

Vorwort

Stephan Hloucal, Erfurt

Wir freuen uns, Ihnen die zweite Ausgabe unseres ON.LINE - Newsletters präsentieren zu können und hoffen, Ihnen damit eine interessante Lektüre auf den weihnachtlichen Gabentisch legen zu können.

Gerhard Roleder präsentiert darin eine, nicht ausschließlich technische Betrachtung der Rundfunkgeschichte in der „Kulturstadt“ Weimar. „70 Jahre Transistor“ ist uns einen Beitrag von Jörg Berkner - einem ausgewiesenen Halbleiter-Experten - wert, der sich mit der nahezu zeitgleichen Entwicklung des Transistors in den USA und Europa beschäftigt. Dr. Peter Glatz würdigt den bekannten Ingenieur Oskar von Miller und dessen Beitrag zur Thüringer Stromgeschichte.

Falls Ihnen die erste Ausgabe von ON.LINE abhanden gekommen ist, dann senden wir Ihnen auch diese gern noch einmal zu. Wir freuen uns, wenn Sie ON.LINE auch an interessierte Freunde, Bekannte und Kolleginnen und Kollegen weitergeben. Aktuelles von uns finden Sie auf Facebook, Twitter und Instagram.

Wir wünschen Ihnen eine Frohe Weihnachtszeit und ein gesundes Neues Jahr.



Weihnachtsgruß auf der Titelseite einer Kundenzeitschrift der ThELG Gotha, 1933

Inhalt

- Vorwort
- Aktuelles
- Historisches
- Zum Jubiläum
- Persönlichkeit
- Autorenverzeichnis, Quellen, Copyrights, Impressum

„ON.LINE“

Englische Fachbegriffe sind dem Elektrotechniker/Elektroniker hierzulande durchaus geläufig. On-line steht übersetzt für gekoppelt, verbunden, abrufbereit, angeschlossen. Mit „to go on line“ / „online gehen“ gehen wir ans Netz oder gehen neudeutsch online.

Wir haben mit der ON.LINE 1.2017 den modernen on.line-Weg eingeschlagen, wollen uns mit der neuen Ausgabe ON.LINE weiter zusammenschalten, bieten eine (Leitung) Verbindung zum fachlichen Austausch an, informieren und wünschen uns Ihren Anschluss.

Wir freuen uns über Ihre Rückkopplung.

Folgen Sie uns



Instagram

AKTUELLES

Stephan Hloucal, Erfurt

Im Oktober des letzten Jahres beteiligten wir uns mit der Abgabe eines symbolischen Gebots, an der Versteigerung der Magnetschwebbahn, Transrapid TR09, welche die VEBEG im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums durchgeführt hatte. Das MDR-Fernsehen berichtete darüber! Leider waren wir nicht erfolgreich. Den Zuschlag erhielt die Wurstfabrik Kemper in Nortrup! Nun konnte ich im Juli dieses Jahres noch einmal die Transrapid-Versuchsanlage in Lathen besuchen und dort einen Blick hinter die Kulissen werfen. Von einem Experten der ersten Stunde erhielt ich eine spannende Sonderführung und konnte dabei zahlreiche Fotos von den Überresten dieser zukunftsweisenden Technologie machen. Nachdem es nun mit dem kompletten Transrapid TR09 nicht geklappt hat, hoffen wir, dass wir wenigstens eine Sektion des TR06, TR07 oder TR08 für das geplante neue Elektromuseum nach Erfurt holen können.

Die Vereinsmitglieder hatten auf der diesjährigen Jahreshauptversammlung beschlossen, eine gemeinnützige Stiftung zu errichten. Nun konnte mit Prof. Dr. em. Olaf Werner, dem ehemaligen Leiter des Abbe-Instituts für Stiftungswesen, an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, einer der profiliertesten Experten auf diesem Rechtsgebiet in Deutschland gewonnen werden, uns dabei zu unterstützen. Wir sehen in der Stiftung die beste Möglichkeit, die vielen, teilweise in Thüringen verstreuten, wertvollen, überregional bedeutsamen Sammlungen und Archivalien zur Geschichte der Elektrotechnik in Thüringen, auf Dauer für die Nachwelt zu erhalten, zu erforschen und weiter zu entwickeln. Auch der künftige Museumsbetrieb kann so auf eine solide zukunftsfähige Basis gestellt werden. Die Stiftung soll nicht nur musealen, technikhistorischen Zwecken dienen, sondern auch die Bildung junger Menschen in den MINT-Bereichen unterstützen, den interdisziplinären Dialog zwischen Naturwissenschaften und Philosophie/Soziologie befördern, Jugendlichen Räume zur kreativen (technischen) Verwirklichung anbieten (Makerspace/OpenLab), sowie in der Gesellschaft den öffentlichen Diskurs über Zukunftstechnologien unterstützen.

Seit dem 5. Oktober 2017 ist das Diskussionspapier „Museumsperspektive 2025“ in der Thüringer Museumswelt. In dem, von der Thüringer Staatskanzlei verantworteten, 142 Seiten umfassenden Papier, wird nach einer Analyse der Museumslandschaft, der Versuch unternommen, die Museen für die Zukunft in einer digitalen Welt fit zu machen. Sehr verwunderlich ist, dass den Technischen Museen gerade einmal



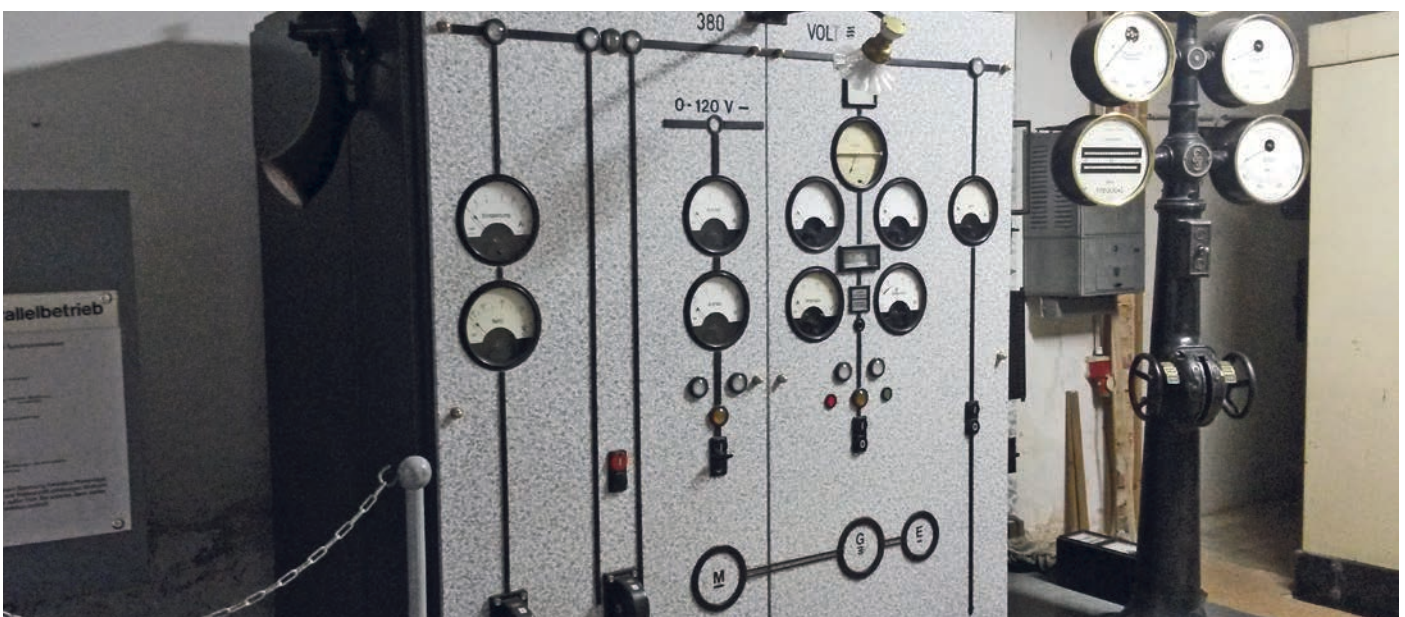
Transrapid TR06, TR07, TR09 (von oben nach unten)

10 Zeilen zugestanden werden und die regionaltypische Industrie in Thüringen, historisch gesehen, auf die Porzellan- und Schieferproduktion reduziert wird. Ohne an dieser Stelle auf weitere Einzelheiten einzugehen, werden wir selbstverständlich bis zum Jahresende gegenüber der Thüringer Staatskanzlei eine fundierte Stellungnahme abgeben, denn solche kulturpolitischen Fehlgriffe dürfen nicht ohne Korrektur so stehen bleiben. Zusätzlich werden wir zu Beginn des kommenden Jahres den Thüringer Minister für Kultur, Bundes- und Europaangelegenheiten und Chef der Staatskanzlei, Prof. Dr. Benjamin-Immanuel Hoff, zu einer öffentlichen Podiumsdiskussion einladen, um mit ihm und weiteren Fachleuten, über unsere Sicht der Museumsperspektive, zu reden.

Ende Oktober haben wir bei der Thüringer Staatskanzlei, Abteilung Kunst und Kultur, drei Förderanträge mit einem Fördervolumen von insgesamt etwa 170.000 € gestellt. Hinzu kommen noch unbare Eigenleistungen des Vereins von etwa 76.000 €. Damit sollen im kommenden Jahr historische Maschinen, Werkzeuge und Hilfsvorrichtungen aus der überregional bedeutsamen Sammlung „Hochvakuumelektronik“ fachmännisch restauriert und konserviert werden. Im Europäischen Jahr des kulturellen Erbes 2018 wollen wir damit der besonderen Verantwortung für diese europaweit einmalige Sammlung gerecht werden. Des Weiteren soll einmaliges Videomaterial digitalisiert und daraus ein wissenschaftlich historischer Abriss der Geschich-

te der Braunschen Röhre erstellt werden. Der dritte Antrag soll uns den erfolgreichen Start für ein neues Inventarisierungs- und Archivierungssystem ermöglichen. Da uns die Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek (ThULB) in Jena, das komplette, mehr als 30.000 Negative umfassende Bildarchiv des ehemaligen Funkwerks Erfurt, kostenlos digitalisiert, wollen wir damit zugleich die erste Phase der Inventarisierung und Archivierung, auf Basis der RFID-Technologie, umsetzen. Hierzu sind nicht nur spezielle RFID- und PC-Technik, eine WLAN-Vernetzung im Depot und die RFID-Label zu beschaffen, sondern alle Foto-Negative benötigen auch neue säurefreie Foto-Taschen. Ohne finanzielle Förderung des Freistaats Thüringen, sind diese drei Vorhaben nicht zu realisieren.

Das Museum Kraftwerk Hirschfelde bei Zittau/Sachsen musste im Juni dieses Jahres schließen. Die gesamten Sammlungen werden aufgelöst. Von dort konnten wir neben historischer Mess-, Rechen- und Computertechnik, auch mehr als 100 Bände Wiedemanns, Annalen der Physik und Chemie, von 1877 bis 1916, sowie weitere historische Literatur und Fachzeitschriften aus der Energie-, Kraftwerks-, sowie Bergbautechnik, übernehmen. Mit den Annalen verfügen wir nun über sehr wertvolles Quellenmaterial, denn darin veröffentlichten zu jener Zeit die Wissenschaftler ihre Forschungsergebnisse. Für die Erforschung der Geschichte der Braunschen Röhre, steht uns somit wichtige Primärliteratur direkt zur Verfügung. Demnächst werden



Schaltschrank der historischen Synchronisierereinrichtung aus dem ehem. Museum Kraftwerk Hirschfelde, 2017

wir dem Wasserkraftmuseum Ziegenrück helfen, von Hirschfelde eine historische Synchronisier-Einrichtung und im kommenden Jahr einen imposanten 220-kV-Freiluft-Hochspannungsschalter nach Thüringen zu transportieren.

Das Thüringer Museum für Elektrotechnik hat auch im Herbst 2017 interessante Vorträge im [Zughafen-Kulturbahnhof](#) angeboten. Etwa 90 Zuhörer konnten an 4 Abenden begrüßt werden. Das klingt zuerst einmal nach großer Zurückhaltung - aber es waren fast ausschließlich höchst Interessierte und zumeist Fachexperten an den jeweiligen Fachthemen dabei. Als weitgereisester Teilnehmer konnte ein Zuhörer aus Bad Colberg-Heldburg begrüßt werden. Folgende Themen und Referenten haben wir angeboten:

20. September 2017: „Entwicklungsgeschichte der Fahrraddynamos“ - Prof. em. Dr.-Ing. habil. Dieter Oesingmann, Technische Universität Ilmenau

11. Oktober 2017: „Meilensteine der Funkgeschichte im Sender- und Funktechnikmuseum Königs Wuster-

hausen“ - Dipl.-Ing. Gerhard Roleder, Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V

18. Oktober 2017: „Wasserkraft in Thüringen - ein Beitrag zur Stromgeschichte“ - Prof. Dr. rer. nat. habil. em. Udo Rindelhardt, Dresden

1. November 2017: „Ein unkonventionelles Pumpspeicherkraftwerk zur besseren Netzintegration von Erneuerbaren Energien“ - Dipl.-Ing. Stephan Hloucal, Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.

Die nächste Vortragsreihe wird im Frühjahr 2018 starten. Die Termine werden rechtzeitig - über die [Homepage des Thüringer Museums für Elektrotechnik](#), über Facebook und die Presse - angekündigt.

„45 Jahre Minirex“ wird dabei ein wichtiges Jubiläum anlässlich des Produktionsbeginns von Taschenrechnern in der ehem. DDR sein.



Annalen der Physik und Chemie



Zähler- und Relais Prüfplatz aus dem ehem. Museum Kraftwerk Hirschfelde, AEG, Bj. ca. 1930, 2017



220-kV-Freiluft-Hochspannungsleistungsschalter im ehem. Museum Kraftwerk Hirschfelde, AEG, Bj. 1959, 2017

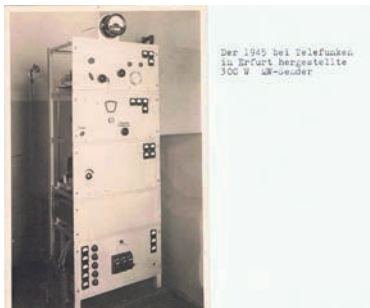
HISTORISCHES

Weimar im Mikrokosmos-Rundfunk

Gerhard Roleder, Erfurt

Im Zusammenhang mit langfristigen Planungen der Stadtgestaltung fällt mitunter das Stichwort „Kosmos Weimar“. Rein rational betrachtet scheint diese Bezeichnung überzogen, denn die Provinzstadt an der Ilm existiert nicht im luftleeren Raum, sondern steht in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Das schwer Fassbare besteht darin, dass man bei näherer Bekanntschaft mit der Stadt den Eindruck erhält, hier ist alles vorhanden wie in einer eigenen kleinen Welt, und alles hängt mit allem zusammen, die Provinzposse mit der Weltpolitik und umgekehrt. So spielte und spielt auch der Rundfunk hier seine eigene Rolle.

Bereits 1925 wurde im damaligen Telegrafenamts, der heutigen Hauptpost, eine „Besprechungsstelle“, d.h. ein einfaches Sprecherstudio eingerichtet. Von dort verlief eine Modulationsleitung zum Sender der Mitteldeutschen Rundfunk AG in Leipzig. Ein paar Jahre später erhielt auch das Nationaltheater technische Einrichtungen zur Tonübertragung.



(Weimar Belvedere 1945) Dieses Foto ist wahrscheinlich das einzig erhaltene gebliebene Dokument von Thüringens erstem Rundfunksender (Foto: Archiv B. Walter)

Wer nach Weimar reist, kommt am Hotel Elephant nicht vorbei. Ende des 17. Jahrhunderts erbaut, war es aufgrund seiner Lage am Marktplatz die zentrale Bewirtungs- und später auch Beherbergungsstätte. Zur Zeit der Weimarer Klassik trafen sich hier deren Protagonisten Goethe, Herder, Schiller, Wieland mit ihren Gästen. Thomas Mann, der sich selbst in geistiger Nachfolge von Goethe und Schiller sah, machte in seinem Roman „Lotte in Weimar“ das Hotel zum Haupt Schauplatz. Der Roman, der den beginnenden

Goethe-Kult am Anfang des 19. Jahrhunderts ein wenig auf Korn nimmt und gleichzeitig Anspielungen auf die nahende Katastrophe des 2. Weltkrieges enthält, entstand zwi-

zwischen 1936 und 1939, also zu einer Zeit, als Thomas Mann bereits im Exil in Frankreich, der Schweiz und schließlich in den USA weilte. In der zweiten Hälfte der 1930er Jahre begannen die braunen Machthaber, Weimar auf ihre Weise umzugestalten. Das Hotel Elephant wurde im Stil der damaligen Zeit neu aufgebaut. Herausgekommen ist ein massives Gebäude, das wahrscheinlich auch heutigen Vorschriften zur Wärmedämmung genügen würde. Von der ursprünglichen Bausubstanz ist nicht viel erhalten geblieben. In einer Suite wurde eigens für Hitler eine Rundfunk-Sprechstelle eingerichtet. Kurze Zeit nach dem Krieg nutzten amerikanische und sowjetische Besatzer dieses Mini-Studio für provisorische Rundfunksendungen. In einer eigenen Dauerausstellung über die Geschichte des traditionsreichen Hauses wird auch diese Rundfunk-Episode erwähnt.



In der hauseigenen Ausstellung zur Geschichte des Hotels Elephant wird auch die zeitweilige Existenz eines Rundfunkstudios erwähnt.

Thomas Mann war einer der wenigen Exilanten, die während der Nazizeit das Regime in Deutschland öffentlich attackierten. Seine Reden „Deutsche Hörer!“ wurden zwischen 1940 und 1945 von der BBC übertragen. Ein interessantes Detail findet sich im Vorwort zur ersten Buchausgabe 1942, in welcher der Autor in der für ihn typischen Art von ineinander geschachtelten Sätzen darauf hinweist, dass die Übertragungen auf Langwelle erfolgten, um einen Empfang mit den weit verbreiteten „Volksempfängern“ zu

ermöglichen: „Ich glaubte, diese Gelegenheit, hinter dem Rücken der Nazi-Regierung, die, sobald ihr die Macht dazu gegeben war, mich jeder geistigen Wirkungsmöglichkeit in Deutschland beraubt hatte, Kontakt zu nehmen – und sei es ein noch so lockerer und bedrohter Kontakt – mit deutschen Menschen und auch mit Bewohnern der unterjochten Gebiete, nicht versäumen zu dürfen – um so weniger, als meine Worte nicht von Amerika aus, auf Kurzwellen, sondern von London, auf Lang-Wellen, gesandt werden sollten und also durch den dem deutschen Volk allein zugestandenen Empfänger-Typ würde gehört werden können.“ Der stärkste Langwellensender der BBC war zu Beginn des Krieges die Station Droitwich mit ihrer damaligen Stammfrequenz 200 kHz. Unter größter Geheimhaltung übernahm 1943 eine neue Sendeanlage in Ottringham an der britischen Ostküste Lang- und Mittelwellensendungen der BBC. Vier Sender von je 200 kW Ausgangsleistung konnten zu 800 kW zusammengeschaltet werden. Ottringham wurde 1953 aufgegeben, danach wurde Droitwich wieder der wichtigste Langwellen-Standort der BBC.

Im Grunde ist es Thomas Mann zu verdanken, dass zehn Jahre nach dem Krieg der Hotelbetrieb im „Elephant“ wieder beginnen konnte. Im Vorfeld seines Besuches anlässlich des 150. Todestages von Friedrich Schiller äußerte er gegenüber dem Schriftsteller und damaligen DDR-Kulturminister Johannes R. Becher den Wunsch, im Hotel Elephant Quartier zu erhalten. Johannes R. Becher veranlasste die Renovierung und erneute Inbetriebnahme, so dass Thomas Mann sich als einer der ersten prominenten Besucher ins Gästebuch eintrug. Zu jener Zeit hatte Weimar bereits sein eigenes Funkhaus mit Studios und Redaktionsräumen.

Die Geschichte dieses Funkhauses besteht aus Höhen und Tiefen wie in einem klassischen Drama. Im Jahr 1937 begann in der Humboldtstraße, direkt neben dem Nietzsche-Archiv, der Bau einer Nietzsche-Gedächtnishalle. Einige Nazi-Größen wollten bestimmte Teile von Nietzsches Werk für ihre Zwecke vereinnahmen.



Trostlos: Der Haupteingang des ehemaligen Funkhauses ist mit Brettern vernagelt.

Mit dem Bauentwurf wurde der Architekt Paul Schultze-Naumburg beauftragt, der sich mit einem pompö-

sen Bau bei Hitler ins rechte Licht setzen wollte, nachdem zuvor Zweifel an seiner fachlichen Kompetenz laut wurden. Trotz zusätzlicher Finanzspritzen, zum Teil von Hitler persönlich, konnte der Innenausbau bis Kriegsende nicht fertiggestellt werden. In den letzten Kriegsjahren hatte man auch in Weimar andere Sorgen. Das Gebäude diente 1945 schließlich als Lager für Kulturgüter und Wohneigentum ausgebombter Familien.

Auf Weisung der sowjetischen Militäradministration sollte ab 1. Januar 1946 das Land Thüringen mit der Ausstrahlung eines eigenen Rundfunkprogramms beginnen. Noch im gleichen Jahr konnte der Landesender Weimar die ehemalige Nietzsche-Gedächtnishalle als Funkhaus in Besitz nehmen. Aus heutiger Sicht kann vermutet werden, dass die technischen Bedingungen im ersten Jahr provisorischen Charakter hatten, denn die offizielle Eröffnung fand erst am 11. Juni 1947 statt. In einer Pressemitteilung vom 14. Juni 1947 ist zu erfahren: „Das Funkhaus besitzt rund 50 Arbeitsräume, eine Werkstatt, einen Messraum, Garagen und einen Senderraum mit 300 Sitzplätzen mit anschließendem schallhellem und schalltotem Raum.“

Mit der Zentralisierung des DDR-Rundfunks im Jahr 1952, als das Funkhaus in der Berliner Nalepastraße den überwiegenden Teil der Programme übernahm, verliert das Weimarer Funkhaus seine Eigenständigkeit. Bis 1989 wird ein morgendliches Regionalprogramm für Radio



Der Sendesaal des Funkhauses ist noch recht gut erhalten; das Foto entstand am 11. September 2011, dem Tag des offenen Denkmals

DDR produziert. Im Jahr 1988 wird das Regionalfenster noch erweitert und unter der Bezeichnung „Thüringenwelle“ eine stärkere Betonung des Regionalen eingeführt. Neben den Live-Sendungen diente das Funkhaus auch als Produktionsstätte für Musikaufnahmen unterschiedlicher Art. Unter anderem wurde hier Anfang der 1950er Jahre die inoffizielle Thüringer „Nationalhymne“, das Rennsteiglied von Herbert Roth, erstmalig aufgenommen. Die Weimarerische Staatskapelle, noch heute ein Orchester der höchsten Qualitäts-Kategorie, nutzte den großen Sendesaal für Rundfunk- und Schallplattenproduktionen.

1990/91 kam es zu einer kurzen Phase echter Eigenständigkeit, als im Funkhaus Humboldtstraße 36a ein Vollprogramm namens „Thüringen Eins“ produziert

wurde. Mit dem Staatsvertrag über die Gründung des MDR gehörte das Funkhaus ab 1. Juli 1991 zur Dreiländeranstalt. Im Jahr 2000 bezogen Hörfunk und Fernsehen des MDR ein neues Funkhaus in Erfurt. Seit dieser Zeit ist das Gebäude ungenutzt, abgesehen von kurzzeitigen Kulturveranstaltungen und gelegentlichen Führungen am Tag des offenen Denkmals.

Als retardierendes Moment im Weimarer Funkhaus-Drama kann man den Verkauf des Gebäudes an einen vermeintlichen Investor ansehen. Die Zeitung „Thüringer Allgemeine“ berichtete am 11. 03. 2006 von einer geplanten Vermietung an ein Bauinstitut, und auch die Staatskapelle sollte wieder die Möglichkeit erhalten, die gute Akustik des Sendesaals nutzen zu können. Bis heute ist nichts von dem Wirklichkeit geworden. Schlimmer noch: Das ehemalige Funkhaus gammelt vor sich hin, die Inneneinrichtung ist demoliert, der Keller steht unter Wasser, Heizungsrohre sind geplatzt... Ein Abriss ist zum Glück nicht ohne weiteres möglich, da die Nietzsche-Gedächtnishalle als Kulturdenkmal ausgewiesen ist. Der MDR kehrte im Jahr 2011 kurzzeitig zu Filmaufnahmen an seine ehemalige Wirkungsstätte zurück. In einem Fernsehbeitrag des Geschichtsmagazins „Barbarossa“ über den Musiker und Komponisten Herbert Roth wurden Teile des Funkhauses gezeigt. Der jämmerliche bauliche Zustand des Gebäudes kam in dem Beitrag nicht zur Sprache.

Ähnlich schnell wie das Funkhaus wurde nach dem Krieg der dazugehörige Sender in Betrieb genommen. Sicher nicht ohne Zutun der Besatzungsmacht erhielt der erste Rundfunksender Thüringens ein Anfang der



Das Stationsgebäude Weimar Belvedere wurde vor wenigen Jahren durch einen Container ersetzt, das Foto aus dem Jahr 2012 zeigt noch den alten Zustand

1930er Jahre errichtetes Gebäude, das wahrscheinlich für Technik des Polizeifunks diente. Zwei zugehörige 50 m hohe Gittermasten als Antennenträger hatten den Krieg ohne Schaden überstanden. Die Sendestelle wird allgemein als Weimar Belvedere

bezeichnet. Der Schlosspark Belvedere am südlichen Stadtrand ist nur ein paar hundert Meter entfernt. Der 300-Watt-Mittelwellensender wurde vom Funkwerk Erfurt, einem ehemaligen Telefunken-Betrieb, geliefert. Die zuerst genutzte Frequenz im Probebetrieb Ende 1945 war 1031 kHz. Zur offiziellen Inbetriebnahme am 1. Januar 1946 wurde die Frequenz auf 1030 kHz geändert. Am 1. Juni 1946, dem Tag der Programm-Übernahme des wieder gegründeten MDR, gab es eine Änderung auf 1348 kHz.

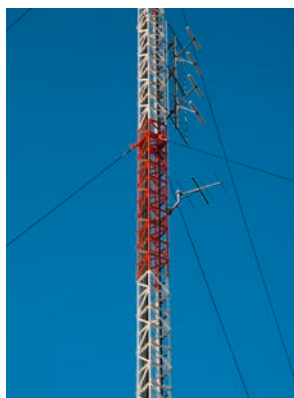
Bis Ende 1947 wurde die Frequenz vermutlich mehrmals variiert. Unter anderem musste man auf Beschwerden aus der amerikanischen Besatzungszone über Interferenzen reagieren. Die letzte dokumentierte Frequenz dieses Senders ist 1031 kHz. Als Antenne fand eine T-Antenne Verwendung, die zwischen den in 100 m Abstand stehenden Masten befestigt war. Bereits 1948 wurde der 300-W-Sender demontiert und in der Sendestelle Erfurt Rieth für eine gewisse Zeit als Reserve vorgehalten. Zwischen 1948 und 1952 war Funkstille in Belvedere.

In dem langen Zeitraum von 1953 bis 1978 sendete aus Belvedere ein 2-kW-Störsender. Die Trägerfrequenz war mit dem Programm des Berliner Rundfunks moduliert und lag ein paar hundert Hertz neben der zu störenden RIAS-Frequenz. In unmittelbarer Nähe des Senders war natürlich nur das Programm des Berliner Rundfunks zu empfangen. Technische Einzelheiten dieses Typs von Störsendern sind in beschrieben. Von November 1978 bis 1989 arbeitete ein 5-kW-Eigenbausender auf 999 kHz und übertrug regulär in Übereinstimmung mit dem Wellenplan das Programm des Berliner Rundfunks. Techniker der Deutschen Post hatten den ehemaligen Störsender umgebaut, um die technischen Parameter vollwertiger Rundfunksendungen gewährleisten zu können. Seit Ende der 1960er Jahre fungierten die Antennenmasten als Selbststrahler. Eine Programm-Verbindung zwischen dem Funkhaus und dem Sender Belvedere bestand in der langen Periode zwischen 1948 und 1989 nicht.



50 m hoher Antennenträger in Weimar Belvedere

Das änderte sich für kurze Zeit, als 1990/91 das Programm Thüringen Eins auf 1089 kHz übertragen wurde. Zielgebiet des nicht gerade leistungsstarken Senders war in der Tagesreichweite das Gebiet Mittelthüringens und der Südzügel Sachsen-Anhalts. Während der Nacht-Versorgung wurde ein Radius von ca. 20 km angesetzt, da die Störungen auf gleichen und benachbarten Frequenzen dann reichweitenbedingt zunahm. Am 31. Dezember 1991 war endgültig Schluss mit Mittelwellensendungen aus Weimar.



Nahaufnahme der Dipolgruppe und einer von zwei Yagi-Antennen in Weimar Belvedere

Das zweite Leben der Sendestelle Belvedere begann am 17. Februar 1999, als mehrere UKW-Sender durch den damaligen Betreiber Deutsche Telekom in Betrieb genommen wurden.

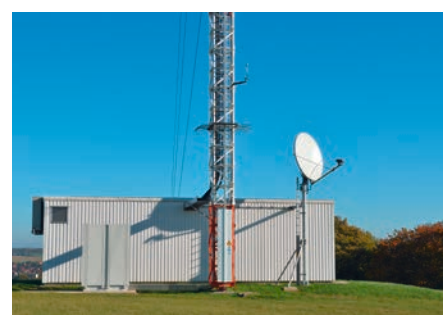


UKW-Sender und Steuerungseinrichtungen in Weimar Belvedere im ehemaligen Stationsgebäude.

Der Grund für die neue Ausrichtung der Sendestelle bestand vor allem darin, dass Weimar im Jahr 1999 europäische Kulturhauptstadt war. Dieses Ereignis konnte durch ein eigenes Radioprojekt der Bauhaus-Universität begleitet werden. Parallel dazu gelang noch die Aufschaltung des Bürgerradios „Radio Lotte“. Damals begann eine dreifache Belegung der Frequenz 106,6 MHz mit den Programmen von Radio Lotte, Radio Funkwerk und BBC World.

Inzwischen ist Radio Lotte mit einem Vollprogramm alleiniger Nutzer der Frequenz 106,6 MHz. Am 22. August 2001 ging mit Weimar Belvedere der 200. Sender für den Deutschlandfunk in Betrieb, was mit einem Festakt im Hotel Elephant gewürdigt wurde. Die gute UKW-Lage in Richtung Norden ist offenkundig. Von der 310 m über NN gelegenen Anhöhe blickt man in den Talkessel der Stadt, deren Zentrum eine Höhenlage von 210 m über NN aufweist. Das Stationsgebäude wurde vor wenigen Jahren durch den Eigentümer Deutsche Funkturm GmbH abgerissen, da der instabile Baugrund immer wieder starke Risse im Gebäude verursachte. Die Betreiberfirma Media Broadcast GmbH hat jetzt die gesamte Sendetechnik in einem Container am Fuß des Antennenmastes installiert.

Im Unterschied zur nördlich von Weimar gelegenen Sendestelle Ettersberg, die der Flächenversorgung dient, ist das Zielgebiet der UKW-Sender in Belvedere das Stadtgebiet. Die Antennen besitzen eine leichte Richtwirkung und sind einheitlich nach Norden ausgerichtet. Die ursprünglichen Antennenmasten am Standort Belvedere sind nicht mehr vorhanden. Einer der beiden Masten wurde Ende 1996 demontiert und Anfang 1997 durch einen neuen an gleicher Stelle ersetzt. Dieser dient nun als Tragmast für die UKW-Antennen. Der zweite Antennenmast wurde 2006 demontiert.



Die heutige Sendestelle Weimar Belvedere besteht aus einem Container mit Sendetechnik und einem 50 m hohen Stahlgittermast als Antennenträger.

Die nachstehende Tabelle zeigt die aktuelle Frequenzbelegung der Sendestelle Belvedere, die in neueren Veröffentlichungen auch als „Weimar-Ehringsdorf“ bezeichnet wird.

Programm	Frequenz	Effektive Strahlungsleistung (ERP)	Antenne
Deutschlandfunk	89,7 MHz	0,5 kW	Dipolgruppe
Radio Lotte	106,6 MHz	2 kW	Dipolgruppe
MDR Info	102,6 MHz	2 kW	Dipolgruppe
Top 40	97,9 MHz	0,3 kW	Yagi
Klassik Radio	88,7 MHz	0,06 kW	Yagi

Schloss und Park Belvedere gehören zum UNESCO-Weltkulturerbe Klassisches Weimar, das im Jahr 1998 deklariert wurde. Von den zahlreich anreisenden Besuchern ahnen wohl die wenigsten, dass in Weimar ein Mikrokosmos Rundfunk existiert.

Für die Informationen und Hinweise zu diesem Thema bedanke ich mich bei: • *Andrea Dietrich, PR Managerin, Hotel Elephant Weimar* • *Bernd Walter, ehemaliger Leiter Regional Service Management Leipzig, T-Systems, Media Broadcast* • *Bernd Steinhäuser, Teamleiter Media Broadcast GmbH* • *Christian Handwerck, Rundfunk-Historiker und Betreiber der Website www.sender-weimar.de*

JUBILÄUM

70 Jahre Transistor

Jörg Berkner, Greiffenberg

Vor 70 Jahren, am 23. Dezember 1947, fand in den Bell-Laboratorien der Western Electric Inc. in Murray Hill eine außergewöhnliche Vorführung statt. John Bardeen und Walter Brattain stellten den leitenden Persönlichkeiten des Labors eine epochemachende Erfindung vor: den Bipolartransistor. Nur eine Woche zuvor hatten sie bei Messungen an halbleitendem Germanium den lange gesuchten Verstärkungseffekt in einem Festkörper entdeckt. Der Zufall half ein wenig mit, denn das Ziel ihrer Untersuchungen war damals gar nicht die Entwicklung des Bipolartransistors, sondern die eines Feldeffekttransistors. Ein Konzept dafür hatte Walter Shockley im Jahr zuvor entwickelt, aber die praktischen Versuche waren bislang fehlgeschlagen. Die Vermutung war, dass eine Elektronenladung an der Oberfläche des Germanium-Kristalls die erwartete Steuerwirkung des elektrischen Feldes auf den Strom durch den Halbleiter blockieren würde. Also versuchten die Wissenschaftler das Oberflächenpotential an einer Germanium-Diode zu messen. Während dabei ein erster Punktkontakt als Diode funktionierte, wurde mit einem zweiten Punktkontakt die Oberfläche in der Nähe des ersten abgetastet. Überraschenderweise zeigte sich eine Beeinflussung des Stromes in der zweiten, sperrgepolten Diode durch den Strom in der ersten, flussgepolten Diode, wenn nur der Spitzenabstand gering genug gewählt wurde. Erste Messungen ergaben eine AC-Spannungsverstärkung

von 100 und eine Leistungsverstärkung von 40.¹ Für die Vorführung am 23. Dezember 1947 wurde die Schaltung leicht modifiziert, um ein Tonsignal verstärken



Versuchsanordnung von Bardeen und Brattain, Nachbau des Thüringer Museums für Elektrotechnik (Foto: Thüringer Museums für Elektrotechnik)

zu können. So wurde den Teilnehmern die Verstärkerwirkung des neuen Bauelementes gleich anschaulich vorgeführt.

Eine erste Patentanmeldung erfolgte durch Bardeen und Brattain schon am 26. Februar 1948, die dann aber am 17. Juni 1948 durch eine verbesserte Anmeldung ersetzt wurde.² Dann folgten vier Jahre intensiver Entwicklungsarbeit und im Mai 1952 wurde in Murray Hill ein internationales Symposium zur Wirkungsweise und zur Technologie des Bipolartransistors veranstaltet.

Das Bell-Transistor-Symposium

Auf diesem Symposium wurden sowohl die Transistortheorie als auch Herstellungsverfahren und erste Schaltungsanwendungen für den Transistor vorgestellt. Etwa 150 Gäste waren zu diesem Symposium eingeladen, darunter auch vier Teilnehmer der Siemens & Halske AG: Prof. Günther, Dr. Henninger, Prof. Welker und Dr. Siebertz, der Direktor der gerade neu gegründeten Siemens-Halbleiterfabrik. Die ausschließlich aus westlichen Ländern stammenden Teilnehmer wurden verpflichtet, die Informationen geheim zu halten. Der Kalte Krieg war schon in vollem Gange und die Amerikaner wollten verhindern, dass Informationen über diese zukunftssträngige Technologie in die Staaten des Ostblocks gelangen. Für interessierte Firmen aus westlichen Ländern hingegen ließ man die Bereitschaft zur Erteilung von Lizenzen erkennen.³ Karl Siebertz erinnerte sich später wie folgt an dieses bedeutsame Symposium:

„Der Impuls, den die Halbleitertechnik durch dieses Symposium weltweit erfahren hat, ist in seiner Auswirkung kaum zu überschätzen, denn allenthalben wurden Halbleiteraktivitäten neu aufgegriffen oder vorhandene Ansätze intensiv ausgebaut.“⁴

Die am Symposium teilnehmenden Delegationen erhielten eine Dokumentation, das sogenannte Transistor-Kochbuch, mit detaillierten technologischen Beschreibungen und zusätzlich auch einige

Muster des Spitzen-Transistors. Wir wissen dies, weil im Jahre 2006 Josef Blieninger, ein ehemaliger Siemens-Mitarbeiter,



Streichholzschachtelfund: Bell-Transistor Typ 1768, Nr. 9 (Foto: Jörg Berkner)

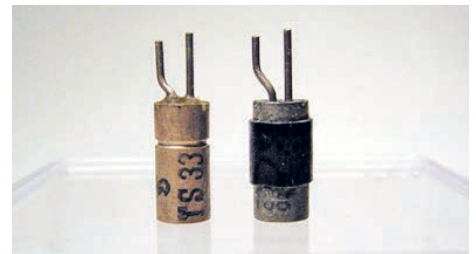
dem Historischen Archiv von Infineon mehrere Schachteln mit alten Siemens-Transistoren übergab. Darunter befand sich auch eine unscheinbare Streichholzschachtel mit einem darin zusammen gefalteten Zettel und einem kleinen Bauelement mit der handschriftlich aufgebrauchten Nummer 9. Es handelte sich um einen Spitzentransistor Typ 1768 aus dem Jahre 1952, hergestellt von den Bell-Laboratorien!

Natürlich drängt sich die Frage auf, warum die Bell-Laboratorien sich zu diesem außergewöhnlichen Symposium entschlossen hatten. Aus heutiger Sicht gibt es ja in der Halbleiterindustrie keinen größeren Fehler, als einen einmal errungenen technologischen Vorsprung mit potentiellen Konkurrenten zu teilen. War der kurzfristige Vorteil der mit dem Symposium erzielten Lizenzeinnahmen ausschlaggebend? Oder war vielleicht eine politische Motivation die eigentliche Ursache für die Freigiebigkeit der Amerikaner? Die Weitergabe des Wissens der Bell-Laboratorien über die Transistorherstellung an amerikanische, westeuropäische und japanische Firmen unter Ausschluss des Ostblocks verhalf schließlich der westlichen Welt zu einem enormen technologischen Vorsprung gegenüber dem von der Sowjetunion geführten Ostblock. Oder war es einfach die Einsicht in die Tatsache, dass die Weiterentwicklung einer so epochalen Schlüsseltechnologie eine breite industrielle Basis brauchte, die ein einziges Unternehmen allein nie würde liefern können? ⁵

Sicher spielten all diese Überlegungen eine Rolle. Ausschlaggebend war jedoch ein anderer Faktor - die Anti-Trust-Politik der damaligen amerikanischen Regierung. Bell Telephone Laboratories (BTL) erhielt schon 1949 den ersten staatlichen Auftrag zur Erforschung der Transistortechnologie, dem weitere folgten. In diesen Verträgen wurde die Verpflichtung verankert, die erzielten Forschungsergebnisse kostengünstig an Lizenznehmer weiterzugeben. Die amerikanische Regierung behielt sich weiterhin das Recht vor, die Ergebnisse nach eigenem Ermessen zu verbreiten. Vertraglich wurde auch festgelegt, dass Bell Labs 1951 ein erstes Transistor-Symposium zu organisieren hatte. Der Teilnehmerkreis dieses im September 1951 durchgeführten Symposiums setzte sich vorrangig aus Vertretern militärischer Instituti-

onen und der von ihnen vertraglich gebundenen Herstellerfirmen zusammen. Der amerikanische Staat realisierte auf diese Weise eine Anti-Trust-Politik und sicherte so die Verbreitung des mit staatlichen Mitteln erworbenen Wissens in der amerikanischen Industrie.⁶ Beim nachfolgenden 1952er Symposium wurde dann der Teilnehmerkreis auch auf Westeuropa und Japan erweitert. Auf diese Weise also gelangte Siemens 1952 in den Besitz der neuesten Forschungsergebnisse aus den Bell-Laboratorien und auch einiger Muster von Bell-Transistoren. Die ersten bei Siemens ab 1953 hergestellten Spitzen-Transistoren der Typen TS13 und TS33 ähnelten denn auch den Bell-Transistoren Typ 1768 wie ein Ei dem anderen.

Natürlich musste für das neue Bauelement auch ein möglichst sinnfälliger und allgemein akzeptierter Name gefunden werden. Auf einer Konferenz der Bell-Labs im Jahr 1948 wurden die Begriffe Semiconductor Triode, Surface States Triode, Crystal Triode, Solid Triode, Lotatron und Transistor vorgeschlagen.⁷ Der letzte Begriff entstand als Kunstwort



Siemens-Punktkontakt-Transistor TS33 (links) und Bell-Transistor Nr. 9, Typ 1768 (rechts), die Verwandtschaft der beiden ist nicht zu übersehen. (Foto: Jörg Berkner)

aus den Worten „transconductance“ oder „transfer“ und „varistor“ und hat sich, wie wir heute wissen, bald durchgesetzt. Etwa zur gleichen Zeit kam aus Frankreich aber noch ein anderer Begriff: „Transistron“ nannte man dort den ersten europäischen Transistor. Die Geschichte dieses ersten europäischen Transistors ist wenig bekannt und soll daher hier etwas ausführlicher dargestellt werden.

Zwei deutsche Wissenschaftler in Frankreich

Wenngleich das Transistron aus Frankreich kam, spielten zwei deutsche Wissenschaftler die Hauptrolle bei seiner Entwicklung: Heinrich Welker und Herbert Mataré. Der Zufall wollte es, dass Heinrich Welker und Herbert Mataré 1912 im selben Jahr und im selben Monat geboren wurden. Der Zufall auch ließ 1947 ihre Lebenswege kreuzen. Weniger zufällig war aber das wichtigste Ergebnis ihrer von 1947 bis 1951 dauernden Zusammenarbeit, der erste europäische Transistor.

Heinrich Welker untersuchte 1942 am Physikalisch-Chemischen Institut der Universität München die Eigenschaften von Germanium und entwickelte

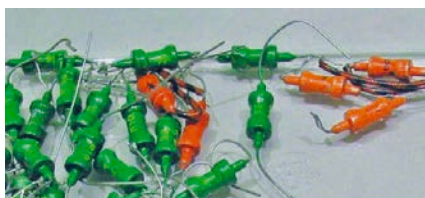
einen Gleichrichter, der als Detektor für hochfrequente Wellen geeignet war. Diese Arbeiten hatten vor dem Hintergrund des Wettrüstens auf dem Gebiet der Radartechnik im 2. Weltkrieg besondere Bedeutung.⁸ Daraus resultierte ein Patent, in dem sowohl ein solcher Hochfrequenz-Gleichrichter als auch ein Herstellungsverfahren für das dafür notwendige hochreine Germanium beschrieben wurden.⁹

*Prof. Dr. habil. Heinrich Welker, *9. September 1912, † 25. Dezember 1981.*

Heinrich Welker begann 1931 ein Studium der Mathematik und Physik an der Universität München. 1936 promovierte er, 1939 folgte seine Habilitation. Ab 1940 war er an der Drahtlostelegrafischen und Luftelektrischen Versuchsstation Gräfelfing (DVG) und danach im Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen (FFO) mit Ultrakurzwellentechnik befasst. Er entwickelte 1942 einen Germanium-Gleichrichter für den Radar-Empfang. Von 1947 bis 1951 arbeitete er zusammen mit Herbert Mataré in Frankreich an der Entwicklung des Transistors, für den sie im August 1948 gemeinsam ein Patent anmeldeten. 1951 kehrte er nach Deutschland zurück und trat in die Firma Siemens ein. Hier erforschte er die Grundlagen der III-V-Halbleiter.¹⁰

In diesem Patent wird schon auf die besondere Eignung von monokristallinem Germanium und auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen Oberflächenbehandlung hingewiesen. Im Mai 1943 wurden die von Welker entwickelten Detektoren an die Firma Siemens zur Fertigung übergeben.¹¹ Basierend auf Welkers Arbeiten wurden bei Siemens bis 1945 etwa 10.000 dieser als „Richtleiter“ bezeichneten Hochfrequenz-Gleichrichter hergestellt und in Funk- und Radarempfangsgeräten eingesetzt.¹²

Im Oktober 1944 musste das Physikalisch-Chemische Institut München aufgrund von Bombenangriffen nach Gauting verlegt



Siemens-Richtleiter aus der Nachkriegsproduktion (Foto: Jörg Berkner)

werden. Welker befasste sich dort wieder mehr mit theoretischen Fragen, insbesondere mit dem ungelösten Problem eines Halbleiterverstärkers. Ergebnis war ein Patent, welches er noch kurz vor Kriegsende

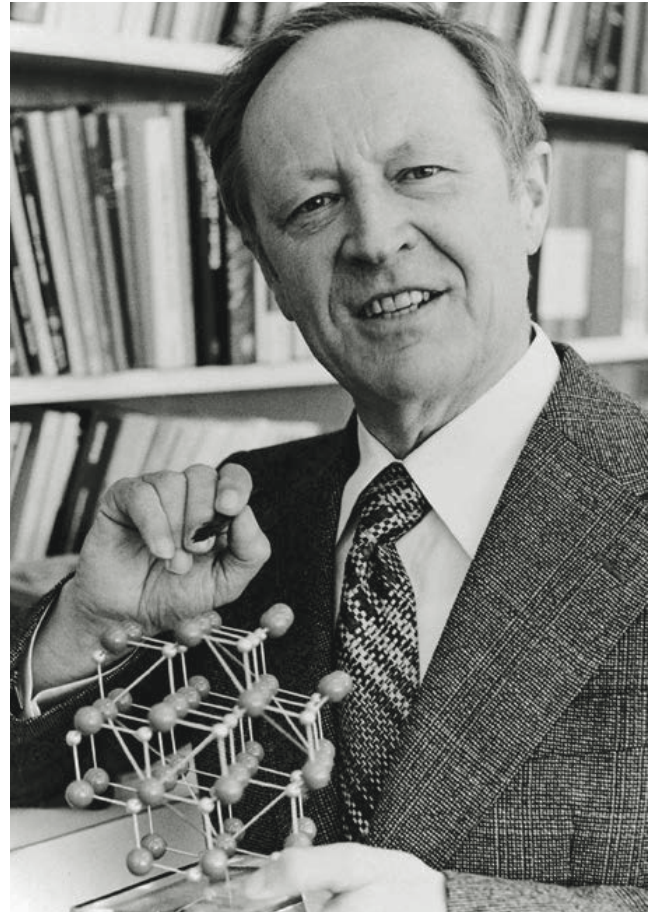
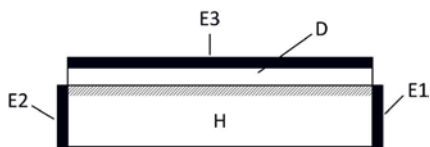


Foto: Siemens Corporate Archives, mit freundlicher Genehmigung

am 6. April 1945 anmeldete.¹³ Zunächst beschreibt er darin einen als „bekannte Anordnung“ bezeichneten Aufbau mit isolierter Steuerelektrode (= Gate). Nach heutigem Verständnis handelt es sich dabei um einen Feldeffekt-Transistor (FET), wie er auch schon in früheren Patenten vorgeschlagen wurde. Im Frühjahr 1945 führte Welker erste Experimente mit solchen „Drei-Elektroden-Kristallen“ aus Kupferoxydul mit einer isolierten Steuerelektrode aus Silber durch, die jedoch erfolglos blieben. Welker führte das auf die zu dicke Isolationsschicht zurück. In seinem Patent schlug er deshalb vor, die Steuerelektrode ebenfalls aus Halbleitermaterial herzustellen und somit das Dielektrikum durch eine Sperrschicht zu ersetzen. Damit wurde zum ersten Mal das Prinzip eines Sperrschicht-Feldeffekt-Transistors (JFET) formuliert. Das Kriegsende verhinderte aber weitere Arbeiten zu diesem Thema.

Nach dem Krieg machte sich Welker zunächst mit einem Ingenieurbüro selbstständig, nahm aber Anfang 1947 ein Angebot der französischen Firma Compagnie des Freins et Signaux (CFS) Westinghouse an, wo er auf Herbert Mataré traf. Gemeinsam bauten sie in der Nähe von Paris ein Labor für Halbleiterforschungen auf.



Welkers „Halbleiteranordnung zur kapazitiven Steuerung von Strömen“, die er noch im April 1945 zum Patent anmeldete. H ist der p-leitende, mit Elektroden E1 und E2 sperrschichtfrei kontaktierte Halbleiterkristall. D ist ein Isolator oder eine Sperrschicht. Der Strom fließt zwischen E1 und E2 parallel zur Steuerelektrode E3, die aus n-Halbleitermaterial besteht.

Herbert Mataré hatte, ähnlich wie Welker, nach Abschluss seines Studiums der Physik ab 1939 auf dem Gebiet der Radartechnik gearbeitet, allerdings nicht bei Siemens, sondern bei der Firma Telefunken in Berlin. Telefunken war während des 2. Weltkrieges ein wichtiger Lieferant von Radargeräten. Mataré untersuchte das Rauschen von Überlagerungsempfängern, die in solchen Radargeräten verwendet wurden. Er stellte fest, dass das Rauschen des Empfängers durch den Einsatz einer Doppeldiode verringert werden konnte. Solche Dioden gab es zwar als Elektronenröhre, aber diese waren für die Gleichrichtung von cm-Wellen viel zu langsam. Mataré griff deshalb auf die aus den Frühzeiten des Radioempfangs bekannten Kristalldetektoren zurück. 1943 wurde das Telefunken-Labor für Hochfrequenz-Röhren und Halbleiter wegen der zunehmenden Luftangriffe nach Leubus (Schlesien) verlagert. Mataré setzte hier seine Versuche zur Rauschkompensation in Überlagerungsempfängern mit Kristall-Duodioden fort. Das Kompensationsprinzip konnte aber nur funktionieren, wenn die Kennlinien der beiden Dioden möglichst identisch waren. Um dies zu erreichen, ordnete Mataré auf einem Silizium-Kristall (der Kathode) zwei Metallspitzen (die Anoden) in einem möglichst geringen Abstand an.¹⁴ Er beobachtete dabei einen merkwürdigen Effekt: Manchmal wurde der Strom in der einen Diode von dem in der anderen beeinflusst. Mataré nannte diesen Effekt Interferenz. Da die Rote Armee 1944 nach Schlesien vordrang, musste das Labor wieder verlagert werden und Mataré konnte das Problem nicht weiter verfolgen. Erst nach dem Ende des Krieges bot sich dazu wieder Gelegenheit. Mataré bekam, genau wie Welker, nach ausgiebigen Befragungen zu den Ergebnissen seiner Arbeiten während des Krieges durch amerikanische, englische und französische Geheimdienststellen das Angebot, für die französi-

Prof. Dr. sc. phys., Dr. Ing. Herbert Mataré, *22. Sept. 1912, † 2. Sept. 2011.

Herbert Mataré begann 1935 ein Studium der Physik an der technischen Hochschule Aachen. Ab 1939 arbeitet er beim Telefunken-Forschungslaboratorium Berlin an der Entwicklung von Hochfrequenzgleichrichtern. 1944 promovierte er. Von 1945 bis 1948 arbeitete er in Frankreich zusammen mit Heinrich Welker an der Entwicklung des Transistors, für den sie im August 1948 gemeinsam ein Patent einreichten. 1951 gründete er die Firma Intermetall.

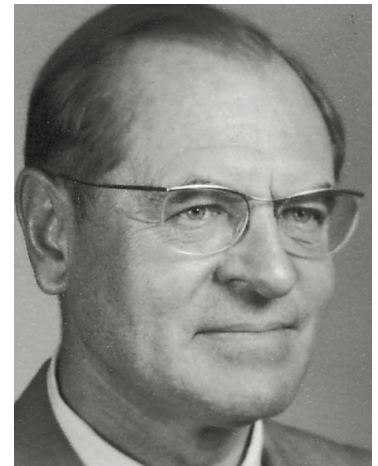


Foto: Wikipedia, veröffentlicht unter Creative Common Licence, GNU-Lizenz für freie Dokumentation

sche Firma Compagnie des Freins et Signaux (CFS) Westinghouse zu arbeiten. Solche Anwerbung von deutschen Wissenschaftlern wurde kurz nach dem Kriegsende durch alle vier alliierten Mächte intensiv betrieben. Spezielle Einsatzgruppen durchsuchten das Land nach deutschen Spitzen-Wissenschaftlern, da man von ihrem Wissen profitieren wollte. Am meisten begehrt waren sicherlich die Ergebnisse der Raketen- und Kernforschung, aber auch viele andere Gebiete der industriellen Forschung und Entwicklung waren von wirtschaftlichem und militärischem Interesse.¹⁵

Die zweite Entdeckung des Transistoreffekts

Die französische Post wollte nach dem Krieg ihr Telefonnetz modernisieren und hatte deshalb mit der Firma CFS Westinghouse einen Vertrag geschlossen. Zunächst wurden Dioden benötigt. Das war der Hintergrund für die Einstellung von Welker und Mataré. In einem leerstehenden, zweistöckigen Haus in der Stadt Aulnay-sous-Bois, rund 20 km nordöstlich von Paris gelegen, begannen sie ein Halbleiterlabor aufzubauen. Im Keller stellte Welker seine Apparaturen zur Herstellung von hochreinem Germanium auf. Er verwendete dabei das Zonenschmelzverfahren, bei dem das Germanium mit einem Hochfrequenzgenerator erhitzt wurde. Im Erdgeschoß wurde von Mataré die Dioden-Produktion eingerichtet. Im zweiten Stock lagen die Wohnungen der beiden. Drei Mechaniker halfen beim Bau von Messgeräten, sechs Ingenieure waren mit der Messung der Dioden befasst, während zehn Frauen die diffizile Arbeit des Einbaus der Dioden in das Gehäuse übernahmen. Noch 1946 konnte die Produktion von Germanium-Dioden beginnen.¹⁶

Nun konnte sich Mataré wieder dem merkwürdigen Interferenz-Effekt zuwenden, den er schon 1944 bei der Messung der Doppeldioden beobachtet hatte. Mit dem jetzt besseren, von Welker hergestellten Germanium-Material konnte der Effekt reproduzierbar gemacht werden: Wenn die erste Sperrschicht in Durchlassrichtung und die zweite in Sperrrichtung gepolt wurde, konnte mit der Spannung an der ersten Sperrschicht der Strom durch die zweite Sperrschicht gesteuert werden – das war der lang gesuchte Transistoreffekt! Anfang 1948 waren die Versuche mit dem neuen Kristallverstärker so weit gediehen, dass man mit dem Aufbau einer Produktion beginnen konnte. Am 13. August 1948 reichten Mataré und Welker dazu in Frankreich ein Patent ein; ihre Patentanmeldung in den USA folgte allerdings erst ein Jahr später im August 1949.¹⁷

Am 18. Mai 1949 stellte der französische Postminister Eugène Thomas das neue Bauelement der Öffentlichkeit unter dem Namen „Transistron“ vor. Die gesamte Produktion der neuen Bauelemente von CFS Westinghouse wurde an das Postministerium geliefert und für Leitungsverstärker und andere Anwendungen eingesetzt. Für die Weiterentwicklung des Transistrons fehlte allerdings das Geld, denn nun bekam die Atomforschung durch den französischen Staat die höchste Priorität. So endete die Tätigkeit von Welker und Mataré für CFS Westinghouse schon 1951. Während Welker in Deutschland in die Firma Siemens eintrat, wo er durch seine Forschungen zu den III-V-Halbleitern bald weltbekannt wurde, gründete Mataré in Düsseldorf mit Hilfe eines vermögenden Geschäftsmannes die Firma Intermetall, die bald die ersten Dioden und Transistoren herstellte.¹⁸

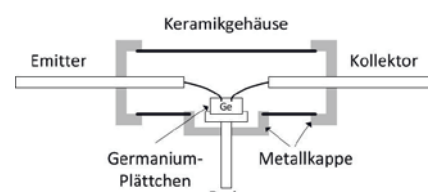
Transistron vs. Bell-Transistor

Vergleicht man den Aufbau des Transistrons mit dem des Bell-Transistors von Bardeen und Brattain, so stellt man erstaunliche Ähnlichkeiten fest, obwohl beide unabhängig voneinander entwickelt wurden. Bei beiden wurde Germanium als Halbleitermaterial verwendet, bei beiden wurden zwei Elektroden als Punktkontakt aufgesetzt.

Allerdings enthält die Patentschrift der Bell-Wissenschaftler, die sie nur rund einen Monat vor Welker und Mataré einreichten, eine weitaus detailliertere Darstellung der physikalischen Funktionsweise dieses ersten Bipolartransistors. Welker und Mataré

waren sich hingegen in der Erklärung der Vorgänge im Transistor nicht einig. Während Welker den Verstärkungseffekt als Steuerung über das elektrische Feld der Sperrschicht an der Steuerelektrode erklärte (was in der Patentschrift deutlich wird), nahm Mataré eine Injektion von Ladungsträgern von der Steuerelektrode in das Germanium als Erklärung an.

Bardeen und Brattain hingegen hatten in der Zeit von ihrer ersten Beobachtung des Transistoreffekts im

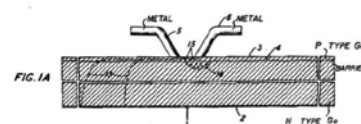


Prinzipieller Aufbau des Transistrons

Dezember 1947 bis zur Patentanmeldung im Juni 1948 eine recht klare und schlüssige Theorie des Transistors entwickelt. In ihrer Patentschrift erläuterten sie schon so wesentliche Halbleiter-Begriffe wie Elektronen, Löcher, n-Leitung, p-Leitung, Übergang (junction), Basis, Emitter und Kollektor.¹⁹

Parallele Erfindungen sind in der Technikgeschichte gar nicht so selten.

Ein Beispiel dafür ist der direkte Vorläufer des Transistors, die Elektronenröhre. Sie wurde im März 1906 von Robert von Lieben²⁰ und nur ein halbes Jahr später ebenfalls von Lee de Forest²¹ erfunden. Wie es scheint, ist die Wahrscheinlichkeit einer parallelen Erfindung hoch, wenn ihre Zeit gekommen ist. Wann aber ist die richtige Zeit gekommen? Wenn ein dringender Bedarf zur Lösung eines Problems besteht und wenn gleichzeitig die wissenschaftlichen und technologischen Voraussetzungen zur Realisierung dieser Idee vorhanden sind. Bei der Elektronenröhre bestand der dringende Bedarf in der Notwendigkeit Sprachsignale zu verstärken, um Telefongespräche auch über große Entfernungen führen zu können. Bei den Halbleitern war es der Bedarf nach Hochfrequenzgleichrichtern für Radargeräte, der die Halbleiterforschung so weit voranbrachte, dass die schon in den 20er Jahren formulierte Idee eines Kristallverstärkers schließlich Realität werden konnte.



Der Aufbau des ersten Transistors von Bardeen und Brattain

Fazit

Die Bell-Wissenschaftler Bardeen und Brattain gelten mit Recht weltweit als die Erfinder des Transistors. Zusammen mit Shockley wurden sie dafür 1956 mit dem Nobel-Preis geehrt. Nahezu zeitgleich war aber auch zwei deutschen Wissenschaftlern in französischen Diensten die Entwicklung des lange gesuchten Kristallverstärkers gelungen. Nur wenige Woche nach den Amerikanern meldeten sie ihre Erfindung zum Patent an. Diese vielversprechende europäische Entwicklung wurde allerdings nicht fortgesetzt. Bei der weiteren Entwicklung des Transistors blieben amerikanische Firmen führend. Dem Punktkontakt-Transistor folgten bald der gezogene Flächentransistor, der Legierungstransistor und schließlich der ME-SA-Transistor. Anfang der 60er Jahre gelang es auch endlich die praktischen Probleme mit dem Gateoxid beim Feldeffekt-Transistor zu lösen. Das erste Patent zu einem solchen unipolaren, feldeffektgesteuerten Transistor hatte der deutsche Wissenschaftler Julius Lilienfeld schon drei Jahrzehnte zuvor 1925 angemeldet (s. Meilensteine der Transistorentwicklung). Wichtige technologische Neuerungen bei der

weiteren Transistorentwicklung waren:

- der Übergang von Germanium zu Silizium als Halbleitermaterial,
- die Verwendung der Diffusion zur Herstellung halbleitender Schichten,²²
- die Verwendung von Silizium-Oxid als Maske für den Diffusionsprozess,²³
- die Anwendung der Fotolithografie zur Strukturierung der Oxid-Maske und
- der Planarprozess, in dem Diffusion, Oxidmaske und Fotolithografie kombiniert wurden, um Basis und Emitter eines Transistors zu erzeugen, der dann mit Aluminium-Leitbahnen kontaktiert wurde.²⁴

Diese Verfahren bildeten dann auch die Grundlage für die Entwicklung der ersten integrierten Schaltungen. Der Transistor und darauf aufbauend die integrierte Schaltung wurden nun zur wichtigsten Grundlage der Elektronik und besonders der Informationstechnologie, deren atemberaubende Entwicklung wir bis heute beobachten können.

Wichtige Meilensteine bei der Entwicklung des Transistors

1925 – Julius Lilienfeld schlägt einen Feldeffekt-Kristallverstärker vor (US 1 745 175)

1934 – Oskar Heil meldet ein Patent für einen Feldeffektverstärker an (GB 439 457)

1945 – Heinrich Welker patentiert einen Feldeffekttransistor (DE 980 084B, 6.4.1945)

1948 – Bardeen und Brattain melden den Punktkontakt-Transistor zum Patent an (US 2 524 035, 17.6.1948)

1948 – Shockley patentiert den Flächentransistor (US 2 569 347)

1948 – Patentanmeldung von Welker und Mataré für das Transistron (FR 1 010 427, 13.08.1948)

1960 – Patentanmeldung von Kahng (Bell Labs) für einen Feldeffekttransistor (US 3 102 230)

Fußnoten zum Artikel „70 Jahre Transistor“

¹ Bell-Transistor Lab book, case 38/39-7, p.6 to 11

² US Patent 2 524 035, Three-Electrode Circuit Element utilizing Semiconductor Materials

³ Vgl. dazu Plettner, Abenteuer Elektrotechnik [13], S.186

⁴ Siebertz, Halbleiter revolutionieren die Technik [15], S.12, 13

⁵ Vgl. zu dieser Frage: Jack Morton in „The Improbable Years“, Electronics, 19 February 1968, p.51: „We realized that if this thing was as big as we thought, we couldn't keep it to ourselves and we couldn't make all the technical contributions. It was in our interest to spread it around“.

⁶ Vgl. dazu: Holbrook, Government Support [11]

⁷ Terminology for Semiconductor Triodes - Committee Recommendations, Case 38139-8, May 28, 1948, Bell Telephone Laboratories

⁸ Zur Geschichte des Hochfrequenzkrieges im 2. Weltkrieg vgl. Johnson, Streng Geheim [12]

⁹ Patent DE 966 387 vom 3.10.1942 von Klaus Clusius, Erich Holz und Heinrich Welker

¹⁰ Feldtkeller, Pioniere [4]

¹¹ Handel, Anfänge [9], S.83

¹² Vgl. dazu Gaudlitz, Historischer Rückblick [6][7][8] und Bosch, Werdegang [1]

¹³ Patentschrift DE 980 084 „Halbleiteranordnung zur kapazitiven Steuerung von Strömen in einem Halbleiterkristall“, angemeldet am 6.4.1945

¹⁴ Handel, Anfänge [9], S.74

¹⁵ Vgl. dazu z.B. Bowers, Verschwörung Paperclip [2] und CIOS-Report XXXI-2 [3]

¹⁶ Van Dormael, French Transistor [17], S.2, 8

¹⁷ Patent FR1 010 427 vom 13.8.1948 sowie US-Patent 2 673 948 vom 11.8.1949, vgl. hierzu auch Riordan, How Europe Missed the Transistor [14] und Bosch, Werdegang [1]

¹⁸ Handel, Anfänge [9], S.190 ff.

¹⁹ Vgl. Patent US 2 524 035 vom 17.6.1948

²⁰ Patent DRP 179 807 vom 4.3.1906

²¹ Patent US 841 387 vom 25.10.1906

²² Vgl. Tanenbaum und Thomas [16]

²³ Vgl. Frosch und Derick [5]

²⁴ Vgl. Patent US 3 025 589 von Jean A. Hoerni (Fairchild), 1.5.1959 sowie Hoerni, Planar Silicon Transistors and Diodes [10]

PERSÖNLICHKEIT

Oskar von Miller als Wegbereiter für ein landesweites Stromnetz in Thüringen

Dr. Peter Glatz, Erfurt

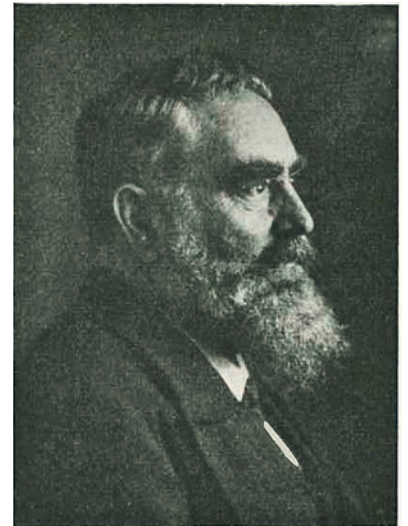
Der Aufbau eines landesweiten Stromnetzes in Thüringen nach dem ersten Weltkrieg erfolgte nach Plänen eines Münchener Ingenieurbüros, dessen Leiter, Oskar von Miller, für die Anfänge der Elektrifizierung in ganz Deutschland eine große Bedeutung hat. Miller wurde am 7. Mai 1855 als Sohn einer etablierten Künstler- und Technikerfamilie in München geboren. Sein Vater war Erzgießer und Direktor der Königlichen Eisengießerei. 1875 erhob der bayerische König die Familie in den erblichen Adelsstand. Ab 1874 studierte Miller am Polytechnikum (der späteren Technischen Hochschule) seiner Heimatstadt Ingenieurwesen, u. a. Eisenbahn-, Wasser- und Brückenbau. 1878 übernahm er als Baupraktikant eine Stelle im bayerischen Staatsdienst.

Seit den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts gliederten sich die elektrischen Disziplinen aus den herkömmlichen Technikbereichen allmählich heraus und bildeten ein eigenständiges Fach, für das Werner von Siemens im Jahr 1879 die Bezeichnung „Elektrotechnik“ eingeführt hat. Die junge Disziplin nutzte die vielfältigen Möglichkeiten der öffentlichen Darstellung (Weltausstellungen, Gewerbeausstellungen u. a.), um ihre Ergebnisse vorzustellen und für ihre Produkte zu werben. 1881 fand in Paris eine erste eigenständige elektrotechnische Ausstellung statt, in der als besondere Attraktion Edisons Kohlefadenlampe zum ersten Mal in Europa in großem Rahmen vorgeführt wurde. Oskar von Miller bekam als junger Besucher dieser Schau entscheidende Anregungen für seine weitere berufliche Entwicklung. Er holte im Auftrag der Stadt ein Jahr später die zweite Internationale Elektrizitätsausstellung nach München und wurde mit ihrer Organisation beauftragt. Ein Höhepunkt war diesmal die Demonstration einer ersten praktisch brauchbaren Gleichstrom-Übertragung (2000 Volt) über eine längere Strecke, von Miesbach in den 57 km entfernten Kristallpalast in München.

Im Anschluss an diese Ausstellung holte der Industrielle Emil Rathenau, der Vater des 1922 ermordeten

deutschen Außenministers Walter Rathenau, den jungen Ingenieur 1883 nach Berlin in die Direktion der „Deutschen Edisongesellschaft für angewandte Elektrizität“ (DEG), die 1887 in die „Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft“ (AEG) umgebildet wurde. Als Technischer Direktor dieser Unternehmen widmete sich Miller der Planung und dem Bau der ersten Blockstationen und kleiner Elektrizitätswerke in Berlin, die Strom damals vorwiegend für Beleuchtungszwecke erzeugten. 1885 wurde das erste öffentliche Kraftwerk in der Markgrafenstraße eröffnet, das z. B. das Königliche Schauspielhaus sowie einige in der Nähe liegende Restaurants und Geschäftshäuser mit Strom versorgte. Für private Abnehmer war die elektrische Beleuchtung jedoch noch viel zu teuer. In den meisten Wohnungen verwendete man eine ganze Zeit lang noch das Gaslicht bzw. die Petroleumlampe.

1890 schied Miller aus der AEG aus und gründete in München ein eigenes Ingenieurbüro, das auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft in Deutschland und auch international eine führende Stellung erlangte und von dem über mehrere Jahrzehnte hinweg wichtige Impulse für den Ausbau dieses Wirtschaftszweiges ausgingen. In dieser Zeit war eine der heftig umstrittenen Fragen in der Branche, welche Stromart, Gleich- oder Wechselstrom, sich besser für die Verteilung und Anwendung der elektrischen Energie eignet. Die Antwort hatte große wirtschaftliche Auswirkungen, da viele Städte den Bau eines Elektrizitätswerkes planten. So auch die Stadt Frankfurt am Main, wo man die Idee hatte, sich von einer Ausstellung Aufschluss über die Vor- und Nachteile der beiden konkurrierenden Systeme zu holen. Im Mai 1891 wurde in der Stadt eine Inter-



nationale Elektrotechnische Ausstellung eröffnet, mit deren Organisation wiederum Oskar von Miller beauftragt worden war. Spektakulärer Höhepunkt dieser Schau war die Demonstration einer ersten Drehstrom-Fernübertragung von Lauffen am Neckar zum etwa 175 km entfernten Ausstellungsgelände in Frankfurt, mit der man nachweisen konnte, dass bei einer Spannung von 25.000 Volt die Anlage mit einem Wirkungsgrad von 77 % arbeitet.

In der folgenden Zeit widmete sich Miller mit seinem Büro der Planung und dem Bau von Elektrizitätswerken für kleine und große Städte sowie den Versorgungssystemen für Regionen und Länder (z. B. den Etschwerken 1897/98, den Brennerwerken 1898, dem Walchensee-Kraftwerk 1918-1924, dem Bayernwerk, gegründet 1924). Im Auftrag des Thüringer Wirtschaftsministeriums legte das Ingenieurbüro im November 1922 ein Projekt für eine Thüringische Landes-Elektrizitäts-Versorgung vor, das vom Landtag angenommen wurde und die Grundlage für die 1923 erfolgte Gründung des Thüringenwerks mit Sitz in Weimar war. Mit der Planung für eine einheitliche und gemeinnützige Elektrizitätswirtschaft in Thüringen war Oskar von Miller an der

Überwindung der „energiewirtschaftlichen Kleinstaaterei“ des Landes wesentlich beteiligt.

Millers zweites Lebenswerk war das von ihm 1903 initiierte Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaften und der Technik, das „Deutsche Museum“ in München. Es sollte nach entsprechenden Vorbildern in London und Paris einen enzyklopädischen Überblick über alle Gebiete der Technik und der exakten Naturwissenschaften vermitteln. Sein didaktisches Konzept war ein „Museum zum Anfassen“, mit der Möglichkeit für Vorführungen und eigene Experimente. Mit den verschiedenen Sammlungen, der Bibliothek, Räumen für Vorführungen und Experimente, den Sondersammlungen und Archiven erfüllt das Museum bis heute die Vision Oskar von Millers, unterhaltsam, volkshnah und bildend zugleich zu sein.

Das Erfurter Elektromuseum versucht mit seinen bescheidenen Mitteln dieser Konzeption zu folgen. Mit der Pflege der Stromgeschichte einerseits und ihrer musealen Darstellung andererseits sieht sich das Museum auch den beiden Lebensthemen dieses bedeutenden Ingenieurs verpflichtet.

LITERATURVERZEICHNIS

Literaturangaben zum Artikel „70 Jahre Transistor“

[1] Bosch, Berthold: Der Werdegang des Transistors. 1929-1994. Bekanntes und weniger Bekanntes. Festkolloquium zum 65. Geburtstag von Magnifizienz Prof. Dr. Eberhart Köhler, TU Ilmenau, 17.11.1994

[2] Bowers, Tom: „Verschwörung Paperclip“, List Verlag, 1987

[3] CIOS-Report XXXI-2: „Research Work undertaken by the German Universities and Technical High Schools for the Bevollmächtigter für Hochfrequenztechnik; Independent Research and Associated Subjects“, Combined Intelligence Objectives Sub-Committee, London, 1947

[4] Feldtkeller, Ernst; Goetzeler, Herbert: „Pioniere der Wissenschaft bei Siemens“, Publicis MCD Verlag, 1994

[5] Frosch, C.J., Derick, L.: „Surface Protection and Selective Masking during Diffusion in Silicon“, Journal of the Electrochemical Society Vol. 104, No. 9, Sept. 1957

[6] Gaudlitz, Dr.: „Historischer Rückblick auf die Anfänge der Halbleiter-Entwicklung bei Siemens & Halske bis zum Sommer 1950“, WW B HaF Lab22, Teil I vom 12.4.1962

[7] Gaudlitz, Dr.: „Historischer Rückblick auf die Richtleiter-Entwicklung bei Siemens & Halske bis zum Sommer 1950“, WW B HaF Lab22, Teil II vom 20.3.1963

[8] Gaudlitz, Dr.: „Historischer Rückblick auf die Richtleiter-Entwicklung bei Siemens & Halske bis zum Sommer 1950“, WW B HaF Lab22, Teil III vom 11.3.1964

[9] Handel, Kai Christian: „Anfänge der Halbleiterforschung und -entwicklung, dargestellt an den Biografien

von vier deutschen Halbleiterpionieren“, Dissertation RWTH Aachen, 1999

[10] Hoerni, Jean A.: „Planar Silicon Transistors and Diodes“, Fairchild Technical Paper No.14, 1960

[11] Holbrook, Daniel: Government Support of the Semiconductor Industry, Business and Economic History, Vol.24, No.2, 1995

[12] Johnson, B.: „The Secret War“, BBC, 1978, deutsche Ausgabe: Pietsch Verlage / Weltbild Verlag

[13] Plettner, Bernhard: „Abenteuer Elektrotechnik. Siemens und die Entwicklung der Elektrotechnik seit 1945.“, Pieper Verlag, München 1994

[14] Riordan, Michael: „How Europe Missed The Transistor“, <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/how-europe-missed-the-transistor/0>, Nov. 2005, download 11.5.2012

[15] Siebertz, Karl; Tschermak, Manfred; Wiesner, Richard: „Halbleiter revolutionieren die Technik“, in: „Aus der Geschichte der Elektrotechnik im Hause Siemens nach 1945“, Band 1, Frühjahr 1977 (unveröffentlichtes Manuskript)

[16] Tanenbaum, M., and Thomas, D. E. "Diffused emitter and base silicon transistors", Bell System Technical Journal, January 1956, pp. 1-15.

[17] Van Dormael, Armand: "The 'French' Transistor", 2004, <http://www.cdvdandt.org/VanDormael.pdf>, download: 28.8.2012

AUTORENVERZEICHNIS

Dipl.-Ing Stephan Hloucal

(Regierungsdirektor a.D.)

studierte von 1972 bis 1976 Informationstechnik und Theoretische Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Ilmenau. Von 1976 bis 1990 war er im FWE tätig und beschäftigte sich mit elektronischer Messtechnik im Halbleiterbauelementenprüffeld, im Messgerätewerk. Von 1987 bis 1991 lehrte er nebenberuflich als Dozent an der Ingenieurschule Eisleben Mess- und Prüftechnologie. Von 1990 bis 2006 war er Beamter in der Thüringer Staatskanzlei und dem Thüringer Kultusministerium. Ab 2006 berufliche Selbstständigkeit im Bereich Erneuerbarer Energien und Speichertechnologien. Seit 1990 ist er Vorsitzender des Thüringer Museums für Elektrotechnik e. V.

Dipl.-Ing. Jörg Berkner

absolvierte von 1973 bis 1976 im Halbleiterwerk Frankfurt (Oder) eine Lehre als Elektronikfacharbeiter mit Abitur. Von 1978 bis 1982 studierte er an der Ingenieurhochschule Dresden. Danach arbeitete er im HFO als Entwicklungsingenieur für kundenspezifische Schaltkreise. Anfang der 90er Jahre verlagerte er sein Arbeitsgebiet zur Modellierung von integrierten Bauelementen. 1997 wechselte er zum Halbleiterbereich der Firma Siemens in München, heute Infineon Technologies AG. 2002 veröffentlichte er das Fachbuch „Kompaktmodelle für Bipolartransistoren“, 2005 folgte das Buch „Halbleiter aus Frankfurt“ und 2013 veröffentlichte er mit „Vom Wernerwerk zum Campeon“ ein Buch zur Geschichte von Siemens Halbleiter. Er hat außerdem zahlreiche Artikel und Konferenzbeiträge zur Transistormodellierung sowie zur Geschichte der Halbleitertechnik veröffentlicht. Von 2010 bis 2017 leitete er ehrenamtlich das Historische Archiv der Infineon AG.

Dipl.-Ing. Gerhard Roleder

studierte von 1975 bis 1979 Physik und Elektronische Bauelemente an der Technischen Hochschule Ilmenau. Von 1979 bis 1989 war er Technologie und Entwicklungsingenieur im VEB Elektrogas Ilmenau bzw. im VEB Mikroelektronik „Karl Marx“ Erfurt. Von 1990 bis 1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Hygieneinstitut, danach Vertriebsingenieur bei Electronicon Gera und seit 2003 Account Manager für Produkte der Glasfaser- und Netzwerkübertragung bei GE / UTC Fire & Security. Mitglied im Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V., Funkamateur seit 1971.

Dr. Peter Glatz

studierte von 1952 bis 1956 Physik und Mathematik an der Universität Jena. Nach einer mehrjährigen Tätigkeit als Fachlehrer in Freiberg/Sa. und Sondershausen ab 1960 Mitarbeit im Bereich Physik des PI Erfurt, der späteren Pädagogischen Hochschule Erfurt. 1975 Promotion an der PH Potsdam mit einer Arbeit zur historischen Entwicklung der physikalischen Einheiten und Einheitensysteme. Ab 1987 Hochschuldozent für Geschichte der Physik an der PH Erfurt, ab 1998 einige Jahre Gastdozent an der TU Ilmenau. Er ist Gründungsmitglied des Thüringer Museums für Elektrotechnik e.V. und seit 1997 Mitglied im Arbeitskreis Stromgeschichte Thüringens der TEAG. Beteiligung am Aufbau des historischen Archivs der TEAG.

Bildquellen

Bilder S. 1-4, 15: Archiv des Thüringer Museums für Elektrotechnik

Bilder S. 5-8: Gerhard Roleder, Erfurt

Bilder S. 9-13: Jörg Berkner, Greiffenberg

Impressum

Herausgeber:

Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.
(Der Newsletter erscheint zweimal jährlich ausschließlich in elektronischer Form.)

Das ON.LINE 2.2017 wurde erstellt mit freundlicher Unterstützung der Thüringer Energie AG, Erfurt und der SWE Energie GmbH, Erfurt.

V.i.S.d.P.:

Stephan Hloucal

Redaktion:

Matthias Wenzel, Stephan Hloucal

Anschrift: Thüringer Museum für
Elektrotechnik e. V., Hohe Str. 24, D-99094 Erfurt
www.elektromuseum.de

Mail: info@elektromuseum.de

Facebook: Thüringer Museum für Elektrotechnik

Twitter: ElektromuseumEF

Instagram: elektromuseum

Fon: 0176 44445822

Bank: IBAN DE87820510000130084298
BIC HELADEF1WEM
Finanzamt Erfurt 151/141/18963
Amtsgericht Erfurt VR160490

Haftungsausschluss:

Herausgeber und Redaktion übernehmen keine Forderungen, die aus Rechten Dritter zu einzelnen Beiträgen entstehen. Für unverlangt eingesandte Texte, Fotos und Materialien wird keine Haftung übernommen.

Der Newsletter und alle in ihm enthaltene Beiträge, Fotos und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung der Autoren, oder der Rechteinhaber bzw. der Redaktion unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

© Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V., bei den Autoren und Fotografen 2017. Falls nicht anders vermerkt, liegen die Nutzungsrechte an den Fotos beim Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.

Wenn Sie unsere ON.LINE nicht mehr empfangen möchten, informieren Sie uns bitte per E-Mail.