

# Roswell und die Halbleitertechnik

## 1 Einleitung

Aus den Kreisen der UFO-Enthusiasten hört man ab und zu, dass der Transistor und die darauf folgenden integrierten Schaltungen aus der Untersuchung der Überreste eines im Sommer bei Roswell (New Mexiko) abgestürzten UFOs hervorgegangen seien. Als Beleg dieser erstaunlichen Behauptung wird das Buch *The Day After Roswell* des ehemaligen Geheimdienstoffiziers Philip J. Corso (1915-1998) angeführt.<sup>1</sup>

### 1.1 Geheime Dienste

Corso hatte 1942 als Mitglied von General Pattons Armee den Panzerdivisionen von Feldmarschall Rommel erfolgreichen Widerstand geleistet, bevor er nach der Vertreibung der Deutschen aus Nordafrika in Italien eingesetzt wurde. 1944 – als sich ringsum die deutsche Front aufzulösen begann – befand er sich als Mitarbeiter des CIC<sup>2</sup> in Rom, wo er drei Jahre verbringen sollte. Später war Corso als Geheimdienstoffizier im Stab von General MacArthur in Korea, um danach in Präsident Eisenhowers "National Security Council" im Weissen Haus tätig zu werden. Dort verbrachte er fünf Dienstjahre, bis sich 1957 die Gelegenheit ergab, eine Raketenbasis zu befehligen. Vier Jahre später, 1961, wurde Corso als Lt. Colonel nach Washington beordert. Corsos neuer Vorgesetzter und Chef der "US Army Research and Development" war Generalleutnant Arthur G. Trudeau, welcher Leiter des Armeegeheimdienstes gewesen war, bevor er die Führung des R&D übernahm. Mit Trudeau sollte Corso alsbald ein über das rein Dienstliche hinausgehendes Vertrauensverhältnis verbinden.

Corsos neue Aufgabe im Pentagon bestand in der Leitung der "Foreign Technology Desk" im Army R&D. Zu seinen täglichen Arbeiten gehörte die Erforschung ausländischer Waffensysteme und neuartiger Technologien. Ein anderer, gewissermassen geheimer Aspekt von Corsos Tätigkeit bestand in seiner Funktion als Berater Trudeaus. Als einstiger Geheimdienstoffizier war Corso für diese klandestine Tätigkeit geradezu prädestiniert. Während zweier Jahren bekam Corso auf diese Weise Einblick in die geheimsten Akten der US-Streitkräfte und damit verbundener Dienste. 1963 beendete Corso seine militärische Laufbahn, um sich im Stab von Senator Strom Thurmond als Sicherheitsberater zu betätigen.

Corso behauptet in seinen Memoiren, dass ihm von General Trudeau ein Tresor mit einem Teil der Überreste des UFO-Crash von Roswell übergeben wurde mit dem Auftrag, die Teile zu identifizieren und in die militärische Forschung einfließen zu lassen. Durch ausgesuchte Firmen aus dem Umfeld des Militärisch-industriellen Komplexes sollten diese Errungenschaften nach und nach auch in die zivile Forschung einfließen – ohne dass dann noch von Aliens oder UFOs die Rede wäre.

Zu den Objekten aus Corsos "Nuss-Schrank" – wie der Tresor gelegentlich bezeichnet wurde –

---

<sup>1</sup> Corso, Birnes: Der Tag nach Roswell (Kopp).

<sup>2</sup> CIC = Counter Intelligence Corps → Ein US-Nachrichtendienst der Armee während des Zweiten Weltkrieges und Vorgänger der DIA.

sollen u.a. gehört haben:

- integrierte Schaltkreise
- Laser
- Nachtsichtgeräte
- Glasfasertechnik

Und womöglich noch andere Dinge, von denen wir nichts wissen sollen.

Ob Corso nebst offensichtlichen Fakten gelegentlich seiner Phantasie freien Lauf liess oder ob er sein Buch als Reaktion auf ein Cover-Up der US-Regierung in der UFO-Frage schrieb, muss vorerst offen bleiben. Möglich wäre auch ein sukzessives Offenlegen von bis dahin geleugneter Sichtungen und Ereignisse.

Den Transistor habe es 1948 zwar bereits als Versuchsmuster gegeben, nicht aber integrierte Schaltkreise, von denen sich Bruchstücke angeblich im Nuss-Schrank<sup>2</sup> befanden. Die integrierten Schaltungen auf Siliziumbasis seien durch gezieltes Reverse-Engineering entwickelt worden. Ohne den UFO-Crash hätte diese Entwicklung noch viele Jahrzehnte angedauert, so aber habe eine Technologiebeschleunigung eingesetzt, welche seinesgleichen suche.

Corso behauptet nicht, dass uns die Siliziumtechnologie von Aliens auf dem Präsentierteller übergeben worden ist, sondern lediglich, dass aufgrund der ausgewerteten Trümmerteile des Roswell-UFOs eine exponentiell beschleunigte Entwicklung eingesetzt habe, die schliesslich zu integrierten Schaltkreisen, Glasfaserleitungen und Lasern geführt habe. Diesen kühnen Gedankengang zu Ende gedacht, könnte man sagen, dass aus diesem Entwicklungsschub völlig neuartige Gegenstände wie Mikroprozessoren, Personalcomputer, Flachbildschirme und auch Smartphones hervorgegangen sind.

Für den aufmerksamen Leser stellt sich irgendwann die Kardinalfrage, ob Corsos Aussagen im Kern zutreffen oder lediglich ein weiterer Versuch des militärischen Geheimdienstes ist, das UFO-Phänomen durch gezielte Desinformation zu verschleiern. Allein mit Corsos Buch in der Hand kann diese Frage nicht schlüssig beantwortet werden. Wir müssen uns vielmehr der Entwicklungsgeschichte der Elektronik resp. Halbleiterphysik und Halbleitertechnik zuwenden, um zu weiterer Klarheit zu gelangen. Zunächst aber soll in Kürze beschrieben werden, was sich im Sommer 1947 in der Nähe von Roswell ereignete.

## 1.2 Der UFO-Crash bei Roswell

In einer Gewitternacht des zweiten oder dritten Juli 1947 – die Aussagen divergieren in diesem Punkt um mehrere Tage – soll ein unbekanntes Flugobjekt in der Nähe von Roswell abgestürzt sein. Augenzeugen berichteten von einem hellen Lichtblitz am Himmel. Einige Autoren, die sich dieser Sache angenommen haben, sprechen von mehreren Abstürzen unbekannter Flugmaschinen. Nach Friedmann soll sich ein Crash bei Corona, einer Ortschaft nordwestlich von Roswell, zugetragen haben.<sup>3</sup> Für uns ist in Globo nur entscheidend, ob es überhaupt einen

---

<sup>3</sup> Friedman, Berliner: Der UFO-Absturz bei Corona (Kopp).

Randle, Schmitt: Die Wahrheit über den UFO-Absturz bei Roswell (Kopp).

derartigen Crash gegeben hat (worauf einige Indizien verweisen).

Aufgeschreckt durch das heftige Gewitter habe sich der Rancher Marc Brazel auf die von ihm bewirtschafteten Weiden begeben. Dabei sei er zahlreichen Trümmerteilen begegnet, die entlang einer Anflugschneise von mehreren hundert Metern verstreut waren. Nur wenige Stunden nach dem Crash sei das Militär erschienen und habe die Umgebung hermetisch abgeriegelt. Die gefundenen Teile seien auf Lastwagen zu dem bei Roswell befindlichen Fliegerhorst der 509. Bomberstaffel gebracht worden.

Das Merkwürdigste und Erschreckendste zugleich seien die aufgefundenen Aliens gewesen, von denen eines noch kurze Zeit gelebt habe. Die an der Verschleierung beteiligten Geheimdienstler sprachen von einem EBE – einer "extraterrestrischen biologischen Entität". Der humanoid wirkende und etwa 1,2 Meter grosse Überlebende habe einen überproportional grossen Kopf mit dunklen membranartigen Augen, einen kleinen Mund und nur ansatzweise erkennbare äussere Gehörorgane gehabt. Der gesamte Körper sei von einer geschmeidigen und extrem strapazierfähigen Haut umschlossen gewesen. Allem Anschein nach hätten die EBEs mit elektronisch stimulierbaren Kopfbändern untereinander und mit der Maschinensteuerung kommuniziert.



Abb. 1: Roswell UFO-Crash

Von Roswell aus seien die Überreste nach Fort Bliss (Texas) und daraufhin zur Zwischenlagerung nach Fort Riley gebracht worden, bevor sie an ihren endgültigen Bestimmungsort in Wright Field (später Wright-Patterson Air Force Base) – nordöstlich von Dayton (Ohio) – gelangten. In Fort Riley will Phil Corso eines der toten Wesen in einem Schutzbehälter erblickt haben. Seiner Einschätzung zufolge soll es sich um roboterartige und für irdische Erkundungsaufträge spezialisierte Entitäten gehandelt haben.

### 1.3 Ein alternativer Verlauf der Geschichte des Transistors

Dass ein auch anders geartetes Narrativ möglich (wenn auch nicht unbedingt wahrscheinlich ist), zeigt uns eine während der 1990er Jahre im Michaels Verlag<sup>4</sup> erschienene Buchreihe von Preston B. Nichols und Peter Moon. Im ersten Buch (Das Montauk Projekt) geht es um Experimente mit der Zeit und um Bewusstseinskontrolle. Im zweiten Buch (Rückkehr nach Montauk) wird vom Hauptautor Preston Nichols u.a. die These vertreten, die Siliziumtechnologie – und damit der Transistor – sei uns durch "Ausserirdische" überbracht worden. Im dritten Buch (Die Pyramiden von Montauk) geht es um die Verbindung zwischen Mars und Erde – wobei auch okkulte Aspekte zum Zuge kommen. Im vierten und letzten Buch (Die schwarze Sonne) werden Zusammenhänge zum Dritten Reich erörtert. Später erschien ein fünftes Buch (Die Interviews zum Montauk Projekt), in dem auch Al Bialek zu Worte kam, der bereits beim Philadelphia Experiment<sup>5</sup> (1943) eine Hauptrolle eingenommen haben will. Weil die Geschichten von Buch zu Buch bizarrer wurden, hat sich der Schreibende irgendwann vom Inhalt – insbesondere von den ins Okkulte zielenden Aussagen – distanziert. Auch entstand mit dem letzten Buch der Eindruck, dass es sich nur noch um eine Einnahmequelle miteinander wett-eifernder Geschichtenerzähler handelte.

Was aber ist von dieser bizarren Geschichte zu halten?

Den zugänglichen Informationen zufolge hat es bis anfangs der 1980er Jahre in "Camp Hero" – einem nicht länger benötigten Radarstützpunkt bei Montauk auf Long Island – höchstwahrscheinlich Versuche mit modulierten Radarwellen gegeben. Dabei wurden auch psychotronische Übertragungskanäle benutzt. Als *Psychotronik* wird die Verbindung seelischer Prozesse und elektronischer Komponenten bezeichnet, mittels derer die gezielte Übertragung von Informationsmustern auf menschliche Empfänger ermöglicht werden soll. Insbesondere in den Ländern des Ostblocks wurden während des kalten Krieges umfangreiche Versuche dieser Art durchgeführt.<sup>6</sup> Aber auch in den USA wurde mit MKULTRA<sup>7</sup> – einem grossangelegten Geheimprojekt der CIA zur Bewusstseinskontrolle – intensive Forschung in eine ähnliche Richtung betrieben. Im Verlauf der Experimente an zumeist ahnungslosen Probanden wurden auch halluzinogene Substanzen wie LSD und Mescaline eingesetzt.

Dass auch innerhalb der US-Streitkräfte höchst unkonventionelle Forschung stattgefunden hat, wissen wir aufgrund skurriler Experimente unter dem INSCOM<sup>8</sup>-Kommandanten Major General Albert Stubblebine und weiteren Protagonisten, die in das Stargate Project<sup>9</sup> und dessen Vorgängerprojekte involviert waren. Ausser an Remote Viewing übten sich einige der beteiligten Exponenten in mentaler Suggestion. Einmal soll bei einem dieser Versuche sogar eine

---

<sup>4</sup> <https://michaelsverlag.de/>

<sup>5</sup> Gerschitz: Verschlussache Philadelphia-Experiment (Osiris).

<sup>6</sup> Ostrander, Schroeder: PSI (Bertelsmann); Meckelburg: Geheimwaffe PSI (Scherz); Jim Schnabel: Geheimwaffe Gehirn (Bettendorf).

<sup>7</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/MKULTRA>

<sup>8</sup> INSCOM = United States Army Intelligence and Security Command → INSCOM ist mit der defensiven Aufgabe betraut, die Sicherheit elektronischer Systeme der US-Streitkräfte zu gewährleisten.

<sup>9</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Stargate\\_Project](https://en.wikipedia.org/wiki/Stargate_Project)

Ziege tot umgefallen sein.<sup>10</sup> Es besteht folglich durchaus die Möglichkeit, dass Versuche in psychotronischen Fernbeeinflussung durchgeführt wurden. Camp Hero bei Montauk Point wäre dafür aufgrund seiner Abgeschlossenheit ein idealer Ort gewesen.

Preston Nichols zufolge spielten zwei besondere Objekte bei diesen Versuchen eine entscheidende Rolle. Zum einen die als "Delta-T-Antenne" bezeichnete Konstruktion, zum anderen der sog. "Montauk-Chair". Einem im Stuhl befindlichen Probanden namens Duncan Cameron seien Gehirnwellenmuster abgenommen und in Verbindung mit einem Computer der Trägerfrequenz des verwendeten Sage-Radars eingeprägt worden. Dabei sei es zu völlig unerwarteten Effekten – darunter auch Raumzeitanomalien – gekommen. Schliesslich habe sich ein durch die Gedankenkraft des Probanden erzeugtes Monster in verheerender Weise auf dem Stützpunkt manifestiert. Daraufhin seien die Versuche abgebrochen und nicht wieder aufgenommen worden.



Abb. 2: Ausgemustertes Sage-Radar in Camp Hero bei Montauk

Nichols will sich dieser unheimlichen Dinge allmählich bewusst geworden sein. Zuvor sei er einer "Gehirnwäsche" unterzogen gewesen, wobei die relevanten Gedächtnisinhalte über das Montauk-Projekt gelöscht oder zumindest für den bewussten Zugriff blockiert gewesen seien. Schliesslich sei sich Nichols seiner damaligen Funktion als involvierter Projektleiter erneut bewusst geworden.

Bezüglich des Transistors schreibt Preston Nichols in seinem zweiten Buch, dieser sei 1953 in einem Labor von Philco mit Unterstützung nichtmenschlicher Entitäten als Kristallverstärker eingesetzt worden. Bei diesem Transistor habe es sich um einen Surface-Barrier-Transistor (Oberflächensperschichttransistor) gehandelt, der aus dem "ausserirdischen Technologieaustausch" stammte. Zunächst sei sich Nichols unsicher gewesen, was er von dieser Geschichte zu halten habe. Später habe er einen Anruf eines Bekannten bekommen, der ihn zu einer Betriebsbesichtigung bei "Orion Diversified Technologies" (einem Unternehmen, das aus E.T.

---

<sup>10</sup> Ronson: Männer die auf Ziegen starren (Heyne); McMoneagle: Mind Trek (Omega).

Company hervorgegangen sei) ermunterte. Beim Rundgang durch das Werk habe Nichols "buchstäblich Millionen von Surface-Barrier-Transistoren" mit seinen eigenen Augen gesehen und eine Handvoll dieser Halbleiter als Muster mitnehmen dürfen.

Oberflächensperrschicht-Transistor  
(Surface-barrier diffused-base transistor)

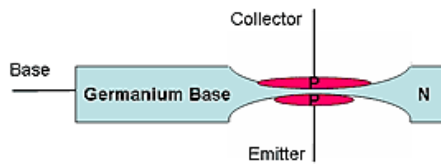


Abb. 3a: Prinzip eines SBDT

Philco Versuchsmuster



Kommerzieller Typ  
(SB 100)



Abb. 3b: Surface-Barrier-Transistoren<sup>11</sup>

Résumé: Als äusserst schwierig bei solchen Geschichten erweist sich der Umstand, dass sich Dichtung und Wahrheit in nur schwer durchschaubarer Weise durchdringen. Plausibel erscheinenden Aussagen stehen höchst unwahrscheinliche Schilderungen gegenüber, so dass der Leser mit einer latenten Unsicherheit umgeben ist. Um sich ein seriöses Bild über das Gesagte zu machen, muss daher zuerst die Spreu vom Weizen getrennt werden. Ansonsten droht Gefahr, bald einmal einer Phantasmagorie zum Opfer zu fallen. Nur wer sich tiefer in die Materie eingräbt, um Pro und Contra gegeneinander abzuwägen kann hoffen, der Wahrheit (oder was der Wahrheit am Nächsten kommt) näher zu kommen. Ein 2004 erstmals ausgestrahlter Dokumentarfilm von Christopher P. Garetano hilft dem Leser dabei.<sup>12</sup>

## 2 Die Erfindung des Transistors

### 2.1 Vorgeschichte der Halbleitertechnik

Historisch betrachtet sind bis zur Erfindung des bipolaren Transistors zwei Phasen zu erkennen.<sup>13</sup>

**Phase 1** → Zwischen 1870 bis 1920 wurden die Eigenschaften der damals bekannten Halbleiterwerkstoffe experimentell erforscht. Silizium wurde bereits 1823 von Berzelius entdeckt, Germanium 1886 von Winkler. Beide Elemente gehören zu den Halbleitern, welche zwischen den Leitern und den Nichtleitern angesiedelt sind. Weitere Stoffe, die zu den "halbleitenden Elementen" gezählt werden, sind Bor, schwarzer Phosphor, Selen und Tellur.

Ferdinand Braun – bekannt als Erfinder der "Braunschen Röhre" – entdeckte anlässlich seiner Untersuchungen des Stromflusses zwischen einem Metall und einem Halbleiterkristall, dass die Stromrichtung von der Polarität der angelegten Spannung bestimmt wurde (Gleichrichter-effekt). Im Jahre 1906 gelang es, den zum Empfang von Radiowellen unerlässlichen "Kohärer" (od. Fritter) durch einen Kristalldetektor zu ersetzen. Die ersten Gleichrichterdioden in den Radios bestanden aus Bleiglanz oder Pyrit und einem anliegenden Metalldraht als Gegenelektrode. Später folgten Germaniumdioden. Diese Vorarbeiten führten schliesslich zur Entwick-

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface-barrier\\_transistor](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface-barrier_transistor)

<sup>12</sup> Garetano: Montauk Chronicles (2014).

<sup>13</sup> <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/transistoren-im-ueberblick>

lung von Kupferoxydulgleichrichtern (1925) und Selengleichrichter (1930) – ohne dass dafür bereits eine geschlossene Theorie der Vorgänge in Halbleitermaterialien vorlag.

Oskar Heil (Erfinder des Klystrons) meldete 1934 ein Patent an, in dem er kapazitiv wirkende Steuerelektroden an Halbleitern vorschlug und damit einen Feldeffekt in Betracht zog.

Walter Schottky – der sich bereits bei der Elektronenröhre verdient gemacht hatte – entwickelte 1938 die Randschichttheorie und damit eine Erklärung für Metall-Halbleiterübergänge. Eine nach Schottky benannte Diode besitzt keinen pn-Übergang, sondern einen Metall-Halbleiter-Übergang – auch als "Schottky-Kontakt" bezeichnet.

Schottky-Dioden – heute als Schichtdioden gefertigt – werden u.a. als Schaltdioden für Hochfrequenzanwendungen und als Gleichrichterdioden in Schaltnetzteilen verwendet.

a) Kristalldetektor  
(in steckbarem Gehäuse)



b1) Ge-Spitzendiode<sup>14</sup>



b2) Moderne Si-Diode



1N4118

c) Selen-Gleichrichter  
(für ein Kofferradio)

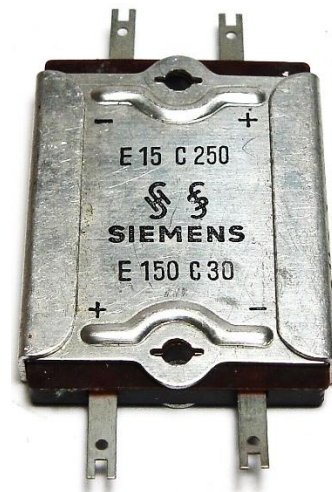


Abb. 4: Gleichrichterdioden

Robert Pohl und Rudolf Hilsch bauten 1938 in Göttingen den ersten funktionsfähigen Festkörperverstärker auf der Basis eines Kaliumbromid-Kristalls. Bereits 1933 hatte Pohl auf die Möglichkeit hingewiesen, Elektronenröhren durch kleine Kristall-Bauelemente zu ersetzen. 1939 konnte Hilsch in seiner Untersuchung zur "Steuerung von Elektronenströmen in Kristallen" zeigen, dass eine Festkörperelektronik möglich ist.

1940 entdeckte Russell Shoemaker Ohl bei seinen Untersuchungen von Halbleiterkristallen – eher zufällig als gesucht – den pn-Übergang in Silizium. Ohl erkannte auch, dass sich der Widerstand bei Lichteinwirkung erheblich verändert. Aus dieser Entdeckung ging die Silizium-Solarzelle hervor.

Résumé: Halbleiter und deren Anwendungen kannte man schon lange vor dem Roswell-Zwischenfall. Doch die komplexen Fertigungsverfahren – darunter die Herstellung von monokristallinen Siliziumscheiben – mussten erst noch entwickelt werden.

**Phase 2** → Der Zweite Weltkrieg führte zu vielfachen Erfindungen im Bereich der Hochfrequenztechnik. Insbesondere das Radar verlangte nach einer ausreichend gesicherten theore-

<sup>14</sup> <https://www.wikiwand.com/de/Spitzendiode>

tischen Grundlage. Im Bereich der Halbleiterdioden für Höchstfrequenzanwendungen mussten zudem industriell beherrschbare Herstellungsverfahren entwickelt werden.

Ab Mitte der 1940 Jahre begann die gezielte Erforschung von Halbleiterstrukturen mit Verstärkereigenschaften. 1942 erhielt das Forschungsteam von Karl Lark-Horovitz an der Universität Purdue von der Militärforschungsbehörde OSRD<sup>15</sup> den Auftrag zur Entwicklung von verbesserten Kristalldetektoren für den Einsatz in Radargeräten. Auch Bell Laboratories war in die militärische Radarforschung involviert.

Nach der Erfindung des Transistors (1947) ging es rasant weiter.

**Phase 3** → Im Dezember 1955 brachte Regency mit Unterstützung von Texas Instruments ein aus vier Transistorstufen bestehendes Pocketradio (TR-1) auf den Markt. Das japanische Unternehmen Tokyo Tsushin Kogyo (Totsuko) – später in Sony umbenannt – folgte 1956 mit einem konkurrenzfähigen Gerät.

Der erste voll mit Transistoren bestückte Computer mit der Bezeichnung TRADIC (Transistor Digital Computer) wurde 1954 unter J. Felker in den Bell Laboratories fertiggestellt. Er bestand aus 684 Transistoren und 10'358 Germaniumdioden.<sup>16</sup>

Bis 1958 waren die theoretischen Grundlagen und die Bereitstellung geeigneter Fertigungstechnologie weitgehend abgeschlossen, so dass der Serienproduktion von Transistoren und integrierten Schaltungen nichts mehr im Wege stand. Zunehmend wurde dabei Germanium durch Silizium ersetzt, das höhere Grenztemperaturen und höhere Sperrspannungen erlaubte.

a) Durch das Czochralski-Ziehverfahren konnten in Verbindung mit dem Zonenschmelzen grössere einkristalline Strukturen hergestellt werden. Aus den in Stangenform gewonnenen Einkristallen (Ingots) wurden anschliessend mit einer Drahtsäge Silizium-Scheiben (Wafer) abgetrennt.

b) Mittels einer Mehrschritt-Ätz- und Aufdampftechnik wurde es ferner möglich, auf einer Siliziumscheibe mehrere hundert Transistoren gleichzeitig herzustellen. Am Ende der Bearbeitungsschritte wurde jeder Transistor durch aufgesetzte Kontakte eines Prüfautomaten auf seine Funktionsfähigkeit geprüft. Defekte Transistoren wurden mit einem Farbpunkt markiert. Anschließend wurde die Scheibe mit Diamanten angeritzt, so dass nach dem Aufbrechen einzelne Transistorzellen vorlagen. Da der Farbstoff, mit dem defekte Teile markiert (geinkt) wurden, eine ferromagnetische Beimischung enthielt, konnten diese mit einem Magneten von den intakten Teilen getrennt werden. Die fehlerlosen Transistoren wurden kontaktiert und in ein Schutzgehäuse eingeschlossen.

---

<sup>15</sup> OSRD = Office of Scientific Research and Development → Eine Behörde der US-amerikanischen Regierung zur Koordinierung der Forschung für militärische Zwecke. Direktor war Vannevar Bush. Die Behördentätigkeit wurde im Dezember 1947 eingestellt.

<sup>16</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/TRADIC>



## 2.2 Der erste Transistor

1) Etwa um dieselbe Zeit (1938) als Schottky seine Spitzendiode entwickelte, arbeitete William Shockley in den Bell Laboratorien an einem elektronischen Schaltelement, das die störanfälligen Relais in den Telefonzentralen ersetzen sollte. Es handelte sich um Grundlagenversuche zur Herstellung eines Feldeffekttransistors mit isolierendem Dielektrikum. Auch der deutsche Physiker Heinrich Welker befasste sich mit nahezu identischen Ideen und Versuchsanordnungen. Zunächst jedoch blieb der ersehnte Erfolg aus.

2) In Aulnay-sous-Bois bei Paris arbeiteten Heinrich Welker und Herbert Franz Mataré nach dem Krieg im Auftrag von CFS Westinghouse<sup>17</sup> an der Herstellung von Germanium-Detektoren, die mit den aus den USA stammenden Sylvania-Detektoren vergleichbar waren. Mataré hatte während des Krieges für Telefunken an Kristall-Duodioden für die Radartechnik geforscht. Im Frühjahr 1947 erfolgte die Patentanmeldung einer derartigen Duodiode unter dem Namen "Push-Pull Konverter". Die Fertigung von Spezialdioden erwies sich aber als schwieriger als erwartet. Aus diesem Grund kam Mataré auf frühere Experimente zurück, bei denen zwei Metallspitzen dicht nebeneinander auf einem Germaniumkristall angebracht wurden. Nach diversen Verbesserungen gelang es zu Beginn des Jahres 1948, eine aktive Stromsteuerung zu realisieren.

Ohne es zu wissen, hatten Welker und Mataré einen "Punktkontakt-Transistor" erfunden. Eine Patentanmeldung in Frankreich erfolgte am 13. August 1948. Die Erfinder sprachen von einem *Transistron*, waren aber nicht in der Lage waren, sich von der Schottky-Theorie weit genug zu lösen, um den Punktkontakt-Transistor korrekt zu erklären. Dies sollte erst den Physikern John Bardeen und Walter Brattain von den Bell-Laboratorien gelingen.

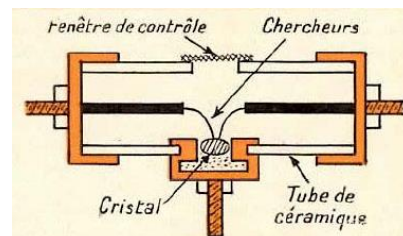
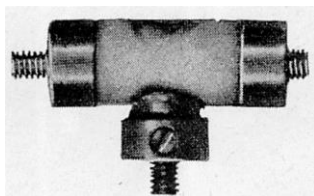


Abb. 5: Transistron (1949)<sup>18</sup>

Nach offiziellen Angaben wurden 1'000 Stück gefertigt; danach erlosch das Interesse des Auftraggebers und es wurden erneut Dioden hergestellt.

3) Offiziell wurde der Bipolartransistor Ende 1947 in den Bell-Laboratorien der "Western Electric Inc." in Murray Hill bei New York erfunden. Das "Halbleiterteam" war interdisziplinär besetzt und bestand aus Experimentalphysikern, Chemikern und Elektronikspezialisten. Chef der Arbeitsgruppe war William B. Shockley. John Bardeen galt als brillanter Theoretiker auf dem Gebiet der Elektronentheorie für Halbleiter. Walter H. Brattain war ein exzellenter Experimentator und für die Anfertigung von Prototypen zuständig.

<sup>17</sup> CFS = Compagnie des Freins et Signaux → 1892 als Zweig des amerikanischen Westinghouse-Konzerns gegründet, löste sich die Firma bald von der Muttergesellschaft.

<sup>18</sup> Christian Adam: The First French Germanium Semiconductors (Colmar, 2011).

Im Dezember 1947 gelang dem Team mit der Modifikation eines ursprünglich auf dem Feldeffekt basierenden Kristallverstärkers der entscheidende Durchbruch.

Auf ein Germanium-Plättchen wurden in geringem Abstand voneinander zwei Metallspitzen angebracht (so wie dies auch Welker und Mataré taten). Durch einen "Formierungsstromstoss" wurde in der Umgebung der beiden Metallspitzen eine Umdotierung des Germaniums und damit die eigentliche Funktionsfähigkeit des "Dreielektrodenkristalls" erzielt. Zur grossen Überraschung der Beteiligten verhielt sich das Bauteil anders als erwartet, so dass das Konzept des Feldeffekttransistors aufgegeben und eine neue Erklärung gefunden werden musste.<sup>19</sup>

Der mit "fliegender Verdrahtung" angeschlossene Punktkontakt-Transistor wurde am 23. Dezember einer kleinen Gruppe in den Bell Labs vorgestellt. Die Versuchsergebnisse wurden am 25. Juni 1948 in der Zeitschrift "Physical Review" veröffentlicht.

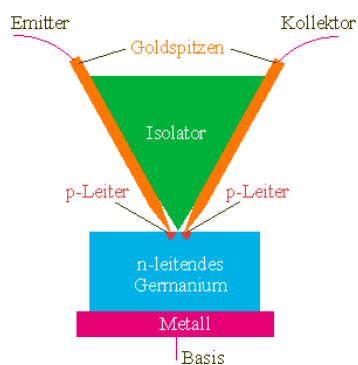


Abb. 6: Konstruktionsprinzip des ersten Transistors

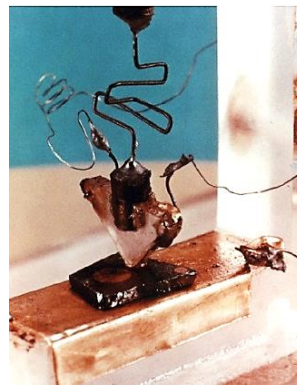


Abb. 7: Versuchsanordnung

Das Erfindertrio blieb nach seinem Erfolg nicht lange zusammen. Bardeen ging 1951 an die Universität von Illinois. Shockley gründete 1956 in Kalifornien das "Shockley Semiconductor Laboratory" von Beckman Instruments. Nur Brattain arbeitete bis zur Pensionierung in Murray Hill.

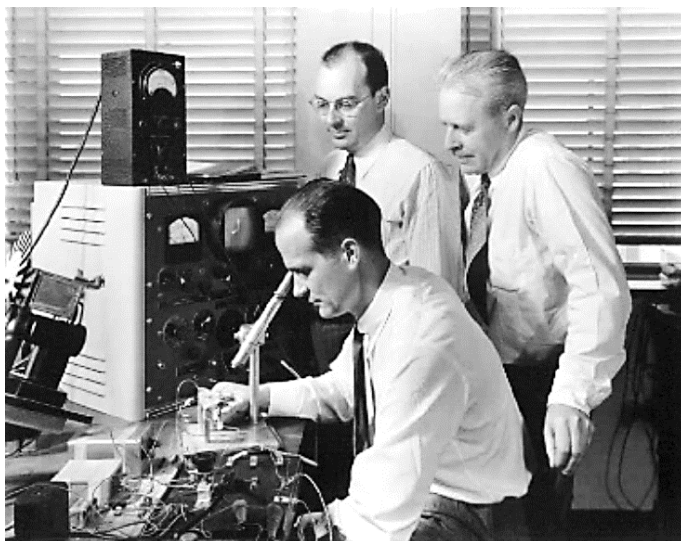


Abb. 8: Erfinder des Transistors<sup>20</sup>

Bardeen (mit Brille), Shockley (sitzend) und Brattain (rechts).

<sup>19</sup> US-Patent 2524035

<sup>20</sup> <http://it-spots.de/category/geschichte/2-computergeneration/>

Ende 1956 trafen sich die offiziellen Erfinder des Transistors in Stockholm, um den Nobelpreis in Physik "für ihre Untersuchungen über Halbleiter und ihre Entdeckung des Transistoreffekts" entgegenzunehmen. Bardeen erhielt 1972 einen zweiten Nobelpreis für seine Forschungen zur Supraleitung.

Mataré und Welker – und damit der "deutsche Transistor" – wurden bei der Vergabe des Nobelpreises nicht erwähnt. 1952 gründete Mataré in Düsseldorf die Firma Intermetall, die Halbleiterdioden und Transistoren produzierte. Erst spät (2008) kam Mataré für seine inzwischen sechzig Jahre zurückliegende Arbeit – Walker war bereits 1981 verstorben – die gebührende Würdigung zuteil, als ihm im Ehrensaal des Deutschen Museums der Ehrenring der Eduard-Rhein-Stiftung überreicht wurde.

### 3 Transistorentwicklung

#### 3.1 Bipolare Transistoren

Im Zuge eines rasanten Technologiewandels wurde der aus dem Punktkontakt-Transistor hervorgegangene Spitzentransistor durch den von Shockley bereits 1948 konzipierten Flächentransistor abgelöst, der auf zwei pn-Übergängen basierte. Shockley beschrieb den neuen Typ als einen aus drei Schichten bestehenden "Sandwich-Transistor". Die beiden äußeren Schichten (Emitter, Collector) waren n-leitend, die mittlere Schicht (Basis) p-leitend.

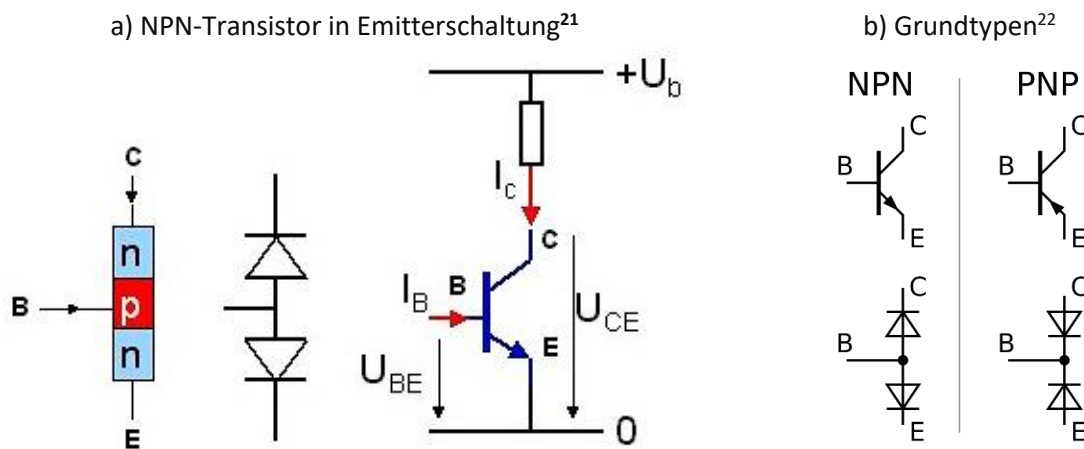


Abb. 9: Bipolartransistor

Ein funktionsfähiger NPN-Flächentransistor – ermöglicht durch die Arbeiten von Gordon Teal und Morgan Sparks bei Bell Labs – konnte am 20. April 1950 vorgestellt werden.

1951 begann bei "Western Electric" die Großserienproduktion von Transistoren. Die ersten Transistoren bestanden aus Germanium als Grundmaterial. Die ersten Siliziumtransistoren wurden 1954 von Morris Tanenbaum und Ernst Buehler (Bell Labs) hergestellt. Ausser in der Hochfrequenztechnik werden heute nur noch Siliziumtransistoren benötigt, weil mit diesen eine grössere Leistung erzielbar ist.

<sup>21</sup> <https://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/elektronik/V12.html>

<sup>22</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Bipolartransistor>

Der Flächentransistor wurde in den folgenden Jahren zur Standardversion und verdrängte sukzessive die Elektronenröhre. Nebst Legierungstransistoren (1952 von General Electric entwickelt) entstanden Oberflächensperrschichttransistoren (1953 bei Philco entwickelt) und Diffusionstransistoren (1954 bei Bell Labs entwickelt).



Abb. 10: Siliziumtransistoren<sup>23</sup>

Anfangs der 1960er Jahre folgten der Mesa-Transistor, der Planartransistor und darauf der Epitaxialtransistor. Einzeltransistoren werden heute meist in Epitaxial-

Planar-Bauweise hergestellt. Mit dem Planartransistor (bei dem Diffusions- oder Implantationsverfahren zur Herstellung der Emitter- und Kollektorbereiche genutzt werden) verschwanden die Legierungstransistoren. Das Ende der Fahnenstange war damit aber noch lange nicht erreicht.

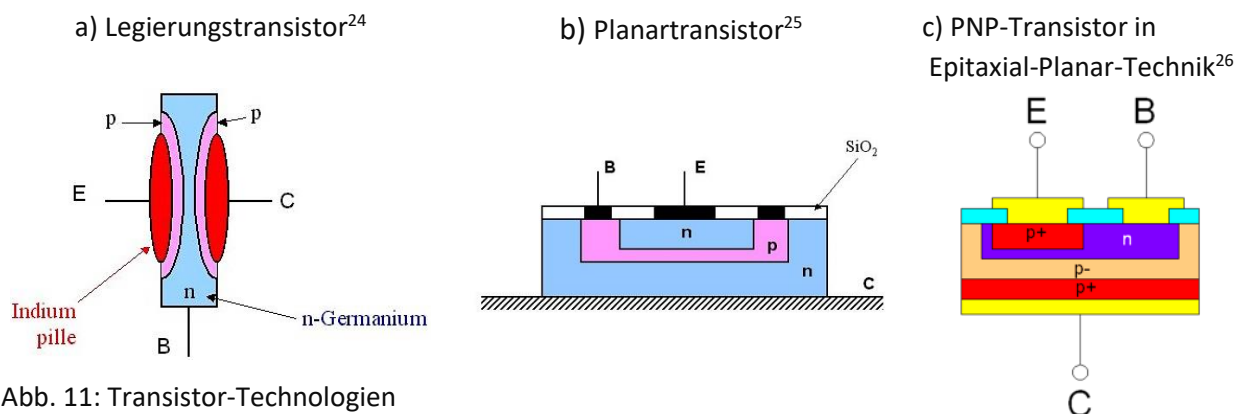


Abb. 11: Transistor-Technologien

Anm.: Seit den 1960er Jahren hat der Industriell-militärische Komplex in den USA eine immer grössere Bedeutung erlangt. In abgeschirmten Labors wird intensiv an High-Tech-Produkten gearbeitet von denen der Zivilist nichts ahnt. Erwähnt seien die in der Flug- und Raumfahrt tätigen "Phantomworks" (Boing)<sup>27</sup> und "Skunkworks" (Lockheed Martin)<sup>28</sup>, die als zivile Ansprechpartner in enger Kooperation mit der DARPA<sup>29</sup> arbeiten und in zahlreiche Geheimprojekte eingebunden sind. So wurde der F-117A Nighthawk – um eines von vielen Beispielen zu nennen – in den 70er Jahren von Lockheed unter dem Codenamen "Have Blue" entwickelt und in der Area 51 (Dreamland) im Bundesstaat Nevada testgefliegen. Die Existenz der Maschine wurde vom US-Verteidigungsministerium erst 1988 bestätigt.

<sup>23</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Transistor>

<sup>24</sup> <https://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/elektronik/V12.html>

<sup>25</sup> Ebenda

<sup>26</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Bipolartransistor>

<sup>27</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing\\_Phantom\\_Works](https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_Phantom_Works)

<sup>28</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Skunk\\_Works](https://en.wikipedia.org/wiki/Skunk_Works)

<sup>29</sup> DARPA = Defense Advanced Research Projects Agency → Eine Behörde des US-Verteidigungsministeriums, die Forschungsprojekte für die Streitkräfte der Vereinigten Staaten durchführt.

### 3.2 Feldeffekttransistoren

#### 3.2.1 Sperrschicht-Feldeffekttransistoren

Feldeffekttransistoren (FET) sind unipolare Transistoren, bei denen ein elektrisches Feld den Stromfluss zwischen Source (S) und Drain (D) steuert. Dazu muss am Gate (G) – abhängig vom jeweiligen Typ – eine positive oder negative Steuerspannung anliegen.

Das Feldeffekt-Prinzip wurde bereits Jahrzehnte zuvor durch Lilienthal (1925) und Heil (1934) beschrieben. Damals standen aber noch keine geeigneten Fertigungsverfahren zur Verfügung, so dass es zunächst bei der Theorie blieb. Erst mit der Silizium-Halbleitertechnologie gelang es gegen Ende der 1950er Jahre, erste Versuchsmuster herzustellen.

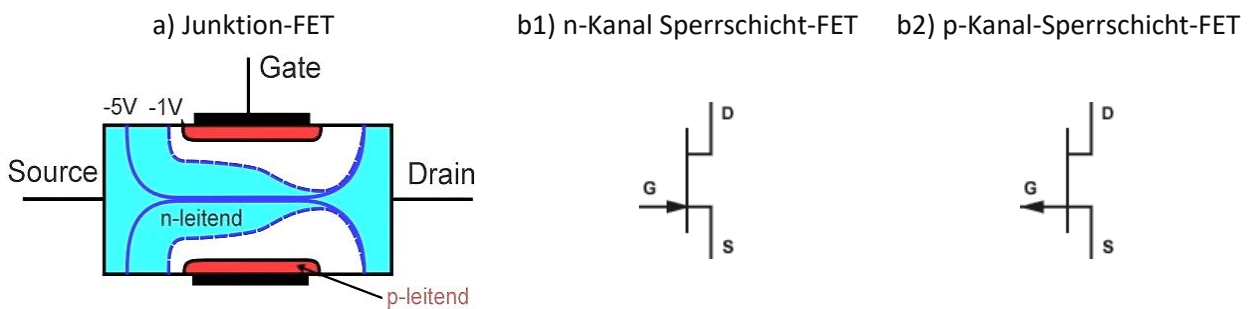


Abb. 12: Sperrschicht-FET<sup>30</sup>

Sperrschicht-FETs (JFET) werden in Messverstärkern, Konstantstromquellen, Schaltstufen und Oszillatoren eingesetzt. Ein beträchtlicher Vorteil ist der grosse Eingangswiderstand ( $\geq 10 \text{ M}\Omega$ ), woraus wie bei der Röhren-Triode eine leistungslose Steuerung resultiert.

#### 3.2.2 Isolierschicht-Feldeffekttransistoren

Während in den Anfängen der Transistortechnik der bipolare Transistor (BJT) grosse Verbreitung als Verstärkerbauteil in Radio- und Fernsehapparaten fand, kamen in der Digitaltechnik zunehmend MOSFETs<sup>31</sup> zum Einsatz. Diese zu den Feldeffekttransistoren gehörenden Isolierschicht-FETs eignen sich hervorragend als elektronische Schalter. In modernen Mikroprozessoren kommen sie in millionenfacher Vielzahl vor.

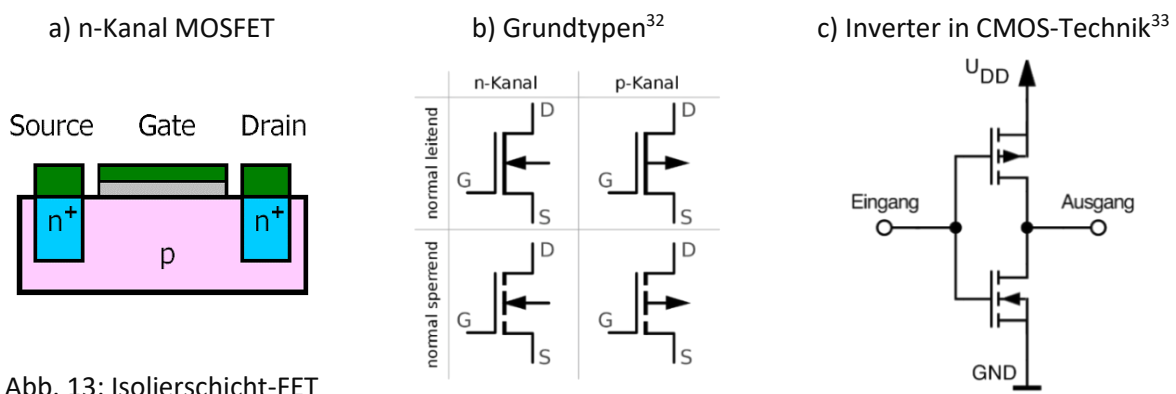


Abb. 13: Isolierschicht-FET

<sup>30</sup> <https://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/elektronik/V12.html>

<sup>31</sup> MOSFET = Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

<sup>32</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor>

<sup>33</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary\\_metal-oxide-semiconductor](https://de.wikipedia.org/wiki/Complementary_metal-oxide-semiconductor)

Die Herstellung von MOSFETs begann 1962, als die benötigten Fertigungsverfahren und Werkstoffe zur Verfügung standen. Taschenrechner, Digitaluhren, Camcorder und Smartphones – um einige Anwendungen zu nennen – wären ohne diese Technologie undenkbar.

### 3.3 Leistungstransistoren

#### 3.3.1 Darlington-Transistoren

Werden zwei Bipolare Transistoren in einem gemeinsamen Gehäuse derart zusammenschaltet, dass der erste Transistor als Emitterfolger mit der Basis des zweiten verbunden ist, so entsteht ein Darlington-Transistor. Diese Schaltung wurde 1952 von Sidney Darlington in den Bell Laboratories erfunden.

- a) NPN-Typ mit Schutzbeschaltung      b) Kurzsymboll      c) PNP Darlington im TO-3 Gehäuse

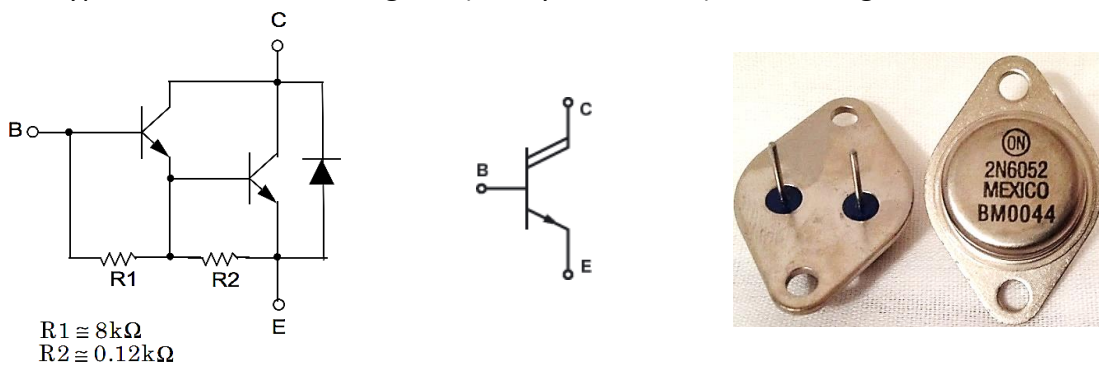


Abb. 14: Darlington-Transistor

Meist sind Schutzdioden und Widerstände integriert; darauf ist beim Ausmessen zu achten, um nicht zu falschen Resultaten zu gelangen. Die Gesamtverstärkung entspricht dem Produkt der Einzelverstärkungen und erreicht Werte von  $B = 1'000$ . Aufgrund der höheren Phasenverschiebung als bei Einzeltransistoren eignen sich Darlington-Transistoren in der Regel nicht für Hochfrequenzanwendungen.

#### 3.3.2 IGBTs

Als IGBTs<sup>34</sup> werden Bipolartransistoren mit isoliertem Gate bezeichnet.

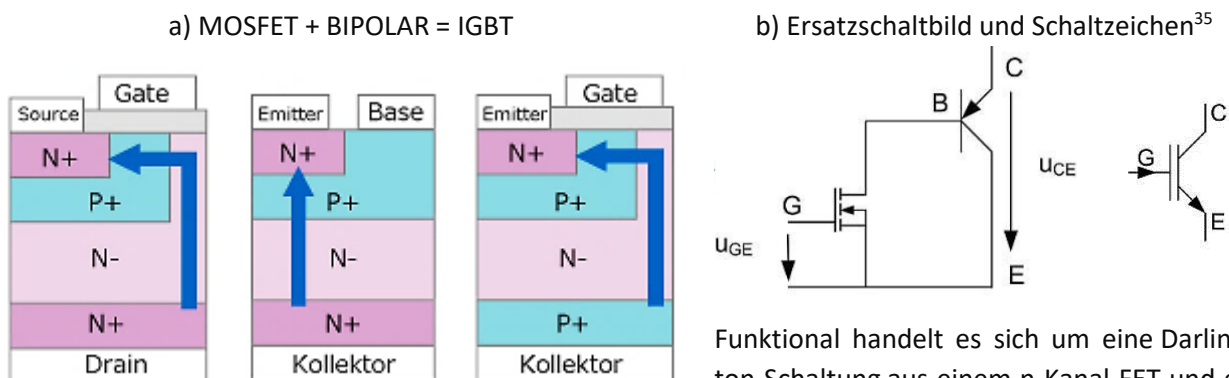


Abb. 15: Bipolartransistor mit isoliertem Gate

Funktional handelt es sich um eine Darlington-Schaltung aus einem n-Kanal-FET und einem pnp-Transistor.

<sup>34</sup> IGBT = Insulated-Gate Bipolar Transistor

<sup>35</sup> M. Schulz: Wie funktioniert ein Insulated Gate Bipolar Transistor? (Elektronikpraxis, März 2019).

Dieser Transistortyp vereint die Vorteile des Bipolartransistors (gutes Durchlassverhalten, hohe Sperrspannung) mit denen des Feldeffekttransistors (nahezu leistungslose Ansteuerung).

IGBTs werden in der Leistungselektronik (Frequenzumrichter, Wechselrichter, Gleichstromsteller) eingesetzt.

### 3.3.3 Power-MOSFETs

Power-MOSFETs sind Halbleiterbauteile zum Leiten und Sperren grosser Ströme und Spannungen. Als Leistungshalbleiter arbeiten sie nach dem gleichen physikalischen Prinzip wie die in integrierten Schaltungen verwendeten MOSFETs, sie unterscheiden sich aber durch andere geometrische Formen und Dimensionen.



Abb. 16: Power-MOSFET

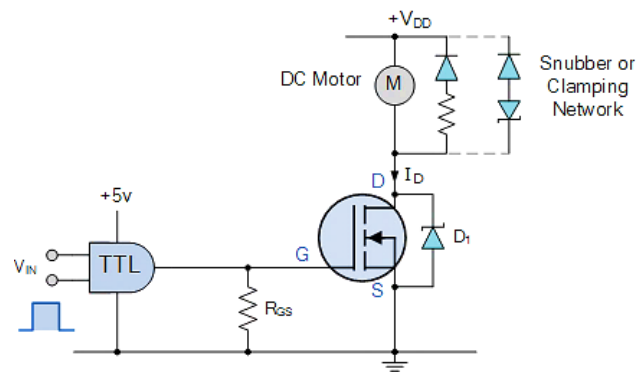


Abb. 17: Power-MOSFET als Motor-Controller<sup>36</sup>

Power-MOSFETs werden in Verstärkerschaltungen und als schnelle Schalter bei Pulsweitenmodulation verwendet und kommen in Wechselrichtern und Schaltnetzteilen zum Einsatz. Weiterentwicklungen führten zu FETs mit VMOS-Struktur, HEXFETs, SIPMOS- und LDMOS-Transistoren.

## 4 Steuerbare Gleichrichter

Es wurde nicht nur an Transistoren geforscht, sondern auch an Dioden. Längst bekannt waren Spitzendioden und Germaniumdioden für den Hochfrequenzbereich. Später wurde der Selen-gleichrichter in Netzteilen und Ladegeräten durch Siliziumdioden abgelöst.

In einem nächsten Schritt wurden steuerbare Gleichrichterventile (SCR<sup>37</sup>) entwickelt, um Thyratrons, Ignitrons und Quecksilberdampfgleichrichter zu ersetzen. Es folgten der Diac (ein kontaktloser Schalter für kleine Ströme) und der Triac (ein steuerbarer kontaktloser Wechselstromschalter).

### 4.1 Thyristoren

Der Thyristor wurde 1957 bei General Electric erfunden und erwies sich neben Diode und Transistor als wichtigstes diskretes Bauelement der Elektronik.

Heutzutage werden Thyristoren für kleine Leistungen in Gleichstromstellern und Netzteilen

<sup>36</sup> <https://www.electronics-tutorials.ws/de/transistoren/mosfet-als-schalter.html>

<sup>37</sup> SCR = Silicon Controlled Rectifier

bis zu solchen im MW-Bereich für Tiegelöfen in Giessereibetrieben oder der Traktion von Lokomotiven gefertigt.

#### 4.1.1 P-Gate-Thyristor

Die rückwärtssperrende Thyristortriode – kurz als Thyristor bezeichnet – ist ein Einkristall-Halbleiter mit vier Halbleiterschichten wechselnder Dotierung und damit 3 pn-Übergängen.

Am Häufigsten ist der P-Gate-Thyristor anzutreffen. Wird das kathodenseitige Gate mit einem positiven Spannungspuls von ca. 5 V angesteuert, so zündet der Thyristor, um in den leitenden Zustand überzugehen. Bei Unterschreiten des Haltestromes sperrt der Thyristor. Als elektronischer Schalter ist dieses Bauelement vielseitig einsetzbar.

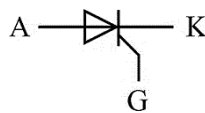
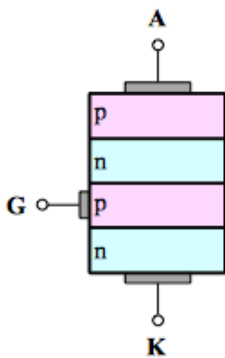
Wird das Gate nicht benutzt, so funktioniert der Thyristor wie eine Vierschichtdiode, die bei einer definierten Durchbruchspannung leitend wird.

a) Schichtaufbau

b) Schaltzeichen

c1) Thyristor

c2) Leistungsthyristor



24 A, 1'200 V



200 A, 1'600 V

Abb. 18: Thyristoren (SCR)

In HGÜ-Anlagen<sup>38</sup> werden Scheibenthristoren für einen DC-Dauerstrom von 4'500 A und einer Sperrspannung von 8'500 V eingesetzt.



Abb. 19: Wassergekühlte Scheibenthristoren (2 kA, 10 kV)<sup>39</sup>

<sup>38</sup> HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung → dient der elektrischen Energieübertragung über grosse Distanzen.

<sup>39</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Thyristor>



### 4.1.2 GTO-Thyristor

Der GTO-Thyristor<sup>40</sup> ist ein abschaltbarer Thyristor. Die Dotierung der Schichten ist stark unsymmetrisch. Gezündet wird dieser Typ mit einem positiven Stromimpuls, abgeschaltet mit einem negativen Stromimpuls am Steuereingang. Der Abschaltstrom beträgt bis 30 % des Laststromes.

GTO-Thyristoren werden in Stromrichtern und Umrichtern, insbesondere für die Traktion bei Lokomotiven, eingesetzt. Heute werden sie immer mehr durch IGBTs verdrängt und nur noch bei sehr hohen Leistungen verwendet.

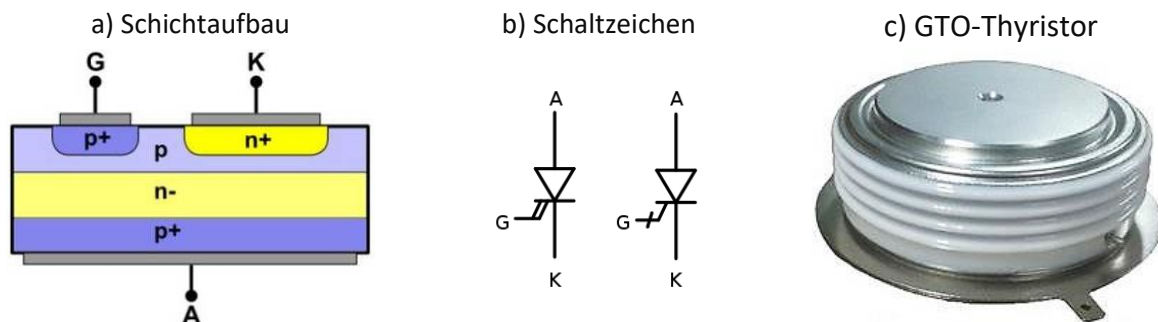


Abb. 20: GTO-Thyristor

### 4.1.3 Weitere Typen

Eine Weiterentwicklung des GTO-Thyristors ist der MCT.<sup>41</sup> Im Unterschied zum GTO-Thyristor wird der MCT spannungsgesteuert geschaltet; daher lässt sich die Zündelektronik wesentlich einfacher realisieren.

Ein wichtiger Entwicklungsschritt im Jahr 1997 bei Siemens (Infineon) war die Einführung der direkten Lichtzündung. Bei dieser Technologie wird der LTT<sup>42</sup> durch einen kurzen Lichtimpuls mit einer Wellenlänge von 900 bis 950 nm gezündet.

## 4.3 TRIACs

Mit zwei antiparallel zusammengeschalteten Thyristoren lässt sich Wechselspannung beliebig schalten. Werden die ansonsten getrennten Elemente auf einem Substrat mit gemeinsamer Steuerelektrode gefertigt, so entsteht ein Triac.<sup>43</sup>

Der Opto-Triac (auch Foto-Triac genannt) besteht aus zwei antiparallel angeordneten Foto-Thyristoren, die optisch eingeschaltet werden. Anstelle der Steuerelektrode wird eine integrierte Leuchtdiode verwendet. Damit erübrigt sich ein Optoppler zwischen Steuer- und Leistungsteil.

Triacs werden für Phasenanschnittsteuerungen (Dimmer, Softstarter, Drehzahlsteller von AC-Motoren) und als Solid-State-Relais für Lastkreise (Heizungen, Glühöfen) verwendet.

<sup>40</sup> GTO = Gate turn off

<sup>41</sup> MCT = MOS Controlled Thyristor

<sup>42</sup> LTT = Light Triggered Thyristor

<sup>43</sup> Triac = Triode for Alternating Current

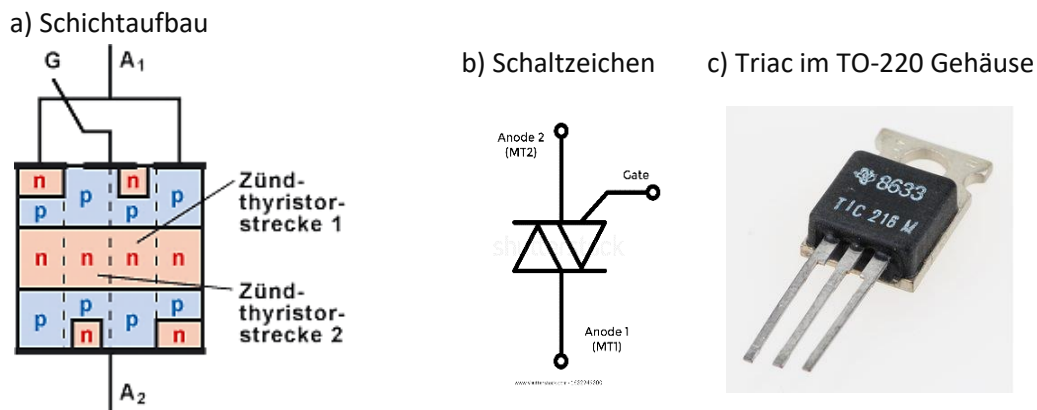


Abb. 21: Triac (Wechselstromsteller)<sup>44</sup>

## 5 Photohalbleiter

### 5.1 Leuchtdioden

Die 1962 erstmals auf den Markt gelangenden Leuchtdioden (LEDs<sup>45</sup>) – auch als Lumineszenzdioden bezeichnet – wurden zunächst als Leuchtanzeige und zur Signalübertragung eingesetzt.

Anm.: Unter *Lumineszenz* versteht man die optische Strahlung eines physikalischen Systems, die beim Übergang von einem angeregten Zustand in den Grundzustand entsteht. *Phosphoreszenz* ist die Eigenschaft eines Stoffes, nach einem Beleuchten mit Licht im Dunkeln nachzuleuchten. Aus dem angeregten Zustand erfolgt ein strahlungloser Übergang auf ein metastabiles Niveau. Von dort erfolgt unter Aussendung eines im sichtbaren Bereich befindlichen Photons die Rückkehr in den Grundzustand. *Fluoreszenz* ist die spontane Emission von Licht beim Übergang eines kurzzeitig angeregten Systems über einen Zwischenzustand in den Zustand niedrigerer Energie.

LEDs werden in Durchlaßrichtung betrieben. Die Lichtemission erfolgt durch Rekombination von Ladungsträgern nach erfolgter Ladungsträgerinjektion.



Abb. 22: Leuchtdioden<sup>46</sup>

Abhängig von der chemischen Zusammensetzung strahlen Lumineszenzdioden über das gesamte Spektrum (von UV, farbigem Licht bis zu IR).

- rotes Licht: Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs)
- gelbes Licht: Galliumarsenidphosphid (GaAsP)

<sup>44</sup> <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0411081.htm>

<sup>45</sup> LED = Light-Emitting-Diode

<sup>46</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode>

- grünes Licht: Galliumphosphid (GaP)
- blaues Licht: Indiumgalliumnitrid (InGaN)

Inzwischen werden LEDs auch als Leuchtmittel verwendet (damit haben sie die unwirtschaftliche Glühlampe definitiv abgelöst). Das weiße Licht wird durch additive Farbmischung erzeugt.

Ersichtliche Vorteile gegenüber Glühlampen:

- Stoss- und vibrationsfest
- Geringe Einschaltverzögerung
- Lange Lebensdauer

## 5.2 Photodioden und Phototransistoren

### 5.2.1 Photodioden

a) Photodioden werden in Sperrrichtung betrieben und dienen zur Detektion von UV-Licht, sichtbarem Licht und IR-Licht. Sie kommen u.a. als Belichtungsmessern in Digitalkameras zum Einsatz.

a) Universal-Fotodiode (TO-39)  
350 nm bis 820 nm

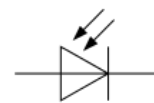


Abb. 23: Photodioden

b) PIN-Photodiode (TO-18)  
350 nm bis 1'100 nm



c) Schaltzeichen



Betrieb in Sperrrichtung

Photodioden werden aus Elementhalbleitern (Silizium, Germanium) oder aus Verbindungshalbleitern (Indiumgalliumarsenid, Cadmium-Sulfid) hergestellt und in unterschiedlichen Bauformen angeboten.

### 5.2.2 Phototransistoren

Phototransistoren gehören zu den Bipolartransistoren. Der pn-Übergang der Basis-Kollektor-Sperrschicht ist hier für Fremdlicht zugänglich ist. Dieses Bauelement ist prinzipiell mit einer Photodiode mit angeschlossenem Verstärkertransistor zu vergleichen.

a) BPW77NA



b) BY62



c) Schaltzeichen



NPN-Typ



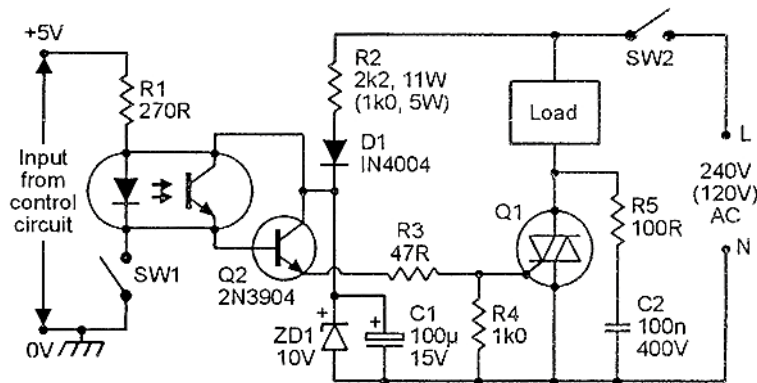
PNP-Typ

Abb. 24: Phototransistoren

Fototransistoren sind wesentlich empfindlicher als Photodioden, weil sie gleichzeitig als Verstärker wirken. Anwendung finden sie beim Detektieren von Licht (Lichtschranken, Dämmerschalter, Optokoppler).

### 5.3 Optokoppler

Wird eine Leuchtdiode (Sender) zusammen mit einem Phototransistor (Empfänger) in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut, so entsteht ein Optokoppler. Dieses Bauelement wird dazu benutzt, um zwei Schaltkreise mit unterschiedlichem Spannungspegel zu verbinden.



4-fach Optokoppler  
im DIL-Gehäuse



Abb. 25: Optokoppler als galvanische Trennstelle zwischen Steuer- und Lastteil<sup>47</sup>

Die ersten Optokoppler wurden 1963 von Ivars G. Akmenkalns bei IBM entwickelt. Es handelte sich um resistive Optokoppler mit einem Glühlämpchen als Sender und einem Fotowiderstand als Empfänger, welche in ein Metallgehäuse eingebaut wurden. 1977 wurden die Glühlämpchen durch Leuchtdioden ersetzt. Anstelle des Photowiderstandes wurden später Phototransistoren verwendet.

## 6 Die Erfindung integrierter Schaltkreise

Aus der bereits fortgeschrittenen Herstellungstechnologie vieler Einzeltransistoren auf einer zusammenhängenden Siliziumscheibe, die im letzten Bearbeitungsschritt in ihre Teile aufgetrennt wurde, entstand der Gedanke, einzelne Transistoren sowie Widerstände und Kondensatoren zu einer grösseren Einheit zu verbinden. Das war die Geburtsstunde der integrierten Schaltkreise (IC's).

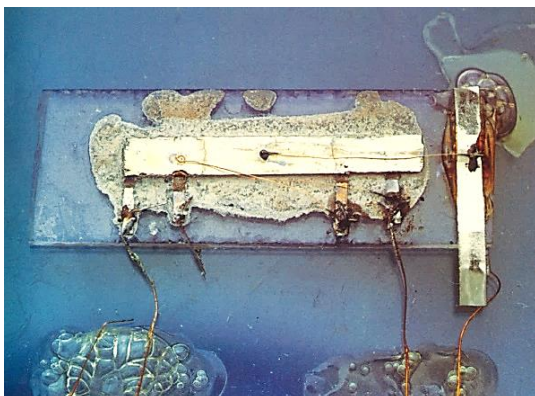


Abb. 26: Integrierte Schaltung von Kilby (1958)

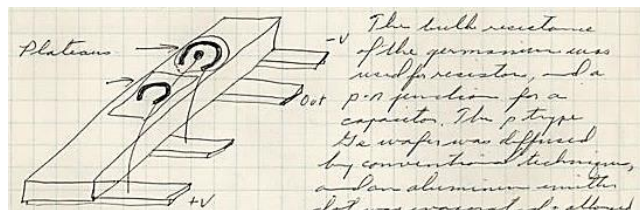


Abb. 27: Auszug aus Kilbys Laborbuch.<sup>48</sup>

Kilbys integrierte Schaltung (Solid circuit) bestand aus 1 Transistor, 1 Kondensator und 3 Widerständen auf einem Germanium-Chip.

<sup>47</sup> [https://www.nutsvolts.com/magazine/article/triac\\_principles\\_and\\_circuits\\_part\\_1](https://www.nutsvolts.com/magazine/article/triac_principles_and_circuits_part_1)

<sup>48</sup> Bildquelle: Computer History Museum

1) Bereits 1949 erfolgte durch den bei Siemens angestellten Physiker Werner Jacobi eine Patentanmeldung für einen Halbleiterverstärker, der aus fünf Transistoren und einem als Träger dienenden Halbleitersubstrat bestand. Diese Erfindung darf mit Fug und Recht als erste integrierte Schaltung bezeichnet werden. Jacobi erblickte darin eine Anwendung für Hörgeräte, die klein, leicht und kostengünstig fabriziert werden konnten. Eine kommerzielle Verwertung fand aber noch nicht statt.<sup>49</sup>

2) In den USA baute Jack Kilby von Texas Instruments 1958 die erste integrierte Schaltung (zunächst als *Solid Circuit* bezeichnet). Bereits ein Jahr später erschien in integrierter Form ein Flipflop (TI 502). Später konstruierte Kilby den Thermodrucker und den Taschenrechner. Seit 1970 arbeitete er als freier Erfinder.

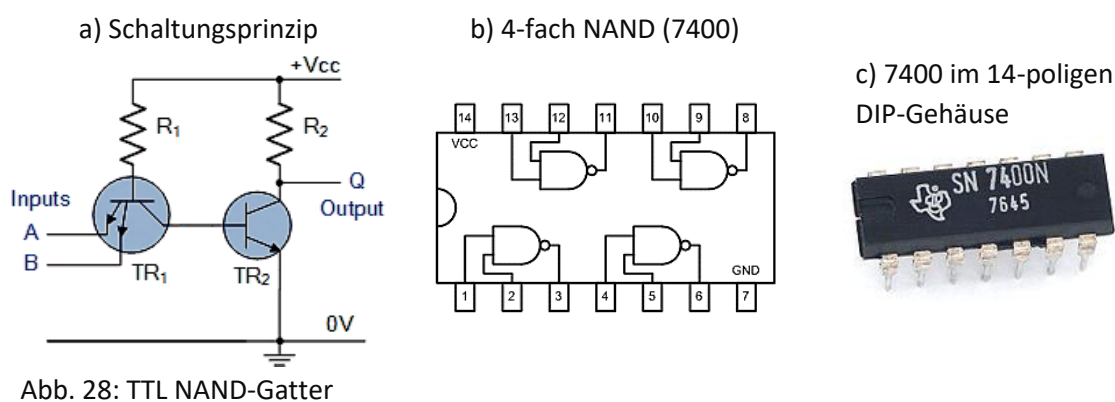
3) Unabhängig von Kilby dachte auch Robert Noyce an integrierte Schaltungen. 1957 – nach einem Zerwürfnis mit dem im Umgang nicht einfachen Shockley – gründete Noyce mit Schicksalsgenossen die Halbleiterfirma Fairchild Semiconductor in Mountain View. Shockley bezeichnete die Abtrünnigen als "Traitorous Eight" (verräterische Acht).

1959 war der integrierte Schaltkreis funktionsfähig. Im Unterschied zu Kilby benutzte Noyce als Ausgangsmaterial Silizium. Und während Kilby die einzelnen Bauteile durch Drähte verband, ätzte Noyce die Schaltung direkt in den Silizium-Chip. Dieses als *Planartechnik* bezeichnete Verfahren setzte sich durch und wurde zur Grundlage der modernen Chip-Produktion. Im Juni 1959 beantragte Fairchild ein Patent für diesen integrierten Schaltkreis. Nach einem langwierigen Streit mit Texas Instruments wurde schliesslich eine Einigung erzielt.

1968 verliessen Noyce und Gordon E. Moore die Firma Fairchild und gründeten mit Andy Grove zusammen Intel (Integrated Electronics). Dieser Schritt war der Startschuss einer noch unglaublicheren Technologieentwicklung.

## 6.1 Transistor-Transistor-Logik

Zunächst wurden aufgrund des grossen Bedarfs der Industrie nach preiswerten Steuerungskomponenten digitale integrierte Schaltkreise hergestellt. Mitte der 1960er Jahre kamen TTL-Logikbausteine<sup>50</sup> der 74xx-Reihe mit Bipolartransistoren auf den Markt.



<sup>49</sup> Oft wird dem britischen Elektronikingenieur Geoffrey Dummer die Erfindung des integrierten Schaltkreises zugeschrieben – obwohl dessen Arbeit erst 1952 veröffentlicht wurde.

<sup>50</sup> TTL = Transistor-Transistor-Logik

NAND-Bausteine wie der 7400 sind vielseitig einsetzbar. Aus ihnen lassen sich UND- und ODER-Gatter und auch RS-Flip-Flops bilden.

TTL-Gatter wurden vor dem Aufkommen der Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) in Werkzeugmaschinen und Produktionsanlagen anstelle der vielen Relais eingesetzt.

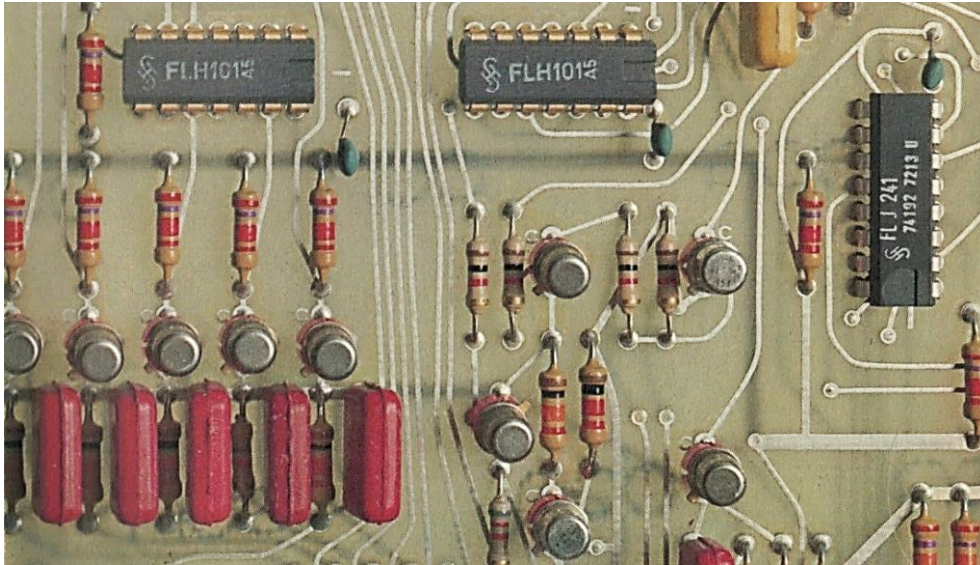


Abb. 29: Mit Logik-Bausteinen bestückte Leiterplatte<sup>51</sup>

Ausser kombinatorischer Logik wurde bald einmal sequentielle Logik (Schieberegister, Zählerbausteine usw.) benötigt.

## 6.2 CMOS-Logik

Ein weiterer Entwicklungsschritt führte 1970 zu den CMOS-Bausteinen der 40xx-Reihe mit selbstsperrenden MOSFETs. Aufgrund der möglichen Betriebsspannungen zwischen 3 V bis 15 V und des niedrigen Leistungsbedarfs sind diese Bauteile vielseitig einsetzbar. Werden in einer Schaltung CMOS- und TTL-IC's eingesetzt, ist eine Versorgungsspannung von 5 VDC nötig.

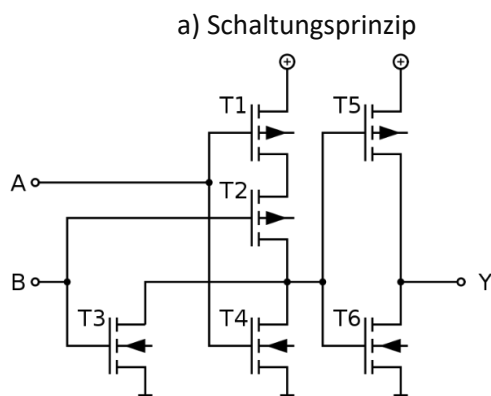
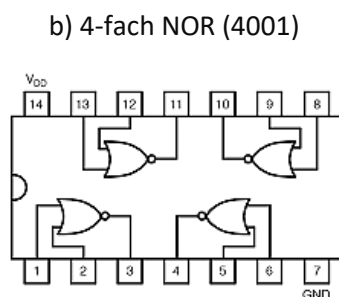


Abb. 30: CMOS OR-Gatter



c) CD 4001 im 14-poligen DIP-Gehäuse



<sup>51</sup> Haug, Bühler: Elektronik für Elektroberufe (Verlag "Elektrotechnik", Aarau).

Mit dem CMOS 4093 (einem Vierfach-Nand-Schmitt-Trigger) – um ein einschlägiges Beispiel zu nennen – lassen sich zahlreiche Grundschaltungen realisieren, darunter Oszillatoren (AMV), Sensor-, Meß- und Alarmschaltungen.<sup>52</sup>

Die Entwicklung schritt weiter voran. Nebst programmierbarer Logik (PAL, GAL) kamen Halbleiterspeicher (ROM, RAM, EPROM) auf den Markt. Die ersten Halbleiterspeicher wurden 1968 in MOS-Technologie vorgestellt und hatten eine Integrationsdichte von 200 Flipflops auf einem Chip. 1969 fertigte Intel den ersten 1KB RAM. Es folgten CPLDs und FPGAs. Mit der Markteinführung des Intel 4004 Mikroprozessors im Jahr 1971 und des Intel 8080 drei Jahre später wurde eine Entwicklung ausgelöst, die einzigartig war und den Bau von IBM-PCs ermöglichte usw. usw. Die folgende Grafik verdeutlicht diesen exponentiellen Anstieg, der in den 1970er Jahren als "Moore's Law" bekannt wurde.

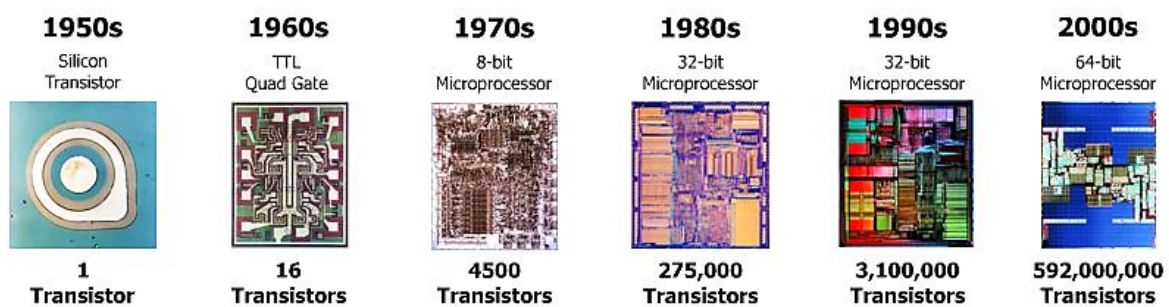


Abb. 32: Halbleiterentwicklung<sup>53</sup>

### 6.3 Analoge Schaltkreise

1964 gelang Fairchild die erste integrierte Anlogschaltung; dabei handelte es sich um den Operationsverstärker  $\mu$ A 702. Bereits ein Jahr später gelangte der mit 14 Transistoren und 15 Widerständen ausgestattete  $\mu$ A 709 auf den Markt.

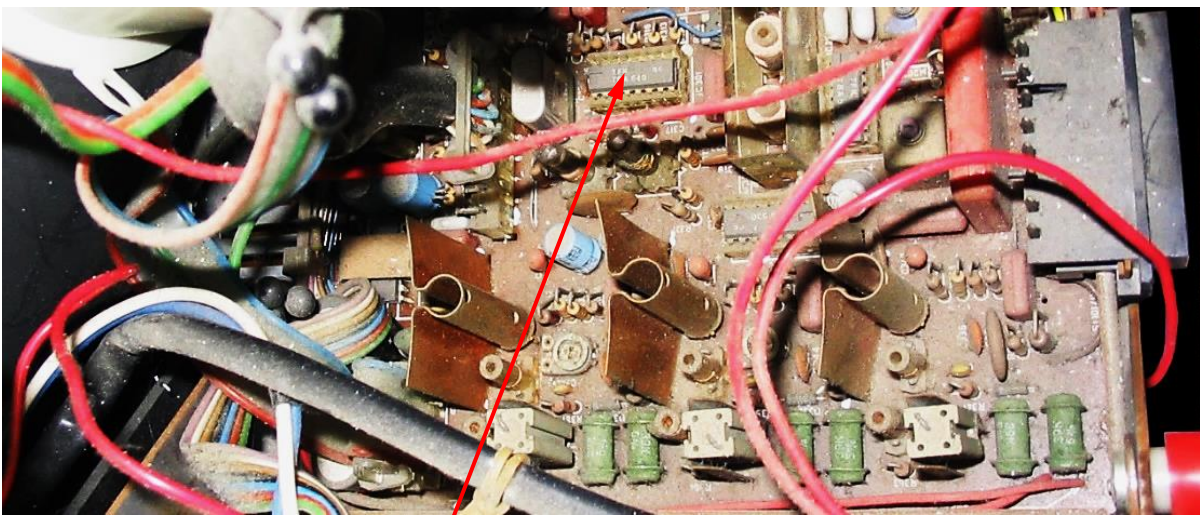


Abb. 31: IC in einem PALcolor 614 von Telefunken<sup>54</sup>

<sup>52</sup> Ufermann: CMOS-Bauanleitungen (Franzis).

<sup>53</sup> <https://impulsesee.wordpress.com/2017/08/24/evolution-of-transistors-2/>

<sup>54</sup> <http://bs.cyty.com/menschen/e-etzold/archiv/TV/telefunken/palcolor614.htm>

Im Verlauf der 1970er Jahre verbauten auch die Hersteller von Farbfernsehern zunehmend analoge ICs wie bspw. den Color-Baustein TAA 630 von Valvo.<sup>55</sup>

Ausser OP-Amp's wurden in der Folge Komparatoren, Multivibratoren, Diodengeneratoren, Analog-Digital-Wandler etc. in integrierter Schaltungstechnik benötigt. Hinzu kamen analoge Rechenbausteine wie Multiplizierer, Dividierer, Radizierer.

Die heutigen Digital-TV-Geräte mit Flachbildschirm enthalten zwei bis drei Platinen mit hochintegrierten Schaltkreisen, welche in SMD-Technik gefertigt sind. Ausgeklügelte Reparaturen wie bei den früheren Bildröhrengeräten sind damit nur noch eingeschränkt möglich. Mit dieser technologisch bedingten Reduktion auf wenige und hochkomplexe integrierte Schaltkreise schwindet das vielfältige Wissen des einstigen Fernsehetechnikers auf Nimmerwiedersehen. Ausser den in Forschung und Entwicklung tätigen Ingenieuren weiss heutzutage kaum mehr einer über die eigentliche Funktionsweise von TV-Geräten oder Camcordern Bescheid.

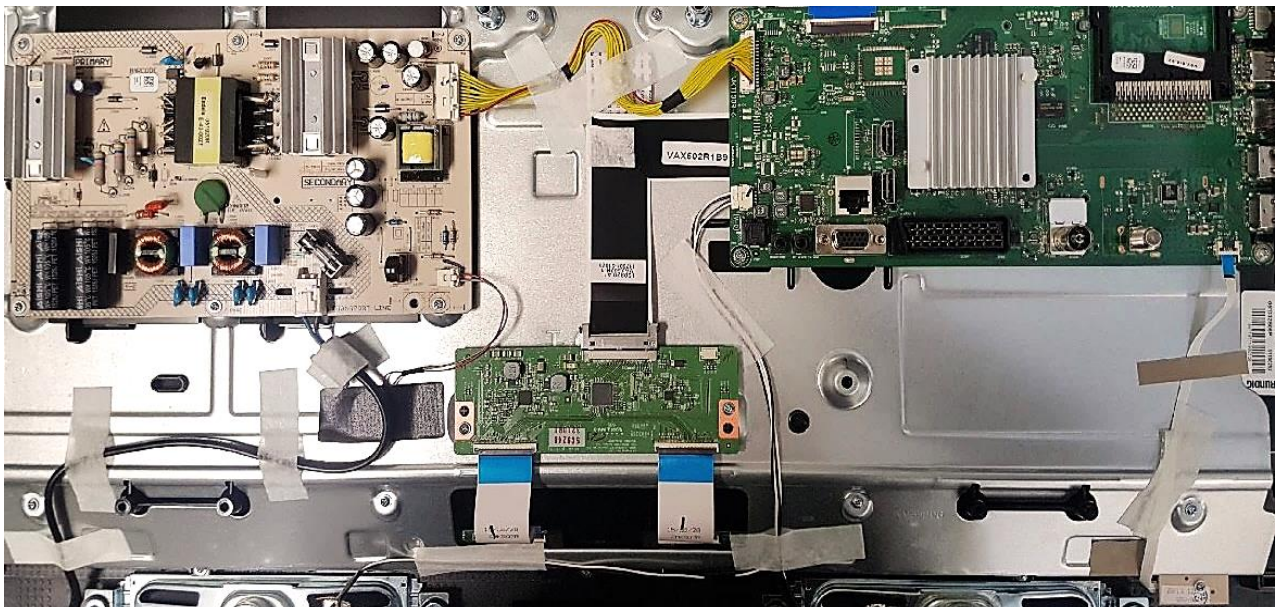


Abb. 33: Backplane eines LCD-TV <sup>56</sup>

Anm.: Die rückläufige Wissenstendenz spiegelt sich auch in den Lehrberufen. Als der Schreibende zu Beginn der 1970er Jahre seine Ausbildung begann, hiess der Beruf in der Schweiz "Radio- und Fernsehelektriker". Eigentlich hätte es von Beginn weg "Radio- und Fernsehelektroniker" heissen müssen. Abgesehen vom Antennenbau bestand das Geräteumfeld ja aus analoger und zuletzt auch digitaler Elektronik. Später folgte der "Audio- und Videoelektroniker" und dabei hätte man es belassen sollen. Heute lautete die Berufsbezeichnung "Multimediaelektroniker". Diese hochtrabende Namensgebung vermag nicht darüber hinwegzutäuschen, dass die Wissenstiefe drastisch reduziert wurde und nur noch wenige Berührungspunkte zum früheren Radio- und Fernsehelektroniker vorhanden sind. Der Multimediaelektroniker ist ein Generalist, dem es am nötigen Tiefgang fehlt! Wer von den Nachwuchsfachkräften weiss noch, was ein Amplitudensieb oder ein Fensterdiskriminator oder eine Klemmschaltung ist – um nur ein paar der einschlägigen Begriffe zu nennen? Und vermutlich hat während der Lehrzeit keiner einen Wobbler oder einen Signalverfolger einsetzen

<sup>55</sup> <http://www.fernsehmuseum.de/neues-grundig-chassis-1972.html>

<sup>56</sup> <https://www.tv-nagel.de/grundig-duesseldorf-tv-reparatur-/index.html>



müssen.

Résumé: Der anfänglich durch die militärische Erforschung des Roswell-Incidents bewirkte Technologietransfer durchdrang bald auch die zivile Forschung – ohne dass diese Infiltration den in die Weiterentwicklung der Halbleitertechnik involvierten Ingenieuren bei IBM, Hughes Aircraft oder Bell Labs in irgend einer Weise bewusst war. General Trudeau's Vorhaben einer gezielten Auswertung der in seinem Tresor enthaltenen Objekte und deren sorgfältige Einstreueung in zivile Unternehmen war durch Col. Phil Corso erfolgreich umgesetzt worden.

Eines sollte dem unbefangenen Leser inzwischen bewusst geworden sein: Transistoren und integrierte Schaltungen wurden uns nicht von Aliens als Geschenk überbracht. Als menschliche Errungenschaften entstammen sie den Gehirnen rastloser Erfinder und Visionäre, unter ihnen Physiker, Chemiker, Elektroingenieure und Autodidakten. Unbestritten ist ferner, dass die Halbleitertechnik auf Drängen der US-Regierung zu den westlichen Bündnispartnern gelangte. Dazu beigetragen hatten auch zwei in den Jahren 1951 und 1952 von den Bell Labs veranstaltete Symposien zur Transistortechnik mit internationaler Beteiligung.

## 7 Die Erfindung des Lasers

Der erste funktionsfähige LASER<sup>57</sup> entstand 1960 in einem Labor der "Hughes Aircraft Company" in Culver (Kalifornien). Es handelte sich um einen Rubinlaser, der rote Lichtblitze emittierte. Gebaut wurde dieses optoelektronische Gerät von Theodore Maiman und seinem Assistenten Charles Asawa. Zuvor hatte sich Maiman mit dem MASER<sup>58</sup> befasst. Nun sollte das von Charles H. Townes für Mikrowellen angewandte Wirkprinzip auch für optische Strahlung genutzt werden.

Die Beschreibung des Rubinlasers reichte Maiman zunächst bei den "Physical Review Letters" ein, die jedoch eine Veröffentlichung ablehnten. Die Fachzeitschrift "Nature" dagegen akzeptierte das Manuskript und veröffentlichte einen verkürzten Text im August 1960. Ein US-Patent wurde 1967 erteilt. Seinen früheren Arbeitgeber hatte Maiman aufgrund fehlenden Interesses an seiner Arbeit bereits 1962 verlassen, um eine eigene Firma zu gründen.

### 7.1 Geschichtlicher Exkurs

Zusammen mit seinem Studenten James P. Gordon und dem Post-Doc Herbert Zeiger entwickelte der Physiker Charles H. Townes im Jahr 1953 einen Ammoniak-Maser. Die Idee für einen Festkörper-Maser hatte Nicolaas Bloembergen 1956, die erste Realisierung gelang Derrick Scovil noch im selben Jahr. Ab 1957 befasste sich Townes (zusammen mit Schawlow) mit der Frage, ob der Maser auch im sichtbaren Spektrum funktionieren könnte.

Joseph Weber – bekannt durch seinen Gravitationswellendetektor – hatte zur selben Zeit wie Townes das MASER-Prinzip beschrieben. Weber verfolgte seinen Ansatz aber nicht weiter und baute auch keinen Maser. In Anerkennung seiner Verdienste wurde er 1958 zu einem Fellow

---

<sup>57</sup> LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

<sup>58</sup> MASER = Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

des IRE (Institute of Radio Engineers) ernannt und erhielt im selben Jahr einen Preis der Washington Academy of Science.

1957 demonstrierte Chihiro Kikuchi in Willow Run den ersten Rubin-Maser, der den Anstoss dafür gab, das Mineral Rubin als aktives Medium für einen Laser zu verwenden. Während Arthur L. Schawlow jedoch davon ausging, dass Rubin aufgrund seiner optischen Eigenschaften nicht als laseraktives Medium geeignet sei, verfolgte Theodore Maiman bei Hughes Research Lab. die Idee weiter und realisierte mit dem Rubin-Laser im Mai 1960 die erste Laserstrahlquelle.

Im selben Jahr, als Maiman den Rubinlaser zum Laufen brachte, bauten Norman Ramsey und seine Mitarbeitern den ersten Wasserstoff-Maser, dessen Frequenz mit der 21 cm Linie der Radioastronomie korrespondiert. Wasserstoff-Maser werden u.a. in Atomuhren verwendet.

In einem älteren SPIEGEL Artikel war zu lesen, dass der Physiker Gordon Gould Ende 1957 sein Notizbuch von einem Notar in der Bronx beglaubigen liess. In diesem Buch war auf 15 Seiten das LASER-Prinzip inkl. Formeln und Skizzen beschrieben. Weil Gould damals der irrtümlichen Meinung war, ein Patent werde ihm nur erteilt, wenn er ein funktionierendes Gerät vorweisen könne, unterliess er eine Anmeldung ans Patentamt. Der Physiker Charles Townes war in dieser Hinsicht gescheitert und veröffentlichte 1958 die erste Arbeit über Laser in der Fachzeitschrift "Physical Review". Später erkannte Gould seinen Irrtum. Daran schloss sich ein langjähriger Rechtsstreit an, der erst dreissig Jahre später ein Ende fand, indem ein Gericht festlegte, dass Gould Rechte an der Erfindung zustanden. Im Washingtoner Hotel Hyatt griff der spät rehabilitierte Erfinder zum Füllfederhalter und unterschrieb seinen ersten Lizenzvertrag von über 1,2 Millionen Dollar.<sup>59</sup>

Offensichtlich war Maiman nicht der erste, dem das LASER-Prinzip bekannt war; aber er war der erste, der einen funktionsfähigen Laser baute. Einen Nobelpreis erhielt er nicht.

## 7.2 Das LASER-Prinzip

Grundlage des LASER-Prinzips ist die von Albert Einstein Jahrzehnte zuvor beschriebene *stimulierte Emission*<sup>60</sup> in Verbindung mit einer *Besetzungsinversion*. Die Inversion ist eine Abweichung vom thermischen Gleichgewicht und muss durch geeignete Energiezufuhr sowie durch Leerung der unteren Energieniveaus in den davon betroffenen Atomen (resp. Cr-Ionen beim Rubinlaser) erzeugt werden.

Anm.: Rubin und Saphir bestehen zum Grossteil aus Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – auch als Korund bekannt. Ausser dem noch wesentlich härteren Diamant gehören sie zu den härtesten Mineralien. Rubine enthalten etwas Chrom, Saphire etwas Eisen und Titan. Der Anteil der  $\text{Cr}^{+++}$  Ionen soll bei den für Laserzwecke benötigten Rubinkristallen nicht mehr als 0,05 Gewichtsprozent betragen. Bei natürlichen Rubinen ist der Cr-Anteil in der Regel grösser. Aus dem Punplicht absorbiert der Rubinkristall die blauen und grünen Spektralanteile, welche die Cr-Ionen zu einer stimulierten Emission anregen.

---

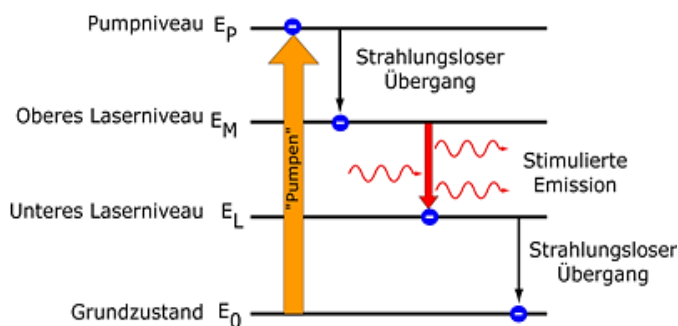
<sup>59</sup> Wer erfand den Laser? (Der Spiegel 49/1987).

<sup>60</sup> Einstein: Zur Quantentheorie der Strahlung (1917).

Jedes Atom ist von Natur aus bestrebt, den energetisch niedrigsten Zustand einzunehmen, so dass ohne äussere Energiezufuhr auf den unteren Energieniveaus stets eine wesentlich grössere Anzahl von Elektronen anzutreffen ist. Durch gezielte Energiezufuhr (sog. Pumpen) kann eine Umbesetzung (Besetzungsinversion) erreicht werden, so dass auf dem höheren Energieniveau schliesslich mehr Elektronen anzutreffen sind als auf dem tiefen.

Wird einem gebundenen Elektron Energie zugeführt, indem es ein Photon absorbiert, so geht es in einen angeregten Zustand ( $E_p$ ), um dann durch spontane Emission in den Grundzustand ( $E_0$ ) zurückzugelangen. In der älteren Literatur ist von einem "Quantensprung eines Elektrons" die Rede. Das aus unterschiedlichen Energieniveaus hervorgehende Licht ist vielfarbig und inkohärent und daher ungeeignet für eine Laserquelle.

Stimulierte Emission (auch induzierte Emission genannt) tritt ein, wenn ein angeregtes Elektron zuerst in einen metastabilen Zustand ( $E_M$ ) übergeht und ein weiteres Photon eintrifft. Dadurch fällt das Elektron aus dem metastabilen Zustand auf ein tieferes Energieniveau ( $E_L$ ). Nach diesem Prinzip emittiert das Chrom-Ion zwei Photonen mit derselben Wellenlänge, Phasenlage und Richtung; das dabei erzeugte Licht ist monochrom und kohärent.



Das als "optisches Pumpen" bezeichnete Phänomen wurde 1950 von Alfred Kastler entdeckt, der 1966 für seine Entwicklung neuer spektroskopischer Verfahren den Nobelpreis für Physik erhielt.

Abb. 34: Termschema eines Vier-Niveau-Laser<sup>61</sup>

Bei dem als Drei-Niveau-Laser arbeitenden Rubinlaser handelt es sich um einen optischen Resonator nach dem Prinzip von *Fabry-Perot*. Der Abstand der reflektierenden Spiegel muss ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge betragen, damit sich im Resonator eine stehende Welle ausbildet.

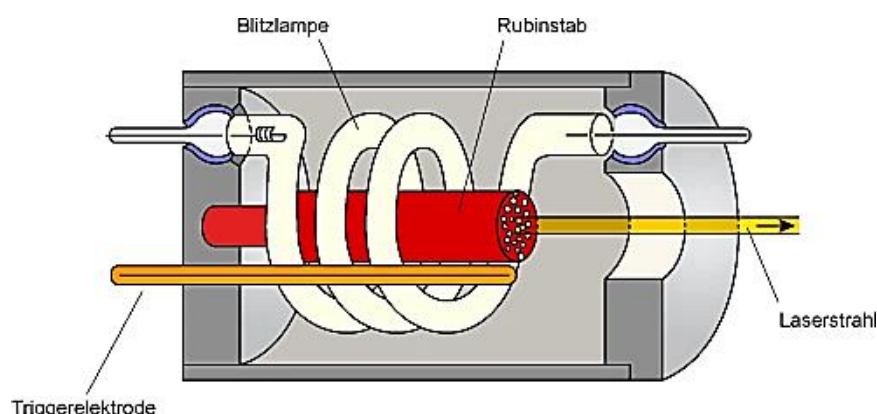


Abb. 35: Konstruktionsprinzip eines Rubinlasers<sup>62</sup>

<sup>61</sup> <https://kompendium.infotip.de/anorganische-leuchtdioden.html>

<sup>62</sup> <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-18-01983>

Zum Pumpen benutzte Maiman eine Blitzlampe als "Weisslichtquelle". In den ersten Geräten wurde eine schraubenförmige Gasentladungsröhre verwendet auf deren Längsachse sich ein beidseitig verspiegelter Rubinstab befand. Das eine der beiden Stabenden war mit einem teildurchlässigen Spiegel bedeckt. In modernen Nachbauten wird das Licht einer oder mehrerer stabförmiger Lampen durch einen elliptischen Spiegel auf den Rubinzylinder fokussiert. Die durch das Pumpen im Gleichtakt freigesetzten Lichtquanten wurden an den Spiegeln so lange reflektiert, bis ein monochromatischer und scharf gebündelter Strahl mit einer Wellenlänge von 694,3 nm den teildurchlässigen Spiegel verliess. Strahlen, die nicht parallel zur optischen Achse verliefen, verliessen den Resonator bereits nach wenigen Reflexionen.

Eine konkrete Anwendung war damals noch nicht in Sicht (eine Lösung, die ihr Problem sucht, soll Maiman lakonisch gesagt haben) – das sollte sich aber bald ändern.

### 7.3 Laserapplikationen

Nach dem Rubinlaser wurden sukzessive weitere Typen entwickelt, darunter:

- **Gas-Laser** (Atome, Moleküle, Ionen) → Stickstoff, Argon, Helium-Neon, Wasserstoff, Kohlendioxid u.a.m.
- **Metалldampf-Laser** → Kupfer-, Blei-, Quecksilberdampf u.a.m.
- **Excimer-Laser** → Chlor, Fluor in Edelgasen (Halogenide)
- **Festkörper-Laser** → Cr:Rubin, Titan:Saphir, Nd:YAG u.a.m.
- **Halbleiter-Laser** (Diodenlaser) → Gallium-Arsenid, Zink-Selenid, Gallium-Nitrid
- **Farbstoff-Laser** (Dye Laser) → organische Farbstoffe (Rhodamine) in Lösungen

Heutzutage kommen Laser in den verschiedensten Formen als Festkörper-, Flüssigkeits- und Gaslaser und für unterschiedlichste Zwecke zum Einsatz, darunter:

- zum Schneiden von Metallplatten
- zum Beschriften von Gläsern
- als Abtaster in CD-Playern und Videorecordern
- als Detektoren für Strichcodes
- als Reflexlichtschranken
- als chirurgische Laserskalpelle
- als Laserpointer usw.

Dem Rubinlaser kommt heute nur noch eine historische Bedeutung zu. Der inzwischen wichtigste Festkörperlaser ist der Neodymlaser (Nd:YAG-Laser<sup>63</sup>), welcher 1964 von LeGrand Gerard Van Uitert und Joseph E. Geusic in den Bell Laboratories entwickelt wurde.

Mit dem Aufkommen von Laserdioden eröffneten sich neue Anwendungszweige. An der Entwicklung waren viele Wissenschaftler unterschiedlicher Firmen beteiligt. Eine diesbezügliche

---

<sup>63</sup> Nd:YAG = Neodym-YAG-Laser → Neodym-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser.

Idee von 1953 stammte von John von Neumann.<sup>64</sup>

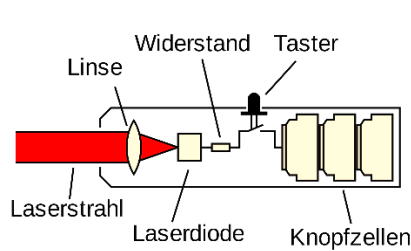


Abb. 36: Laserpointer<sup>65</sup>

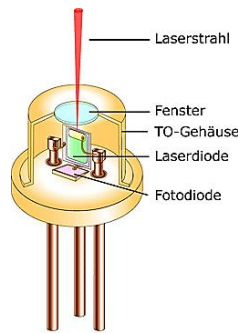


Abb. 37: Laserdiode<sup>66</sup>

Aus physikalischer Sicht interessant ist der Grünlichtlaser, bei dem die infrarote Strahlung eines ND:YAG-Lasers (1'060 nm) durch Frequenzverdoppelung in grünes Licht umgewandelt wird. Dazu werden die nicht-linearen Eigenschaften von KTP (Kaliumtitanatphosphat) genutzt.

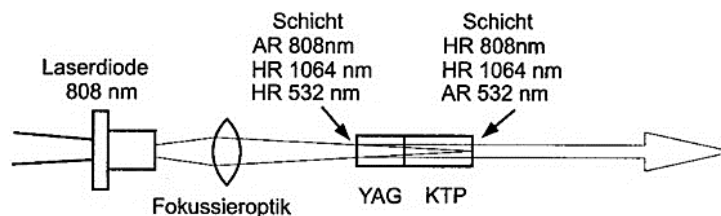


Abb. 38: Prinzip des grünen Laserpointers

Nebst KTP wird häufig auch KDP (Kaliumdihydrogenphosphat) zur Frequenzverdopplung eingesetzt. Dieser nichtlineare Kristall ist piezoelektrisch, durchsichtig und negativ einachsiger Doppelbrecher. Dazu kommt: Ist der einfallende Strahl (Grundfrequenz) ein ordentlicher Strahl, so entsteht die 2. Harmonische als ausserordentlicher Strahl.

Résumé: Auch der LASER in all seinen Facetten war das Ergebnis einer jahrzehntelangen Forschung und letztlich ein Geschenk der Quantenmechanik. Einen starken Auftrieb empfing die technologische Entwicklung zudem durch das in den 1960er Jahren stattfindende Raumfahrtprogramm der USA. Ausserirdische waren nicht im Spiel.

1) Spätestens hier stösst der aufmerksame Leser auf eine unauflösbare Diskrepanz zu Phil Corsos eigener Geschichte. Corso will die Hochtechnologie aus dem Roswell-Zwischenfall im Auftrag von General Trudeau bis in die Privatwirtschaft getragen haben. Nun ist es aber so, dass die Transistortechnik bis zu Corsos Tätigkeit für Trudeau, die von 1961 bis 1963 dauerte, bereits in voller Blüte stand. Viele Firmen in den USA und in Europa stellten zu Beginn der 1960er Jahre Dioden und Transistoren her.

2) Dasselbe lässt sich zu integrierten Schaltkreisen sagen. Bereits 1949 konstruierte Jacobi bei Siemens eine integrierte Schaltung, die aber noch keine grössere Beachtung fand. 1958 folgte Kilby von Texas Instruments mit einem integrierten Schaltkreis auf Germaniumbasis. Und bereits 1959 gelang Noyce bei Fairchild die Fertigung der ersten integrierten Schaltung in Sili-

<sup>64</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserdiode> → Neumann: Notes on the photon-disequilibrium-amplification scheme (1953).

<sup>65</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Laserpointer>

<sup>66</sup> <https://kompendium.infotip.de/anorganische-leuchtdioden.html>

ziuplanartechnik.

3) Selbst auf den Laser trifft Corsos Erinnerung nicht zu. Der von Maiman bei Hugh Aircraft gebaute Rubinlaser entstand 1960, nachdem Gould und Townes die theoretischen Aspekte gegen Ende der 1950er Jahre beschrieben hatten und bereits etliche Forscher in den USA und in der Sowjetunion an der Realisierung eines Lasers arbeiteten.

Fazit: Mit Corsos Schilderung der Ereignisse kann offensichtlich etwas nicht stimmen! Der Schreibende fragt sich, weshalb Corso einen derartigen Kardinalfehler beging. Diente Corsos Buch etwa einer bevorstehenden Offenlegung der US-Regierung oder war es nur ein weiterer Versuch der Geheimdienste, die Wahrheit durch ein Konglomerat von Lüge und Wahrheit zu verschleiern? Wir wissen es nicht und Corso können wir nicht mehr befragen. Er verstarb ein Jahr nach der Veröffentlichung seines Buches.

## 8 Schlusswort

Auf welche Weise Wissenschaftler gelegentlich zu ihren Erkenntnissen gelangen, ist eine äusserst interessante Frage, die hier nur angerissen werden kann.

1) Erinnerung sei bspw. an August Kékule, den Entdecker des Benzolrings.

Ich versank in Träumereien. Da gaukelten vor meinen Augen die Atome. Ich hatte sie immer in Bewegung gesehen, jene kleine Wesen, aber es war mir nie gelungen, die Art ihrer Bewegung zu erlauschen. Heute sah ich, wie vielfach zwei kleinere sich zu Pärchen zusammenfügten; wie grössere zwei kleine umfassten, noch grössere drei und selbst vier der kleinen festhielten, und wie sich Alles in wirbelndem Reigen drehte. Ich sah, wie grössere eine Reihe bildeten und nur an den Enden der Kette noch kleinere mitschleppten...<sup>67</sup>

Zweifellos spielen Träume, Eingebungen und Geistesblitze ab und zu eine Rolle bei Entdeckungen und Erfindungen. Ist einem Künstler ein besonders gediegenes Werk gelungen, sagt man, die Muse habe ihn geküsst. Die Römer sprachen vom "Genius", als ein im Menschen wohnendes göttliches Wesen. Bei den Griechen war es der "Daimon", der den Menschen in seinem Charakter und Handeln beeinflusste und ungewöhnliche Eingebungen ermöglichte.

2) Oder Teslas Vision des Drehfeldes im Angesicht der Abendsonne bei einem Spaziergang im Budapester Stadtpark, währenddem der Visionär einige Worte aus Goethes Faust rezitierte.

Sie rückt und weicht, der Tag ist überlebt.  
Dort eilt sie hin und fördert neues Leben.  
Oh, dass kein Flügel mich vom Boden hebt.  
Ihr nach und immer nach zu streben!

Diesen visionären Moment hielt Tesla in seiner Erinnerung mit den Worten fest:

Als ich noch die letzten Worte sprach, in Gedanken versunken, da kam mir die Idee wie ein Blitzschlag. In einem einzigen Moment sah ich sie voll entwickelt und perfekt vor mir.<sup>68</sup>

Es dauerte noch einige Zeit, bis Tesla einen funktionsfähigen Mehrphasenmotor – als Vor-

<sup>67</sup> Quelle: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (1890).

<sup>68</sup> M. Krause: Wie Nikola Tesla das 20. Jahrhundert erfand (WILEY-VCH).

läufer des modernen Drehstrommotors – bauen konnte. In den USA nahm seine Vision aus dem Budapester Stadtpark – nun unterstützt von Westinghouse – endlich Gestalt an. Seither hat der Mehrphasenmotor jeden erdenklichen Anwendungsbereich erobert und ist nicht mehr wegzudenken aus der modernen Technik.

3) Oder der Physiker Gordon Gould, der als erster einen LASER beschrieben hatte. Im Schlaf, so Gould, sei ihm 1957 die Lösung für das Problem aufgeblitzt. Während zwei aufeinanderfolgenden Nächten füllte der Erfinder sein Notizbuch mit Formeln und Zeichnungen für eine Apparatur, die es ermöglichen sollte, Lichtquanten zu einem kohärenten und eng gebündelten Strahl zu formen.

Fazit: Gesetzt den Fall, es gäbe eine subtile Interaktion zwischen Menschen und einer im Verborgenen agierenden Intelligenz, so müssen wir uns irgendwann die Frage stellen, wozu dies alles geschieht. Oder wie der Lateiner sagt: Qui bono – wem zum Vorteil?

Wenn wir die Technologieentwicklung seit dem zweiten Weltkrieg betrachten, ist in der Tat ein roter Faden erkennbar. Offensichtlich soll durch die fortschreitende Digitalisierung eine globale Umgestaltung zuvor bewährter Strukturen geschaffen werden mit dem Ziel, das Individuum jederzeit durch ein gleichartiges ersetzen zu können, also letztlich eine "uniforme Menschheit" zu erzeugen. In den angelsächsischen Ländern ist diese Tendenz besonders gut zu erkennen. Und was dort gang und gäbe ist, übernehmen die Europäer über kurz oder lang. Ein Grossteil der Mittelschicht hat einen Bachelor, treibt immerzu Fitness, ernährt sich vegan, achtet auf eine gendergerechte Sprache. Und beinahe alle Menschen, selbst Schulkinder, besitzen ein Smartphone. Ohne Smartphone wird ein Mensch zum Aussenseiter. Schnelle Transaktionsabwicklung und Informationsbeschaffung und somit geeignete Kommunikationsgeräte gehören zum modernen Menschen. Diejenigen unter uns, die sich dieser Entwicklung verweigern, gelten als hinterwäldlerisch und zurückgeblieben.

Eine Zwischenbemerkung:

Natürlich ist nicht alles schlecht, was uns die Technik anbietet. Ohne technologischen Fortschritt müsste ein Grossteil der Menschheit noch immer als "Jäger und Sammler" ein nicht immer einfaches Dasein fristen. Wie meist bei kontroversen Dingen kommt es auf die Zielsetzung und den Verwendungszweck einer Erfindung an. Das ist nicht nur bei der Atomkraft so. Das Fernsehen bspw. war eine grandiose Erfindung, an der viele Erfinder einen Anteil haben. Wenn man bedenkt, welche komplexen Vorgänge in einem Farbfernseher in Bezug auf die Ton- und Bildverarbeitung und deren Wiedergabe ablaufen, so ist tiefes Staunen angesagt. Leider hat sich das Fernsehen zu einem oberflächlichen und manipulierenden Medium entwickelt, an dem Erfinder wie Philo Farnsworth (Bildwandlerröhre), Manfred von Ardenne (elektronisches Fernsehen) oder Walter Bruch (PAL-System) kaum Freude hätten.

Noch ein abschliessendes Wort:

Hillary Clinton sprach während des Präsidentenwahlkampfes 2016 von "Deplorables" (d.h. Bedauernswerten), dabei diejenigen skizzierend, die im "Rust Belt" zuhause waren und infolge der Globalisierung keine Jobs mehr fanden. Aufgrund fehlender Perspektiven werden diese Menschen irgendwann zum "White trash" gehören, zum weissen Abschaum, um den Rest

eines erbärmlichen Lebens als Randfiguren der menschlichen Gesellschaft in einem heruntergekommenen Trailerpark zu verbringen.

Letztlich zählen in den Augen der selbsterkorenen Eliten selbst Menschen wie der Schreibende, die zuerst eine Berufslehre absolvierten, zur Unterschicht. Selbst dann, wenn nach der Grundausbildung eine Fortbildung erfolgte. Diese Geringschätzung ist ab und zu selbst in der Schweiz – als einem Land mit einem dualen Bildungssystem – bei der Stellenrekrutierung zu beobachten. Bewerber mit einem Bachelorabschluss werden oft solchen mit einem eidgenössischen Diplom vorgezogen. Viele Betriebe ignorieren dabei, dass der Europäische Qualifikationsrahmen Bachelorabschlüsse und Meisterdiplome als gleichwertig bezeichnet!

Das Boshaft-Raffinierte an diesem sich bereits über mehrere Jahrzehnte – letztlich sogar über etliche Jahrhunderte – erstreckenden Prozess der Gleichschaltung der Massen ist der Umstand, dass sich nur wenige Mitmenschen dieser schleichenden Umpolung bewusst sind. In Bezug auf die Technik bedient sich der moderne Mensch der angebotenen Gebrauchsgüter ohne über die Hintergründe nachzudenken, auf welche Weise es bspw. dazu kommen konnte, dass bereits Kinder ein Smartphone besitzen. Der Besitz eines Gameboys ist noch nachvollziehbar, aber muss es auch ein Smartphone sein? Durch Push-Meldungen und Kurznachrichten oberflächlich informiert, entsteht so von Kindesbeinen an eine leicht manipulierbare Masse von "Herdenmenschen".

Es sind stets nur wenige, die tiefer gehen, die Mehrheit ist mit "Brot und Spielen" zufrieden. Das war bereits in vorchristlicher Zeit so und ist heute nicht anders. Bestand etwa darin der Sinn und Zweck, als nach der Milleniumswende praktisch kostenlos Millionen von Handys an Private verteilt wurden? Nämlich eine uniforme Masse zu erzeugen, die beliebig manipuliert und geformt werden kann – unterstützt durch Google, Facebook, Instagram und Twitter?

Wenn schliesslich das "sprechende Bild" (Off 13,15) erscheint, wird es für die Machthabenden ein Leichtes sein, die Massen von der Richtigkeit ihres Tuns zu überzeugen. Den Querulanten dagegen sind die FEMA-Lager – und im "Worst case" die Guillotine – vorbehalten.

Wem diese Schilderung als zu dystopisch erscheint, sei daran erinnert, dass das Neue Testament an verschiedenen Stellen davon spricht. In der Offenbarung (dem letzten Buch der Bibel) wird diesem Szenario sogar ein ganzes Kapitel eingeräumt.



## 9 Quellenverweise

### 9.1 Literatur

#### 9.1.1 Erfindungen und Technologieentwicklung

Marc Ferretti: Laser, Maser, Hologramme (Franzis, RPB Nr. 70).

Robert Nemeč: Rubinlaser in Selbstbau und Versuch (Franzis, RPB Nr. 195).

D. J. W. Sjobbema: Die Geschichte der Elektronik (Elektor).

Hans R. Johannsen: Geschichte der Elektrotechnik, Bd. 3 (VDE).

Klaus Jopp: Nanotechnologie - Aufbruch ins Reich der Zwerge (Gabler).

Michael Eckert, Helmut Schubert: Kristalle, Elektronen, Transistoren (Rowohlt).

#### 9.1.2 UFOs und Alien-Technologie

Col. Philip J. Corso, William J. Birnes: Der Tag nach Roswell (Goldmann).

Stanton T. Friedman, Don Berliner: Der UFO-Absturz bei Corona (Kopp).

Kevin Randle, Donald Schmitt: Die Wahrheit über den UFO-Absturz bei Roswell (Kopp).

#### 9.1.3 Halbleitertechnik

Rüdiger Ufermann: CMOS-Bauanleitungen (Franzis, RPB Nr. 199).

Horst Pelka: Vom Flip-Flop zur Quarzuhr (Franzis, RPB Nr. 340).

Leonhard Stiny: Aktive elektronische Bauelemente (Springer Vieweg).

Holger Göbel: Einführung in die Halbleiter-Schaltungstechnik (Springer Vieweg).

### 9.2 Weblinks

<https://de.wikipedia.org/wiki/Transistor>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bipolartransistor>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Spitzentransistor>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Integrierter\\_Schaltkreis](https://de.wikipedia.org/wiki/Integrierter_Schaltkreis)