

Zeitschrift:	Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen
Herausgeber:	Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere
Band:	43 (1970)
Heft:	4
 Artikel:	Puls-Code-Modulation
Autor:	Diggelmann, H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-561209

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: 13.01.2026

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

Puls-Code-Modulation

Das Nachrichtenwesen bildet das Nervensystem unserer Gesellschaft. Jeder kollektive Wille und jede kollektive Leistung beruhen auf gegenseitigem Informationsaustausch; je umfassender die Aufgaben, desto grösser der Kreis der Beteiligten und desto komplexer das Nachrichtennetz. Ohne technische Nachrichtenmittel müsste der Informationsaustausch auf die persönliche Begegnung beschränkt bleiben. Nachrichtenübertragung ist eine Alternative zum Reisen.

Ein grosses Nachrichtensystem für doppelt gerichteten Informationsaustausch (als Alternative zum Rundspruch, der im vorliegenden Rahmen nicht weiter interessiert) ist charakterisiert durch sehr viele Teilnehmerausrüstungen und ein feinverzweigtes Übertragungsnetz. In den Teilnehmerausrüstungen werden die Informationen sendeseitig (Quelle) in eine geeignete elektrische Form gebracht und empfangsseitig (Senken) wieder zurückverwandelt. Das Übertragungsnetz besteht aus einer Vielzahl von Kanälen, die in Knotenpunkten so verknüpft werden können, dass Zweiwegverbindungen zwischen allen Teilnehmern zustande kommen.

Information, zerlegt in Ja-Nein-Entscheidungen

Die Ware, die durch ein Nachrichtennetz transportiert wird, ist die Information. Erstaunlich ist, dass die ganze Entwicklung der Nachrichtentechnik bis vor nicht zu langer Zeit ohne präzise Definition, ja ohne genaue Eingrenzung des Begriffes «Information» ausgekommen ist. Erst 1948 zeigte der Amerikaner C. E. Shannon, wie mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie eine saubere quantitative Beschreibung der «Information» möglich ist. Als elementares Mass der Information fand Shannon die einfache Ja-Nein-Entscheidung; dieses «Informationsquant» wird heute allgemein als «Bit» (binary digit) bezeichnet. Jede noch so komplizierte Information kann auf einer Kette von Ja-Nein-Entscheidungen aufgebaut werden. Auf dieser Erkenntnis basiert die neueste Entwicklung in der Fernmelde-technik, die Puls-Code-Modulation: Hier wird die Sprache als spezieller Fall von Information in eine Folge von Ja-Nein-Entscheidungen zerlegt (zirka 60 000 pro Sekunde), und diese Entscheidungen werden als elektrische Impulse übertragen und vermittelt.

Das gut ausgebauten Telephonnetz, von dem wir besonders in der Schweiz profitieren, entspricht in seiner Grundkonzeption unseren Wünschen. Der unvoreingenommene Betrachter glaubt, dass die verbleibenden Mängel – Wartezeiten auf Neuanschlüsse, zu wenig Fernverkehrskanäle, fehlende weltweite Selbstwahl – durch vermehrte Produktionsanstrengungen der nachrichtentechnischen Industrie behoben werden könnten. Diese Ansicht ist jedoch nur bedingt richtig. Sorgfältige Prognosen zeigen, dass die heutigen Teilnehmer und Verkehrsdichten bei weitem nicht den Sättigungszustand erreicht haben. Zudem sind neue Verkehrsbedürfnisse in Sicht, insbesondere Daten- und Bildübertragung. Ein Weiterausbau, der ausschliesslich auf der heute üblichen Technik basierte, hätte zur Folge, dass das gesamte Nachrichtennetz unübersichtlich und unkompatibel würde. Dank den Fortschritten, die die Nachrichtenindustrie in den letzten zehn Jahren ausweisen konnte, darf man heute wieder zuversichtlich in die nächste Zukunft

schauen. Die neuesten Erkenntnisse und Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung werden voraussichtlich bis zur Jahrtausendwende die weltweiten Nachrichtenprobleme beherrschbar machen. Es ist vor allem die Digitaltechnik, die dank ihrem Aufschwung – von Relais über den Transistor zur integrierten Schaltung, von der Relaissteuerung zum Computer – das Gesicht der zukünftigen Nachrichtentechnik prägen wird. Der entscheidende Grundstein ist schon lange gelegt. Die Idee der Puls-Code-Modulation (PCM), nämlich die Umsetzung analoger Signale (wie sie etwa von einem Mikrofon erzeugt werden) in digitale Form, wurde bereits 1938 vom Engländer A. N. Reeves patentiert.

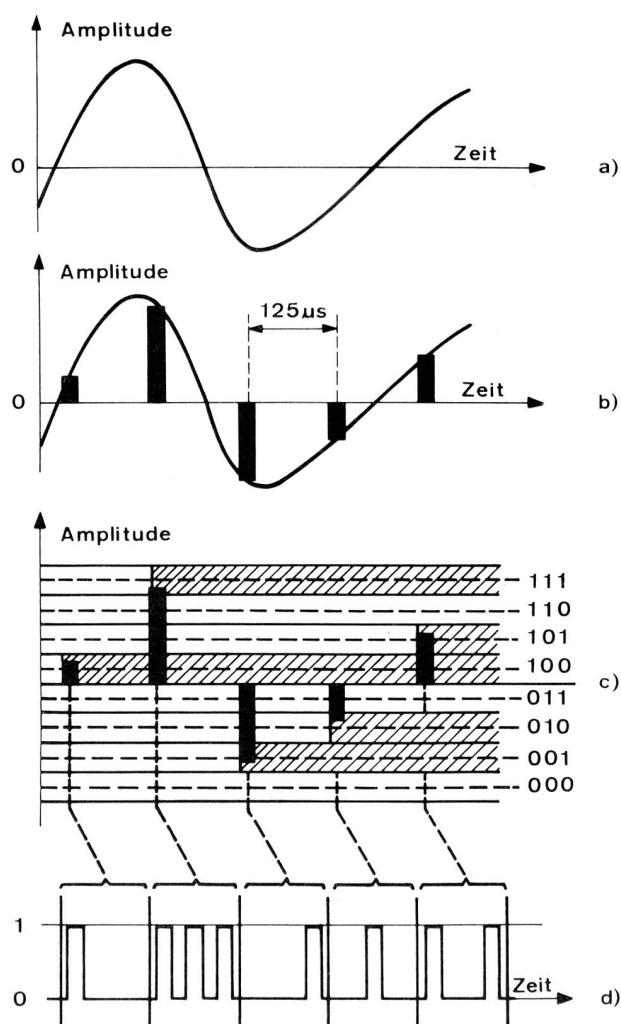


Fig. 1 Prinzip der Puls-Code-Modulation
a) ursprüngliches analoges Signal
b) abgetastetes Signal
c) quantisiertes und codiertes Signal
d) digitales (PCM)-Signal

Das Prinzip der PCM

Die Umwandlung eines analogen Signals (Fig. 1a) in ein digitales erfolgt durch Anwendungen der Teiloperationen: Abtasten, Quantisieren, Codieren.

Unter Abtasten

versteht man die Entnahme der momentanen Signalamplitude in regelmässigen Intervallen (Fig. 1b). Theoretisch lässt sich zeigen, dass die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein muss wie die höchste zu übertragende Frequenzkomponente des zu übertragenden Signals. Für Telephonzwecke tastet man gewöhnlich 8000mal pro Sekunde ab.

Unter Quantisieren

versteht man das Zuordnen des Abtastresultates zu einem passenden Wert aus einer endlichen Anzahl diskreter Vergleichsamplituden. Im Beispiel der Fig. 1c wird der Abtastwert mit acht diskreten Amplituden verglichen. Da eine völlige Übereinstimmung normalerweise nicht möglich ist, nimmt man einen Rundungsfehler in Kauf, der sich am Empfangsort als sogenanntes Quantisierungsgeräusch äussert. Dieses Geräusch wird um so kleiner, je feiner man die Vergleichswerte staffelt; es ist aber systembedingt und lässt sich durch keine anderen Methoden eliminieren. Als brauchbarer Kompromiss hat sich eine Staffelung in 128 bis 256 Amplitudenstufen eingebürgert.

Die Codierung

ist in Fig. 1c und 1d dargestellt. Der dem Abtastvergleichswert zugeordnete Code stellt nichts anderes als ein binäres Telegramm dar, mit dem der Coder (Sender) dem Decoder (Empfänger) mitteilt, welcher Abtastwert momentan aus dem definierten Sortiment auszuwählen sei. Zur Cha-

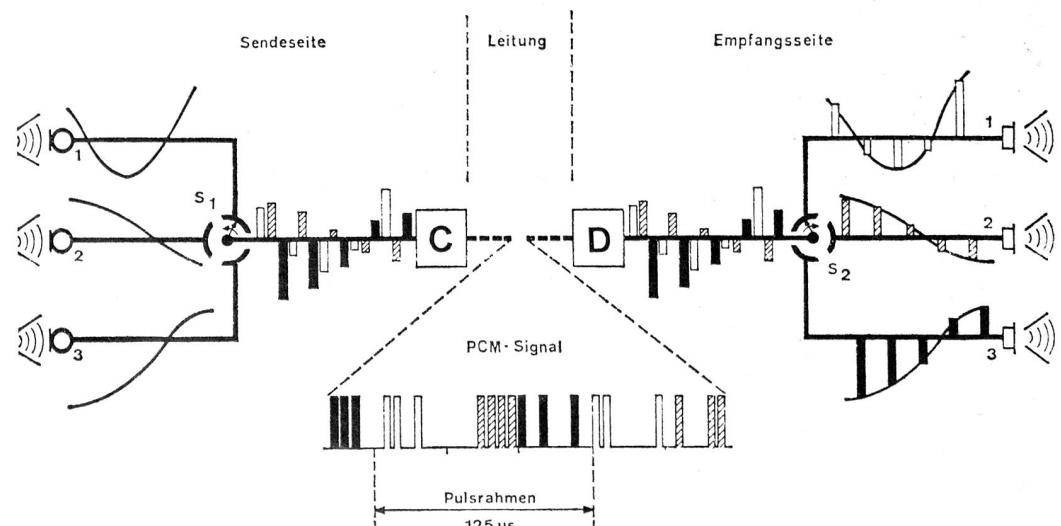
rakterisierung eines aus 128 (= 2^7) Amplitudenwerten genügt nach den Regeln der Telegraphie eine Folge von 7 Ja-Nein-Entscheidungen, das heisst ein Sieben-Element-Code.

Zeitmultiplex

Der Schaltungsaufwand für Quantisierung, Codierung und Decodierung ist beträchtlich. Es ist aber möglich, diesen Aufwand für eine Anzahl Kanäle, zum Beispiel 30, nur einmal zu leisten, indem jeder Kanal seine momentanen Signalamplituden zeitlich gestaffelt der Codierschaltung anbietet. Man spricht in diesem Fall von einer Mehrfachausnutzung mittels Zeitmultiplex (Fig. 2). Solche Zeitmultiplexsysteme arbeiten ausserordentlich rasch. Als Beispiel diene die in Fig. 3a gezeigte 30-Kanal-Ausrüstung der Hasler AG, die in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen PTT in den Jahren 1965 bis 1968 entwickelt wurde. In dieser Anlage stehen 243 (= 3^5) Amplituden-Vergleichswerte zur Verfügung, welche mittels eines binär verschlüsselten Ternär-Codes übertragen werden. Auf dem Übertragungskanal resultieren Impulse von 391 Nanosekunden (= Milliardstel Sekunden) Dauer.

Grosse Störfreiheit

Der entscheidende Vorteil der PCM gegenüber älteren Verfahren liegt in der grossen Immunität der übertragenen Signale gegenüber Fremdeinflüssen. Die am Empfangsort eintreffenden Impulse dürfen durch Störungen sehr stark verformt sein; solange es dem Empfangsgerät gelingt, zu entscheiden, ob in einem bestimmten Zeitpunkt ein Impuls vorhanden ist oder nicht, kann die übermittelte Ja-Nein-Information ihr Ziel unverfälscht erreichen. Mit anderen Worten: Solange auf einer Übertragungsstrecke die Störeinflüsse einen gewissen Wert nicht überschreiten, wird das Nutzsignal vollkommen störungsfrei übertragen. In der Pra-



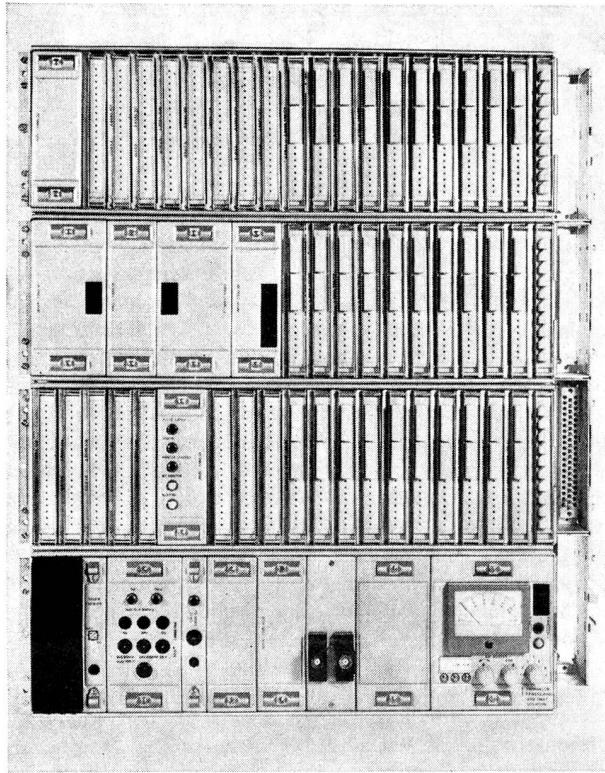


Fig. 3a Ausrüstung zur Multiplexierung und Codierung von 30 Telefonkanälen

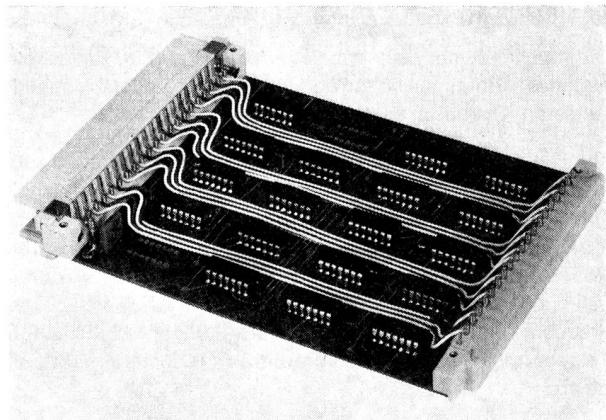


Fig. 3b PCM-Einschub (steckbare Einheit) in integrierter Technik

xis heisst dies, dass man beliebig lange Übertragungsstrecken vollständig beherrschen kann, indem man längs der Strecke von Zeit zu Zeit sogenannte Impulsregen-
toren vorsieht, die jedesmal die Impulse von den auf der vorangegangenen Teilstrecke eingedrungenen Störungen befreien (Fig. 4).

Vollelektronische Vermittlung in Sicht

Dieser gleiche entscheidende Vorteil rückt gleichzeitig die seit langem geforderte vollelektronische Vermittlung in greifbare Nähe. Bisherige Anstrengungen zur Realisierung vollelektronischer Telephonzentralen scheiterten am enormen Aufwand, den ein elektronischer Schalter erfordert,

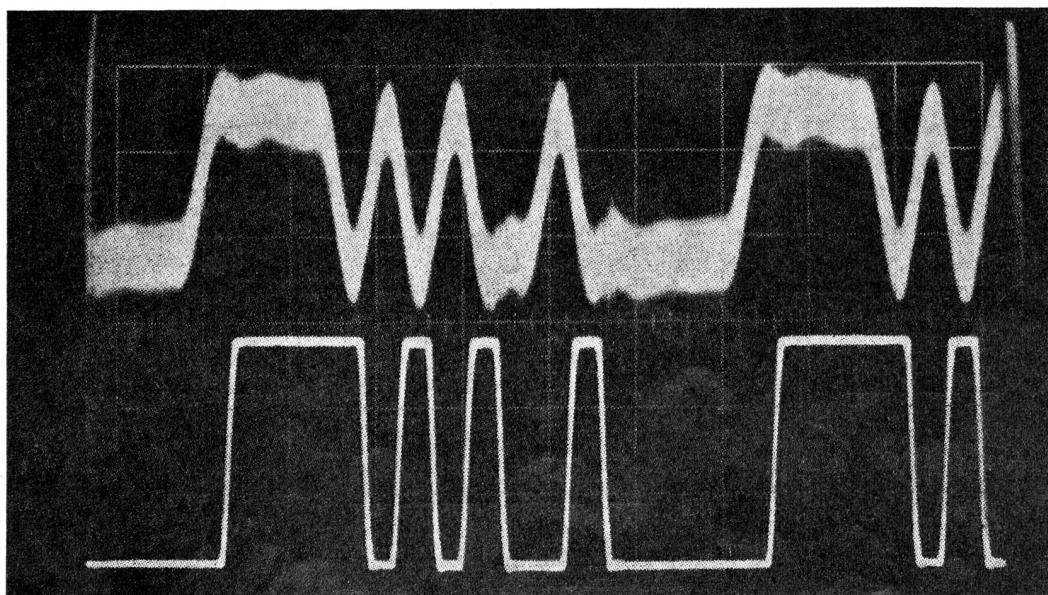


Fig. 4 Die Wirkung des Impulsregenerators: oben gestörtes Signal, unten regeneriertes Signal

Anwendungsgebiete der Hochfrequenztechnik: Mikrowellenherde

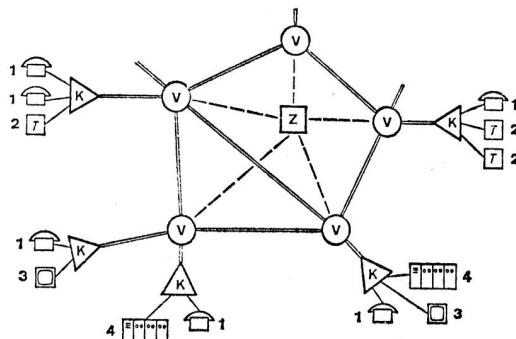


Fig. 5 Prinzip eines integrierten PCM-Netzes

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 Telefonanschlüsse | } Benutzer
des Netzes |
| 2 Fernschreiberanschlüsse | |
| 3 Bildübertragungseinrichtungen | |
| 4 Datenverarbeitungsanlagen | |
- K: Konzentratoren (Multiplexierung, Codierung, Decodierung)
V: Digitale Vermittlungseinrichtungen
Z: Zentraler Steuercomputer

sofern er die harten Geräusch- und Nebensprechbedingungen einer klassischen Zentrale erfüllen soll. Dank PCM kann der Einsatz einfacher, unkritischer Schaltelemente in der Vermittlungseinrichtung verantwortet werden. Solche PCM-Zentralen werden allerdings erst dann wirklich attraktiv, wenn die kostspielige Codierung und Decodierung der niederfrequenten Signale längs einer Verbindung nur ein einziges Mal erfolgen muss. Dies führt zur Konzeption sogenannter

integrierter Nachrichtensysteme,

in denen sämtliche zu übertragenden Informationen, seien es nun Telephonsignale, Fernschreiberzeichen, Fernsehbilder oder Computerdaten, möglichst nahe bei der Quelle durch Codewandler in eine digitale Einheitsform umgewandelt werden, bevor sie in das PCM-Übertragungs- und Vermittlungssystem eingespeist werden (Fig. 5).

Diese integrierte Form der Nachrichtennetze, deren optimaler Betrieb durch Computer überwacht und gesteuert wird, gestattet zweifellos die Lösung der zukünftigen Nachrichtenprobleme. Die in der Schweiz dank intensiver Forschung in den Laboratorien der PTT und einiger Industriefirmen erreichten Resultate werden weltweit mit grosstem Interesse verfolgt. Man glaubt heute voraussagen zu können, dass die Technik der integrierten PCM-Netze ab etwa 1980 in grossem Umfang zur praktischen Anwendung gelangen wird, und man hofft, damit alle sich dannzumal stellen den nachrichtentechnischen Probleme für einige Jahrzehnte bewältigen zu können.

Was versteht man unter einem Mikrowellenherd?

Unter einem Mikrowellenherd versteht man im Prinzip einen metallischen, kubischen Hohlraum, in welchem von einem Hochfrequenzgenerator elektromagnetische Wellen geleitet werden. Der Hohlraum-Resonator bildet den Garraum für die zu erwärmenden Speisen. Als elektromagnetische Wellen werden hier Mikrowellen verwendet. Das sind äusserst kurzwellige Schwingungen von nur wenigen cm Länge. Diese haben die Eigenschaft, organische Stoffe gleichmässig zu durchdringen und sich dabei in Wärme umzuwandeln. Mit Mikrowellen bietet sich somit eine Wärmequelle an, welche das Kochgut, nicht wie bei konventionellen Herden von ausser her allmäthlich erwärmt, sondern, welche das gesamte Kochgut direkt durchflutet und gleichmässig und rasch erhitzt.

Was versteht man unter Mikrowellen?

Mit Mikrowellen bezeichnet man allgemein einen Bereich sehr kurzer Wellen, etwa innerhalb $3 \cdot 10^9$ bis $3 \cdot 10^{10}$ Hz, entsprechend einer Wellenlänge von 100 cm bis 1 cm. Diese sehr kurzen Wellen bezeichnet man daher auch als Super-High-Frequencies (SHF). In diesem Bereich sind für wissenschaftliche, industrielle und medizinische Zwecke lediglich zwei Frequenzen, mit ziemlich engen Toleranzen, zur Benutzung freigegeben worden:

$2450 \text{ MHz} \pm 25 \text{ MHz}$ und
 $5850 \text{ MHz} \pm 75 \text{ MHz}$

Auf welche Weise kann man Mikrowellen erzeugen?

Mikrowellen lassen sich auf vielseitige Art erzeugen, angefangen von den Scheibentrioden bis zu den Laufzeitröhren wie Klystrons, Wanderwellenröhren, Magnetrons. Neuerdings ist man in der Lage, Mikrowellen kleinerer Leistungen bis gegen 100 GHz mit Halbleitern zu erzeugen. Diese Halbleiterelemente sind zwar noch in Entwicklung, aber sie sind zukunftsweisend. Zu nennen sind die Metallbasis- und die MADM-Transistoren, die Tunnel- und Readdioden, die ATT- und Varactordioden und als letzte Errungenschaft die GUN-Oszillatoren.

Wir wollen hier jedoch nur jene Mikrowellengeneratoren betrachten, welche gegenwärtig in Mikrowellenherden Verwendung finden. Das sind die Dauerstrich-Magnetrons, die erst in den letzten 10 Jahren zur vollen Reife entwickelt wurden. Die für Mikrowellenherde notwendigen Leistungen liegen bei 1–5 kW.

Viel verwendete neuere Typen sind beispielsweise Modell YJ 1080 (für Wasserkühlung) und YJ 1082 (für Luftkühlung), mit den Daten: $U_a = 4,9 \text{ kV}$, $I_a = 0,8 \text{ A}$, $f = 2450 \text{ MHz}$, $\eta = \text{ca. } 60\%$, Dauerstrichleistung $P_o \approx 2,5 \text{ kW}$. Diese Modelle zeichnen sich aus durch moderne Metall-Keramiktechnik, neue Ticonalmagnete, kleine Abmessungen, hohe Temperaturbeständigkeit (max 250°C) und Verwendung einer direkt geheizten Kathode mit nur ca. 10 s Anheizzeit (Fig. 1).

Wie arbeitet ein Magnetron?

Ein Magnetron ist grundsätzlich eine Diode mit, im einfachsten Fall, einer auf hohem positivem Potential liegenden