verschiedenster Ferritanwendungen waren lediglich drei Seiten den Mikrowellen-Ferriten ge-



Der erste von Telefunken Backnang entwickelte Ferrit-Isolator 4 GHz (Aufnahme von 1956). Die rechts abgebildete Streichholzschatel verdeutlicht die Größenverhältnisse.

⁶ Klaus Sixtus: Magnetische Werkstoffe. – In: Die Elektro-Post 6/1953.

⁷ Rudolf Saal: Neuere Verfahren für den Entwurf hochwertiger Filter. – In: VDE-Fachberichte 18/1954.

⁸ Werner Klein: Die Wanderfeldröhre TL6 für Richtfunk 4 GHz. – In: Telefunken Sonderdruck 9/1959.

⁹ Ders.: Zur Bemessung der Wendel in Wanderfeldröhren. – In: AEU. International Journal of Electronics and Communications 8/1956.

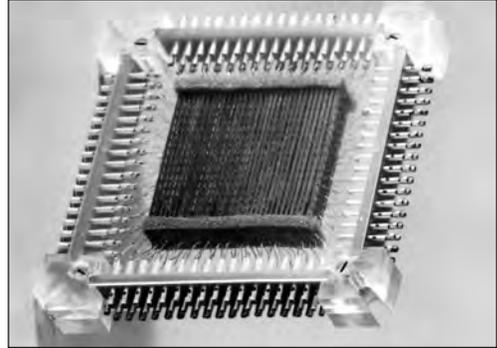
widmet.¹⁰ Im Gegensatz zu den Ferriten in Spulen oder Wandlern werden in Mikrowellen-Ferritbauelementen die Ferritteile einem starken äußeren statischen Magnetfeld ausgesetzt und somit im magnetisch gesättigten oder nahezu gesättigten Zustand benutzt.



Gemischtes Oxid-Ferritpulver mit einigen daraus gepressten und gesinterten Ferriten.

In den Niederlanden wurde dagegen bereits im Jahr 1957 über eine neuartige Anwendung von Ferriten berichtet: Eine Fachzeitschrift brachte einen Artikel über *Schaltzeiten von Ringkernferriten für Speicher von E-Rechnern*.¹¹ Nur wenige Jahre später wurden Tausende Ringkernferrite für die Speicherentwicklung und Fertigung des Telefunken-Rechners TR 4 gefertigt und eingesetzt. Joseph Sperlich, einer der Entwickler des TR 4, beschrieb 2004 die Funktion der Speichereinheit des Rechners mithilfe von Ferriten folgendermaßen: *Die Speichereinheit umfasst zwei RAM-Speicher (Random Access Memory) und einen ROM-Speicher (Read Only Memory). Die Information bei den kleinen RAM-Speichern wird in kleinen Magnetringkernen gespeichert. Diese sind zu Matrizes verflochten. Jeweils 48 + 4-Matrizes sind in einem Speicherblock angeordnet. Jeder Block kann 4096 Worte speichern. Der erste RAM-Speicher umfasst einen Speicherblock, der zweite ist auf bis zu sechs solcher Blöcke, das heißt auf bis zu 24576 Worte, ausbaubar. Beim ROM-Speicher übernehmen 48 + 4-Ferrit-Scha-*

*lenkerne die Auskopplung der Wortinformation, welche durch die Führung der „Wortdrähte“ links- oder rechtssinnig um den Mittelsteg des Schalenkerns festgelegt ist. Er kann 1024 Worte speichern und ist auf bis zu 4096 Worte ausbaubar.*¹² Beispiele der Speichereinheit des Telefunken-Rechners TR 4 können ebenfalls noch im Technikforum Backnang angeschaut werden.



Ferritspeicher für den TR-4-Rechner.

1958 schloss Rudolf Steinhart seine experimentellen Untersuchungen an Ferrit-Resonanz-Richtungsleitungen ab und veröffentlichte die Ergebnisse in seiner Dissertation „Ferrit-Resonanz-Isolatoren der Mikrowellentechnik“, die er bei Professor Herbert Döring am Institut für Hochfrequenztechnik der RWTH Aachen einreichte. Es war die erste Promotion auf dem Gebiet der Ferrite im neu geschaffenen Institut.¹³

Das Jahr 1960 brachte dann einen historischen Durchbruch hinsichtlich der Entwicklung des Mikrowellen-Zirkulators. Walter Stösser – späterer Entwicklungsleiter beim Produktbereich Raumfahrt in Backnang – untersuchte eingehend die Eigenschaften des „magischen T“ (= einfache Hohlleiter-Brückenschaltung für Mikrowellen) eines Hohlleiterbauelements und analysierte und dokumentierte im gleichen Jahr noch die Eigenschaften des 3-dB-Kurzschlusskopplers.¹⁴ Mit die-

¹⁰ AEG-Telefunken: Handbuch Telefunken-Ferrite 1973/74. N2 WB 947 04.73.

¹¹ Philips Technical Review 18/1956, S. 334.

¹² Notiz anlässlich einer Ausstellung zum TR 4 in der Techniksammlung vom 28. November bis 19. Dezember 2004.

¹³ Herbert Döring: 25 Jahre Institut für Hochfrequenztechnik der RWTH Aachen. Bericht vom 29. Januar 1977, S. 15.

¹⁴ Walter Stösser: Das Magische T. – In: Frequenz. Journal of RF-Engineering and Telecommunications 14/1960, S. 17 bis 21. In der Mikrowellen-Hohlleitertechnik kann Leistung aus einem Hohlleiter mit Kopplern ausgekoppelt werden, die unterschiedlich – je nach Anforderung – arbeiten. Mit Lochkopplern werden geringe Leistungen ausgekoppelt, während mit Kurzschlusskopplern bis zur Hälfte der im Hohlleiter laufenden Welle ausgekoppelt werden kann (3-dB-Koppler).

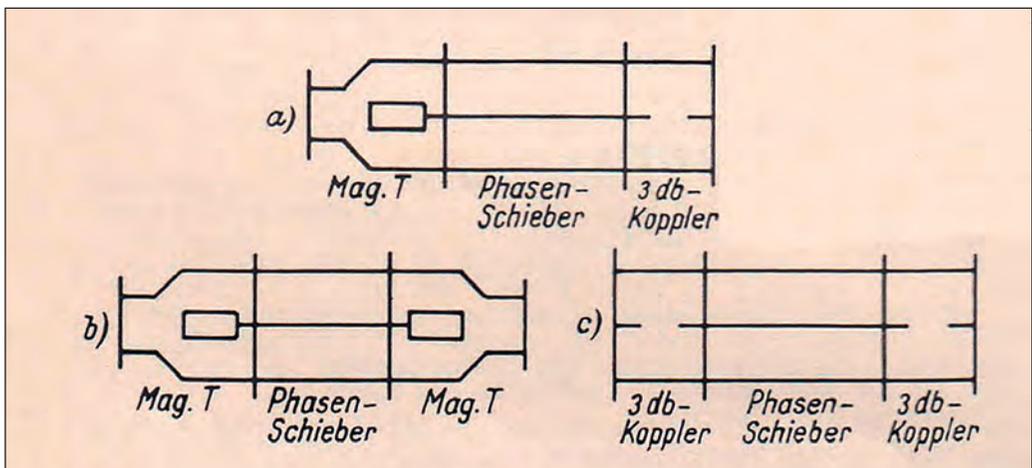
sen Bauteilen und den von Rudolf Steinhart zuvor untersuchten Eigenschaften des nicht reziproken Richtungsleiters erforschten und beschrieben dann Erich Pivit und Walter Stösser zusammen erstmals die Eigenschaften verschiedener Mikrowellen-Zirkulator-Kombinationen.

Ein Zirkulator lässt sich allgemein durch den auf Seite 174 abgebildeten Ersatzkreis darstellen. Dabei entspricht jedem der durchnummerierten Arme eine Mikrowellenleitung und der Pfeil zeigt die Energieflussrichtung an. Bei einem idealen Zirkulator tritt also die in Arm „1“ eingespeiste Energie nur bei Arm „2“ aus, von Arm „2“ läuft sie nach Arm „3“ und so weiter. Die Zahl der Arme ist dabei theoretisch unbegrenzt, jedoch kommen in der Praxis nur 3- und 4-Arm-Zirkulatoren zur Anwendung.

Die Zirkulatoren lassen sich – nach der jeweils angewandten Schaltungstechnik – in drei Hauptgruppen einteilen:¹⁵ Auf die Faraday-Zirkulatoren und die Feldverzerrungs-Zirkulatoren soll hier nicht eingegangen werden, da sie bei Telefunken nicht eingesetzt wurden. Wichtig für Telefunken waren vielmehr die Phasenschieber-Zirkulatoren. Der Aufbau besteht dabei aus zwei Brückengliedern – „Magisches T“ oder 3-dB-Koppler –, miteinander verbunden durch einen nicht reziproken Phasenschieber vorbestimmter Phasenverschiebung. In den möglichen Zirkula-

tor-Kombinationen kommen die Bauteile Phasenschieber, „Magisches T“ und 3-dB-Koppler in unterschiedlichen Anordnungen vor, die zuvor im Einzelnen untersucht und beschrieben wurden. Beim Aufbau von Mikrowellen-Zirkulatoren werden reziproke und nicht reziproke Phasenschieber benötigt. Als reziproke Phasenschieber werden der dielektrisch belastete Hohlleiter und Hohlleiter verschiedener Breite theoretisch und experimentell untersucht. Der nicht reziproke Phasenschieber mit Ferriten wird nach experimentell gewonnenen Ergebnissen behandelt. Besonders wird auf die Temperaturkompensation der Phasenverschiebung eingegangen. Zum Abschluss wird über das Messverfahren und die verwendete Apparatur berichtet.¹⁶

Wozu braucht man in der Hochfrequenztechnik Zirkulatoren? In dieser Technik werden hochfrequente Signale, die von entsprechenden Mikrowellenröhren – wie etwa der Wanderfeldröhre – erzeugt werden, auf eine Antenne geführt und von dieser abgestrahlt. Das Überführen der Energie auf die Antenne muss weitgehend reflektionsfrei oder zumindest reflektionsarm sein, um durch zu hohe Reflektionen die Eigenschaften der Röhre nicht zu verändern. Eine Reflektion kann zu einer unerwünschten Selbsterregung der Röhre führen. Darüber hinaus hat der Ulmer Entwickler der Telefunken-Wanderfeldröhre TL6, Werner



Schematische Darstellung der unterschiedlichen Zirkulator-Kombinationen.

¹⁵ Erich Pivit/Walter Stösser: Der Mikrowellenzirkulator. – In: Ebd., S. 77 bis 83.

¹⁶ Erich Pivit: Reziproke und nichtreziproke Phasenschieber. – In: Ebd., S. 369.

Klein, bereits 1956 und 1959 diese „Nachteile“ der Röhre ausführlich beschrieben.¹⁷ Aus diesem Grund wurde für das Richtfunkgerät FM 960/4000 ein Ferrit-Isolator entwickelt, um die 4-GHz-Wanderfeldröhre als Ausgangsverstärker von den Eigenschaften der Antennenzuleitung und der Antenne selbst zu entkoppeln.

Interessant ist die Tatsache, dass die ersten Telefunken-Isolatoren auf internen Bildern bereits 1956 zu sehen waren, Berichte dazu jedoch erst im Jahr 1960 veröffentlicht wurden. Dies lag daran, dass Telefunken in Ulm nach der Gründung der Bundeswehr im Jahr 1955 verstärkt auf militärischem Gebiet – und hier vor allem in der Radartechnik – tätig war. In dieser Technik brachte die Anwendung des Zirkulators erhebliche Vorteile und durfte deswegen nur sehr verzögert veröffentlicht werden.

Im Juli 1962 legte Erich Pivit seine Dissertation „Phasenschieber – Zirkulatoren in der Mikrowellentechnik“ am Institut für Hochfrequenztechnik der RWTH Aachen bei Professor Herbert Döring vor. Darin fasste er seine experimentellen Ergebnisse zusammen und stellte die mathematischen Lösungen dar. Diese Doktorarbeit war die zweite mit Schwerpunkt Ferrite an der RWTH Aachen – nach der Dissertation von Rudolf Steinhart im Jahr 1958. Dies verdeutlicht auch die Führungsrolle von Telefunken in Backnang auf dem Gebiet der Ferrite in der Mikrowellentechnik.

Nachdem nun die theoretischen und praktischen Grundlagen gelegt waren, konnten die Anwendungen im Richtfunk optimiert werden. Entsprechend wurden Mitte der 1960er-Jahre bei Telefunken in Backnang intensive Anwendungsentwicklungen im Bereich Richtfunk betrieben. Es entstand nach Spezifikationen für Richtfunkgeräte die Anwendung von Isolatoren und Zirkulatoren für den Anschluss der Leistungsendstufe an die Antenne über Filterweichen in Hohlleiter- und Koaxialtechnik. Die Anforderungen waren sehr hoch, sodass ein Zirkulator im genutzten Frequenzband – oft identisch mit dem Richtfunkgerät – Fehlanpassungen kleiner als 1,5 Prozent und bei Nutzung im Signalweg Durchgangs-

dämpfungen kleiner als 0,3 dB erfüllen musste. Die Sperrdämpfung sollte mindestens 20 dB betragen, damit eine ausreichende Entkopplung vorhanden war.¹⁸

Entwicklung von Leistungszirkulatoren

Während die im Richtfunk eingesetzten Bauelemente bei 2 bis 7,5 GHz arbeiten und in den Abmessungen handliche Dezimetergrößen aufweisen können, sind für den Einsatz unter 1000 MHz die Bauteile sehr groß. Zur Lösung dieses Problems untersuchte Erich Pivit nun die Verwendung von Zirkulatoren aus konzentrischen Schaltelementen wie Kapazitäten und Induktivitäten aus reziprok und nicht reziproken gekoppelten Spulen und machte damit den Weg für den Einsatz von Zirkulatoren im Frequenzbereich von 50 bis 1000 MHz frei.

In diese Zeit fällt auch eine Episode, die in der Abteilung Richtfunk in Backnang fast schon legendären Charakter hatte: Erich Pivit fuhr im Zug von Hannover nach Stuttgart, als ein Herr in seinem Alter ins Abteil zustieg. Nach den üblichen Begrüßungen im Zug meinte der Zugestiegene zu Pivit: „Wir kennen uns aus Aachen.“ Der Abschluss in Aachen an der RWTH lag für Pivit nun auch schon über zehn Jahre zurück, sodass er den freundlichen Mitfahrer nicht erkannte. Dieser meinte, er wäre Asta-Vorsitzender gewesen. Während der Fahrt unterhielt man sich, was man als junger Diplom-Ingenieur denn so mache, und Pivit erzählte, dass er bei Telefunken in Backnang Zirkulatoren für den Richtfunk entwickelte. Der Asta-Vorsitzende, der sich als Hermann Kumpfert vorstellte, arbeitete bei DESY, dem Deutschen Elektronen-Synchrotron¹⁹ in Hamburg, und suchte nach Zirkulatoren für die Einspeisung von Hochfrequenzenergie bei einer Frequenz von 500 MHz. Der Zirkulator bei DESY sollte letztlich den gleichen Zweck wie im Richtfunk erfüllen, nur dass die Entkopplung der Senderöhre vom Verbraucher beim Richtfunk die Antenne und bei DESY der Beschleunigerring

¹⁷ Klein (wie Anm. 8 u. 9).

¹⁸ P. Emmerich /H. Junker /E. Pivit: Ferritbauelemente für die Richtfunktechnik. – In: Telefunken-Zeitung 1965, S. 175 bis 186.

¹⁹ Der Bau des ersten Teilchenbeschleunigers DESY, der dem heute noch bestehenden Forschungszentrum für naturwissenschaftliche Grundlagenforschung in Hamburg seinen Namen gab, begann 1960. Vier Jahre später wurden in der Anlage erstmals Elektronen beschleunigt.

war. Der gewaltige Unterschied zwischen den beiden Anwendungsgebieten bestand in der übertragenen Leistung. Pivit arbeitete zu dieser Zeit an rückgeleiteten Verlusten im Milliwatt-Bereich, während bei DESY einige Kilowatt an reflektierter Leistung zu absorbieren waren. Am Ende des Gespräches meinte Pivit jedoch, es könnte eine Lösung für das Problem bei DESY geben. Kumpfert solle einfach an den Vertrieb von Telefunken in Backnang schreiben und er werde dann von ihm hören.²⁰ Die Zusage von Pivit kam nicht von ungefähr, hatte er doch bereits Ende der 1950er-Jahre im Auftrag von Telefunken in Ulm Leistungszirkulatoren für die Radaranwendung entwickelt, die Ergebnisse jedoch nicht veröffentlichen dürfen, da militärische Entwicklungen der Geheimhaltung unterlagen.

Während im Richtfunk bei zehn Watt Ausgangsleistung der Röhre ein bis zwei Prozent im Zirkulator absorbiert werden, so waren dies 100 bis 200 Milliwatt. Bei DESY sollten jedoch 1,4 Megawatt (1 Megawatt = 1000 Kilowatt) übertragen werden – bei ähnlichen Verlusten von 0,12 dB Einfügungsdämpfung und 20 dB Entkopplung. Um die entstehenden Wärmeverluste abzuführen, ist eine Wasserkühlung erforderlich. Es sind ein bis zwei Prozent Leistungen zwischen 14 und 28 Kilowatt, die abgeführt werden müssen.

Die Anfrage von DESY erreichte Telefunken kurze Zeit später und Vertriebsleiter Rudolf Steinhart entschied nach Aussprache mit Pivit, in dieses Geschäft einzusteigen – zumal es dafür noch kaum Konkurrenten gab. Lediglich Raytheon aus

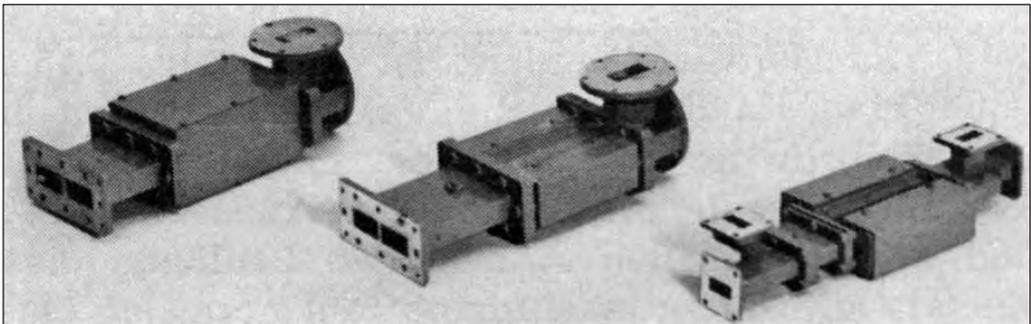
den USA hatte für geringere Leistungen Isolatoren im Angebot, jedoch noch keine Phasenschieber-Zirkulatoren.

Die technischen Daten, die einzuhalten waren, wurden mit DESY abgestimmt und Pivit begann mit der mechanischen Dimensionierung als Vorgabe für die Konstruktion sowie mit dem Problem der Dimensionierung der Ferrite, insbesondere der Kühlung der reflektierten Leistung.

Der Sender bestand aus vier Leistungsendstufen von je 180 Kilowatt, die über Brücken zusammenschaltet waren. Die Summenenergie von zirka 750 Kilowatt trat in den Zirkulator ein und wurde in Pfeilrichtung nach „2“ übertragen und gelangte so zu der Ringspeiseleitung in den Beschleuniger. Die vom Beschleuniger reflektierte Energie trat bei „2“ in den Zirkulator ein und wurde in Pfeilrichtung nach „3“ vom Absorber A aufgenommen und konnte somit nicht zum Sender zurücklaufen.²¹

Der an DESY ausgelieferte Hochleistungszirkulator war das erste in Deutschland gebaute Exemplar eines Vierarm-Phasenschieber-Zirkulators für Leistungen über ein Megawatt und wies folgende Daten auf:

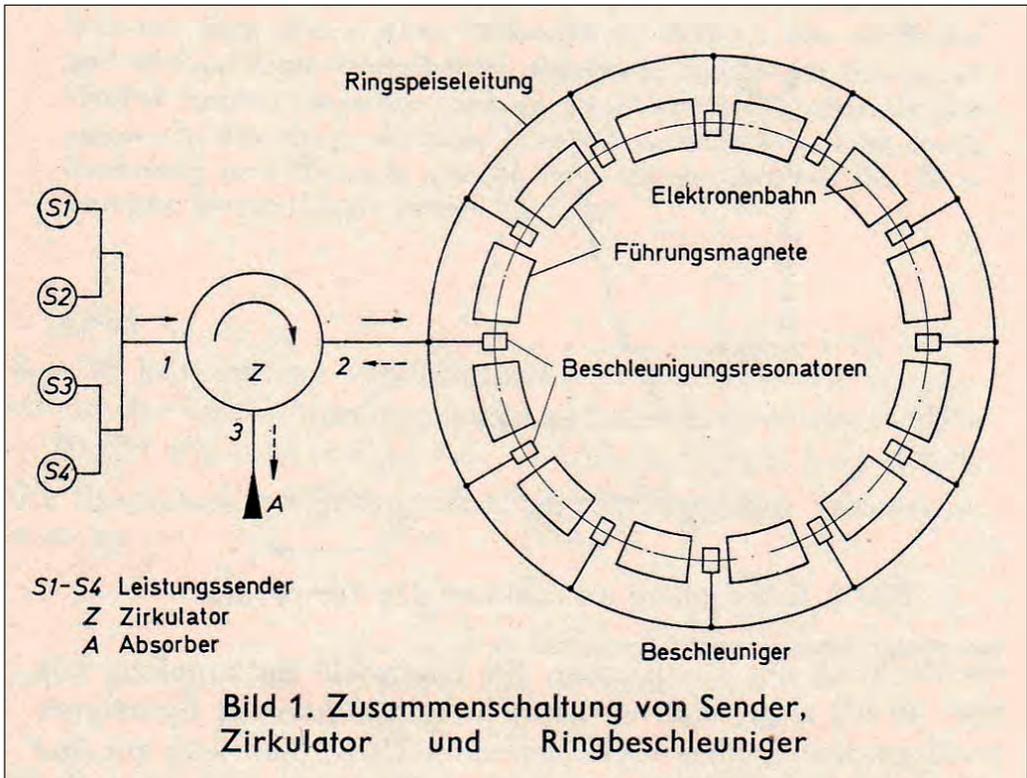
Typ: Vierarm-Phasenschieber-Zirkulator
 Frequenz: 500 MHz +/- 5 MHz
 Einfügungsdämpfung: < 0,12 dB
 Entkopplung: > 20 dB
 Leistung: 1,5 MW eff. und 6 MW Spitze
 Kühlung: 20 m³/h Wasser von 20 °C
 Abmessungen: Länge 6 Meter, Breite 0,73 Meter, Höhe 1,43 Meter, Gewicht 5 Tonnen.



Zirkulatoren 7 GHz, 5,6 GHz und 9,1 GHz (v. l. n. r.).

²⁰ Interview mit Erich Pivit am 6. Februar 2018, das aufgenommen wurde. Das Tondokument wird im Stadtarchiv Backnang aufbewahrt.

²¹ Erich Pivit: Ein Hochleistungszirkulator für das deutsche Elektronen-Synchrotron DESY. – In: Elektronische Rundschau 4/1971, S. 101 ff.



Zusammenschaltung von Sender, Zirkulator und Ringbeschleuniger.



Der fertige Leistungszirkulator für DESY im Werk Backnang vor der Auslieferung nach Hamburg.

Im Januar 1969 wurde der erste Leistungszirkulator an DESY ausgeliefert, dort gemessen und ohne Beanstandung abgenommen. 1972 erfolgte eine zweite Ausschreibung von DESY, an der sich auch Raytheon beteiligte. Dieser Auftrag ging schließlich an das US-amerikanische Unternehmen, das sich zwischenzeitlich – so Pivits im Interview – seine Dissertation übersetzen lassen hatte und nun die relevanten Formeln, die zum Gelingen des ersten Leistungszirkulators beigetragen hatten, selbst erfolgreich anwenden konnte.²² So wurde Pivits Zirkulator in Konkurrenz zu Telefunken ohne Lizenz in den USA nachgebaut.



Dr. Erich Pivits beim Kleben der Ferrite des Leistungszirkulators für DESY.

Erst 1980 gab es von DESY eine weitere Ausschreibung über fünf Hochleistungszirkulatoren, die von der ANT Nachrichtentechnik GmbH in Backnang gewonnen wurde. Wie sich Erich Pivits erinnert, gab es bei der Inbetriebnahme durch DESY Probleme: Durch fehlerhaften Anschluss der DESY-Leistungsröhren wurde ein Phasenschieber zerstört, konnte jedoch durch einen aus

Backnang in der Nacht herbeigeschafften Reservecphasenschieber ersetzt werden. Auch an das europäische Forschungszentrum CERN LEP (large electron-position collider) in der Nähe von Genf wurde ein 365-MHz-Phasenschieber-Leistungszirkulator geliefert.²³

Anfang der 1980er-Jahre waren sogenannte 3-Tor-Y-Zirkulatoren für geringe Leistungen bei Richtfunkanlagen bereits bewährt im Einsatz. Deshalb fragte DESY bei ANT in Backnang vorsichtig an, ob man diese Bauweise auch für hohe Leistungen zwischen 1,2 und 1,6 Megawatt einsetzen könne. Da die Zirkulatoren im Beschleunigertunnel eingebaut werden sollten und die bisher gelieferten Teile mit sechs Metern Länge keinen Platz im Tunnel hatten, wären die kompakteren 3-Tor-Y-Zirkulatoren natürlich von erheblichem Vorteil. Pivits sprach daraufhin Wolfgang Hauth aus der Vorentwicklung von ANT an, ob er dafür eine Berechnungsmethode der feldtheoretischen Simulation kenne. Hauth nahm sich des Problems an und hatte nach wenigen Tagen die Berechnung eines symmetrischen 120-Grad-Leistungszirkulators durchgeführt. Das einzige nun noch offene Problem war die erforderliche Anpassung in ein Netzwerk. Hier konnte Pivits mit Sigmund Lenz aus der Hohlleiter-Komponenten-Entwicklung des Richtfunks einen weiteren Spezialisten gewinnen, der für den Richtfunk eine entsprechende Software zur Anpassung entwickelte. Die Simulation eines speziellen Anpassnetzwerks war erfolgreich, sodass Pivits DESY nach einigen Wochen eine Realisierungsmöglichkeit für einen Y-Leistungszirkulator signalisieren konnte.²⁴ Die drei Backnanger Spezialisten wurden daraufhin zur Präsentation nach Hamburg eingeladen und noch am selben Abend hatte ANT einen Auftrag über fünf 3-Tor-Y-Leistungszirkulatoren von DESY in der Tasche.

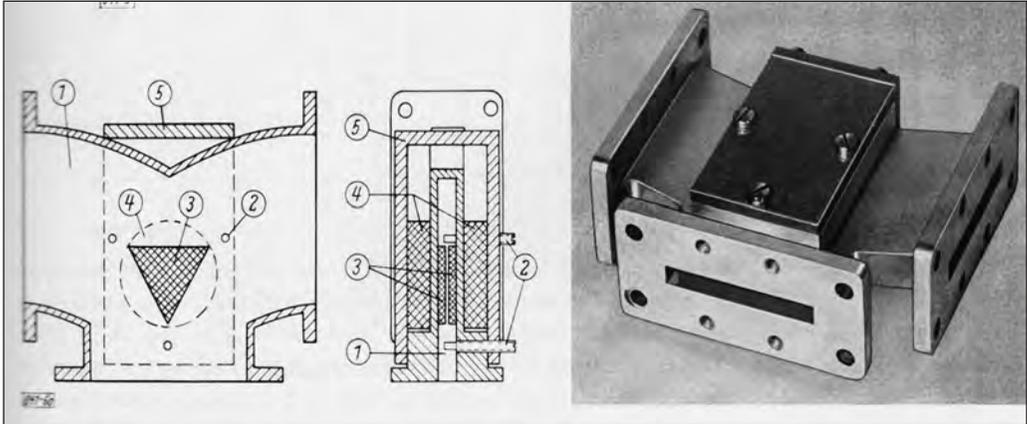
Die Grundlagen für die Berechnung basierten auf den Programmen von Wolfgang Hauth, die er in seiner Dissertation beschrieb.²⁵ Es wurde ein verkleinertes Modell bei 1,75 GHz gebaut und die damit erfolgten Messungen bestätigten seine Berechnungen. Dadurch konnte man später die we-

²² Interview mit Erich Pivits am 6. Februar 2018.

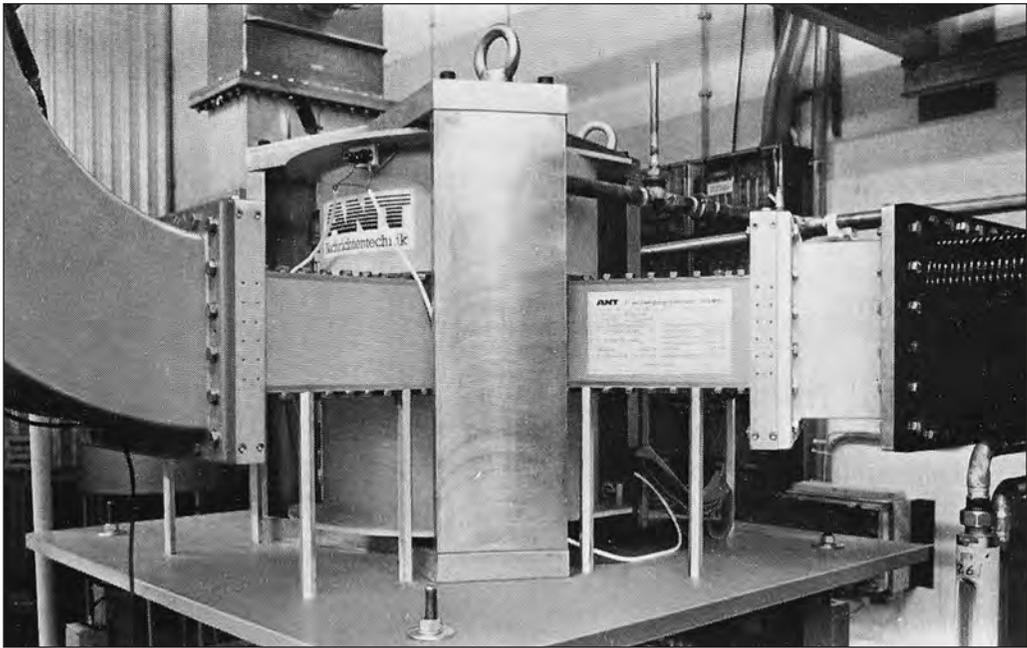
²³ Ebd.

²⁴ Wolfgang Hauth: Feldtheoretische Simulation nichtreziproter Mikrowellenkomponenten. – In: ANT NT Berichte 5/1988, S. 106 bis 113.

²⁵ Ders.: Feldtheoretische Analyse von Verzweigungszirkulatoren mit parallel zur Verzweigungsebene geschichteten Medien. Dissertation Erlangen, Nürnberg 1982.



3-Arm-Hohlleiter-Zirkulator 7,1 bis 7,7 GHz.



Der von ANT in Backnang hergestellte 3-Tor-Hochleistungszirkulator im Einsatz bei DESY in Hamburg.

sentlich größeren Zirkulatoren bei 500 und 352 MHz so bauen, dass sie auf Antrieb die Spezifikation einhielten und teilweise sogar übertrafen. Ohne die Dissertation von Hauth und die dazugehörigen Programme hätte es 1985 keine Y-Verzweigungs-Hochleistungszirkulatoren gegeben. Der DESY-Auftrag wurde – ohne Zutun von ANT – von CERN durch das noch nicht öffentliche In-

ternet unter den Betreibern der Ringbeschleuniger verbreitet und brachte weltweite Anerkennung für diese Pionierleistung sowie Aufträge ohne Vertriebstätigkeiten aus den USA. Allerdings wusste der damalige Mehrheitseigentümer von ANT, die Robert Bosch GmbH, die Bedeutung dieser weltweit anerkannten und konkurrenzlosen Anlagenteile nicht richtig einzuschätzen.

Ausgliederung der Leistungszirkulatoren und Gründung der AFT microwave

Die erste Hälfte der 1990er-Jahre war bei ANT durch eine radikale Reduzierung der Belegschaft geprägt. Auf Empfehlung der Andersen Consulting sollte folgende Zielvorgabe erreicht werden: durch geringere Belegschaft zurück zum Kerngeschäft.²⁶ Die Leistungszirkulatoren waren zwar sowohl in der Hochfrequenztechnik als auch im Richtfunk angesiedelt, der Kundenkreis jedoch verschwindend klein und nicht vergleichbar mit dem stetigen und planbaren Geschäft des Richtfunks mit der Deutschen Bundespost. Andererseits hatte ANT quasi ein Monopol auf diesem Gebiet und belieferte nicht nur europäische Ringbeschleunigeranlagen wie DESY in Hamburg und CERN in Genf mit Hochleistungszirkulatoren, sondern auch Anlagen in den USA.

Da feststand, dass der „geistige“ Vater der Hochleistungszirkulatoren, Erich Pivit, 1995 in Rente gehen würde, musste entschieden werden, was künftig aus dem Geschäft mit den Leistungszirkulatoren bei ANT werden sollte. Schließlich beschloss der Mehrheitseigner Bosch eine Ausgliederung und bot Wolfgang Arnold, der zusammen mit Erich Pivit Entwicklung, Vertrieb und Einzelfertigung dieses Bereichs seit 1990 verantwortet hatte, an, das Geschäft mit den Zirkulatoren zu übernehmen. Arnold sagte zu und verhandelte mit Bosch über die Modalitäten einer Ausgliederung mit „goldenem Handschlag“. Nach einem mit Bosch abgestimmten Geschäftsplan gründete er zum 1. Oktober 1993 die AFT (Advanced Ferrite Technology) microwave. Zwei Entwickler aus dem Bereich Richtfunk und fünf Beschäftigte aus dem Bereich der Ferritfertigung von ANT folgten Arnold in das neue Unternehmen. Der erste Standort von AFT befand sich in der Oberen Walke, ehe schon nach wenigen Wochen in der ehemaligen Spinnerei Adolff Räume für Entwicklung und Fertigung angemietet werden konnten. Das ursprüngliche Ziel von Bosch, unter Vermeidung von Umsatzverlusten Personal abzubauen, wurde mit der Ausgliederung dieses Geschäftsbereichs definitiv nicht erreicht. Es wurde vielmehr ein Geschäftsbereich aufgegeben, der weltweit konkurrenzlos war.

Der von ANT mitgenommene Auftragsbestand sicherte der AFT microwave Geschäft für die nächsten Monate. Da bei Geräten mit Monopolcharakter die Kunden von selbst kamen, musste keine großartige Akquise betrieben werden. Das kleine Unternehmen profitierte enorm von dem großen Erfahrungsschatz, den sich seine Mitarbeiter bei ANT erworben hatten. Deshalb konnte AFT microwave seinen Kunden eine sichere Belieferung und gegebenenfalls Kundendienstunterstützung für die Geräte gewährleisten und musste kein Aufkommen von Konkurrenzunternehmen fürchten. Als Nachteil erwies sich jedoch das Fehlen der Infrastruktur der sogenannten Zentralbereiche, die es bei der ANT gab. Denn nun mussten Dinge wie Dokumentationserstellung, Beschreibungen, Sicherheitshinweise, Qualitätssicherung, Fertigungsabläufe und Fertigungsvorschriften selbst neu geschaffen werden. Außerdem scheiterte der Versuch, weitere Anwendungsbereiche von Leistungszirkulatoren bei Sendeanlagen von Radiosendern – speziell in den USA – einzuführen, am zu geringen Preis, den die Betreiber zahlen wollten, und an der zu geringen Stückzahl. Es zeigte sich also recht schnell, dass das Geschäft mit Leistungszirkulatoren allein nicht ausreichte, um das Unternehmen am Leben zu halten. Deshalb musste sich AFT microwave nach zusätzlichen Geschäftsfeldern umsehen.

Umzug nach Waldrems und Erschließung neuer Geschäftsfelder

Mit den Umstrukturierungen, die der Bosch-Konzern Ende der 1990er-Jahre in der Backnanger Nachrichtentechnik vornahm, bot sich für die AFT microwave mit der Übernahme der Fertigung von Baugruppen in der Dünnschichttechnik ein neues Geschäftsfeld an. Die Dünnschichttechnik wird in der Mikrowellentechnik etwa beim Richtfunk oder bei der Raumfahrt in der Satellitentechnik eingesetzt. Durch Aufdampfen unterschiedlicher Werkstoffe in Nanometerstärke können Baugruppen der Mikrowellentechnik erstellt werden. Durch den Boom in der Richtfunktechnik – speziell des Kurzstreckenrichtfunks – als Zubringer von Mobilfunkstationen war die Auftragslage gut.

²⁶ Vgl. dazu: Heinz Wollenhaupt: Die ANT Nachrichtentechnik GmbH in Backnang. Zum Niedergang eines einstmals profitablen Unternehmens. – In: BJB 22, 2014, S. 216 ff.



AFT microwave hat heute seinen Unternehmenssitz in Waldrems.

Allerdings mussten für die Dünnschichttechnik, die bisher in Reinräumen auf dem Firmengelände der ehemaligen ANT (Gebäude sieben, fünftes Obergeschoss) untergebracht war, neue Räumlichkeiten gefunden werden. Eine Fertigung im Adolff-Gebäude war wegen der Forderung nach Reinraum nicht möglich und ein entsprechender Aus- beziehungsweise Umbau wäre zu aufwendig gewesen. Schließlich konnten in einem vom ehemaligen Chip-Kondensatoren-Hersteller Vitramon hinterlassenen Gebäude in Waldrems geeignete Fertigungsflächen gefunden werden. Der Umzug von der Spinnerei Adolff sowie von der Gerberstraße nach Waldrems wurde im Jahr 2000 durchgeführt. Die Fertigung lief gut an, sodass auch beispielsweise Siemens seinen Bedarf an Dünnschichttechnik bei AFT microwave in Waldrems orderte.

Neben der Dünnschichttechnik arbeitete AFT microwave weiterhin auf dem ursprünglichen Geschäftsfeld und entwickelte Prototypen und Kleinserien von Zirkulatoren und Hochleistungsferrit-Bauelementen für Teilchenbeschleuniger und industrielle Anwender weltweit. So konnten bis ins Jahr 2000 über 100 Hohlleiterzirkulatoren bei 350 und 700 MHz entwickelt und gefertigt werden – unter anderem für die Laboratorien in Los Alamos (New Mexico) und Oak Ridge (Tennessee). Außerdem entwickelte man Power-Variatoren, die eine schnelle Änderung der elektrischen Länge einer ferritgefüllten Leitung, die an ein „magisches T“ angeschlossen ist, ermög-

lichten. Seit 2003 entwickelte AFT microwave Ferritlasten von beispielsweise 350 Kilowatt continuous wave (cw), was den Vorteil brachte, dass die Mikrowellenleistung im Hohlleiter in Ferritkacheln in Wärme umgesetzt wird. Der Aufbau von Zirkulatorgehäusen wird je nach Stückzahl und Größe in Alu-Schweißtechnik oder Alu-Sandguss ausgeführt.

Es erfolgte zudem eine Weiterentwicklung im Aufbau von Ferrit-Festkörperabsorbieren mit integrierten Kühlstrukturen in den Hohlleiterwänden. Ab 2007 konnte das zugehörige Lötverfahren (in Zusammenarbeit mit externen Lieferanten) für größere Stückzahlen optimiert werden. Durch den Einsatz entsprechender Werkzeuge wurde das Produktionsverfahren Kleben von Ferritkacheln auf die gekühlten Hohlleiterwände einfacher und zuverlässiger reproduzierbar. Es folgten Investitionen in Messtechnik und der Ausbau des Seriengeschäfts mit S-Band-Y-Zirkulatoren, 4-Tor-Phasenschieber-Zirkulatoren und X-Band-4-Tor-Phasenschieber-Zirkulatoren. Die Dünnschichtproduktion von Serienkomponenten basierte vorwiegend auf Aluminiumoxid und die Entwicklung und Produktion von Microstrip-Zirkulatoren auf Ferritsubstrat. Zudem wurde in der Ferritfertigung weiterhin Ferritmaterial hergestellt und bearbeitet. Zu den namhaften Kunden von AFT microwave gehörten unter anderem Tesat-Spacecom, Hensoldt (früher Airbus) und Siemens.

Im Jahr 2007 wurde die Geschäftsleitung von AFT microwave, die bis dahin bei Wolfgang

Arnold alleine lag, um einen weiteren Geschäftsführer – Dr. Dieter Müller – ergänzt. Müller übernahm nach dem Ausscheiden von Arnold im Jahr 2013 die alleinige Geschäftsführung, die er bis heute inne hat. Das Unternehmen beschäftigte Anfang 2018 rund 50 Mitarbeiter.

AMSAP AG

Nachdem Wolfgang Arnold 2013 aus der AFT microwave ausgeschieden war, gründete er im Mai 2013 mit der AMPAS GmbH ein neues Unternehmen, das er im Februar 2014 in AMSAP (= Advanced Microwave Systems and Products) AG umbenannte. Ziel des Unternehmens mit Sitz im Gewerbegebiet Backnang-Süd ist es, für seine Kunden spezifisch angepasste Mikrowellengeräte hoher Leistung für verschiedene Anwendungen herzustellen – wie etwa kundenspezifische Hochleistungs-Mikrowellen-Puls-Generatoren für Datenübertragung, Messungen, me-

dizinische Bestrahlungstechnik und im Logistikbereich die Durchleuchtung von Lastwagen (Cargo Scanning). Für die Tests der Strahlensysteme zur Krebstherapie konnte AMSAP 2016 einen 1945 errichteten Stollen mit mehreren Kammern in der Fabrikstraße von der Stadt Backnang mieten.²⁷

Fazit

Abschließend muss noch einmal festgestellt werden, dass die Ausgliederung des Bereichs Ferrite aus der damaligen ANT sich für den Bosch-Konzern keinesfalls gerechnet hat: Dem Abbau von ganzen sieben Arbeitsplätzen stand der Verlust einer weltweit anerkannten Innovationstechnologie gegenüber. Hingegen kann man die Entwicklung der beiden aus der Ausgliederung entstandenen Unternehmen, AFT microwave und AMSAP, durchaus als Erfolgsgeschichte bezeichnen.



Wolfgang Arnold mit seinen Mitarbeitern Axel Mayr und Peter Kneißel (v. r. n. l.) im Versuchsstollen in der Fabrikstraße.

²⁷ BKZ vom 16. September 2016.