

Halbleitertechnik aus Berlin -

Eine Zeitreise von den ersten Anfängen bis zur Kommerzialisierung

1. [Vorwort](#)
2. [Einleitung](#)
3. [Die Geburtsstunde der Halbleiter-Technik in Deutschland](#)
4. [Die Entwicklung bis zum Anfang des 2. WK](#)
5. [Entwicklungen während des Krieges](#)
6. [Nachkriegs-Entwicklungen](#)
7. [Schlussbemerkungen](#)

© Copyright by Peter Salomon, Berlin – 2013

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Eine auch auszugsweise Vervielfältigung bedarf in jedem Fall der Genehmigung des Herausgebers.

Die hier wiedergegebenen Informationen, Dokumente, Schaltungen, Verfahren und Programmmaterialien wurden sorgfältig erarbeitet, sind jedoch ohne Rücksicht auf die Patentlage zu sehen, sowie mit keinerlei Verpflichtungen, noch juristischer Verantwortung oder Garantie in irgendeiner Art verbunden. Folglich ist jegliche Haftung ausgeschlossen, die in irgendeiner Art aus der Benutzung dieses Materials oder Teilen davon entstehen könnte. Für Mitteilung eventueller Fehler ist der Autor jederzeit dankbar.

Es wird darauf hingewiesen, dass die erwähnten Firmen- und Markennamen, sowie Produktbezeichnungen in der Regel gesetzlichem Schutz unterliegen.

1. Vorwort

Beim Erwähnen des Stichwortes „Halbleitertechnik“ – engl. „Semiconductor“ im historischen Zusammenhang wird allgemein hin an die Größen der US-amerikanischen Halbleiter-Industrie gedacht – angefangen von den vermeintlichen Transistor-Erfindern William Shockley, John Bardeen und Walter Brattain, die dafür sogar den Nobelpreis bekamen – bis hin zu Robert Noyce, Ted Hoff und Jack Kilby, die dann später das „Silicon Valley“ berühmt machten - einen wunderbar grünen Landstrich mit angenehmen Klima, welches sich sehr fördernd und innovativ auf die dort arbeitenden Menschen auswirkte. Gefördert wurde die Halbleiter-Entwicklung in den USA aber auch und insbesondere durch die Bedingungen des Kalten Krieges - d.h., da es im Gegensatz zu Europa und der Sowjetunion im eigenen Land keinerlei kriegsbedingte Schäden zu überwinden galt, konnten viele hundert Milliarden Dollar aus dem Militärhaushalt in diese neue HighTech-Industrie gepumpt werden - nur um dem einstigen Verbündeten Sowjetunion weiterhin strategisch überlegen zu sein.

War es denn nun aber wirklich so, dass es vor dem „Urknall“ der Halbleitertechnik in den USA anderswo nicht auch schon Vergleichbares gegeben haben kann?

Lange Zeit galt als eine unumstößliche Tatsache die öffentliche Demonstration der Transistor-Erfindung am 23. Dezember 1947 durch die späteren Nobelpreisträger als Geburtsstunde der Halbleiter-Technik und damit als Beginn einer neuen technischen Revolution – dem Computer-Zeitalter.

Es soll hier keineswegs die Verdienste der drei „Urväter“ der Halbleitertechnik in Frage gestellt werden und vor allem auch nicht die darauf hin losgetretene Entwicklungslawine klein geredet werden, die so wesentlich den technischen Fortschritt in wenigen Jahrzehnten weltweit dermaßen beschleunigt hat, dass ohne diese z.B. die Raumfahrt niemals möglich gewesen wäre. Das soll jetzt auch nicht Gegenstand nachfolgender Ausführungen sein, sondern eine „Zeitreise“ eben noch vor diesen „Urknall“ soll einige Aspekte beleuchten, die sicherlich wesentlich dazu beigetragen haben, die Transistor-Erfindung erst möglich zu machen.

2. Einleitung

Halbleiter-Technik – was ist das?

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts waren die Eigenschaften vieler Materialien auf ihre Wirkung der Leitfähigkeit des elektrischen Stromes hinlänglich erforscht. Nachdem bereits 1821 der deutsche Physiker Georg Simon Ohm (**Bild 1**) das nach ihm benannte Gesetz gefunden hatte, konnte nun auch die elektrische Leitfähigkeit jedes Materials bestimmt werden.

Metalle können in der Regel elektrischen Strom ziemlich verlustarm transportieren, d.h. sie haben eine gute bis sehr gute Leitfähigkeit. Vielerlei andere Materialien, wie Holz, daraus abgeleitete Papiere und Pappe, Keramik, aber auch bestimmte Mineralien, wie z.B. Glimmer sind ausgesprochene Nichtleiter, d.h. sie haben eine sehr schlechte elektrische Leitfähigkeit – oder anders ausgedrückt – sie sind isolierend für die elektrische Stromleitung.

Nun ist es in der Natur fast immer die Regel, dass es nicht nur das Eine oder das Andere gibt, sondern auch einen Übergangsbereich, wo man weder von einem Leiter, noch von einem Nichtleiter sprechen kann.

Auch der Nobelpreisträger Ferdinand Braun (**Bild 2**) beschäftigte sich bereits 1874 in jungen Jahren mit dem Phänomen der elektrischen Stromleitung in verschiedenster Mineralien, so z.B. auch in Bleisulfid. Dabei entdeckte er bis zu 30 % unterschiedliche Widerstände in Abhängigkeit von Richtung, Intensität und Dauer des Stromes. Dies widersprach eigentlich dem Ohmschen Gesetz und trotz intensiver Forschung konnte er das zeitlebens nicht erklären. Auch dass er damit den Gleichrichter-Effekt gefunden hatte, war ihm nicht bewusst, weil es dazu seinerzeit noch keine technische Anwendung gab.

Ist aber dann jedes Material mit einer Leitfähigkeit zwischen der eines gut leitenden Metalls und eines schlecht leitenden Isolators automatisch ein Halbleiter, so wie wir das heutzutage verstehen?

Mit dieser Fragestellung beschäftigten sich viele Wissenschaftler und Forscher Anfang der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts – und das vor allem in Deutschland, der damaligen Hochburg von Wissenschaft und Technik. Man denke dabei nur an so berühmte Namen, wie Albert Einstein, Wilhelm Röntgen, Lise Meitner und viele andere.

Auch die industrielle Entwicklung war in dieser Zeit in Deutschland in so einem rasanten Wachstum und Innovation begriffen, dass den Expansionsbestrebungen des Deutschen Kaiserreiches angebliche Vorteile eingeräumt und somit der 1. Weltkrieg vom Zaun gebrochen wurde. Dass Deutschland diesen verlor und infolge dessen mit hohen Reparationsleistungen belegt wurde, behinderte jedoch nicht die technisch-wirtschaftliche Weiterentwicklung des nun

als Republik regierten Deutschen Reiches. Viele der besonders spektakulären Erfindungen und Entwicklungen sind gerade in dieser Zeit entstanden und sind somit ein Zeugnis dafür, dass so eine „Niederlage“ auch ein besonders innovativer Neuanfang sein kann. So legt z.B. die Entwicklung Röhren-Technik – beginnend mit der Lieben-Röhre des Deutsch-Österreichers Robert von Lieben (**Bild 3**) bis hin zur Mehrfachröhre, der ersten „integrierten Schaltung“ auf Röhrenbasis des Entwickler-Duos Manfred von Ardenne und Siegmund Loewe (**Bild 4**) – ein beredtes Zeugnis dafür ab. Während die Röhrentechnik anfangs nur für militärische Zwecke von Bedeutung war, wurde jedoch mit der Entwicklung und Einführung des für die Allgemeinheit nun auch zugänglichen Rundfunks eine massenwirksame Verwendung geschaffen – allerdings zunächst weniger auf der Empfangsseite. Dafür gab es die einfachen „Detektor-Geräte“ (**Bild 5**), die jeder einigermaßen handwerklich begabte Bastler auch selbst bauen konnte. Das war in dieser Zeit der beginnenden Weltwirtschaftskrise auch notwendig, weil viele Menschen in Deutschland bedingt durch die Kriegs- und Nachkriegsereignisse noch ohne geregeltes Einkommen waren. Entsprechende Publikationen mit mehr oder weniger technisch-wissenschaftlichem Hintergrund standen dem findigen Bastler hilfreich zur Seite.

Eine „Detektor-Schaltung“ (**Bild 6**) bestand im Wesentlichen nur aus einem abstimmbaren Schwingkreis, d.h. entweder musste die Spule in ihrer Induktivität, oder der Kondensator in seiner Kapazität veränderbar sein, um sich auf den Ortssender abzugleichen – und einem so genannten Detektor-Kristall, welcher die aufmodulierte Sprach-, oder Musiksignale von der Hochfrequenz trennen konnte. Wahrnehmen konnte man das dann über einen Kopfhörer – ein Phänomen, was die Mehrzahl der „Ersthörer“ immer sehr verblüffte.

Und damit haben wir auch den Bogen gespannt zu den ersten Anwendungen der „Halbleiter-Technik – denn das so genannte „Detektor-Kristall“ (**Bild 7**) kann man als Halbleiter ansehen, wenn auch mit einigen Schwierigkeiten. Doch dazu später.

3. Die Geburtsstunde der Halbleiter-Technik in Deutschland

Mit dem Aufkommen der Röhren-Technik in den frühen 20er Jahren wurden die Kristall-Detektoren durch leistungsfähigere Bauelemente ersetzt. Allerdings stellten die mechanische Empfindlichkeit und der Preis der Röhren ein nicht zu unterschätzendes Hindernis für einen breiten Einsatz dar.

Durch die schon erwähnten frühzeitigen Untersuchungen zur Stromleitfähigkeit vieler Materialien kannte man auch die besonderen Eigenschaften des Elements „Selen“.

Es war deshalb als Fortschritt anzusehen, als 1927/28 die Fa. TeKaDe den ersten Selen-Gleichrichter auf den Markt brachte und somit viele der Gleichrichter-Röhren ablöste.

Selen-Gleichrichter (Bild 8) wurden noch bis in die 60er Jahre in großen Stückzahlen hergestellt und z.B. in Fernsehgeräten als preiswerter Netzgleichrichter eingesetzt.

Mit einem anderen Halbleiter-Material – Kupferoxydul - versuchte man bereits 1925 bei der AEG (Bild 9) ebenfalls einige der Röhrgleichrichter zu ersetzen, was aber wegen der ungünstigeren technischen Daten für eine längere Zeit nur bei Messgleichrichtern (Bild 10), den so genannten „Maikäfern“ gelang. Ein weiteres Bauelement auf gleicher technologischer Basis war der „Sirutor“ (= SIEmens RUndfunkdetekTOR) – ein Kleinstgleichrichter (Bild 11), welcher in den frühen 30er Jahren von SIEMENS auf den Markt gebracht wurde. Obwohl das Bauelement sehr robust war, war es jedoch infolge seiner ungünstigen elektrischen Kennwerte bei höheren Frequenzbereichen weniger geeignet und fand somit nur einen begrenzten Anwendungsbereich.

Trotz dieser ansatzweise bereits erfolgreich eingeführten „Halbleiter-Technik“ kann man im eigentlichen Wortsinn noch nicht davon sprechen. Dies geschah erst im Laufe der weiteren stürmischen Entwicklung einer noch im deutschen Kaiserreich 1903 gegründeten Firma: TELEFUNKEN, mit Sitz hier in Berlin.

Die Gründung von TELEFUNKEN war die Antwort des deutschen Kaiserreiches auf die marktbeherrschenden Ambitionen der anderen Großmächte bei der Vermarktung der Erfindung der drahtlosen Kommunikation. Internationalen Großkonzernen, wie Marconi oder General Electric sollten durch eigene deutsche Entwicklungen Paroli geboten werden. Durch Bündelung innovativer Kräfte der beiden konkurrierenden Firmen SIEMENS und AEG zur Realisierung militärischer Aufträge für das deutsche Kaiserreich erhoffte man sich in der neuen Firma TELEFUNKEN die entscheidenden Erfolge.

4. Die Entwicklung bis zum Anfang des 2. WK

Bereits im Jahre 1906 gab es ein TELEFUNKEN-Patent von einem Kristall-Detektor (Bild 12), wo der bereits erwähnte Karl Ferdinand Braun als Erfinder genannt wurde. Braun arbeitete zu dieser Zeit noch bei SIEMENS, war aber dann einer der aufstrebenden Wissenschaftler in den frühen Jahren von TELEFUNKEN. Wegen der unzuverlässigen Funktion kam dieses Bauelement aber nicht zum praktischen Einsatz. Später dann nach Ende des 1. WK, als die Röhrentechnik große Fortschritte machte, geriet diese Erfindung beinahe in Vergessenheit. TELEFUNKEN versuchte 1919 mit einem verkaufsfähigen Produkt, dem „Silicium-Detektor E.D.149“ (Bild 13) am beginnenden Rundfunk-Geschäft teilzuhaben. Paul-Ludwig Günther, ein Experte für physikalische Chemie an der „Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau“, sowie Karl Seiler, ein begnadeter Laborant und späterer Doktor der Physik waren für TELEFUNKEN in einem geheimen Labor in den Räumlichkeiten des ehemaligen Klosters Leubus bei Breslau tätig. Ihnen sind wesentliche Erkenntnisse bei den frühen Forschungen zur Halbleitertechnik zu verdanken.

Silizium in reiner Form ist entsprechend seinen elektrischen Eigenschaften eigentlich kein Halbleiter, sondern eher ein Nichtleiter. Bedingt durch den damaligen reduktiven Herstellungsprozess war das Silizium jedoch mit Aluminium verunreinigt, was im heutigen Sprachgebrauch einer Dotierung gleich kam. Der hohe Schmelzpunkt des Siliziums von über 1400°C und die damals noch nicht vorhersehbare Menge der Dotierung machten jedoch eine Herstellung von Bauelementen mit reproduzierbaren Eigenschaften fast unmöglich. Hinzu kam noch die ungeschützte Konstruktion, so dass von den Kunden eher Konkurrenz-Varianten nach Bild 7 (Bild 14) der Vorzug gegeben wurde, wobei hier jedoch kein Silizium, sondern Eisensulfid – auch als „Pyrit“ bekannt - zum Einsatz kam. Fortan lag der Schwerpunkt der TELEFUNKEN-Entwicklungen für die Funktechnik sowohl im Sender-, als auch im Empfängerbereich deshalb bei den Vakuum-Röhren.

Mit Beginn der 30er Jahre gab es auch außerhalb von TELEFUNKEN bemerkenswerte Forschungsaktivitäten zu Halbleitern, die jedoch eher von akademischer Natur waren, als zu wirtschaftlich verwertbaren Produkten zu führen. Die bereits in den 20er Jahren zu allen möglichen halbleitenden Materialien durchgeführten Untersuchungen führten zu Ergebnissen, die wissenschaftlich zunächst nicht erklärbar waren. Es fehlte an einer halbwegs brauchbaren Theorie zu den Wirkmechanismen von Halbleitern. Dann trat 1939 ein bislang auf diesem Gebiet unbekannter SIEMENS-Wissenschaftler mit einer diesbezüglichen Veröffentlichung in der „Zeitschrift für Physik“ hervor – Walter Schottky (Bild 15): "Zur Halbleiterttheorie der

Sperrschicht- und Spitzengleichrichter". Als Wissenschaftler war Walter Schottky keineswegs unbekannt, hatte er sich doch bisher eher auf dem Röhrengebiet betätigt (z.B. Theorie der Raumladung, Raumladegitterröhre bereits ca. 1916), war dann aber zu jener Zeit gemeinsam mit dem später ebenfalls noch bekannter gewordenen Eberhard Spenke (Bild 16) in den Berliner Forschungs-Laboratorien von SIEMENS & HALSKE tätig. Die SIEMENS-Forschergruppe um Walter Schottky wurde dann im Laufe des 2. WK infolge von Kriegseinwirkungen nach Pretzfeld in Süd-Deutschland ausgelagert – so kam es zu der Bezeichnung „Pretzfeld-Gruppe“ [5]. Zu dieser Gruppe stieß später auch noch Heinrich Welker (Bild 17), ein Physiker an der Universität München, welcher sich ebenfalls mit Halbleiter-Problemen befasste. Seine umfangreichen Erkenntnisse zu dem Halbleitermaterial Germanium wird noch kurz vor Kriegsende und insbesondere danach für die Entwicklung von Ge-Halbleiterbauelementen bei SIEMENS-Erlangen sehr bedeutend werden. Sein größtes Verdienst liegt allerdings in der Nachkriegszeit bei der Grundlagenforschung von so genannten III/IV-Verbindungen, d.h. speziell zu GaAs für die Optoelektronik.

Auch außerhalb industrieller Grundlagenforschung gab es findige Köpfe, die sich schon frühzeitig mit Problemen der Halbleitertechnik befassten. So ist z.B. der eigentliche Erfinder des Feldeffekttransistors Julius Edgar Lilienfeld (Bild 18) zuzuschreiben, welcher lange Zeit an der Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin theoretische Physik lehrte und bereits 1925 ein diesbezügliches Patent einreichte. Die Bezeichnung „Transistor“ war damals noch nicht geboren – Lilienfeld sprach von einem Bauelement, was Eigenschaften einer Elektronenröhre aufwies. Die 1930/33 auch in den USA erfolgte Patenterteilung war dann Ende 1947 eine der Grundlagen für das bereits genannte „Transistor-Erfinder“-Trio und Nobelpreisträger William Shockley, John Bardeen und Walter Brattain. Diese hatten es nicht nötig zu erwähnen, dass ihre Arbeit auf den Erkenntnissen von Julius Edgar Lilienfeld beruhte und möglicherweise noch andere Grundlagen hatte, auf die noch einzugehen sein wird.

Ein weiterer Wissenschaftler, diesmal jedoch nicht aus Berlin, sondern der deutsche Physiker Oskar Heil (Bild 19) aus Göttingen meldete 1934, nachdem er während einer Englandreise mit dem berühmten Atomphysiker Ernest Rutherford zu einem fruchtbaren Meinungsaustausch zusammengetroffen war, ein Patent für ein kapazitätsgesteuertes Halbleiter-Element an. Heute würde man dazu MOSFET sagen.

Alle diese theoretischen Arbeiten hatten jedoch zum damaligen Zeitpunkt keinerlei Chance auf eine wirtschaftliche Verwertung, da hierfür die technologischen Grundlagen fehlten.

Die für die Technologie-Entwicklung in Frage kommende Industrie – TELEFUNKEN und SIEMENS – maßen der Halbleitertechnik damals noch keinerlei besondere Bedeutung zu, weil sich mit den Möglichkeiten der sehr gut beherrschbaren Röhrentechnik alle damaligen Kundenwünsche erfüllen ließen.

5. Entwicklungen während des 2. Weltkrieges

Das änderte sich erst im Laufe des 2. WK, als die Alliierten mit ihren anglo-amerikanischen Bomber-Staffeln mehr und mehr den deutschen Luftraum beherrschten. Die anfänglich auch von deutschen Bombern geflogenen Luftangriffe gegen England wurden sehr bald durch ein neuartiges Frühwarnsystem zunehmend vereitelt: Radar. Die deutsche Wehrmacht besaß zwar auch Funkmess-Systeme zur Luftraum-Überwachung, aber diese waren den wesentlich besser auflösenden britischen Radar-Systemen weit unterlegen. Lange Zeit hatten die Deutschen nur vage Kenntnisse über die britische Radar-Entwicklung, aber als im Februar 1943 in den Niederlanden bei Rotterdam ein britischer Stirling-Bomber abgeschossen wurde, wurde aus den Trümmern das borgelegene Radargerät „H2S“ (Bild 20) geborgen und TELEFUNKEN zur Auswertung übergeben. Das darin enthaltene neuartige Magnetron für eine 3000MHz-Sendefrequenz konnte noch relativ schnell als RD2MD nachgebaut werden, aber für eine entsprechende Empfangsanlage waren die herkömmlichen Röhren nicht mehr geeignet. Die bisher im Einsatz befindlichen deutschen „Radar-Systemen“, wie z.B. die „Würzburg-Anlage“ arbeitete mit Frequenzen im Bereich von einigen 100MHz. Dort war der Einsatz von speziellen Vakuum-Röhren noch möglich.

In der Empfänger-Eingangsmischstufe des „Berlin-Gerätes“ (Bild 21) – so der Tarnname des H2S-Nachbaus [1] - wurde deshalb mit einer Punktkontakt-Siliziumdiode realisiert, an deren grundlegende Funktionsweise basierend auf dem „Silicium-Detektor“ man sich nun wieder erinnerte.

Obwohl technologische Erfahrungen bei Metall-Glaseinschmelzungen aus der Röhrentechnik hinreichend bekannt waren, gab es dennoch anfänglich erhebliche Schwierigkeiten. Das Silizium wurde auf 1,4mm-Graphitstäbe abgeschieden, die entsprechend gebrochen in einer kleinen Messingkappe zur Schaffung einer ohmschen Verbindung verlötet wurden. Der Punktkontakt zur Herstellung des Gleichrichtereffekts bestand aus einem Molybdän-Draht, der punktförmig gegen die Silizium-Beschichtung gepresst wurde – eine mehr als unsichere Konstruktion. Varianten mit Drahtschlingen anstelle Punktkontakt und Madenschrauben zum Einstellen des Anpressdrucks verbesserten zwar die Zuverlässigkeit, hatten aber dann auch wieder andere Nachteile. Dennoch wurde bereits Ende 1943 die Entwicklung dieser an und für sich noch völlig unzuverlässigen Serie von Silizium-Detektoren ED700 – ED705 (Bild 22) als abgeschlossen erklärt und ab April 1944 in den „Naxos-Geräten“ für die so genannten Nachtjäger der deutschen Luftwaffe eingesetzt.

Das letzte Bauelement dieser Serie mit der Bezeichnung ED705 hatte dann schon sehr viel Ähnlichkeit mit den späteren Halbleiterdioden in so genannter „Patronenform“. Anstelle der Metall-Glaseinschmelzung wurde eine Konstruktion in Metall-Keramik verwendet (Bild 23) und

(Bild24). Die Verpackung wurde dann hermetisch abgeschlossen realisiert, entsprechend den besonderen Verhältnissen der Militärtechnik (Bild 25).

Da auch die Berliner Entwicklungslabore von TELEFUNKEN, z.B. in Zehlendorf zunehmend auch unter der Zerstörung alliierter Bomber-Staffeln zu leiden hatten, wurden diese ausgelagert – die Halbleiter-Entwicklung unter Leitung von Dr.-Ing. Horst Rothe (Bild 26) sowie dessen „unabkömmlicher“ Mitarbeiter Herbert Matarè (Bild 27) nach Leubus in Schlesien.

Insbesondere galt es, die Empfangs-Empfindlichkeit des „Berlin-Gerätes“ zu verbessern. Herbert Materé war mit dieser Aufgabe betraut worden und sollte dazu spezielle Schaltungen zur Rauschunterdrückung entwickeln – den Gegentakt-Demodulator (Bild 28). Nach seinen Überlegungen mussten sich bei geeigneter Anordnung zweier eng beieinander liegender Punktkontakte auf einer Kristalloberfläche die Rauschspannungen kompensieren. Leider war zu damaliger Zeit noch nicht viel über Rauschursachen bekannt, bzw. deren technisch-physikalischen Hintergrund. So experimentierte er viel und viele Materialien (Silizium, Silizium-Carbid, Bleisulfid und Germanium) wurden auf ihre Eigenschaften untersucht. Dabei war es das Ziel, eine möglichst gleiche Strom-/Spannungskennlinie der beiden Punktkontakte zu erreichen. Das Ziel einer Rauschkompensation, bzw. Unterdrückung konnte er aber nicht erreichen, weil einerseits die inhomogenen Eigenschaften eines polykristallinen Kristalls keine identischen Kennlinien ermöglichten und andererseits die damals noch nicht bekannte inkohärente Eigenschaft einer Rauschspannung sich vom Prinzip her nicht kompensieren lässt. Danach wurden die Arbeiten mit verbessertem Silizium-Material fortgesetzt. Karl Seiler hatte dazu Silizium auf ein Graphit-Substrat aufgedampft, womit man dann schon eher in die Nähe von Einkristallen kam. Von homogenen Einkristallen erwartete man reproduzierbarere Ergebnisse. Alternativ dazu wurden auch winzige Germanium-Einkristalle untersucht, welche von Heinrich Welker aus München zur Verfügung gestellt wurden. Heinrich Welker versuchte damals Ge-Einkristalle nach dem Bridgman-Verfahren herzustellen. Warum das schon seit 1916 von der AEG entwickelte Czochralski-Verfahren dafür nicht eingesetzt wurde, ist leider nicht bekannt.

Zur Erläuterung: Beim Czochralski-Verfahren, welches sich infolge seiner wesentlich besseren Ergebnisse der Einkristallzüchtung in der Nachkriegszeit als Standardtechnologie durchzusetzen vermochte, wird aus der Schmelze mittels eines Impfkristalls ein vollkommener Einkristall gezogen.

Bei messtechnischen Untersuchungen an der Duo-Diodeneinheit (Bild 29) konnte er einige zunächst unerklärliche Effekte beobachten, so z.B. dass sich der Strom durch die eine Diodenstrecke mit dem Stromfluss der anderen beeinflussen ließ. Damit hatte er 1944 eigentlich,

aber noch nicht wissentlich den *Transistor* erfunden – ein durch elektrischen Strom steuerbares Element. Leider wurde eine genauere Untersuchung dieses Effektes durch nicht verhinderbare Ereignisse unterbrochen.

Als 1944 der Geschützdonner der Roten Armee bedrohlich nahe Leubus erreichte, mussten die Arbeiten dort abgebrochen werden und das ganze Labor wurde in einer Eilaktion nach Arnstadt in Thüringen verlagert.

Nach einiger Zeit des schwierigen Wiederaufbaus und Einrichtung unter den chaotischen Bedingungen der Endphase des Krieges sollten die Arbeiten in der neuen Wirkungsstätte wieder aufgenommen werden. Jedoch standen dann plötzlich amerikanischen Soldaten von General Pattens Armee vor der Tür. Obwohl gerade deren Spezialisten des militärischen Geheimdienstes alles, was nach fortschrittlicher und kriegswichtiger Technologie aussah, beschlagnahmten und abtransportierten, wurde dem „Halbleiter-Labor“ von Herbert Materé offensichtlich zunächst keine besondere Bedeutung beigemessen. Nach kurzer „Befragung“ wurde er nach Hause geschickt und die Räumlichkeiten verschlossen. Was nachher mit der Laborausrüstung, den Forschungsunterlagen und allem anderen Inventar geschah, ist leider bis heute unbekannt. Es kann aber durchaus davon ausgegangen werden, dass auch diese dann doch noch den Weg in die USA fanden und somit den „Transistorerfindern“ Shockley, Bardeen und Brattain in den Bell-Laboratories als weitere Grundlage für ihre Entwicklung zur Verfügung standen.

Es ist hinlänglich bekannt, dass der Technologie-Sprung der USA nach dem 2.WK insbesondere auf Erkenntnissen aus dem Beutegut und der „ManPower“ von bedeutenden Wissenschaftlern und Ingenieuren des untergegangenen Großdeutschen Reiches beruht.

Vier Jahre später - 1948 nutzte Herbert Materé gemeinsam mit Heinrich Welker die in Leubus gemachten Erfahrungen bei der Entwicklung des ersten europäischen Transistors – dem so genannten „Transitron“ (**Bild 30**) bei der französischen Firma Westinghouse.

Richtig los ging es jedoch erst mit Gründung der Firma „Intermetall“ durch Herbert Materé in Düsseldorf. Expansionsbedingt wurde diese dann später nach Freiburg/Breisgau verlegt und an den US-amerikanischen ITT-Konzern verkauft.

6. Nachkriegs-Entwicklungen

Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges wurde Deutschland in zwei Einflusszonen aufgeteilt:

- Deutsche Demokratische Republik (DDR - Ost-Deutschland), eingegliedert in den Ostblock (RGW – Warschauer Vertragsstaaten)
- Bundesrepublik Deutschland (BRD - West Deutschland), eingegliedert in das NATO-Bündnis des Westens

Die weitere Entwicklung wurde zunehmend vom beginnenden „Kalten Krieg“ der ehemaligen Anti-Hitler-Koalition, d.h. der West-Alliierten gegen die Sowjetunion bestimmt. Insbesondere die US-Regierung unter Harry S. Truman versuchte unter allen Umständen den sich ausbreitenden Kommunismus zurückzudrängen. Es wurden Konzepte des „Roll-Back“ entwickelt, welche schließlich im Korea- und Vietnamkrieg endeten. Des Weiteren wurden Einrichtungen geschaffen, wie z.B. die COCOM, welche verhindern sollten, dass rüstungsrelevante Technologie in die Hände des „feindlichen“ Lagers gelangen kann. Was dabei als rüstungsrelevant eingestuft wurde, war je nach US-Administration unterschiedlich in der Bewertung. Aber alles, was mit Hochtechnologie zusammenhängt - so auch die Halbleitertechnik und deren Produkte - war immer ein essentieller Bestandteil der so genannten „COCOM-Listen“.

Als ein Ergebnis des Krieges waren viele der Fabriken von Telefunken und SIEMENS zerstört und die Mehrzahl ihrer Wissenschaftler und Ingenieure, wenn sie denn noch lebten, in den nunmehr existierenden Besatzungszonen verstreut. Entsprechend des US-amerikanischen „Paperclip“-Programms (geheime Anwerbung von bedeutenden deutschen Wissenschaftlern und Ingenieuren für Arbeiten in den USA - unbesehen ihrer Vergangenheit) versuchten auch viele Deutsche im Ausland ein neues Leben zu beginnen.

Während anfänglich in den westlichen Besatzungszonen jeglicher Industrie, die nur irgendwie mit militärischer Produktion etwas zu tun hatte, die Weiterarbeit untersagte, bzw. deren Demontage betrieb, hatte die Sowjetunion anfangs bei militärischer Produktion – und die gab es in Deutschland zum Ende des Krieges im Prinzip nur noch - eine andere Strategie.

Schon bei der Potsdamer Konferenz der vier Siegermächte, stellte sich heraus, dass aus den einstigen Verbündeten nunmehr erbitterte Feinde geworden waren – es begann die Zeit des „Kalten Krieges“ und beide Lager versuchten sich gegenseitig zu übervorteilen.

Die in der sowjetischen Besatzungszone noch vorhandenen Rüstungsfabriken wurden soweit als möglich für die Fortführung der Produktion wieder in Gang gebracht – nur jetzt für die Siegermacht Sowjetunion. Es kam jedoch häufig vor, dass durch „Paperclip“ über Nacht wichtige Leute einfach verschwanden, so dass ein ordnungsgemäßer Betriebsauflauf immer mehr

gestört wurde. Das konnte und wollte die Sowjetunion nicht länger hinnehmen und hat deshalb im Herbst 1946 in einer Nach- und Nebelaktion „Ossawakim“ allein aus dem LKVO ca. 230 Personen einschließlich ihrer Familien in der Sowjetunion „verbracht“.

Zur Erklärung: Im LKVO (Labor, Konstruktion und Versuchswerk Oberspree) hatten sich trotz der Nachkriegswirren viele bekannte Wissenschaftler und Ingenieure wieder zusammengefunden, weil sie auf die von den Russen versprochene bessere Versorgung mit Lebensmitteln hofften.

Anfang Mai 1945 hatte die Rote Armee ganz Berlin erobert und hielt an dessen Besetzung fest bis zur vereinbarten Übergabe (Jalta-Konferenz) von drei Sektoren an die Westalliierten. In der Zwischenzeit wurden die späteren West-Sektoren nach allem Brauchbaren durchsucht und alles in den Ost-Sektor verbracht. Im Westteil der Stadt befanden sich neben den bekannten Fabriken und Laboren der Firmen Telefunken und SIEMENS auch viele Forschungseinrichtungen und Institute der hier ansässigen Universitäten und Hochschulen. Manche, wie z.B. Manfred von Ardenne „verkauften“ sich auch gleich mit „Mann und Maus“ an die Russen - für ein sorgenfreies Leben in der fernen Sowjetunion.

Die in den sowjetischen Sektor verbrachten Unterlagen, Gerätschaften und Materialien wurden in eigens dazu gegründeten „Wissenschaftlich-Technischen Büros“ (eine typische Bezeichnung sowjetischen Einschlags) akribisch erfasst und gründlich auf mögliche Weiterverwendung für die Sowjetunion untersucht. Eines dieser Büros wurde im Juli 1945 zum LKVO, zu dessen Leiter der bekannte „Röhrenpapst“ von Telefunken Dr. Karl Steimel (**Bild 31**) ernannt wurde.

Unter seiner Leitung wurde zunächst eine Bestandsaufnahme des technologischen Standes bei Elektronenröhren, anderen elektronischen Bauelementen, sowie der Funk- und Messtechnik zum damaligen Zeitpunkt initiiert. In dem ab Juli 1946 unter dem Firmennamen „OSW“ agierender Einrichtung waren dann mehr als 2000 Leute beschäftigt – nicht nur hochkarätige Wissenschaftler und Ingenieure, sondern auch besonders fähige Mitarbeiter für den Labor- und Werkstattbetrieb. Aus dieser Zeit ist ein Organigramm erhalten geblieben, was hier aufbereitet wiedergegeben ist (**Bild 32**). Darin sind außer Steimel noch weitere interessante Namen zu finden, die teilweise dann später Berühmtheit erlangten: Dr. Matthias Falter, Walter Bruch und Fritz Kunze - um nur einige zu nennen.

Obwohl aus dem Organigramm nicht ganz eindeutig hervorgeht, ob und in welcher Form weiter an den Detektor-Dioden ED704 – ED707 gearbeitet worden ist, belegen andere Quellen [4] eine ungefähre Produktionsstückzahl von 5000 Stück. In den erhalten gebliebenen Bildern (**Bild 33**) wird aber das „Werk für Bauelemente der Nachrichtentechnik“ (WBN) in Teltow bei Berlin als

Hersteller benannt. Das WBN wurde aber erst 1949 als staatlicher Nachfolgebetrieb von „Dralowid“ gegründet. Es ist bekannt, dass auch dort weiter an der Halbleiter-Technologie gearbeitet wurde. Im Industriesalon Schöneeweide kann sogar noch Original-Hardware mit ED 705 eingesehen werden.

Im Laufe der Zeit entwickelte sich nach Kriegsende das LKVO zum WF (**Bild 34**). Zunächst blieb dort trotz schwerpunktmäßiger Orientierung auf die Röhrentechnik noch ein kleiner Teilbereich „Halbleitertechnik“ übrig. In späteren Jahren, bzw. zum Ende der DDR sollte das WF zum größten Hersteller von Optoelektronik im ganzen RGW werden (siehe auch [2.4]. Da diese Entwicklung bereits in Buchform [2] ausführlich dargestellt ist, wird im Weiteren jetzt darauf verzichtet.

Auch Dr. Matthias Falter (**Bild 35**) ereilte das Schicksal als „Spezialist“ seine besonderen Fähigkeiten in der Sowjetunion unter Beweis zu stellen. Im Gegensatz zu vielen Anderen dauerte jedoch seine Tätigkeit nur wenige Jahre, so dass er bereits Anfang der 50er Jahre wieder in die DDR zurückkommen konnte. Obwohl er als Spezialist für Widerstände galt, beauftragte ihn die DDR-Staatsführung mit dem Aufbau einer Forschungseinrichtung für Halbleitertechnik, welche zunächst nur als eigenständige Abteilung im WBN Teltow untergebracht war. Zusätzlich bekam er einen diesbezüglichen Lehrauftrag an der Technischen Hochschule Dresden (**Bild 36**). Somit kann man Prof. Dr. Matthias Falter als „Vater der Halbleitertechnik“ in der DDR ansehen. Die kleine Halbleiter-Abteilung des WBN mit anfangs weniger als 150 Mitarbeitern expandierte ständig und hatte Ende der 50er Jahre bereits eine Beschäftigtenzahl weit über 600. Das Verhältnis zum WF war einerseits kooperativ, andererseits aber auch durch Konkurrenz-Denken nicht immer besonders produktiv (**Bild 37**).

Außerdem stellten die besonderen Verhältnisse der noch offenen Grenze zum nahen West-Berlin eine nicht zu unterschätzendes Hemmnis dar. Viele der älteren Wissensträger konnten sich mit einem erst aufzubauenden sozialistischen System nicht anfreunden und zogen es vor, sich beim „Klassenfeind“ Telefunken oder SIEMENS zu verdingen. Auch viele der bereits unter DDR-Verhältnissen ausgebildeten Jung-Ingenieure sahen infolge massiver Abwerbung ihre Karriere-Chancen eher im Westen, als in einem stets an Mangelerscheinungen kränkelndem VEB.

1960 entstand aus der sich immer weiter aufblähenden Halbleiterabteilung im WBN das „Institut für Halbleitertechnik“ (IHT) mit Sitz in Stahnsdorf (südliches Randgebiet von Berlin) und der sich dann später daraus ergebene VEB Mikroelektronik „Karl Liebknecht“ Stahnsdorf. Auch diese Geschichte kann in dem bereits zitierten Buch [2] nachgelesen werden, so dass an dieser Stelle auf weitere Ausführungen verzichtet wird.

Einen Blick über die Grenze zeigte, dass die nun in Westberlin liegenden Halbleiter-Entwicklungsbereiche von Telefunken und SIEMENS kriegsbedingt sehr zerstört waren und außerdem durch die West-Alliierten zunächst keinerlei Weiterführung „Kriegs-relevanter“ Entwicklung und Produktion in ihren Einflussgebieten zugelassen wurde. Außerdem waren durch die Berlin-Blockade der sowjetischen Besatzungsmacht unüberwindliche Risiken entstanden, die die Telefunken- und SIEMENS-Führung veranlassten, Berlin als Hauptfirmensitz aufzugeben und in den Westzonen – vornehmlich Bayern - neu anzufangen. Demzufolge wurden auch viele der Entwicklungseinrichtungen, oder besser gesagt – was davon noch übrig geblieben war – verlagert. Der Telefunken-Halbleiterbereich wurde in Ulm neu aufgebaut und da auch SIEMENS-Pretzfeld große Kriegsschäden davon getragen hatte und letztendlich zu klein war, wurde die Standorte München und Erlangen ausgebaut. Die weitere Entwicklung bei Telefunken kann in [4] nachgelesen werden.

7. Schlussbemerkungen

Obwohl die Nachkriegs-Entwicklung der Halbleitertechnik im zweigeteilten Deutschland nunmehr auch in zwei Spuren verlief, war man anfangs noch auf „gleicher Augenhöhe“, d.h. der diesbezügliche Entwicklungsstand in beiden Teilen Deutschlands war Mitte der 50er Jahre in etwa noch gleich. Ungleich waren allerdings die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Das in der BRD anfangs von den Westalliierten verfügte Entwicklungs- und Produktionsverbot wurde schnell aufgehoben und statt - wie in der DDR - noch jahrelang Reparationsleistungen zu erpressen, wurde mittels des Marshall-Plans Hunderte von Millionen DM in den Aufbau der BRD-Wirtschaft gepumpt. Das kam auch der westdeutschen Halbleiterindustrie zu Gute. Die neuartigen technologischen Herausforderungen einer Halbleiterindustrie erforderten jedes Jahr enorme Mittel, die von der DDR unter den besonderen, bereits erläuterten Bedingungen nicht aufgebracht werden konnten. Eine dem Marshall-Plan äquivalente Wirtschaftsförderung gab es hier nicht - im Gegenteil, die Sowjetunion bestand bis zum Ende der DDR auf der Erfüllung der Reparationsleistungen. Hinzu kamen dann noch diverse Fehlentscheidungen der Staatsführung, so dass sich bereits in den 60er Jahren ein erheblicher Rückstand entwickelte, welcher auch mit immer neuen Staatsplan-Initiativen bis zum Ende der DDR nicht mehr aufgeholt werden konnte.

Ein wesentlicher Faktor lag auch im Versagen des RGW-Wirtschaftssystems als Ganzes und insbesondere in der Führungsrolle der Sowjetunion. Die oft gepriesene Spezialisierung – sprich Wirtschaftsteilung – kam im Bereich der Halbleitertechnik in Wirklichkeit niemals richtig zustande.

Letztendlich war das Ergebnis, dass die DDR als entwickelter Industriestaat und Exportland genötigt war fast alle Halbleiter-Bauelemente, die die DDR-Industrie für ihre Erzeugnisse benötigte, in einer völlig unwirtschaftlichen „Warenhaus-Produktion“ unter eigener Verantwortung herzustellen.

Im Gegensatz dazu gab es in der BRD durch ihr kapitalistisches Wettbewerbssystem weder die COCOM-Einschränkungen, noch staatlich verordnete „Spezialisierungs-Richtlinien“, die mit wenig Substanz ausgestattet waren. Wirtschaftsbeziehungen konnten dort fast ohne Einschränkungen weltweit etabliert werden und Spezialisierungen ergaben sich dann von alleine. Einen besonderen Status nahm der so genannte „innerdeutsche Handel“ ein, der wesentlichen Teilen der BRD-Wirtschaft besonders profitable Geschäfte sicherte. Dazu gehörten auch Geschäfte zur „Umgehung“ des COCOM-Embargos, wo die betreffenden Produkte mit oft mehrfachem Weltmarktpreis in die DDR geliefert wurden.

Andererseits wurden DDR-Erzeugnisse von Handelshäusern in der BRD regelmäßig zu Schleuderpreisen aufgekauft, um sie dann mit Spitzengewinnen weiterzuverkaufen [8].

Literatur

- [1] Adam Farson: „German WW2 Radar“ (pdf)
- [2] Peter Salomon: „Die Geschichte der Mikroelektronik/Halbleiterindustrie der DDR“, www.funkverlag.de, 2003
Berichtigungen und Ergänzungen: <http://www.ps-blnd.de/DDR-ME1-Berichtigungen.htm>
Ergänzungen der Bauelementliste: <http://www.ps-blnd.de/BE-Ergaenzungen.htm>
<http://www.ps-blnd.de/D-HLvor45.htm>
Peter Salomon: „Die letzten Opto aus dem WFB“ (geplanter Vortrag)
- [3] Dipl.-Ing. Helmut Kappelhoff: „125 Jahre elektrotechnische Industrie in Berlin-Brandenburg - Die Entwicklung der Halbleitertechnik in Stahnsdorf“ (pdf, unveröffentlicht)
- [4] Mark Burgess: “History of Telefunken Semiconductors” (pdf, unveröffentlicht)
- [5] SIEMENS: “Die Silizium-Pioniere” (pdf)
- [6] Bred E. Crawford: “The Invention of the Transistor” (pdf)
- [7] <http://industriemuseum-regionaltow.de/de/das-museum/ausstellung/elektronik/gleichrichter-stahnsdorf>
- [8] Klaus Blessing: “Die Schulden des Westens”, Ost-Edition