

Vor 60 Jahren:

Das erste Klystron schwingt bei 13 cm Wellenlänge

Hermann Freudenberg, Netphen, GFGF

Erschienen in FUNKGESCHICHTE Nr. 113 (1997)

Vom Autor im Januar 2002 bearbeitet für <http://www.radiomuseum.org/>

Russell Harrison Varian, der ältere der Brüder *Varian* irischer Abstammung, geboren am 24. April 1898 in Washington D. C., war Wissenschaftler und Erfinder; der jüngere, *Sigurd Fergus*, geboren am 4. April 1901 in Syracuse N.Y., war Berufspilot bei PanAm. Aufgrund seiner schlechten Erfahrungen bei Nacht und Nebel und ungünstigem Wetter suchte *Sigurd* nach Möglichkeiten der wetterunabhängigen Navigation. *Russell*, mit dem *Sigurd* die Probleme besprach, erweiterte die Problemstellung und suchte nach Methoden, auch fliegende Flugzeuge bei schlechtem Wetter und bei Dunkelheit orten zu können. Er erkannte - die geheimen militärischen Forschungen mit gepulsten Hochfrequenzstrahlen, dem späteren Radar, waren ihm nicht bekannt -, was für die Aufgabenstellung nötig war: Radiowellen, die Wolken durchdringen können, sehr kurze Wellen (Mikrowellen), um die nötige Auflösung zu erreichen und damit die Geräte vernünftige Abmessungen behielten, ausreichende Sendeenergie und empfindliche Empfänger, um Ziele über große Entfernungen orten zu können.

Russell waren die Gründe bekannt, die bei den damals gebräuchlichen HF-Verstärkern die obere Frequenzgrenze bestimmten: Kreise mit konzentrierten Kapazitäten und Induktivitäten oder Lecherleitungen haben im Mikrowellenbereich sehr hohe Strahlungsverluste, die obere Frequenzgrenze der dichtegesteuerten Röhren wird bestimmt durch die inneren Röhrenkapazitäten, die Zuleitungsinduktivitäten der Elektroden und die Elektronenlaufzeit; die mit der Wellenlänge immer kleiner werdenden Abmessungen dichtegesteuerter Röhren erlauben nur noch kleine Anodenverlustleistungen und damit nur kleine Nutzleistungen. Die von RCA etwa 1933 auf den Markt gebrachte Acorn- (Knopf- oder Eichel-) Röhre 955 hatte bei 0,5 W HF-Leistung eine Grenzwellenlänge von 100 cm, schwingfähig war sie bis 40 cm [5 S. 13].

Während seines Studiums hatte *Russell* in Stanford Dr. *William W. (Bill) Hansen* und seinen konzentrischen Hohlraumresonator kennengelernt. Daran erinnerte sich *Russell* und erkannte, dass dies ein brauchbarer Resonator für das Zielerkennungssystem sein könnte.

Sigurd schlug vor, sofort nach Stanford zu reisen, um *Bill Hansens* formelle Erlaubnis einzuholen, den Resonator benutzen zu dürfen und um mit ihm über den *Farnsworth-multipactor*, einen dynamischen Sekundärelektronenvervielfacher, [5, S. 30][6, S. 839] zu diskutieren, von dem die Brüder glaubten, dass dieser als Mikrowellenverstärker brauchbar sei. Am 5. März 1937 trafen sie bei *Bill* ein. Er testete gerade seine "can", den Hohlraumresonator, den die Studenten "Rhumba" nannten, was im griechischen rhythmische Schwingung bedeutet; daraus wurde dann die bei den amerikanischen Forschern übliche Bezeichnung "Rhumbatron".

Am 30. März machte *Sigurd* einen für Hochschulverhältnisse ungewöhnlichen Vorschlag: Er schlug der Stanford-Universität einen Vertrag vor, sie, die Brüder *Varian*, wollten ein Jahr für ihren eigenen Lebensunterhalt aufkommen und ihre eigenen Werkzeuge und Geräte benutzen; alles worum sie bäten wäre, die Geräte der physikalischen Fakultät benutzen und *Bill Hansen* und andere Wissenschaftler jederzeit um Rat fragen zu dürfen. Das Ungewöhnliche geschah; am 28. April wurde der Vertrag unterzeichnet. Die Brüder *Varian* erhielten das Recht, die Labors zu benutzen, die Wissenschaftler zu konsultieren und 100 \$ für Material. Der finanzielle Gewinn sollte zu gleichen Teilen zwischen der Universität, *Russell* und *Sigurd* aufgeteilt werden.

Bill arbeitete weiter am Rhumbatron, *Russell* suchte nach einem geeigneten Mikrowellenverstärker, *Bill* nahm sich die Zeit, *Russells* Theorien zu prüfen und mathematisch zu formulieren.

Inzwischen hatte *Russell* 13 [16] oder 23 [1] Möglichkeiten vorgeschlagen; dann kam der 5. Juni 1937; *Russell* schreibt in sein Notizbuch: "..., I suddenly thought of the velocity grouping principle..." und erklärt dann dieses Prinzip, das von den *Varians* als "bunching", in der deutschen Literatur 1938 von *Brüche* und *Recknagel* [4] als Phasenfokussierung bezeichnet und schon 1935 von *O.* und *A. Heil* [3][12][14] theoretisch angegeben wurde, ohne dass *R. Varian* diese Veröffentlichung kannte.

In den nächsten Tagen diskutierten und prüften *Russell*, *Sigurd* und *Bill* die Idee, die Laufzeit der Elektronen als Funktionsprinzip zu nutzen, und sie beschlossen, sofort eine 10-cm-Röhre zu entwickeln. Am 21. Juli zeichnet *Russell* in sein Notizbuch die Prinzipskizze des Zweikammer-Rhumbatron-Oszillators (Bild 1), die alle wesentlichen Kennzeichen des neuen

Röhrentyps zeigt: Hohlraumresonatoren (hier torusförmige Rhumbatrons), gebündelter Elektronenstrahl, Laufzeitstrecke zur Umwandlung der durch den ersten Resonator geschwindigkeitsmodulierten Elektronen in einen dichtegesteuerten Elektronenstrahl, der seine hochfrequente Energie durch Influenz an einen zweiten, den Auskoppelresonator abgibt. Schon am 30. August 1937 schwingt das Modell A stabil und beweist, dass das Prinzip funktioniert. Die Wellenlänge betrug 13 cm, gemessen mit einem Kristalldetektor. Schon bald wurde für den neuen Röhrentyp ein Name gefunden: "Klystron", zusammengesetzt aus griechisch "klyso" (plätschern der Wellen ans Ufer) und der gebräuchlichen Endsilbe "-tron".

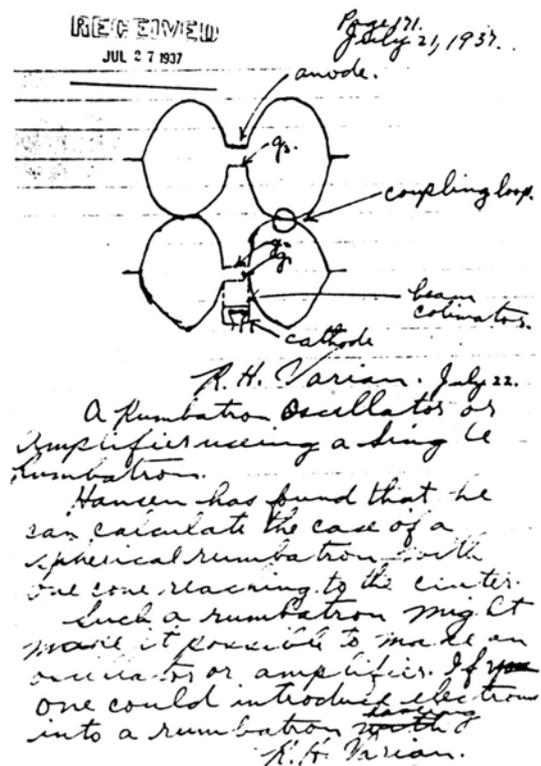


Bild 1: Seite aus dem Notizbuch von Russell Varian vom 21. Juli 1937 [1]

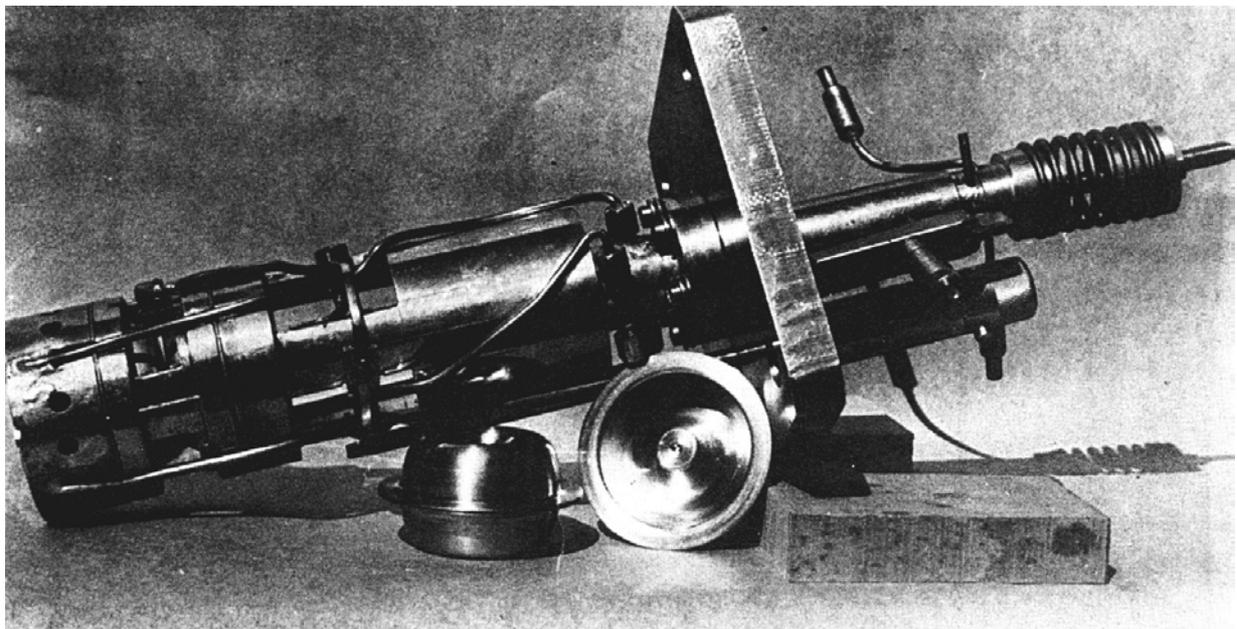


Bild 2: Das erste Versuchsmuster (Modell A), das am 30. August 1937 Schwingungen mit 13 cm Wellenlänge erzeugte [1]. Teile im Vordergrund: Rhumbatrons

Etwas Ungewöhnliches und für uns heute fast Unverständliches war geschehen: In weniger als 6 Monaten hatten der Pilot, der Erfinder und einige Wissenschaftler der Stanford-Universität eine Röhre für die Erzeugung und Verstärkung von Mikrowellen bis zum Funktionsmuster entwickelt; für Material hatten sie von den ihnen zur Verfügung stehenden 100 \$ nur die Hälfte verbraucht. Das erste Patent wurde am 11. Oktober 1937 angemeldet [1]. Die Brüder veröffentlichten die Ergebnisse ihrer Arbeit erst 1939 [2] (Bild 3).

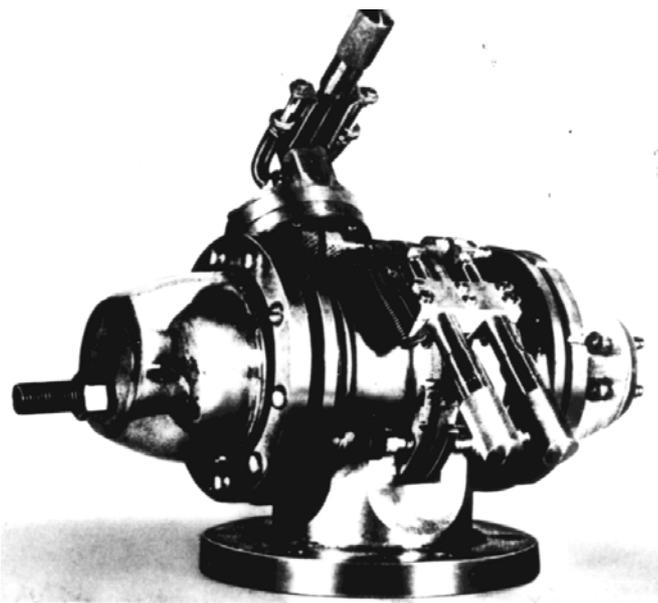
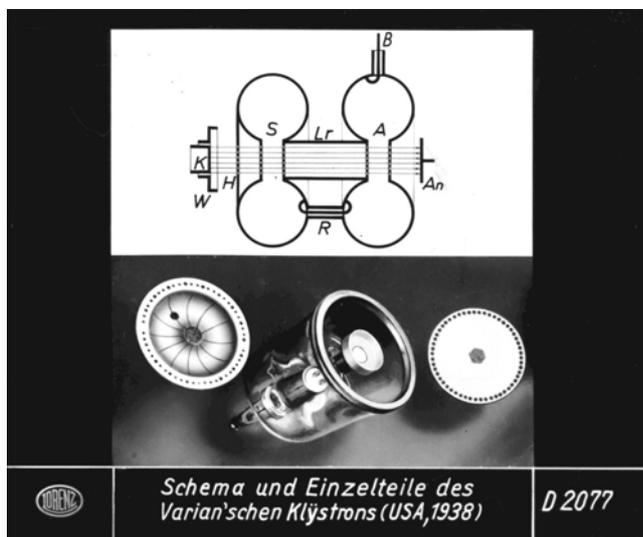


Bild 3: An der Vakuumpumpe arbeitendes Experimentier-Klystron der Brüder Varian. Bild von der Titelseite des *Journal of applied Physics* [2]. (Aufnahme Prof. H. Döring während seiner Tätigkeit 1939 bei AEG in Berlin)

Nach dem Krieg gründeten *Russell* und *Sigurd Varian* 1948 die Firma Varian Associates. Hier bauten sie Klystrons, insbesondere auch solche sehr hoher Leistung für die Radartechnik und für Fernsehsender [1]. Heute ist der Name *Varian* in der Firmenbezeichnung verschwunden; sie heißt jetzt CTI, Communication and Power Industries. Tempora mutantur!

Das Reflexklystron, das auch von den Brüdern *Varian* zum Patent angemeldet wurde [13] und das im Gegensatz zu den Zwei- und Mehrkammerklystrons mit nur einem Hohlraumresonator auskommt, wurde vor allem in Überlagerungs-empfängern für Mikrowellen als Hilfsoszillator verwendet, z.B. in Radar-Empfängern, bis auch hier der Halbleiter die Röhre ersetzte.

Heute hat nur noch das Mehrkammer-Verstärkerklystron wirtschaftliche Bedeutung [13]. Es wird für Dauerleistungen bis über 1



Schema und Einzelteile des Varian'schen Klystrons (USA, 1938)

D 2077

Bild 4. Dia von Prof. H. Döring, das er während seiner Tätigkeit im Forschungslabor von C. Lorenz in Berlin anfertigte. Es zeigt das Schema des *Varian'schen* Klystrons und Einzelteile von der Titelseite des *Journal of applied Physics* [2].

MW im Frequenzbereich von etwa 0,2 bis 20 GHz gebaut.

Für den Einsatz in der Hochenergiephysik werden Puls-klystrons zur Teilchenbeschleunigung bis auf fast Lichtgeschwindigkeit verwendet [7]; charakteristische Daten der stärksten hier eingesetzten Klystrons sind heute:

Arbeitsfrequenz	3 GHz
Pulsleistung	150 MW
Pulsdauer	6 μ s
Wirkungsgrad	70 %



Bild 5: Die Brüder Varian Anfang der 50er Jahre mit ihrem Klystron V-42 [1]

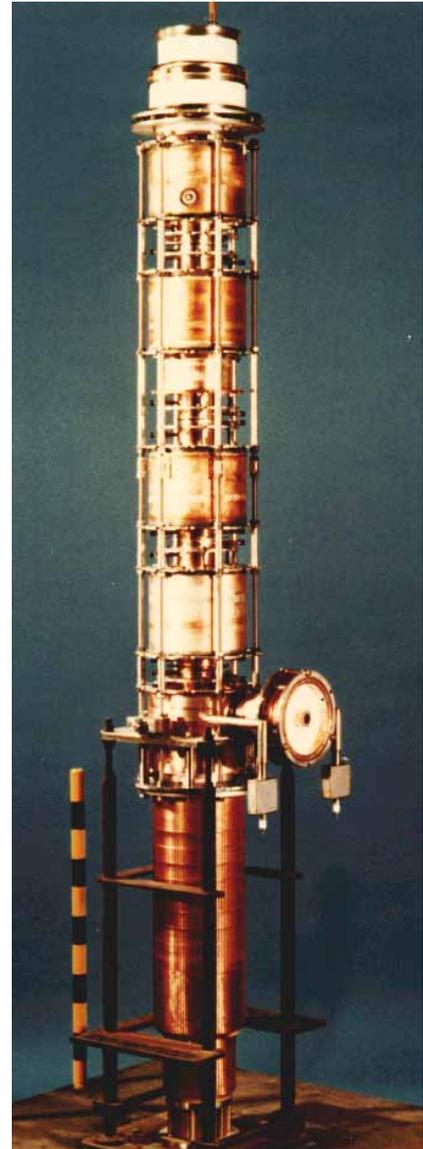


Bild 6: Das Hochleistungsklystron YK 1350 von Philips

Baujahr:	1983
Frequenz:	352 MHz
Leistung:	1000 kW
Wirkungsgrad:	67 %
Foto:	Philips

Russel starb 1959 auf einer Alaska-Reise im Interesse des Naturschutzes an Herzversagen, *Sigurd* 1961 am Steuer seines Flugzeugs, weil - Ironie des Schicksals - in der Nacht die Landebefeuerung des Zielflugplatzes nicht eingeschaltet war!

Ausführlich ist das Leben der Brüder *Varian* in [1] beschrieben. Die Entstehungsgeschichte des Klystrons ist in [16] spannend erzählt. Wer sich für Theorie und Technik des Klystrons interessiert, findet in [7] und [15] die gesuchte Information.

Literatur

- [1] *Varian, Dorothy*: The Inventor and the Pilot. Pacific Books, Publishers. Palo Alto, Cal., 1983.
- [2] *Varian, R. H.- Varian, S. E.*: A high frequency oscillator and amplifier. J.of appl. Phys. 10 (1939) S. 321 - 327.
- [3] *Arsenjewa-Heil, A.; Heil, O.*: Eine neue Methode zur Erzeugung kurzer, ungedämpfter elektromagnetischer Wellen großer Intensität. Zs. f. Physik 95 (1935) S. 752 - 762.
- [4] *Brüche, E.; Recknagel, A.*: Über die "Phasenfokussierung" bei der Elektronenbewegung in elektrischen Feldern. Zs. f. Physik 108 (1938) S. 459 - 482.
- [5] *Hollmann, H. E.*: Erzeugung und Verstärkung von Dezimeter- und Zentimeterwellen. Sonderdruck aus: Telegraphen-, Fernsprech-, Funk- und Fernseh-Technik, Bd. 31, Heft 11, 12 (1942) und Bd. 32, Heft 1, 2, 3 (1943), S. 31 - 38.
- [6] *Vilbig, F.*: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1953 S. 839.
- [7] *Bohlen, H.; Döring, H.*: Klystron-Technik, in Handbuch der Vakuumtechnik, Herausg. *Eichmeier/Heynisch*, Verlag Oldenburg, 1989, S. 167 - 191.
- [8] *Döring, H.*: Triftröhren. (Mitteilung aus dem Röhrenwerk Esslingen der C. Lorenz A.G.) FTZ Jahrg. 2, Heft 4, April 1949.
- [9] *Döring, H.*: 60 Jahre Mikrowellen-Röhrenoszillatoren - Eine vergleichende Betrachtung. ntzArchiv Bd. 5 (1983) H. 2 S. 33 - 43.
- [10] *Döring, H.*: Rückschau auf 50 Jahre Klystronentwicklung. Aus: Heinrich-Hertz-Symposium, 100 Jahre Elektromagnetische Wellen, Karlsruhe 14. - 15. März 1988 S. 85 - 98.
- [11] *Döring, H.*: Die Entwicklung von Mikrowellenröhren in Deutschland von 1920 bis 1945. Frequenz 43 (1989) 10 S. 282.
- [12] *Döring, H.*: Der Heil'sche Generator, eine heute vergessene Bauform eines Klystrons. Funkgeschichte No. 80 (1991) S. 5 - 10.
- [13] *Döring, H.*: 75 Jahre Mikrowellenröhren (Teil 11). Frequenz 48 (1994) 11 - 12 S. 258 - 260.
- [14] *Döring, H.*: *Oskar Heil* zum Gedenken. Funkgeschichte No. 100 (1 995) S. 15 - 16.
- [15] Naturwissenschaft und Technik. Elektronik. Zweiburgen Verlag. Weinheim. 1992.
- [16] *Ginzton, Edward L.*: The \$100 idea. IEEE Transactions on Electronic Devices. Vol. ED-23, No. 7, July 1976.