Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 66 (1988)

Heft: 2

Artikel: Einsatz der monolitischen mm-Wellen-Integration Funk- und Radartechnik

Autor: Körner, Wolfgang

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876234

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Einsatz der monolithischen mm-Wellen-Integration Funk- und Radartechnik

Wolfgang KÖRNER, Ulm

Zusammenfassung. *Der Autor schildert den Einsatz von monolithisch integrierten Millimeterschaltungen für die Entwicklung von Empfängern für Funk- und Radaranwendungen. Diese dürften in der Zukunft in verschiedenen Bereichen stark an Bedeutung gewinnen, weil der Bedarf an Frequenzen zur Anwendung immer kürzerer Wellenlängen zwingt.*

Emploi des circuits monolithiques intégrés micro-ondes dans la technique des radiocommunications et du radar
Résumé. *L'auteur explique l'emploi des circuits monolithiques intégrés micro-ondes pour le développement de récepteurs de radiocommunication et les radars. Ils prendront une importance croissante à l'avenir dans divers domaines, étant donné que la pénurie de fréquences oblige à utiliser des longueurs d'ondes toujours plus courtes.*

Importanza dell'integrazione monolitica delle onde mm per la tecnica radio e radar
Riassunto. *L'autore descrive l'impiego dei circuiti millimetrici a integrazione monolitica per lo sviluppo di ricevitori per radiocomunicazioni e radar. Essi assumeranno un'importanza sempre maggiore perché, a causa della scarsità di frequenze, sarà necessario utilizzare lunghezze d'onda sempre più corte.*

Schon seit langen Zeiten besteht der Wunsch nach einer schnellen drahtlosen Nachrichtenübertragung. Als es 1895 Marconi gelang, elektromagnetische Wellen zu erzeugen, zu modulieren, abzustrahlen und auch wieder zu empfangen, war der Startschuss in eine Funk-Ära gegeben, deren technische Grenzen heute noch nicht absehbar sind. Nach zahlreichen Entwicklungen kamen zwischen 1930 und 1960 zu den bis dahin üblichen Funkdiensten als neue Anwendungen das Radar, das Fernsehen und der Richtfunk hinzu *(Fig. 1)*. Diese Anwendungen erforderten eine wesentlich grössere Bandbreite als die bis dahin üblichen Sprach- oder Musikübertragungen. Dieser Frequenzbedarf war nur durch die Erschliessung des Frequenzgebietes zwischen 30 MHz und 3 GHz (UKW und Dezimeterwellen) zu befriedigen. Die Einführung des UKW-Rundfunks, der durch Frequenzmangel im Mittelwellenbereich erzwungen worden war, hat von dieser technischen Entwicklung profitiert. Die Weiterentwicklung der Radartechnik und der Richtfunktechnik sowie insbesondere die Kommunikationsaufgaben in der Weltraumtechnik erforderten in den Jahren 1960 bis 1975 die massive Nutzung des Frequenzbereiches zwischen 3 und 30 GHz, der sogenannten Zentimeterwellen. Es ist bemerkenswert, dass zwischen 1895 und heute etwa alle 15 Jahre eine Verzehnfachung der benutzten Frequenzbänder zu verzeichnen war.

Seit 1970 arbeitet die AEG an der technologischen Erschliessung des Frequenzgebiets zwischen 30 und 300 GHz, also der mm-Wellen. Welchen Beitrag zum wachsenden Frequenzbedarf und zur Frequenzökonomie der mm-Wellen-Funk leisten kann, lässt sich am besten an den Ausbreitungseigenschaften der mm-Wellen ablesen. Die Dämpfung der mm-Wellen (dB/km) durch Sauerstoff, Wasserdampf und Regen lässt im allgemeinen (je nach Frequenz) nur Funk- und Radarreichweiten von 2 bis 20 km in der Erdatmosphäre zu *(Fig. 2)*. Bei Nebel sind sie dem sichtbaren Licht, das oft nur wenige 10 km weit reicht, jedoch weit überlegen.

Die im Vergleich zu den Abmessungen der natürlichen Umgebung kleine Wellenlänge (1 cm...1 mm) lässt kaum Beugungen zu. Empfänger und Sender des mm-Wellen-Funks müssen deshalb in Quasisichtverbindung stehen. Die Wellen haben ein ausgeprägtes optisches Ausbreitungsverhalten, durchdringen aber anderseits noch Backsteinwände. Im Weltraum besteht ungedämpftes Ausbreitungsverhalten. Hier konkurriert die mm-Welle mit optischen Frequenzen. Frequenzen um 60 GHz und 180 GHz können im Weltraum aber dann besonders zweckmässig eingesetzt werden, wenn durch die stark dämpfende Erdatmosphäre eine gute Funkentkopplung zwischen Boden und Weltraum gewünscht wird. Ein weiterer Vorteil gegenüber anderen Wellenlängen ist die selbst bei kleinen Antennenabmessungen starke Energiebündelung.

Technologische Erschliessung der mm-Wellen

Die breite Nutzung neuer Frequenzgebiete begann immer dann, wenn Sender und Empfänger wirtschaftlich herstellbar waren. Dies gilt im besonderen Masse für den mm-Wellen-Funk, weil er im wesentlichen als Kurzstreckenfunk und Kurzstreckenradar Verwendung finden und deshalb in grossen Stückzahlen zu erschwinglichen Preisen benötigt wird.

Für die mm-Wellen-Sendertechnik werden künftig besonders Halbleitersender benötigt. In den Laboratorien der AEG wird seit Jahren sowohl an der Entwicklung von Si-Impatt-Dioden mit einer CW-Leistung von 1 W wie auch an Pulsleistungssendern, die bei 94 GHz bereits 50-W-Impulse liefern, gearbeitet. Diese Entwicklungen werden in den kommenden Jahren in die Fertigung überführt.

mm-Wellen-Empfängertechnik

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf die Fortschritte in der Empfängertechnik. Die dabei zu lösenden Probleme lassen sich am besten an einigen Beispielen aufzeigen.

Die gebräuchlichsten Leiter für cm- und mm-Wellen sind Hohlleiter. Da die Innenabmessungen mit steigender Frequenz immer kleiner werden müssen, erfordern die einzuhaltenden Toleranzen mechanische Präzisions-

[1] Vortrag, gehalten am 22. Technischen Pressecolloquium der AEG. Der Referent ist Leiter der Abteilung Neue Technologien und Entwicklungsplanung im Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik, Ulm.

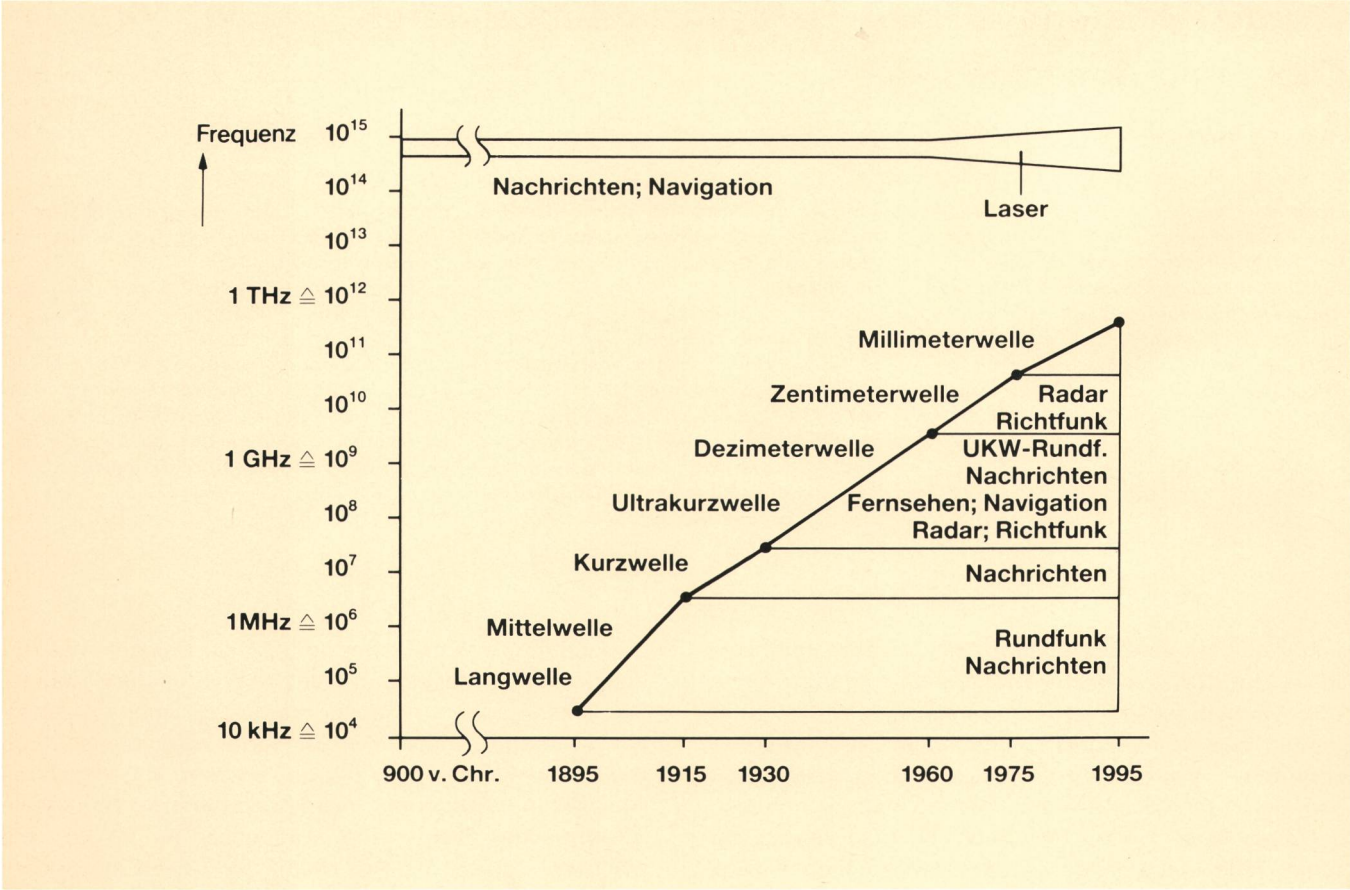

Fig. 1
Entwicklung der Funktechnik

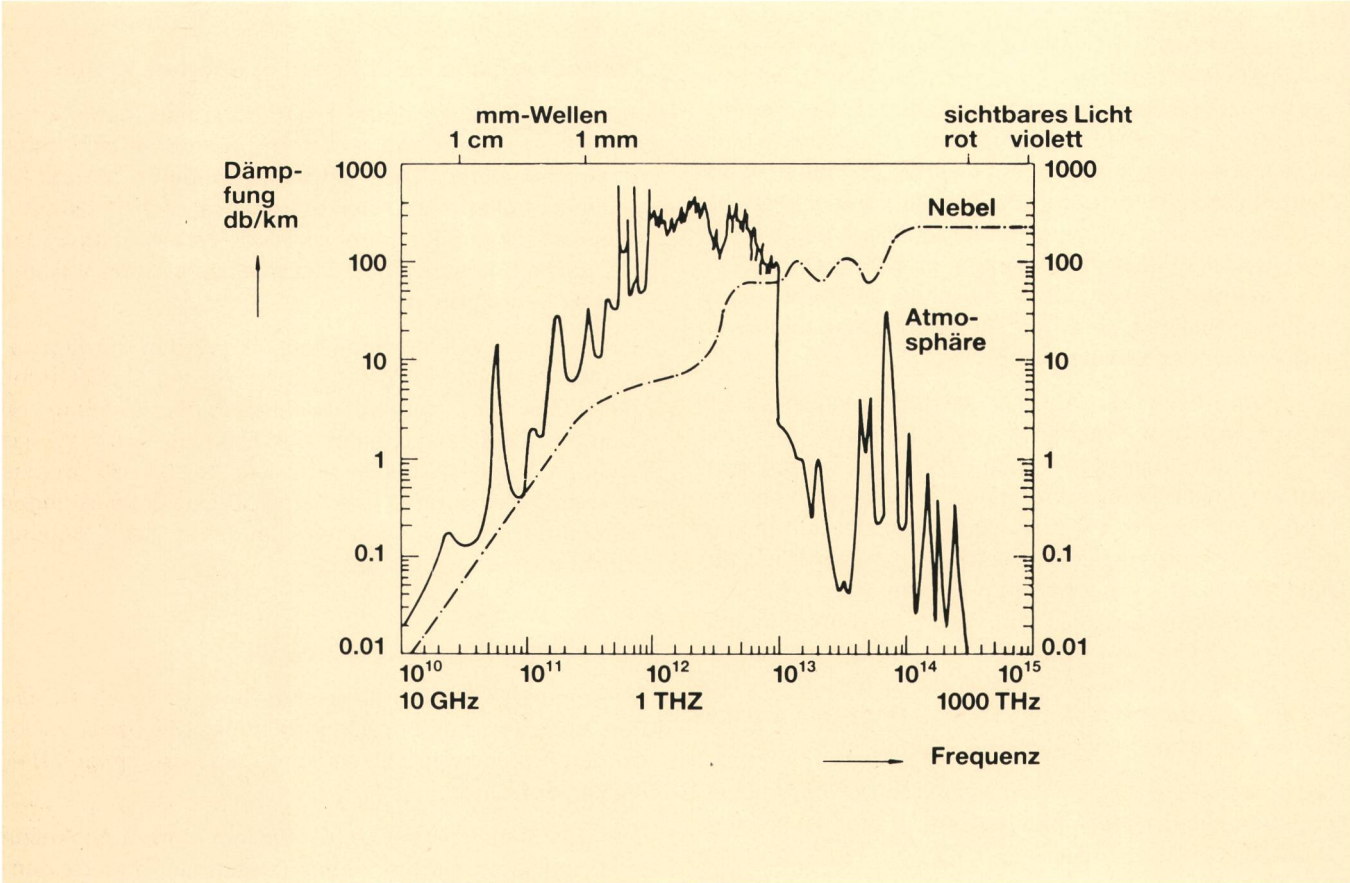

Fig. 2
Dämpfung der elektromagnetischen Wellen in der Atmosphäre und bei Nebel

arbeit. Das Labormuster eines Empfängers für das 1973 von der AEG entwickelte Fahrzeug-Antikollisionsradar wurde in Hohlleitertechnik erstellt *(Fig. 3)*. Ausser seiner Grösse von 30 cm × 10 cm × 20 cm = 3000 cm³ waren auch die Herstellungskosten in dieser Konstruktionsart für kommerzielle Geräte prohibitiv. Mit der vor 14 Jahren noch revolutionär hohen Frequenz von 35 GHz konnten jedoch wichtige Systemerkenntnisse gewonnen werden. In vielen Labors wird übrigens heute noch weltweit die damals verwendete Hohlleitertechnik benutzt.

Bei AEG hatte man frühzeitig erkannt, dass die für die Hohlleitertechnik erforderliche hohe Präzision keine Basis für eine preiswerte Serienfertigung werden konnte. Das führte nach 1975 zur Entwicklung der FIN-Leitungstechnik. Die elektromagnetischen Wellen werden dabei nicht mehr vom Hohlleiter geführt, der nur noch zur Abschirmung der Felder dient, sie laufen vielmehr auf einer in den Hohlleiter eingebrachten Dünnschichtschaltung. Die nach wie vor erforderliche hohe Präzision muss nun auf der Dünnschichtschaltung eingehalten werden, was durch die hochentwickelte Masken- und Ätztechnik einfach zu verwirklichen ist. Als Schichtträgermaterial wird entweder glasfaserverstärktes Teflon (17 µm Kupferschicht, die mit einer 2 µm...3 µm dicken Goldschicht passiviert ist) oder für hohe Qualitätsansprüche Quarz mit aufgedampfter Goldschicht von 3 µm...5 µm verwendet. Die Mischer- oder Schalterdioden können dann wie auf einer normalen Leiterplatte in die Dünnschichtschaltung eingelötet, eingeklebt oder gebondet werden.

Mit der FIN-Leitungstechnologie, die AEG bis zu Frequenzen von 150 GHz beherrscht, hat das Unternehmen eine weltweite Spitzenstellung erreicht. Sie gestattet bereits eine weitgehende Schaltungsintegration, wie das Beispiel eines Radarempfängers *(Fig. 4)* zeigt. Er wurde 1980 entwickelt und hat nur noch Abmessungen von etwa 5 cm × 5 cm × 2 cm = 50 cm³. Dies bedeutet eine Volumenreduktion um den Faktor 60. Die Hohlleiter, die nur noch zur Abschirmung dienen, werden in Fräsblocktechnik (aufklappbar) hergestellt und haben nur noch geringe Genauigkeitsansprüche. Die gesamte mm-Wellen-Empfängerschaltung befindet sich mit allen erforderlichen Halbleitern komplett auf einer Dünnschichtschaltung.

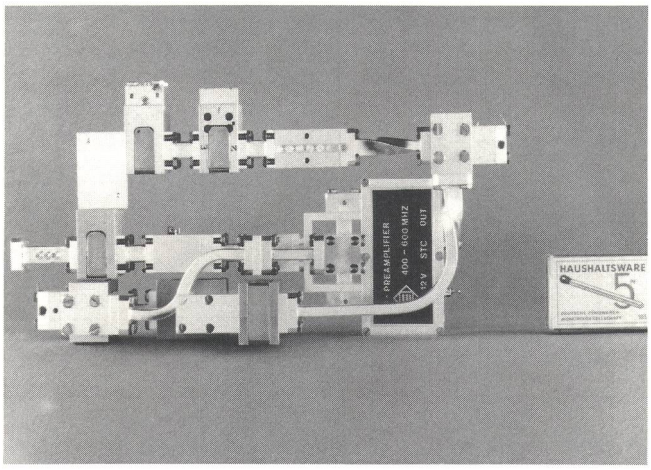

Fig. 3
Prototyp des Fahrzeug-Antikollisions-Warnradars 1973

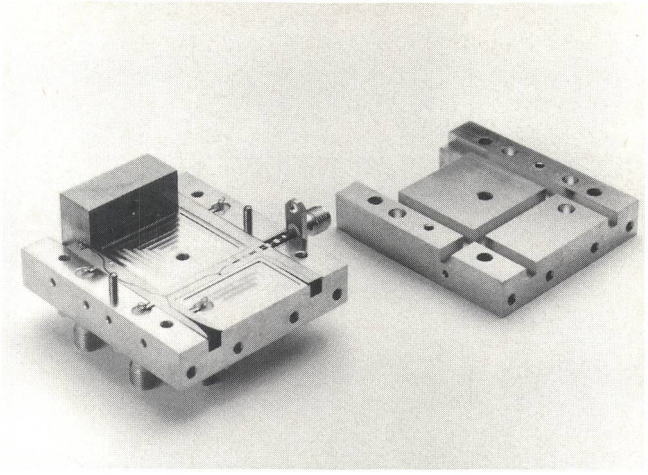

Fig. 4
Radar-Empfänger in FIN-Leitungstechnik – Abmessungen 5 cm × 5 cm × 2 cm

Allerdings darf nicht verkannt werden, dass auch die FIN-Leitungstechnik noch Eigenschaften besitzt, die einer weiteren Verringerung der Produktionskosten im Wege stehen. Dies sind die Verpackung der Dünnschichtschaltung in einen Hohlleiter, die präzise Montage der Halbleiter auf der Dünnschichtschaltung und schliesslich die nachträglichen Justierarbeiten.

Um diese «Nachteile» zu überwinden, begann die AEG vor drei Jahren mit der Entwicklung von *m*onolithischen *mm*-Wellen-*I*ntegrationsschaltungen (M³ IC, zum Unterschied zu der häufig in Veröffentlichungen benutzten Abkürzung MMIC für *m*onolithische Mikrowellenintegrationsschaltungen, die im Frequenzgebiet von 3 bis 30 GHz entwickelt werden). Hierzu bot sich sowohl die Si- wie auch die GaAs-Technologie an. Die AEG arbeitet heute auf beiden Gebieten, wobei der Schwerpunkt für die Empfängertechnik bei der GaAs-Technologie liegt. Die Gründe hierfür liegen in den hohen Isolationseigenschaften des undotierten Materials, besseren Eigenschaften von Mischdioden und der Realisierbarkeit von Mikrowellen-MESFET[1]. Gerade dieser Aspekt erhielt ein besonderes Gewicht, weil der Zwischenfrequenzverstärker, und später auch ein mm-Wellen-Vorverstärker, in HEMT[2]-Technologie gleich in die Empfangsschaltung integriert werden kann. Damit waren zwei Aufgaben gestellt: Es mussten Entwurfs- und Berechnungsverfahren für mm-Wellen-Schaltungen auf GaAs entworfen und Testmöglichkeiten für die mm-Wellen-Schaltungschips geschaffen werden. Ausserdem war ein Schichtaufbau auf GaAs zu entwickeln, mit dem sowohl Schottky-Dioden für den Empfangsmischer wie auch Feldeffekttransistoren (MESFET) für den Zwischenfrequenzverstärker erzeugt werden können.

Zusammen mit dem *Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik*, der die Schaltungsentwurfsregeln mit Hilfe von CAD-Programmen entwickelte, und der *Telefunken electronic GmbH*, die einen neuartigen Schichtaufbau entwarf und dessen Herstellung übernahm, konnte im Juni 1987 der erste voll funktionsfähige monolithische GaAs-

[1] MESFET = *M*etal *S*emiconductor *F*ield *E*ffect *T*ransistor
[2] HEMT = *H*igh *E*lectron *M*obility *T*ransistor

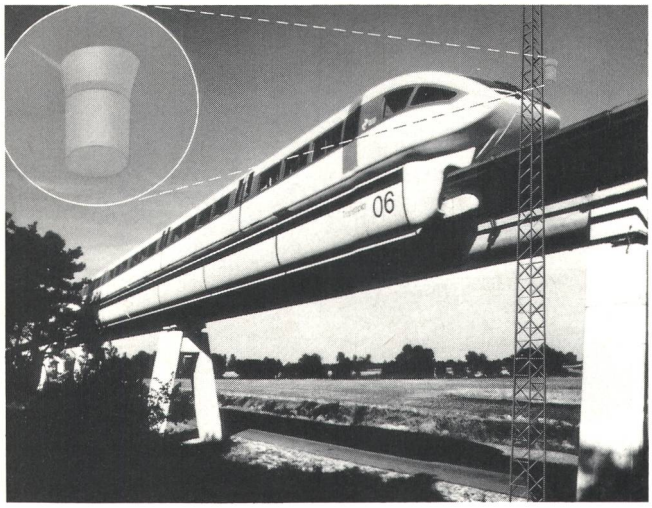

Fig. 5
mm-Wellen-Funksystem für Magnetschwebebahn

Empfänger MEC 35 für 35 GHz hergestellt und damit auf dem mm-Wellen-Schaltungsgebiet eine Spitzentechnologie geschaffen werden. Der MEC-35-Chip ist 0,6 cm × 0,5 cm x 0,02 cm gross und hat ein Volumen von nur 0,006 cm^3. Er ist damit etwa um den Volumenfaktor 8000 kleiner als eine entsprechende Empfängerschaltung in FIN-Leitungstechnik. Die Schaltung besteht aus einem Ringhybrid, der die Empfangssignale (33...37 GHz) und die Lokaloszillatorsignale im Gegentakt an die beiden Schottky-Mischerdioden anlegt. Die entstehende Zwischenfrequenz 0,5 GHz...1,5 GHz wird über einen Tiefpass einer ersten MESFET-Verstärkerstufe zugeführt. Der Signalausgang kann nun an weitere monolithisch integrierte Schaltungen (Verstärker/zweite Mischerstufe) usw. gegeben werden.

Die gemessenen technischen Daten des MEC 35 sind:

- Empfangsfrequenz: 33...37 GHz
- Konversionsverlust: 7,2 dB (FIN-Leitung 5,5 dB)
- Rauschzahl: 6,5 dB (FIN-Leitung 5 dB)
- Zwischenfrequenzverstärker: 0,5...1,5 GHz
- Verstärkung: 10 dB.

Die Weiterentwicklung geht in zwei Richtungen. Ziel ist, den Frequenzbereich derartiger Schaltungen bis 100 GHz auszudehnen. Weiter wird der Mischeroszillator in monolithisch integrierter Technik auf einem *m*m-Wellen-*O*szillator-*C*hip (MOC) integriert. Eine spätere gemeinsame Integration des MEC und des MOC auf einen Chip (MEOC) ist möglich.

Chancen für neue Anwendungen und Dienste

Die Anwendungschancen der mm-Wellen-Technik hängen neben dem Bedarf nach mehr Funkfrequenzen in entscheidender Weise vom Preis der Geräte ab. Der Preisverlauf für einen mm-Wellen-Empfänger zeigt schon seit 1973 (etwa 3000 DM) eine fallende Tendenz. Die monolithische mm-Wellen-Integration wird zu einem Chipempfänger führen, der 1992 zu einem Preis je nach Komplexität zwischen 30 und 100 DM führen wird. Aufgrund dieser Preisentwicklung werden in den nächsten Jahren verschiedene neue Anwendungsbereiche für mm-Funk und -radar möglich.

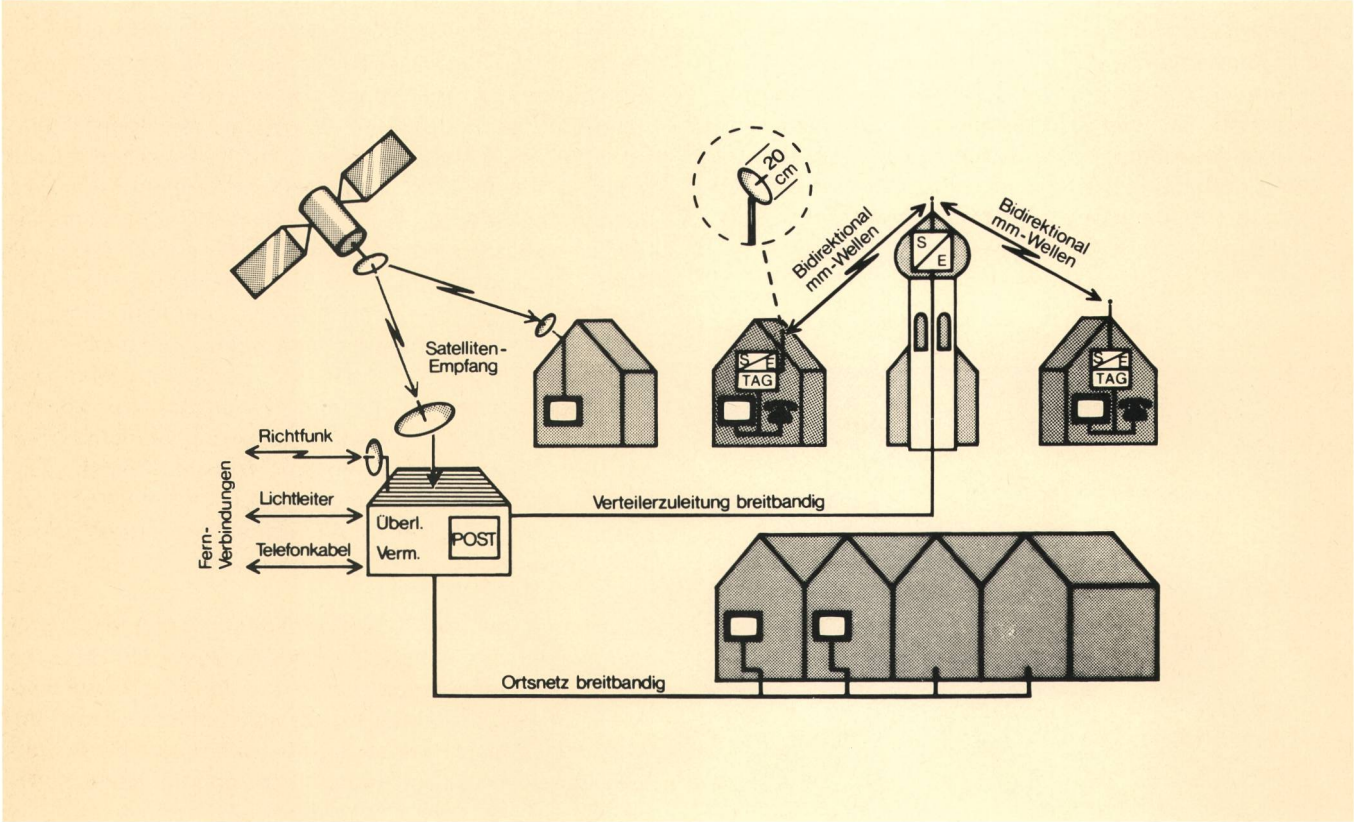

Fig. 6
mm-Wellen-Breitbandrundfunk

Verteidigungstechnik

Der Bedarf an intelligenter Munition, insbesondere von Zielsuchköpfen mit mm-Wellen-Radargeräten wird wohl wegen der erforderlichen Stärkung der konventionellen Verteidigungskraft in den 90er Jahren stark wachsen. Man nutzt hierbei die hohe Bündelungsfähigkeit der mm-Wellen bei kleinen Abmessungen der Antenne, um eine gute Zielauflösung zu erhalten.

Der im militärischen Bereich überwiegend verwendete UKW-Funk hat für die künftigen Führungs- und Kommunikationsaufgaben zuwenig freie Frequenzen. Ausserdem treten oft unerwünscht hohe Reichweiten auf, die ein leichtes Entdecken und Stören der Funkstellen ermöglichen. mm-Wellen-Funksysteme können beide Nachteile beseitigen.

Zivile Nachrichtensysteme

Der mm-Wellen-Funk ist längs Verkehrsachsen wie Autobahn und Eisenbahnen oder Magnetschwebebahn besonders gut einsetzbar, da sich sein Funkfeld leicht auf das Trassee konzentrieren lässt *(Fig. 5)*. Die Übertragung von Steuersignalen wie auch eine breitbandige bidirektionale Informationsübertragung zu den Magnetschwebefahrzeugen (bis 500 kbit/s) ist mit grosser Störsicherheit möglich.

Die Bundespost verlegt derzeitig viele hundert Kilometer von Kabeln eines Breitbandübertragungssystems für die Rundfunkversorgung der Bevölkerung, weil die zur Verfügung stehenden Sendefrequenzen für weitere Programmdienste nicht ausreichen. Es ist gut vorstellbar, dass in weniger dicht besiedelten Gebieten, insbesondere in ländlichen Bereichen, in Zukunft statt Kabeln ein mm-Wellen-Breitbandfunknetz wesentlich preisgünstiger die gleiche Programmvielfalt übertragen kann *(Fig. 6)*.

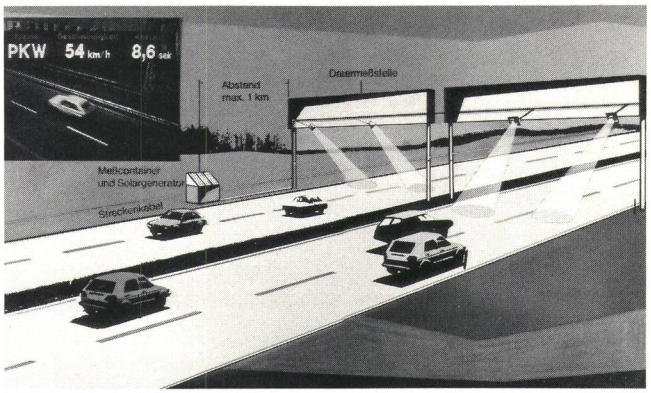

Fig. 7
Verkehrsdatenerfassungssystem AVES für Autobahnen

Messsysteme

Zum Ermitteln der Verkehrsflüsse werden heute üblicherweise in die Strassen eingefräste induktive Schleifen benutzt. Eine Alternative hierzu ist das mm-Wellenkleinstradargerät AVES (*A*EG-*V*erkehrsdaten-*E*rfassungs-*S*ystem), das mobil oder an besonders hochbelasteten Fahrbahnen zur Verkehrszählung eingesetzt werden kann *(Fig. 7)*. Es misst die Anzahl der Fahrzeuge (Pw, Lw) je Zeiteinheit und bildet den Mittelwert ihrer Geschwindigkeiten (auf ± 2 km/h) und den Mittelwert der Fahrzeugabstände.

Abschliessend sei noch auf das im europäischen Eureka-Programm bearbeitete Vorhaben Prometheus hingewiesen. Sein Ziel, in den kommenden Jahren den Autoverkehr trotz der Unzulänglichkeit des Menschen sicherer zu machen, bedarf der Einführung neuer Sensoren und Kommunikationsmittel. Sicherlich können einige der geplanten Funk- und Radarsysteme dann mit mm-Wellen verwirklicht werden. Ein besonders aussichtsreicher «Kandidat» hierfür ist der Antikollisionsradar.