



HISTEC

NR. 4/2021

CHF 8.00

**Schweizer Zeitschrift
für historische Technik**



8

**DIE KÖNIGSKLASSE
DER MARKE CENTRUM**

10

**ZEESEN ODER T875 WK
TELEFUNKEN**

24

**COMPUTERBAU AN
DER ETH ZÜRICH**

In unseren Workshops haben die Kinder und Jugendlichen die Möglichkeit, die Elektronik und ihre Funktionsweise näher kennen zu lernen. Sie können selber aktiv werden und sammeln erste Erfahrungen mit der Materie.

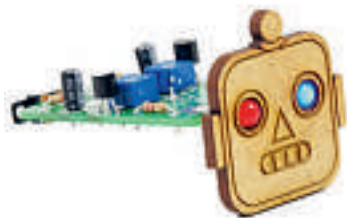
Das Programm eignet sich als Ergänzung zum Unterricht (nach Lehrplan 21) als Vorbereitung für die Berufswahl oder als Aktivprogramm bei Expeditionen oder Geburtstagen.

Das Angebot richtet sich an

- 3. – 6. Klasse Primarschule
- ab 7. Klasse (gemäss Lehrplan 21)
- Berufsschulen (MINT-Berufe)
- Vereine, Familien, Firmen

Ziele

- Interesse an Technik wecken und fördern
- Erste Erfahrungen mit Elektronik sammeln
- Kennenlernen der Bauteile und ihrer Funktion



Workshop I – Roböterli

Zielgruppe	3. – 6. Klasse Primarschule (ab 10 Jahren)
Aktivität	→ Vermittlung der Grundlagen der Elektronik → Löttechnik kennenlernen → Bestücken der Leiterplatte
Dauer	ca. 1.5 h
Kosten	CHF 32.– / Teilnehmer inkl. Material
Spezielles	Mindestanzahl 5, max. 17



Workshop II – Elektronischer Würfel

Zielgruppe	ab 7. Klasse + Berufsschulen (ab 13 Jahren)
Aktivität nach Lehrplan 21	→ Schalter, Dioden + veränderbare Widerstände sachgemäss in einen Stromkreis einbauen → Einfache Transistorschaltungen bauen (Würfelschaltung / Flip-Flop) → Bestücken der Leiterplatte + Löttechnik kennenlernen
Dauer	ca. 3 h
Kosten	CHF 58.– / Teilnehmer inkl. Material
Spezielles	Mindestanzahl 5, max. 17

Besichtigung Museum

Kombinieren Sie den Workshop mit einem Rundgang durch das Museum (Eintritt Schüler CHF 10.–, Begleitpersonen gratis) inkl. Benützung des Game Corners. Führungen auf Anfrage.

Kontakt

Museum ENTER, Zuchwilerstrasse 33, 4500 Solothurn, info@enter.ch, 032 621 80 52





EIN PRINZ ZUM MITNEHMEN

Mit dem «Prinz» brachte Kaiser 1960 den ersten portablen Fernseher auf den west-deutschen Markt. Mit seiner Kombination aus Leder, Stoff, Kunststoff und Segeltuch ist er ein eleganter Repräsentant des Designs seiner Generation. Im Innern tun 15 Röhren ihren Dienst. Der Prinz war von 1960 bis 1962 zum königlichen Originalpreis von 698.– DM erhältlich.

Die Firma Kaiser wurde 1852 als Uhrenhersteller in Villingen (DE) gegründet und produzierte noch bis 1968 TVs und Radios. Danach wurde das Unternehmen von Grundig übernommen.

INV.-NR.: 70024
HERSTELLER: Kaiser Radio
MODELL: Prinz KP60
DATIERUNG: 1960
MASSE: 28 × 40 × 37.5 cm



www.crgs.ch

INHALT

4	Editorial
5	CRGS aktuell
6	Design
8	Die Königsklasse der Marke Centrum
10	Zeesen oder T875 WK TELEFUNKEN
12	ENTER aktuell
14	Anfänge der Radiotechnik in der Schweiz
18	Unsere Services rund um ihre Schätze
19	Gutschein Museumsführung
20	Ein selbstgebautes Verpuffungsstrahltriebwerk Teil 2
22	Hommage à Konrad Zuse – Relaisrechner R 500/7 T
26	Computerbau an der ETH Zürich Teil 2
31	Das Leben von Steve Jobs Teil 23
34	Jetzt Mitglied werden
35	Portrait
35	Impressum

ENTER.ch
 Das Museum
 für Computer und
 Unterhaltungselektronik

www.enter.ch

EDITORIAL

Liebe Leserinnen und Leser

Das Jahr 2021 wird sich in Kürze verabschieden. Neben allen Negativmeldungen erfreuen wir uns glücklicherweise über echte Erfolgsgeschichten.

Das Neubauprojekt des Museums ENTER ist auf Kurs. Die Baubewilligung ist erteilt und der Neubau kann in Angriff genommen werden. In Derendingen entsteht nicht nur ein Museum, sondern eine Institution, die Technikgeschichte verwahrt und pflegt. So können künftige Generationen auf unzählige Objekte von Computer, Radio, Telefonie, TV, Grammo und vieles mehr zugreifen und das verstehen lernen. Es ist wohl einer der wenigen Orte, an dem technische Unikate ein sicheres Zuhause finden. Im Weiteren werden unter dem gleichen Dach Event- und Schulungsräume sowie eine Cafeteria entstehen. Ein Besuch im ENTER lohnt sich immer. Ich werde mich trotzdem mit einem lachenden und einem weinenden Auge vom alten ENTER verabschieden...

Der CRGS (Club der Radio und Grammosammler) wird seine Aktivitäten wohl weiterhin einschränken müssen. Wir hoffen, dass der Flohmarkt vor dem Museum ENTER im Frühjahr ohne Einschränkungen stattfinden kann. (Datum noch nicht festgelegt).

Glücklicherweise konnte der Radioflohmarkt in Zofingen stattfinden. Dort hatten unsere Mitglieder und Freunde Gelegenheit sich zu treffen und Erfahrungen auszutauschen.

Leider konnten für das Jahr 2022 noch keine Anlässe bestätigt werden. Aufgrund der aktuellen Situation sind fast alle mir bekannten Termine erneut abgesagt worden! Traurig aber wahr...

Nun haben wir aber ein spannendes, mit vielen guten Beiträgen bestücktes HISTEC-Journal in den Händen. Vielleicht kommt dem Einen oder Anderen beim Studium der Lektüre die Idee, selber einen Artikel zu verfassen und einzureichen, was sehr willkommen ist.

Wir blicken trotz allem positiv in die Zukunft und freuen uns auf die Festtage.

Ich wünsche allen eine schöne Zeit, sicher einen glücklichen Start ins neue Jahr und bleibt gesund!

Euer Ernst Härri
Präsident CRGS



A handwritten signature in white ink, appearing to read 'Ernst Härri'.

CRGS

AKTUELL

ERNST HÄRRI

Präsident CRGS

Geschätzte Mitglieder des CRGS

RADIOFLOHMARKT ZOFINGEN

Nach einjähriger Pause konnte der Radioflohmarkt zusammen mit dem Funkerverein Zofingen am 30. Oktober 2021 wieder stattfinden. Aufgrund der aktuellen Situation durften allerdings nur Personen mit Zertifikat in die Halle gelassen werden. Dafür gab es keine Maskenpflicht und andere Einschränkungen. Die Zutrittsbeschränkung hatten wir deutlich zu spüren bekommen. Mit 13 Ausstellern aus unseren Reihen war der absolute Tiefststand an Anmeldungen erreicht... Trotzdem war die Stimmung unter den Anwesenden ungetrübt und fröhlich. Erfreulicherweise hatten sich doch zahlreiche CRGSler als Besucher und Käufer in die Halle gewagt. Auch interessierte Gäste – teilweise mit Familie – aus anderen Vereinen waren spannende Gesprächspartner und Kunden. Reges Interesse hat auch der Prospektstand des Museums ENTER hervorgerufen. Gesamthaft waren doch über 800 Besucherinnen und Besucher gezählt worden, was die Organisatoren dieses Anlasses erfreut festgestellt hatten.

Auf unserer Seite sieht das nicht so gut aus: Der CRGS hat SFR. 900.- an die Hallenmiete zu bezahlen. Aus verkaufter Standfläche waren SFR 580.- eingenommen worden. Also mussten SFR 320.- aus der Clubkasse nachgezahlt werden. Die Situation im Jahr 2022 kennen wir alle nicht, aber ich hoffe, dass sich mehr Mitglieder durchringen können, sich am Samstag 29. Oktober 2022 als Aussteller in Zofingen anzumelden.

DESO - RADIOMUSEUM

Am 11. November hat eine Schulklasse aus Zürich mit 21 Kindern und 2 Lehrerinnen das Deso Museum besucht. Ich hatte einige Bedenken, wie man 10 jährigen Kindern das Gebiet RADIO einigermaßen verständlich erklärt. Erstaunt stellte ich fest, welches Interesse diese Schüler durch gute Fragen bekundeten. Eindruck hatte sicher der grosse Funkeninduktor mit seinem langen Lichtbogen und dem lauten Geknatter gemacht. Auch das Vorführen einiger Geräte aus der Vergangenheit kam gut an. Kinder und Lehrerinnen waren von diesem Radio- Fabrikmuseum beeindruckt und fuhren zufrieden zurück ins Schulhaus.

Denkt dran: Der Clubbeitrag sollte jetzt beglichen werden!

Ich wünsche allen schöne Festtage und bleibt gesund.

Ernst Härri
Präsident CRGS

LA BELLEZZA NELLA SUA FORMA PIÙ BELLA

Wie viele Staaten in Europa durchlebte auch Italien nach Ende des II. Weltkrieges eine lang anhaltende «Wirtschaftswunder»-Phase.

Die Gründung von KMUs begünstigte dieses «miracolo economico» mit schnell wachsendem Wohlstand, ganz besonders im Bereich der Konsumgüter: Von der Haushalts- über die Mode- und Möbelbranche bis zur Herstellung von Radios sowie – nur wenige Jahre später – Fernsehgeräten.

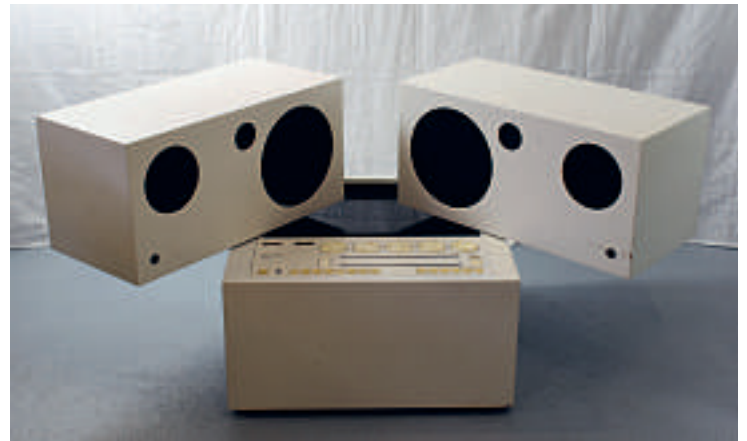
Zwei Namen ragen heraus, wenn es um italienische Radio- und TV-Geräte geht: Brionvega und Voxson. Es liesse sich auch so beschreiben: Mailand (Brionvega) einerseits, Rom (Voxson) andererseits. Beide sahen ihre Chance in der Nische, wohlwissend, dass sie gegen die Grossen, die seinerzeit sämtlich ausländische Namen trugen, nie eine Chance hätten.



Radio/Plattenspieler Brionvega Modell rr-126-fo-st- von 1965
Masse 70 × 121 × 34 cm, Museum ENTER

Schliesslich war der US-Markt rund dreimal, der deutsche etwa doppelt so gross wie der italienische. Andererseits hat Italien im 19. Jahrhundert grandiose Ingenieure hervorgebracht, so dass man sich stolz auf die Fähigkeit zur Innovation verliess.

Schon bevor Adriano Celentano 1976 sein bitter ironisches «Svalutation» (dt. = Geldentwertung) aufgenommen hatte, litt das Land an diesem Phänomen, das den Handlungsspielraum der Unternehmen im Wettbewerb spürbar verschlechterte.



Radio/Plattenspieler Brionvega Modell RR131 von 1970
Masse 52 × 51 × 52 cm, Museum ENTER



TV/Video/Film/Fotografie Brionvega Modell Donex 12 von 1967
(Röhrenempfänger), Masse 26 × 30 × 29 cm, Museum ENTER

Nicht jedoch, wenn man die Heimschwäche durch starke Exporte ausglich, wie erste Anbieter im Bereich der Leuchten und Möbel bewiesen, darunter heute so bekannte Marken wie Artemide, Cassina oder Kartell.

Auch Voxson sah da um 1969 grosses Potential. Zuerst wurde Voxson France in Paris gegründet, danach Tochtergesellschaften in Deutschland (Köln), Spanien (Madrid) und im Vereinigten Königreich (London).



Voxson Modell 1128 «Oyster» (Design Rodolfo Bonetto 1975); geschlossen 33x38x28 cm, aufgeklappt 33x51x26 ca. (L x H x T)

Ausgelöst durch den Pop hatte sich nach 1963 eine Farbigkeit im Design breitgemacht, die durch die parallel aufkommenden Kunststoffe begünstigt wurde. Jetzt waren Gehäuse in jeder Farbe möglich, ohne den sonst notwendigen zusätzlichen Lackauftrag. Der einzige Wermutstropfen, zumindest für ein Unternehmen aus Rom, dürfte gewesen sein, dass man für das Design nach Mailand musste, wo man Rodolfo Bonetto (1939–1991) engagierte. Besonders seine Entwürfe der Fernsehgeräte avancierten zu einer Alternative zu Brionvega.

Im Jahr 1979 schrieb Voxson 5,9 Mrd. Lire Verlust (heute ca. 0,8 Mio CHF), bei einem Umsatz von 56,6 Mrd. Lire. Ein Jahr später war Voxson (in dieser Form) konkursit.

Der deutsche Designer Richard Sapper (1932–2015) war 1959 nach Mailand umgezogen. Bereits im Jahr seiner Ankunft wurde er, gemeinsam mit Marco Zanuso (1916–2001), bei Brionvega beratend tätig. «Gemeinsam entwarfen Sapper und Zanuso eine Reihe von Geräten, die zu Designikonen geworden sind. Zugleich standen diese Geräte am Beginn einer Entwicklung zu kleinen, mobilen Apparaten, die nicht mehr nur in Wohnräumen, sondern überall genutzt werden können. Zu den bedeutendsten Entwürfen zählen der gerundete, kompakte und tragbare Doney 14 (1962), der erste Fernseher, der nur mit Transistoren funktionierte, sowie das Radio TS502 (1964/65), ein würfelförmiges Gerät mit Scharnier, das beim Öffnen Lautsprecher und Kontrollknöpfe enthüllt» (Quelle: Wikipedia dt.).

In dieser Zeit waren auch die Brüder Achille (1918 – 2001) und Piergiacomo Castiglioni (1913 – 1968) für Brionvega kreativ. Ihr ungewöhnliches HiFi-Möbel RR126 schaffte es binnen Kürze zu Kultstatus, bestätigt nicht zuletzt dadurch, dass niemand Geringeres als David Bowie solch ein HiFi-Möbel daheim hatte.

Zu der Phalanx des Besten, das Mailand im Design zu bieten hatte, gesellte sich Ende der 60er Jahre Mario Bellini (geb. 1935). Der hatte sich zuvor bereits bei Olivetti einen Namen gemacht und übersetzte seine dort entwickelte, stark technizistische Handschrift auf Stereoanlagen und TV-Geräte. Was in den durch Beatles und Pop geprägten Sixties noch gelb, rot oder grün war, wurde nach 1969 (ST201) metallisch-grau oder schwarz. Hinzu kam noch ein Ritterschlag: 1972 nahm das MoMA in New York diverse Brionvega-Geräte in seine permanente Sammlung auf.

Ein Schweizer soll hier nicht vergessen werden: Hannes Wettstein (1958–2008). Er agierte kurze Zeit als Brionvegas «Art Director» (2003/04) und schob die Transformation in das digitale Zeitalter an, auch wenn es seine eigenen Ideen nie zur Serienreife gebracht haben.

Das bis Ende der 70er Jahre nahezu unveränderte Klappradio wird weiterhin produziert. Mit digitalem Innenleben erweist es formal der Geschichte Referenz, auch wenn das Unternehmen längst nicht mehr das ist, was es über rund ein Vierteljahrhundert war: Eine der phantasievollsten Ideenschmieden des bel paese.

DIE KÖNIGSKLASSE DER MARKE CENTRUM

Die Firma Gylling & Co. mit Sitz in Stockholm produzierte in den Dreissigerjahren neben Mittelklasserradios mit gutem Design auch Radios im Segment der höchsten Preis- und Qualitätsklasse; die sogenannte Königsklasse.

Davon erfuhr ich, als ich Kurt Thalmann (Präsident des CRGS a.D.) wegen einer anderen Sache besuchte. Er berichtete mir, dass er ein ganz besonderes und sehr seltenes Radio bei e-Bay ersteigern konnte. Wer sein kleines Museum mit lauter superben, edlen und raren Ausstellungsstücken kennt, weiss, dass ihm so etwas nicht so leicht über die Lippen kommt. Also war ich sehr gespannt und machte einige Tage später ein Interview mit ihm.



Centrum Radio De Luxe GW 116 mit Kurt Thalmann

Er berichtete: «Bei e-Bay sah ich ein Radiomöbel der Marke Centrum, Type Royal de Luxe GW116 und ich wusste sofort, dass diese Geräte aus der Königsklasse nur in kleinen Stückzahlen gebaut und noch nie aufgetaucht waren. Da bot ich einen guten Preis und hatte Glück, niemand überbot mich. Wahrscheinlich war den Meisten nicht bekannt, um was es sich da gehandelt hat. Ich holte das Radio in Emmendingen im Schwarzwald beim Sammler ab, der seine Kollektion aus Altersgründen reduzieren musste und erfuhr, dass er lange Zeit in Schweden gelebt hatte und dort – ebenfalls durch einen glücklichen Zufall – dieses schöne Stück erwerben konnte.

Zuhause habe ich das Radio inspiziert und festgestellt, dass es Innen wie Aussen noch im Originalzustand ist und gut gepflegt wurde. Eine umfassende Revision war trotzdem notwendig und es gab mehrere Tage Arbeit, um das Gerät wieder vollumfänglich funktionstüchtig zu machen. Schema oder Beschreibungen waren nirgends zu bekommen. Die wichtigsten Daten lauten:

11 Röhren:

6D6 6A7 6D6 6D6 6G5 75 6C5 6C5 2A3 2A3 5Z3

HF- Vorstufe

Dreifach- Drehkondensator

ZF-Bandbreiteregulierung über drei Stufen

9 Kreise, ZF 480 kHz

Langwelle, Mittelwelle, Kurzwelle

Gegentaktendstufe mit zwei Trioden 2A3

Elektrodynamischer Lautsprecher mit 30 cm

Durchmesser, spez. Konstruktion von Centrum

für den weichen Klang

Geographic Skala

Edelholzgehäuse, Möbel (BHT) 520 920 380 mm

Das revidierte Radio ist sehr selektiv und der Sound hervorragend, beinahe Hi-Fi.

Nachträglich hat einer meiner Sammlerfreunde im radiomuseum.org ein Schema vom Centrum Imperial GW110 mit der gleichen Röhrenbestückung gefunden, das dem Centrum Royal de Luxe GW116 sehr nahe kommt und mir freundlicherweise zugesandt.



Centrum Royal De Luxe GW116 von innen

Beim Kauf bekam ich neben der originalen Garantiekarte einen kleinen, kunstvoll gestalteten Katalog mit den Royal De-Luxe Geräten neben denen prominente Käufer wie König Gustaf V von Schweden mit seinem von ihm konzipierten Radiomöbel, Papst Pius XI, König Farouk I von Ägypten, Kaiser Haile Selassie von Abessinien und prominente Musiker abgebildet sind. Leider haben die abgebildeten Geräte keine Typenbezeichnungen, noch irgendwelche technischen Angaben.

Über Preise wird in diesen Kreisen nicht gesprochen, sie werden bezahlt! Trotzdem ist es interessant darauf einzugehen. Die Preise in der Royal De Luxe Klasse begannen bei ca. Fr. 1800.– und das exklusivste Radio-Grammo-Möbel kostete Fr. 3500.– Das war 1937 sehr viel Geld. Zum Vergleich: In der Schweiz zahlte man im selben Jahr für ein Radio-Grammo-Möbel von Paillard Type 98 MGR Lux (10 Röhren) Fr. 1575.– und der Monatslohn für einen Angestellten betrug ca. Fr. 430.– Ein solches Gerät wurde nur von gut Betuchten gekauft!

Mein revidiertes Radio hat original auch eine «Geographic-Skala» über deren Ursprung vieles nicht geklärt werden konnte.



Centrum Royal De Luxe GW 116 Geographic-Skala



In einem Artikel der «Neuen Freien Presse» vom 1.1.1936 wird König Gustaf V als Erfinder einer neuen Skala-Anzeige genannt. Sicher ist, dass der König an der Fernmeldetechnik sehr interessiert war und mit der Firma Gylling & Co. bzw. dem C.O. zusammen arbeitete. Er liess sich hier nach seiner Idee ein Radio der Superlative bauen mit einer rechteckigen Skala im Format 80 mal 40 cm als Kartenausschnitt von Europa. Es heisst, die eingestellten Sender waren durch aufleuchtende Lämpchen auf der Karte zu lokalisieren. Dies wäre bei dieser Grösse der Skala m.E. noch möglich gewesen. Je nach Quelle ist von 29 bis 66 Lämpchen die Rede. Anders sieht es bei den kleineren rechteckigen Skalen aus. Z.B. beim Radio des Papstes Pius XI. Da reicht der Platz für die Lämpchen mit der Verdrahtung und der Kontaktabnahme kaum aus. Klären liesse sich das, wenn man diese Geräte inspizieren könnte. Leider ist bisher keines

dieser Objekte in Sammlerkreisen aufgetaucht. Die in meinem Radio eingebaute Geographic-Skala mit einem Durchmesser von ca. 22 cm und 88 markierten Sendern, ist wahrscheinlich ein Lizenzbau oder direkt von Ingelen geliefert worden, da Ingelen ein Weltpatent auf der Skala gehabt haben soll. Um sicher zu sein, müsste man aber die entsprechenden Dokumente einsehen können.

König Gustav V hat in seinem Schloss in Stockholm rund sechzig Radios gehabt. Auch in den übrigen Anwesen der königlichen Familie liess er Empfänger installieren. Bertil Gylling wurde mit seiner Firma Gylling & Co./Centrum Radio von Gustaf V zum «KUNGLIG HOVLEVERANTÖR»* ernannt. *(Königlicher Hoflieferant). Diese Auszeichnung war für das Prestige und die Werbung der Firma von entscheidender Bedeutung. Von nun an war auf jeder Skala auch der Mittelpreisklasse diese Auszeichnung aufgedruckt».

Aus der Zeitung «Neue Freie Presse» 1.1.1936

Aus Stockholm wird uns geschrieben: Unter dem Pseudonym Mr.G. ist König Gustaf von Schweden in der internationalen Sportwelt als ein leidenschaftlicher Tennisspieler bekannt und geschätzt. Durch einen Zufall erfährt man nun, dass der König ausserdem ein interessierter und ausdauernder Radiohörer ist und auf seinem Schloss in Stockholm nicht weniger als sechzig Radioapparate stehen haben soll! König Gustaf hat nämlich eine Erfindung zur Verbesserung des Radios gemacht, die in diesen Tagen von einer schwedischen Firma ausgeführt worden ist und bereits das Interesse der ausländischen Industrie auf sich gezogen hat. Nach seinen Ideen wurde ein Spezialapparat hergestellt, auf dem eine Landkarte von Europa angebracht ist; auf dieser Karte sind die wichtigsten Stationen des Sendernetzes, etwa sechzig an der Zahl, aufgezeichnet und mit kleinen elektrischen Lampen versehen. Diejenigen Stationen, auf welche der Apparat eingestellt wird, beginnt automatisch aufzuleuchten. Ein derartiger Apparat ist, wie man sich leicht vorstellen kann, von beträchtlichem Format und in Folge der technisch komplizierten Schaltungsanlage so teuer, dass ein gewöhnlich Sterblicher ihn sich niemals leisten könnte. Den mit seiner Herstellung beschäftigten schwedischen Ingenieuren ist es aber gelungen, die Beleuchtungsanlage wesentlich zu vereinfachen, aber das Prinzip, die eingestellten Stationsnamen auf der Karte zum Aufleuchten zu bringen, ist erhalten geblieben.



ZEESEN ODER T875 WK VON TELEFUNKEN

Die Elektronik seines vertikal aufgestellten Chassis kann von vorne repariert werden!

GESCHICHTE VON 1938

Ein Vertrag über 10 Sender von 100 kW mit deren Steuerung wird unterzeichnet. Kurzwellensender von 50 kW werden nach Brasilien, Iran und Siam geliefert. Markteinführung des Fernsehgeräts FE VI nach dem 441-Zeilen-Standard, dessen Bild auf einem um 45° geneigten 40 × 50 cm Spiegel reflektiert. Gestaltung von einem Mikrofon mit kugelförmigem Ende. Elektroakustische Überwachung und Rufalarme. Der Receiver D 860 WK verfügt über Stationsspeichertasten. Es ist das Jahr der «Edelklasse-Radios». Das Flaggschiffmodell von TELEFUNKEN ist T8000, ausgestattet mit einer EF13 Metallröhre in HF, Push-Pull von AD1-Trioden im letzten LF (10 W) und LS der Höhen. Neue Röhren der A-Serie, die unter 4V beheizt werden, erscheinen, wie die AF7-Röhre ab September 1936 für HF oder LF in Pentodenbestückung oder Triodenbestückung in NF oder Detektor, die sind sehr zuverlässig

Auf der Berliner Messe (5.5.1938) sorgte die Präsentation der TELEFUNKEN Stahlröhren für viel «Lärm».



T875 WK von TELEFUNKEN



Die ersten Bakelit Gehäuse erscheinen Anfang 1939. Sie ermöglichen eine Preissenkung unter 200 RM, wie zum Beispiel der Condor 965 WK, ausgestattet mit TELEFUNKEN Harmonic Röhren «Voll-Metall» mit neuen 8-Pin-Kappen namens Y8A entweder ECH11, EBF11, ECL11. Der 2. Scoop dieser Show ist der ultrasparsame DKE 38 Empfänger für 35 RM.



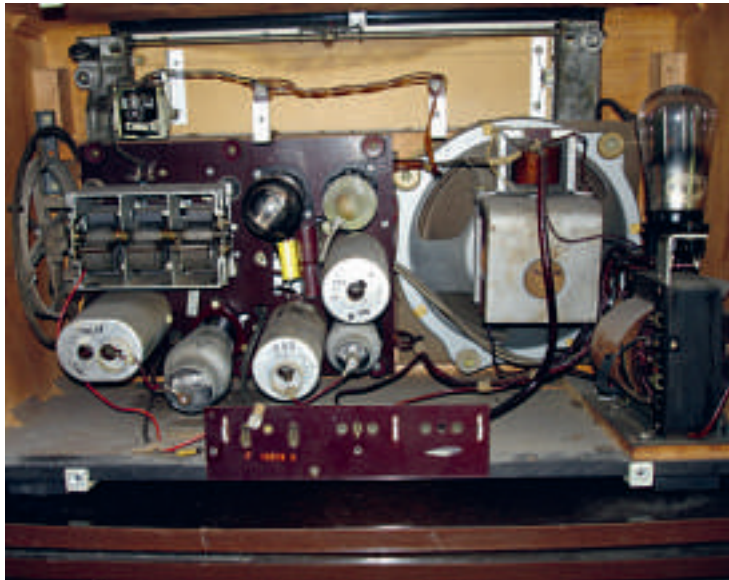
Werbeplakat TELEFUNKEN-SUPER 875

DER BESONDERE AUFBAU DES ZEESEN-RADIOS

- 1) Allgemeine Daten: Dieses Radio bietet die Wellenbereiche LW, MW und KW.

Seine Abmessungen sind $568 \times 349 \times 310$ mm und es wiegt 12,6 kg. Es wurde für 239 RM verkauft. Das Exportmodell hiess Orfeus T 875 WK.

- 2) Elektronik der neuen Generation: Bei TELEFUNKEN dominierte – wie bei vielen anderen deutschen Herstellern in den Vorjahren – der Einsatz verschiedener Reaktionsbaugruppen in Abhängigkeit von der Röhrenanzahl. Diese Elektronik ist vom Superheterodyn-Typ, welcher oft mit dem Begriff Super bezeichnet wird – hier mit 4 Röhren der A-Serie mit indirekter Erwärmung der Kathoden unter 4 V AC, Frequenzänderung durch Triodehexode ACH1, Mittelfrequenz auf 468 kHz durch Pentode AF3 eingestellt, Detektion des Audiosignals durch Doppeldiode und NF-Vorverstärkung durch Triode ABC1 – dann NF-Endstufe durch Pentode AL4 ab Juni 1936 – Vorläuferversion der EL84 oder 6BQ5-Rohr ab Februar 1953 – und AZ1-Doppelweggleichrichter. Es hat 7 Abstimmkreise. Eine mit T 875 GWK (G für Gleichstrom) bezeichnete Version für Gleichstrom ist mit den gleichen Röhren jedoch der C-Reihe zur Reihenschaltung der Heizstrom unter 0,3 A ausgestattet. Dieses Modell wurde für 262 RM angeboten.



vertikal montiertes Chassis

- 3) Was für eine besondere Konstruktion! Die Fehlersuche am Empfänger kann von einer in Betrieb befindlichen Station durch Ablesen der Spannungen durchgeführt werden. Das Chassis im Inneren des Gehäuses ist vertikal montiert und die elektronische Seite ist nach dem Herausziehen der LS-Leinwand, die auf einem Bakelit-Rahmen montiert ist, von vorne zugänglich.



Von vorne reparierbare Konstruktion

Die vollständigen Angaben des Empfängertyps stehen immer auf der Rückseite des Sets. Diese Regel wird von allen Herstellern von Funkempfängern in Deutschland eingehalten! Wahrscheinlich handelt es sich um eine DIN-Norm.



Vollständige Angaben zum Zeesen T 875 WK

- 4) Eine Konstruktion, die kurzlebig geblieben ist: Die folgenden Modelle haben diese Konstruktionsart aufgegeben. Seine Seltenheit ist der Hauptgrund für diesen Artikel. Darüber hinaus hat sich der Hersteller die Mühe gemacht, das Bild aller Verkabelungen der im Chassis platzierten Komponenten bereitzustellen, jede von ihnen durch einen Index zu identifizieren und eine Liste ihrer Eigenschaften zu erstellen, gefolgt von einer Herstellerreferenz, was von unschätzbarem Wert beim Kauf ist.

NEUES AUS DEM MUSEUM ENTER

ENTER AKTUELL

VIOLETTA VITACCA

Leiterin Museum ENTER



«TOP SECRET» EVENT

«Top Secret» Event, CHF 75.-
(Willkommens-Drink,
Museumsführung 90 Minuten,
Apéro Riche),
mind. 10 Pers.

Unsere Museumsführer
verraten auf der «Top
Secret-Führung»
die bestgehüteten Geheimnis-
se der Technikgeschichte – von
der Chiffriermaschine bis zur
Cyberkriminalität.



FONDUEPLAUSCH

«À LA STEVE JOBS»

Fondueplausch «à la Steve Jobs»,
CHF 65.- (Willkommens-Drink,
Museumsführung 90 Minuten,
würziges Fondue),
mind. 10 Pers.

Auf der «Steve Jobs-Führung»
erzählen unsere Museums-
führer vom Apple 1 über den
ersten Schweizer Radiosender
bis hin zu den Spielkonsolen
der 80er Jahre.



RETRO GAME EVENT

Retro Game Event, CHF 250.– pauschal bis max. 10 Pers, 90 Minuten

Wetteifern Sie mal wieder auf den Arcade-Spielkonsolen und Flippern mit und gegen Ihre Familie, Freunde oder Mitarbeiter ganz wie vor der Zeit von Heimkonsolen!



**1.1.2022 / 5.2.22,
13.30 UHR**

Öffentliche Führung,
Museum ENTER

5.1.2022, 9.00 UHR

Elektronik-Workshop «Roböterli»,
Museum ENTER

5.1.2022, 13.30 UHR

Elektronik-Workshop «Elektronischer Würfel», Museum ENTER

JETZT SPENDEN FÜR DIE NEUE AUSSTELLUNG

Über 50 Personen sind unserem Aufruf gefolgt und haben für die Technikwelt ENTER grosszügig gespendet. Herzlichen Dank!
Möchten auch Sie das ENTER unterstützen?
(Ihren Beitrag können Sie von den Steuern absetzen).

Regiobank Solothurn

IBAN CH16 0878 5044 0553 0512 6



BAUBEWILLIGUNG ERHALTEN

Die Gemeinde Derendingen hat dem ENTER die Baubewilligung erteilt. Mit diesem Entscheid startet das Bauprojekt und der Neueröffnung der Technikwelt ENTER im 2023 steht nichts mehr im Wege. Mehr Infos: enter.ch/ueber-uns/neubau



ANFÄNGE DER RADIOTECHNIK IN DER SCHWEIZ



Hans Zickendraht

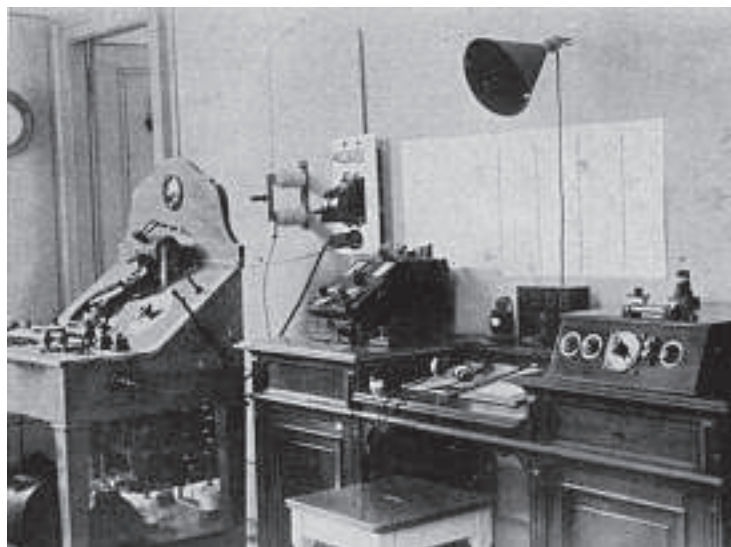
Hans Zickendraht ist 1881 geboren. Er hat an der Universität Basel studiert und war dort ab 1915 Physikprofessor. 1911 konnte er anlässlich eines Physikerkongresses den Zeitzeichensender beim Eiffelturm sehen. Er beschloss, dass «die älteste Universität der Schweiz den jüngsten Zweig der Elektrizitätslehre, die Radiotechnik» nicht nur theoretisch, sondern auch in der Praxis pflegen soll.



Antenne auf dem Bernoullianum

Als auf dem Physikgebäude, dem Bernoullianum, eine Antenne errichtet wurde, konnte jeder Basler sehen, dass diese ehrwürdige Institution vom Radiofieber gepackt wurde.

Während dem ersten Weltkrieg hat Hans Zickendraht an einem Tonfunksender für die Schweizer Armee gearbeitet. Weil kein Material aus dem Ausland erhältlich war, sollte dieser Sender ganz im Inland hergestellt werden. Im Laufe der Zeit wurde eine vollständige Versuchseinrichtung aufgebaut. Links ist der Sender zu sehen. Er ist ähnlich wie die entsprechenden Produkte von Telefunken gebaut. Rechts befindet sich der Empfänger. Leider kennen wir von ihm wenig Einzelheiten. Es habe sich ursprünglich um einen serienmässigen Empfänger von Telefunken gehandelt, der aber im Institut angepasst wurde. Insbesondere wurde der Empfangsbereich bis auf Wellenlängen von 20'000 m erweitert. Zur Demodulation stand sowohl ein Kristalldetektor, wie auch ein hochmoderner Röhrenempfänger zur Verfügung.

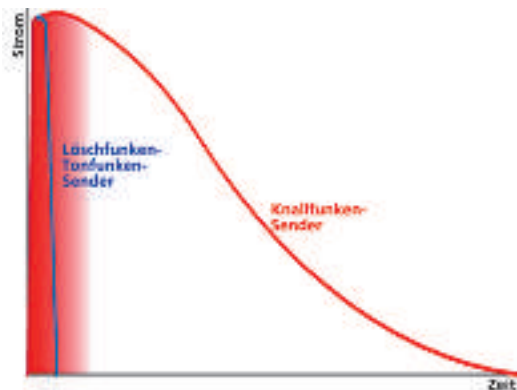


Versuchsstation an der Uni Basel

Quelle: Hans Zickendraht, «Radio-Telegraphie und Telephonie in der Schweiz», Basel, 1924

Beim Funkensender wird Energie gespeichert und dann über die Funkenstrecke entladen. Die rote Kurve zeigt ungefähr auf, wie sich der Strom bei einem Knallfunksender im Laufe der Zeit ändert. Wenn die Funkenstrecke zündet, steigt der Strom sehr schnell an. Danach fällt er verhältnismässig langsam ab, bis der Lichtbogen wieder erlischt. Wenn sich der Strom schnell ändert, entstehen viele Komponenten mit hoher Frequenz. Das ist offensichtlich kurz nach der Zündung des Lichtbo-

gens der Fall. Später, wenn sich der Energiespeicher langsam entlädt, sind kaum hochfrequente Komponenten vorhanden. In dieser Zeit fließt aber immer noch viel Strom und es wird viel elektrische Energie in Wärme umgesetzt. Der Wirkungsgrad eines Knallfunken-senders ist deshalb schlecht.

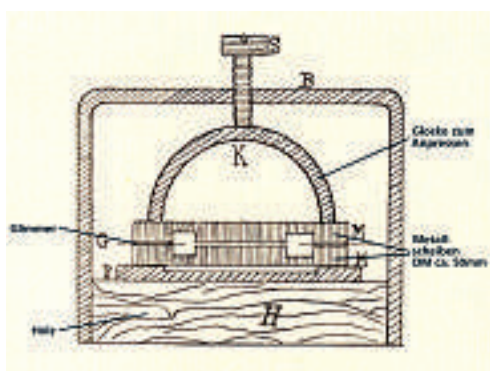


Ein Problem des Funkensenders

Wenn es gelingt, den Lichtbogen nach einigen Mikros-ekunden wieder zu löschen, entsteht die blaue Kur-ve. Ein solcher Sender ist ein Löschkun-tenfunken-sender. Strom fließt nur während der Zeit, in der ein wesentlicher Teil der elektrischen Energie in HF-Leistung umgesetzt wird. Der Wirkungsgrad von sol-chen Sendern ist deshalb wesentlich besser.

Es gab mehrere Möglichkeiten, um den Funken schnell zum Erlöschen zu bringen.

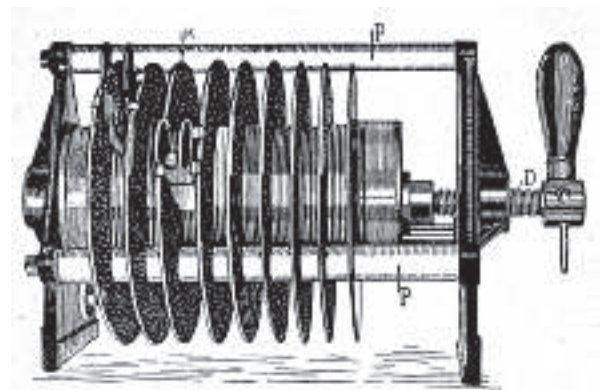
Im Sender beim Eiffelturm wurde der Funke mit Druck-luft ausgeblasen. Marconi hat eine rotierende Funken-strecke verwendet. Der Abstand wurde nach der Zün-dung soweit vergrößert, dass der Funke wieder erlöscht ist. Max Wien hat eine Funkenstrecke erfunden, die von selbst wieder verlöscht. Die Funkenstrecke besteht aus Metallscheiben, die in der Mitte absolut plan sind. Die Scheiben sind durch einen Ring aus Glimmer voneinan-der isoliert.



Funkenstrecke nach Max Wien

Quelle: Albert Schmid, «Einfluss des Elektrodenmaterials auf die Stosserregung», Strassburg 1912

Telefunken hat die Idee von Max Wien übernommen. Das Bild zeigt eine Löschkun-tenstrecke, die in Sendern mit einigen kW eingesetzt wurde. Um diese Leistung zu erreichen, wurden mehrere Platten in Serie geschaltet.



Eine achtstufige Löschkun-tenstrecke. K = Kithiplatten; P = Porzellanröhre; D = Druckschraube.

Löschkun-tenstrecke von Telefunken

Quelle: Hanns Günther, Franz Fuchs, «Der praktische Radio-Amateur», Stuttgart, 1924

Das Schaltbild des Tonfunken-senders, der an der Uni Basel entwickelt wurde, entspricht etwa dem damals Üblichen.

Ein Asynchronmotor dreht einen 56-poligen Synchron-generator. Ein nachfolgender Transformator erhöht die Spannung soweit, dass sie für den Betrieb der Funken-strecke ausreicht.

Die Frequenz der Wechselspannung ist 1,2 kHz. Weil aber die Funkenstrecke in jeder Periode zweimal zün-det, entsteht ein Hochfrequenzsignal, das mit 2,4 kHz moduliert ist.

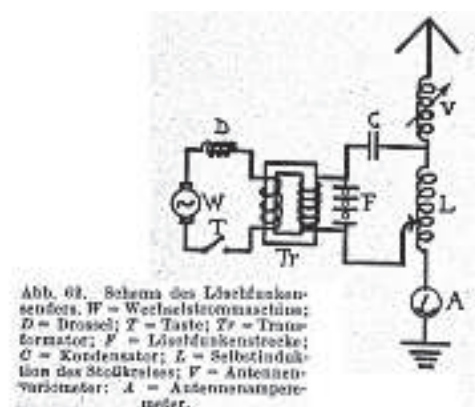
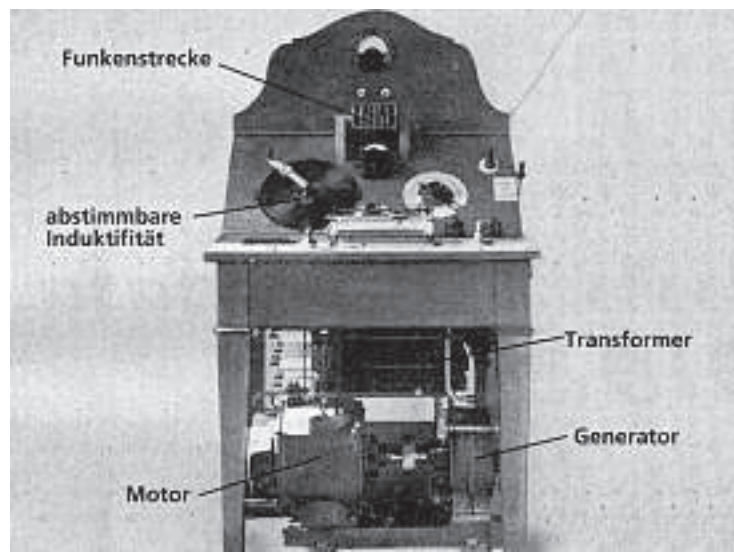


Abb. 68. Schema des Löschkun-ten-senders. W = Wechselstrommaschine; D = Drossel; T = Taste; Tr = Trans-formator; F = Löschkun-tenstrecke; C = Kondensator; L = Selbstinduktion des Stöckkreises; V = Antennen-variometer; A = Antennenampere-meter.

Schaltbild eines Tonfunken-senders

Die Frequenz wird durch eine variable Induktivität, zu-sammen mit einem festen Kondensator bestimmt. Das hochfrequente Signal wird mit einem Variometer, einer Art von einstellbarem Transformator, in die Antenne ein-gekoppelt.

Der Tonfunkensender von Hans Zickendraht war in einem Tischchen aus Eichenholz eingebaut.



Tonfunkensender von Hans Zickendraht

Unter dem Tischchen ist links ein Asynchronmotor, der von der Firma Meidinger in Basel hergestellt wurde. Er wurde vom Lichtnetz gespeist und hat 2 PS geleistet. Der Schiebewiderstand auf der Tischplatte hat vermutlich zum Anlassen gedient. Der Motor hat den Synchron-generator rechts davon mit 2600 Umdrehungen/Minute gedreht. Dieser Generator wurde von Klingelfuss in Basel hergestellt. Die Firma war insbesondere für ihre Röntgenanlagen berühmt.

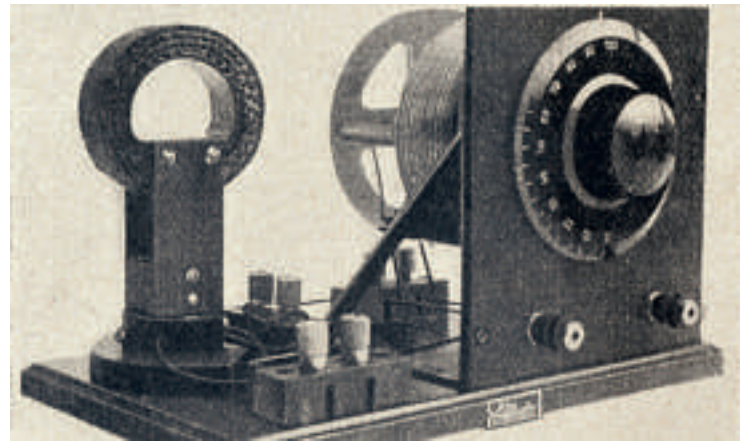
Die Spannung des Generators wurde im darüber liegenden Transformer auf die für die Funkenstrecke nötige Spannung im Bereich von einigen kV gebracht.

Für den zuverlässigen Betrieb war der Kondensator von entscheidender Bedeutung. Glücklicherweise standen die von Ignaz Moscicki erfundenen und von der später «Condensateurs Fribourg» genannten Firma hergestellten Kondensatoren zur Verfügung. Es handelte sich um Leydener Flaschen, also Kondensatoren mit Glas als Dielektrikum, die aber an den heiklen Stellen besonders verstärkt waren. Diese Kondensatoren sind über dem Motor knapp sichtbar.

Auf dem Tischchen ist eine abstimmbare Induktivität zur Einstellung der Sendefrequenz. Rechts davon ist die Skala des Variometers zur Ankopplung der Antenne zu sehen. Die Spulen des Variometers sind offenbar darunter versteckt untergebracht. Darüber befindet sich die Funkenstrecke, die so gut zugänglich und leicht zu reinigen war. Ganz oben befindet sich ein Ampèremeter zur Kontrolle des Sendestromes. Dieses Instrument war die einzige Komponente, die nicht aus Schweizer Produktion stammte.

1918 war der Krieg zu Ende, aber der Sender war erst als Prototyp vorhanden. Nun war gebrauchtes Material im Überfluss und sehr preisgünstig verfügbar. Das Militär hatte deshalb am Sender aus Basel kein Interesse mehr.

In den 1920er Jahren hat sich Hans Zickendraht vor allem der Lehre gewidmet. Die dafür benötigten Geräte wurden bei der Firma Maxim in Aarau hergestellt.



Lehrmittel von Hans Zickendraht

1923 haben drei Schweizer Hersteller Radiogeräte an der MUBA gezeigt. Es waren die Firmen Maxim aus Aarau, Televox aus Neuenburg und Zellweger aus Uster. Das Bild zeigt von jeder Firma ein Gerät aus dieser Zeit.



Radiogeräte aus Schweizer Produktion

Ein Radiogerät ohne Empfangssignal macht aber keinen Spass. Hans Zickendraht hat einen Sender im Institut angeworfen und ein Signal ausgesendet. Leider ist dem Verfasser nicht bekannt, was das Programm war.

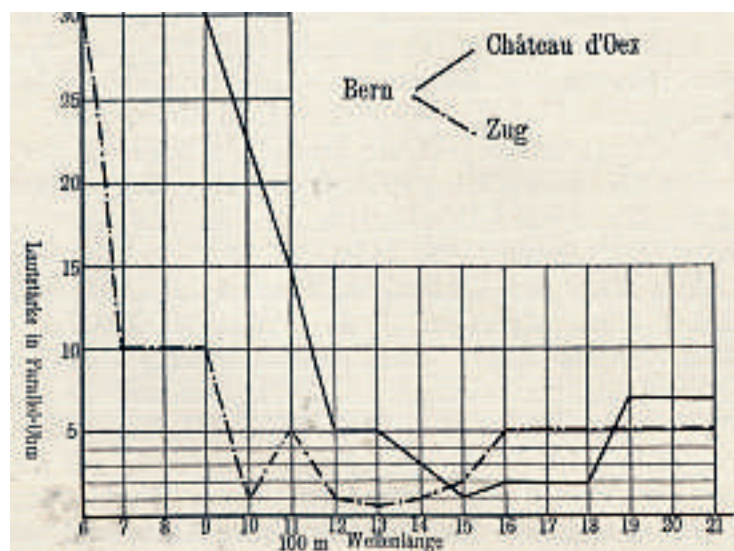
Basel gehörte somit zusammen mit Lausanne zu den ersten Schweizer Städten, in denen Radio gehört wurde.

Edmond Banderet, ein Kollege von Hans Zickendraht an der Uni Basel, hat 1916 und 1917 zusammen mit der Armee Ausbreitungsversuche gemacht. Er hat die Reichweite eines Senders bei der Kaserne Bern festgestellt. Die Sendeleistung war etwa 1 kW und der Empfänger hatte einen Kristalldetektor. Das Ergebnis war recht enttäuschend. Er hat erkannt, dass die Funkwellen gerne den Gewässern folgen. Das Mittelland konnte abgedeckt werden. Trotz der hohen Sendeleistung war die Ausbreitung durch den Alpenkamm begrenzt.



Reichweite eines Senders in Bern

Im Weiteren wurden Messungen zwischen der Kaserne Bern und Standorten in Château d'Oex und Zug gemacht.

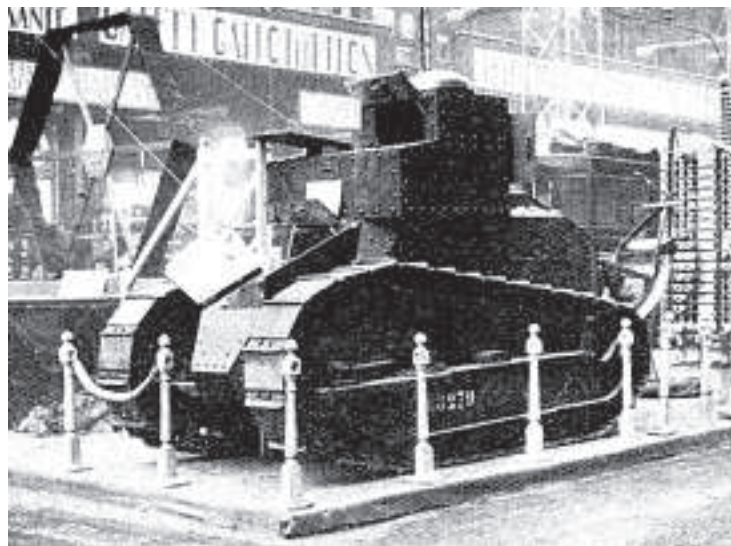


Ergebnis von Ausbreitungsversuchen

Für den heutigen Betrachter ist die Darstellung etwas verwirrend. Es war nicht möglich, die Feldstärke oder die Spannung am Antenneneingang zu messen. Stattdessen wurde ein Widerstand parallel zum Kopfhörer geschaltet und der Wert ermittelt, bei dem das Signal noch verständlich war. Das grösste Empfangssignal ist somit unten im Bild.

In der Horizontalen ist die Wellenlänge aufgetragen. Links ist die Wellenlänge 600 m, entsprechend 500 kHz. Rechts ist die Wellenlänge 2100 m. Die Frequenz, 140 kHz liegt noch unter dem heutigen Langwellenbereich.

Die Messungen haben bestätigt, dass Frequenzen im Langwellenbereich für militärische Zwecke gut geeignet sind. Ein Nachteil war natürlich, dass dafür recht grosse Antennen nötig sind. Man wusste sich aber zu helfen.



Der Radiotank

Ende 1923 wurde dem staunenden Publikum der rasende Fortschritt in der Radiotechnik an der «Exposition de Physique et de T.S.F.» in Paris gezeigt. Die grosse Attraktion war der Radiotank. Der Fachmann erkennt sofort, dass es sich um einen leichten Panzer Renault FT handelt. Hinten auf dem Fahrzeug ist eine Rahmenantenne montiert.

Quelle: «The Paris wireless and physical exhibition», Wireless World, January 9, 1924, pp. 461–463

Edmond Banderet schrieb: «...Ob bei Nacht noch eine Verstärkung durch Reflexionen der Wellen an der hypothetischen stets ionisierten Heaviside-Schicht in etwa 100 km Höhe mitwirkt, diese Frage lassen die vorliegenden Versuche offen...» Er hatte leider keine Gelegenheit, um der Sache nachzugehen. Das haben nach dem Krieg die Amateure gemacht, die auf kurzen Wellen mit lächerlich geringen Leistungen erstaunliche Reichweiten erzielten.

Quelle: E. Banderet, «Versuche über drahtlose Telegraphie in den Alpen», Basel, 1919

Im nächsten Heft: «Radiopionier Roland Pièce»

UNSERE SERVICES RUND UM IHRE SCHÄTZE

«Haben Sie ein Schema zu diesem Radio?», «Können Sie mir sagen, ob die Geschichte, die mein Grossvater über dieses Reporter-Tonband erzählt hat, stimmt?», «Ist mein Röhren-TV wertvoll?», «Können Sie mein altes Telefon flicken?», diese und viele weitere Fragen erreichen mich bei meiner Arbeit im ENTER immer wieder. Und all diese Fragen können wir in Zukunft mit «ja» beantworten.

Das neue Service-Angebot vom ENTER umfasst neben der bekannten Daten-Digitalisierung und den Leihgaben jetzt auch Objekt-Schätzungen, Reparaturen, Leihgaben, Objektvermittlungen und Recherchen. Interessiert?

Wir freuen uns auf Ihre Anfragen über www.enter.ch/services oder an info@enter.ch.





Gutschein Museumsführung

Schenke deinen Liebsten einen Gutschein für eine Museumsführung durch das Museum ENTER.

CHF 90.- für eine 90-minütige Museumsführung + Eintritt

Wir freuen uns auf deinen Besuch!

Info und Buchung unter 032 621 80 52 / info@enter.ch

Öffnungszeiten

Mi – Sa 13 – 17 Uhr, So 10 – 17 Uhr
Museum ENTER, Zuchwilerstrasse 33
4500 Solothurn, +41 32 621 80 54,
www.enter.ch, info@enter.ch

ENTER.ch
Das Museum
für Computer und
Unterhaltungselektronik

EIN SELBSTGEBAUTES VERPUFFUNGSSTRAHL- TRIEBWERK

Maturaarbeit von Alexander Kunz
Kantonsschule Solothurn W17b
Betreuer: Dr. Holger Scheib
November 2020

Teil 2:

4. MATERIAL UND METHODEN

Das Verpuffungsstrahltriebwerk basiert auf einem Bausatz aus Einzelteilen, den ich mir von Robert Maddox aus Amerika habe zuschicken lassen. Dieser besteht aus dem zugeschnittenen Chromstahlblech und einem Grossteil der Technik für zwei Triebwerke. Der Benzintank und die Schaltbedienung wurden von mir selber konstruiert. Jede Schweissnaht wurde von mir selber geschweisst. Das Schweiessen habe ich mir während der Arbeit grösstenteils selber beigebracht. Zur Übung schweisste ich kleine Chromstahlbleche zusammen, die ich von der Cary Sheet Metal AG bekommen habe.



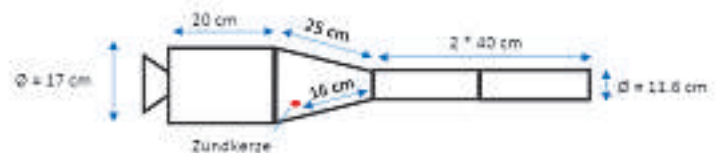
Gesamter Bausatz

Es gibt viele verschiedene (ca. 50) Edelstahllegierungen, welche sich in der Temperaturbelastung unterscheiden.

Mit dem Chromstahl 304 verwenden wir einen günstigen, nicht rostenden Edelstahl. Mit der Zusatzlegierung von Molybdän oder Silizium können die physikalischen Eigenschaften des Edelstahls verbessert werden. Molybdän erzeugt höhere Härte und Korrosionsfestigkeit und Silizium als Legierungszusatz erzeugt eine höhere Temperaturbelastbarkeit.

4.1 Triebwerk

Die Metallteile des Triebwerks sind aus Chromstahl 304, welches in dem Bausatz aus Amerika mitgeliefert wurde. Ein einzelnes Triebwerk besteht hauptsächlich aus einem Luftventil, einer Brennkammer und einer Schubdüse.



Aufbau Triebwerk

4.1.1 Luftventil

Das Luftventil bildet die Front des Triebwerks. Damit es besser Luft ansaugen kann, ist es vorne mit einem Einlasstrichter (Ansaugtrakt) versehen, der aus 4 Metallplatten rechteckig zusammengeschweisst ist. Das Ventil selber besteht aus sechs Metallteilen, acht Flatterventilen aus Federstahl und zwei Schrauben mit den dazugehörigen Muttern, welche zusammengeschraubt sind. Diese zwei Elemente werden an eine runde, an die Brennkammer passende Metallscheibe geschraubt. Zusammen bildet man so den «Kopf» des Triebwerks. Die Federeigenschaft der Ventilblätter bestimmt die Impulsfrequenz des Triebwerks. Je höher die Federkraft, desto besser ist das Ventil abgedichtet, dafür wird eine erhöhte Öffnungskraft (Unterdruck) benötigt. Während dieser Arbeit haben wir nur mit einer Sorte Federstahl getestet.



Lufteinlasstrichterteile vom Bausatz





Lufteinlasstrichter zusammengeschweisst

4.1.2 Brennkammer

Die Brennkammer ist eine Chromstahlröhre 304 mit einem Durchmesser von 17 cm. Diese wird aus einem gekrümmten Metallblech mit einer Naht verschweisst. Die Metallbleche für die ganze Röhre sind jeweils 1 mm dick. An einer Seite wird der Düsenkopf mit dem Ventil angeschweisst. Während der Schweissarbeit muss auf Dichtigkeit der Verbindung geachtet werden, damit die Brennkammer keine Gasverluste produziert. Dies habe ich durch Teilfüllung mit Wasser überprüft.



Brennkammerrohre
zusammengeschweisst



Brennkammerrohre
gebogen



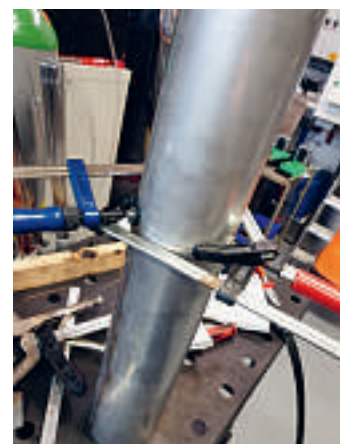
Brennkammerdeckel schweissen

4.1.3 Schubdüse

Die Schubdüse besteht aus zwei Chromstahlröhren, mit einem Durchmesser von 11.6 cm, die man aus einem Blech zu einer Röhre biegt und verschweisst. Danach schweisst man beide Röhre aneinander. Damit dieser Auspuff an die Brennkammer passt, hat es dazwischen einen Kegelstumpf (Verengung), der beim grösseren Durchmesser 17 cm und beim kleineren Durchmesser 11.6 cm breit ist. Ausserdem ist im Kegelstumpf ein Loch (mit einem M14 × 1.0 mm Gewinde), in dem die Zündkerze platziert wird. Die Gesamtlänge der Düse beträgt 145 cm. Der Kegelstumpf hat einen physikalischen Zweck. Durch die Verengung kommt es zum Bernoulli-Effekt und die Geschwindigkeit der Austrittsströmung wird erhöht.



Kegelstumpf mit Zündkerzenloch



Schweissen der Auspuffrohre



Schweissnaht auf Kegelstumpf



Schweissfehler

4.1.4 Treibstoffzuleitung

In der Brennkammer befindet sich eine eingeschraubte Sprühdüse. Diese ist durch einen Schlauch an der Benzinpumpe und durch einen weiteren Schlauch mit dem Benzintank verbunden. Die Sprühdüse ist in schon vorgefertigten Löchern an der Frontscheibe mit Schrauben befestigt. Sie verteilt das Benzin gleichmässig in der Brennkammer und sorgt so für ein möglichst explosives Benzingemisch.

Im nächsten Heft: «Elektrotechnik»

HOMMAGE À KONRAD ZUSE – RELAISRECHNER R 500/7 T

Es wird ein vom Verfasser gebauter Relaisrechner vorgestellt, der einerseits die früheste Computertechnologie veranschaulicht, andererseits aber auch als allgemeines Computermodell dient.

GESCHICHTLICHES

Der hier beschriebene Selbstbau, der seit Februar 2021 im Museum ENTER steht, wurde zwar sehr stark vom allerersten funktionsfähigen Computer inspiriert, dem Relaisrechner Z3 von Konrad Zuse, er ist aber kein Nachbau, sondern eine eigene und viel einfachere Entwicklung, welche mit Hilfe der anschaulichen Relais-technologie die wesentlichen Komponenten und Abläufe in einem Computer sichtbar (und hörbar) machen soll.

Angefangen hatte das ganze Projekt mit meinem Wunsch, einmal einen Computer von Grund auf selbst zu bauen. Allerdings wollte ich dazu nur Komponenten verwenden, die ich selbst sehr gut verstehen konnte. 1983, nach einem Besuch im Deutschen Museum in München, wo ich die Relaisrechner Z3 und Z4 von Konrad Zuse gesehen hatte, wusste ich, dass ich meinen Computer in diesem Stil konstruieren wollte.

Zwei Jahrzehnte später (2001) liess ich mich dann auf das Abenteuer ein. Ursprünglich wollte ich einfach loslegen und eine 4-bit-ALU (Arithmetic Logic Unit, Rechenwerk) in Relais-technik bauen. Ich bin meinem früheren Bürokollegen Gunnar Lehtinen dankbar, dass er mich ermahnt hat, mir doch zuerst zu überlegen, was ich am Schluss mit dem Ganzen überhaupt berechnen wollte. Und so machte ich mich dann nach einigem Nachdenken an den Bau eines bis zu 256 Schritten frei programmierbaren 8-bit-«Mikro»computers und dreier einigermaßen allgemeinverständlicher Beispielprogramme: Taschenrechnerfunktionalität für ganze Zahlen zwischen -128 und +127, Primfaktorzerlegung für Zahlen bis 255 und Wochentagsberechnung ab dem 01.01.1600.

Der 2006 fertiggestellte Rechner erhielt seinen ersten Namen «R 500/7 T» (R für Relais-technologie, ca. 500 Relais insgesamt, Taktrate von 7 Instruktionen pro Sekunde, T für transportabel; zum Vergleich: Zuses Z3 umfasste 2000 Relais [1, S. 55]).

Nachdem der Rechner einige Jahre in meiner Firma ausgestellt war, arbeitete er nach 2011 nicht mehr richtig. Die Corona-Lockdowns 2020/2021 kamen dann gerade recht, um ihn nach langer Zeit wieder lauffähig zu machen und einige Ergänzungen anzubringen:

- einen Programhalter für schnellen Wechsel zwischen zwei Demonstrationsprogrammen
- ein Steckbrett für experimentelle Programme, mit dem das Programmieren auf Maschinenstufe auch ganz handfest erlebt werden kann
- zusätzliche Demonstrationsmöglichkeiten (z. B. Ausführung einzelner Instruktionen)
- eine separate Ein-/Ausgabekonsole

So erweitert bekam der Rechner auch einen deutlich didaktischeren und «museumstauglichen» Charakter.



Bild 1: Gesamtansicht des Rechners im Museum ENTER

ÄUSSERER AUFBAU

Bild 1 zeigt den Gesamtaufbau des Rechners und damit auch die Hauptkomponenten eines jeden Computers. Den Kern (den Prozessor) bilden die zwei grossen dunklen Kästen, links das Steuerwerk (Programm- und Instruktionsablaufsteuerung), rechts das Rechenwerk (arithmetische und logische Operationen). Im kleinen Kasten ganz links befinden sich die Stromversorgung und der Taktgenerator, der kleine Kasten ganz rechts ist der Speicher (RAM) von 4 Byte. In der Mitte hinten steht der Programmhalter für zwei fest verdrahtete, aber austauschbare Programme, daran angelehnt ein weiteres Programm und darauf das Steckbrett für experimentelle Programme. Ganz vorne zu sehen ist die Konsole mit Eingabe- und Ausgabeeinheit. Der gesamte Rechner wurde sehr modular aufgebaut, d. h. einzelne funktionale Bausteine wurden separat gebaut und getestet und bleiben im Gesamtaufbau noch sehr gut erkennbar (Bild 2 links und Mitte). Jedem Relais ist zur Anzeige des Schaltzustands ein LED-Modul beigelegt.



Bild 2: Steuerwerk, Rechenwerk und Programm (Ausschnitt)

STEUERWERK UND PROGRAMM

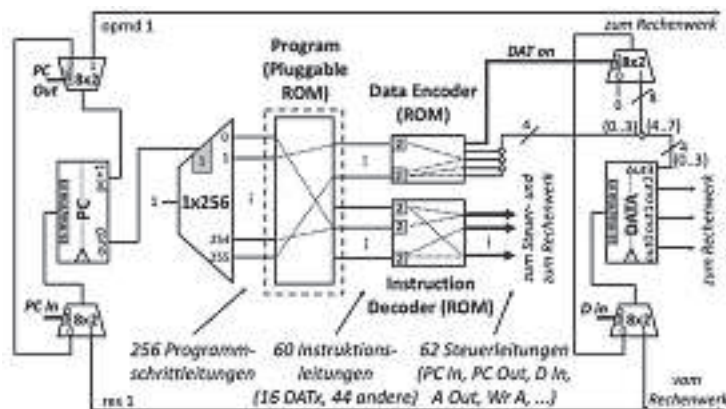


Bild 3: Steuerwerk des Rechners (vereinfacht)

Bild 3 zeigt die Kernelemente des Steuerwerks: Das Programmzählerregister (PC) wählt über einen 1 x 256-Selektor (Demultiplexer) den gerade aktiven Programmschritt aus, und die entsprechende Programmschrittleitung wird auf 1 (+) gesetzt. Über das Programm wird die Programmschrittleitung durch eine einfache Drahtverbindung direkt zu einer Instruktionsleitung durchverbunden (Bild 2 rechts) und diese damit auf 1 gesetzt. Die Instruktionsleitung aktiviert darauf im Instruktions-

decoder oder im Datenencoder eines oder mehrere zu dieser Instruktion gehörende Relais, welche die der Instruktion entsprechenden Steuerleitungen auf 1 setzen. Diese bestimmen dann hauptsächlich im Rechenwerk den/die zur Instruktion gehörenden Rechenpfad(e). In jedem Programmschritt wird PC in der Regel um eins erhöht, bei Sprüngen wird ein neuer Programmschritt über das Rechenwerk bestimmt.

Aufgrund der sehr einfachen Programmierungsart können Programminstruktionen keine Argumente (z. B. Speicher- oder Sprungadressen) enthalten. Stattdessen werden solche Argumente vor der eigentlichen Instruktion erstellt: Die Hilfsinstruktionen DAT0...DAT15 bauen 4-bit-weise einen Zahlenwert im DATA-Register auf, der dann als Argument für die folgende Hauptinstruktion dient (z. B. als Speicheradresse oder als unmittelbarer Zahlenwert). Mit jeder Hauptinstruktion wird das DATA-Register wieder gelöscht. So wird z. B. mit folgendem Programm eine Zahl aus der Speicherzelle 3 ins Register A geladen, 37 über B dazu addiert, dann das Resultat in der Speicherzelle 0 abgelegt:

```
DAT3 ; DATA := 16 * DATA (=0) + 3 (= 3)
LOADA ; lade A aus Mem[DATA]; DATA:=0
DAT2 ; DATA := 16 * DATA + 2 (= 2)
DAT5 ; DATA := 16 * DATA + 5 (= 37)
SETB ; setze B auf DATA; DATA:=0
ADDBA ; addiere B zu A; DATA:=0
STORA ; speichere A in Mem[DATA]; DATA:=0
```

Vor STORA wird keine DAT-Instruktion gebraucht, weil DATA schon den Wert 0 enthält. (Es lohnt sich also, möglichst oft die Speicherzelle 0 zu benutzen.)

RECHENWERK

Das Rechenwerk und der Instruktionssatz wurden lose an die Architektur früher 8-bit-Mikroprozessoren angelehnt, es wurden aber auch sehr rechnerspezifische Instruktionen definiert (vor allem für Ein- und Ausgabe und für elementare Rechenschritte von Multiplikation, Division und Quadratwurzelberechnung). Das Rechenwerk enthält die arithmetisch-logischen Einheiten (Addierer, bitweise Logikfunktionen, Shifter u. a.), drei Rechenregister und ein Statusregister (für bedingte Sprünge). Alle Register sind (wie auch PC und DATA) Master-Slave-Doppelregister. Bild 4 zeigt eine stark reduzierte Version des Rechenwerks (u. a. ohne Statusbehandlung) sowie die Anbindung des Speichers (Mem). Das Rechenwerk nimmt, vereinfacht gesagt, in jedem Instruktionszyklus Werte aus Register-Slaves, berechnet daraus neue Werte und legt diese in Register-Masters ab. Zum Schluss werden alle Master-Werte auf die Slaves übertragen. Pro Zyklus kann zudem eine Speicherzelle entweder lesend oder schreibend genutzt werden. Welche Register und

welche Speicherzelle verwendet werden und wie die Berechnungen genau erfolgen, wird dabei durch Steuerleitungen (fett gezeichnet) festgelegt.

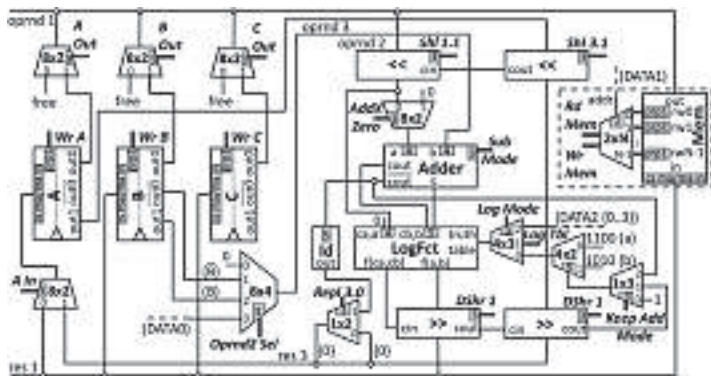


Bild 4: Rechenwerk und Speicher des Rechners (vereinfacht); Beispiele: für ADDBA («add B into A») müssen die Steuerleitungen A Out und Wr A auf 1 gesetzt werden sowie Oprnd2 Sel auf 2 (10_{bin}), für STORA («store A in Mem») A Out und Wr Mem auf 1; Shifter werden vor allem für Multiplikation und Division gebraucht.

RELAISSCHALTUNGEN

Alle Schaltungen des Rechners wurden ausschliesslich mit steckbaren «finder»-Industrierelais (24 V DC) mit vier Wechselkontakten und Schraubsockeln realisiert. Die enorme Anschaulichkeit und die oft erstaunliche Einfachheit der Relai-Technologie erlauben es, die Grundsaltungen für fast alle Komponenten von Bild 3 und Bild 4 hier aufzuzeigen. Wenn nichts anderes vermerkt ist, stammen die Schaltungen vom Verfasser. Die Schaltungen sind alle in einer +/frei-Logik erstellt, d. h. Pluspotential steht für 1, Potentialfreiheit für 0. Die Eingänge act in kombinatorischen Schaltungen stehen für «Aktivierung», ein Taktsignal mit Minuspotential.

Die am häufigsten gebrauchten und offensichtlichsten Schaltungstypen sind nxm-Selektoren (Multiplexer bzw. Demultiplexer, die in Relai-technik identisch sind (!)) und steuerbare Shifter, wie beispielhaft in Bild 5 gezeigt.

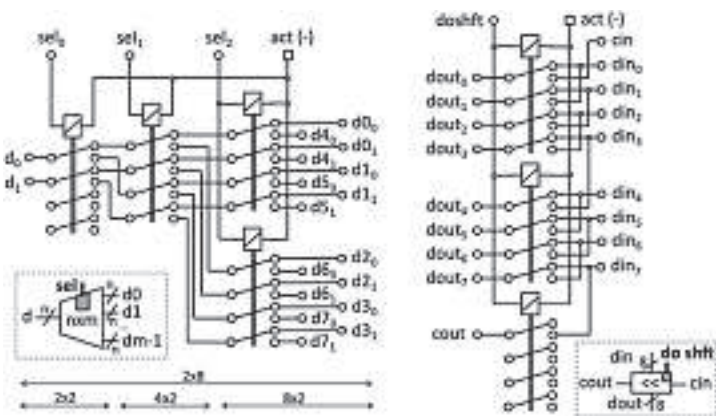


Bild 5: Allgemeines Selektorschema (Bsp. 2×8 , andere Grössen als Teile oder als Erweiterungen davon ableitbar) und 8-bit-Linksshifter

Überraschend einfach zu realisieren ist die bitweise Logikverknüpfung für alle 16 möglichen Logikfunktionen (Bild 6): Pro Bitstelle wird dazu einfach ein 1×4 -Selektor verwendet mit den Eingabewerten a_k und b_k als Adressbits, der aus einer 4-bit-Wahrheitstabelle t_0, t_1, t_2, t_3 (für $a_k/b_k = 0/0, 0/1, 1/0, 1/1$) den zu a_k/b_k gehörenden Wert auswählt. So müssen z. B. für die XOR-Funktion t_1 und t_2 auf 1 gesetzt werden, für die AND-Funktion t_3 . Die Wahrheitstabelle (d. h. die gewünschte Logikfunktion) kann z. B. durch Steuerleitungen oder durch das Programm (DATA) gegeben sein. Bild 6 zeigt auch die häufige Situation, dass «überflüssige» Kontakte für zusätzliche Berechnungen genutzt werden können.

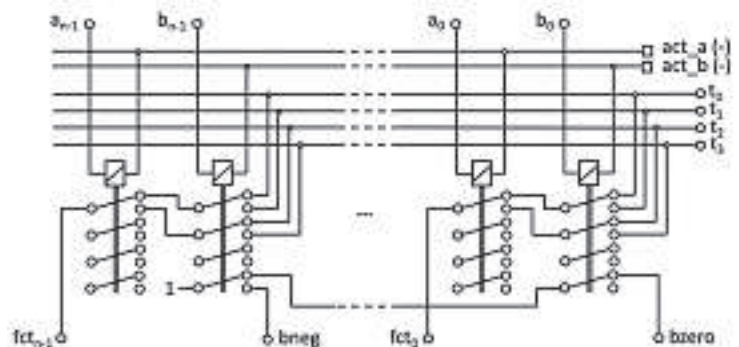


Bild 6: Bitweise Logikfunktionen für n bit, zusätzlich mit Statusausgabe, ob die Eingabe b negativ ($b_{n-1} = 1$) oder 0 (alle $b_k = 0$) ist

Die absolut grandiose Addierschaltung von Bild 7 war dem Verfasser aus dem Deutschen Museum bekannt. Sie arbeitet mit verzögerungsfreiem Übertrag, d. h. nach dem parallelen Setzen aller Summandenrelais über a_k und b_k müssen keine weiteren Relais schalten, um den Übertrag für alle Stellen und die Summen s_k zu ermitteln. Als kleiner Preis für dieses Wunder müssen sowohl der Übertrag $\text{cin}_k/\text{cout}_k$ als auch dessen Negation $\text{NOT}(\text{cin}_k)/\text{NOT}(\text{cout}_k)$ gleichzeitig behandelt werden. Zuse hatte schon für die Z3 eine dreistufige Addierschaltung mit einschrittigem Übertrag gefunden [1, S. 170ff.]. Die spätere, noch einfachere Variante von Bild 7 beschreibt Zuse als eigene Erfindung parallel zu Aiken und Stibitz [1, S. 174], sie stammt aber wohl nur von Aiken [2, S. 9]. Bild 8 zeigt die komplizierteste Schaltung, eine selektiv

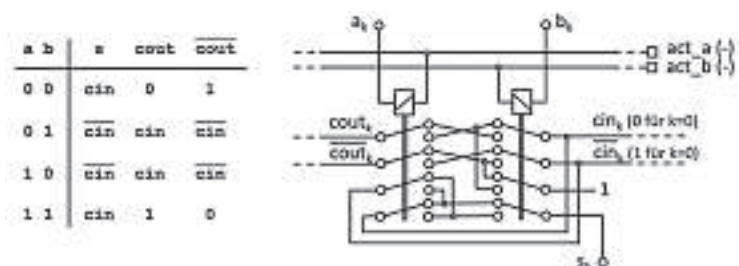


Bild 7: Addierer für jede Bitstelle nach Howard Aiken und Zuse(?)

beschreibbare 4-bit-Speichereinheit, wie sie sowohl für das RAM als auch für die Master-Teile der meisten Register verwendet wird. (Slave-Teile und die Master-Teile von

PC und DATA werden bei jedem Taktzyklus beschrieben und brauchen keine Schreibsteuerung. P1 und P2 entfallen dann). Die Speicherung eines Bits mit Wert 1 erfolgt durch Selbsthaltung eines Relais (R_k). Das Auslesen des gespeicherten Wertes erfolgt über die Leitungen $dout_k$ (und bei RAM-Zellen weiter über einen Ausgabeselektor auf einen Datenbus; nicht gezeigt). Das Neubeschreiben der Speichereinheit (falls $wr = 1$) ist recht kompliziert, um ein lastfreies Schalten aller Relais zu ermöglichen (mehr dazu weiter unten): Zuerst wird P1, dann P2 aktiviert (über die Minus-Taktsignale $prp1$ und $prp2$), wodurch die negativen Anschlüsse der Speicherrelais R_k unterbruchfrei von permanentem Minuspotential weg auf das zunächst ebenfalls negative Taktsignal cs_ma («clear and set master») gesetzt werden. cs_ma wird danach unterbrochen, so dass die Speicherrelais abfallen. Dann wird über das Taktsignal ma_in der Input-Enabler IN aktiviert, um die neuen Werte von $din_0...din_3$ an die positive Seite der Speicherrelaisspulen zu bringen. Sobald cs_ma wieder negativ wird, werden die Speicherrelais auf die neuen Werte gesetzt. IN, P2 und P1 werden danach in umgekehrter Reihenfolge deaktiviert, und die Speicherrelais liegen wieder an permanentem Minuspotential. Bild 8 zeigt die Abfolge der hierzu nötigen Taktsignale.

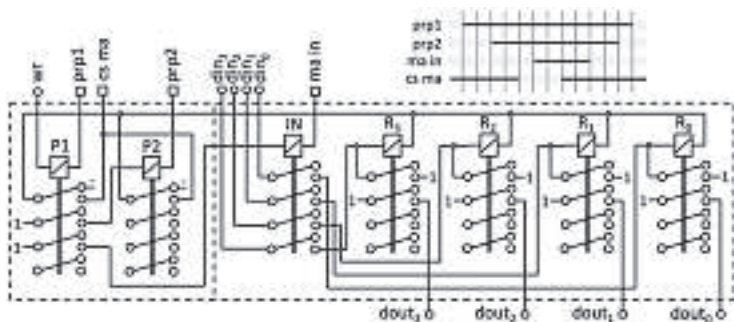


Bild 8: 4-bit-Speichereinheit (Master) mit Schreibsteuerung (wr); nicht genutzte Kontakte der R_k können für zusätzliche Berechnungen gebraucht werden, z. B. zur Inkrementierung ($PC+1$; nicht gezeigt).

TAKTGENERIERUNG

Relais haben eine recht hohe mechanische, aber eine viel kleinere elektrische Lebensdauer, vor allem, wenn damit induktive Lasten – weitere Relais – geschaltet werden müssen. Für den hier beschriebenen Rechner wurde daher nach einem Prinzip von Zuse [1, S. 37/110] ein lastfreies Schalten realisiert, allerdings in etwas anderer Form als bei Zuse umgesetzt. Dabei werden Relaiskontakte geschaltet, während sie stromlos sind, und erst danach wird Strom durch die Kontakte geleitet, oder der Stromkreis wird vor dem Schalten an anderer, zentraler Stelle unterbrochen. Um das zu erreichen, sind sehr strikte Verbindungsregeln einzuhalten, und die Aktivierung von ganzen Relaisgruppen erfolgt durch zentral erzeugte negative Taktsignale in der Reihenfolge der logischen Abhängigkeiten, und zwar über die act-Eingän-

ge bei den kombinatorischen Schaltungen bzw. über die Eingänge $prp1$, $prp2$, cs_ma und ma_in bei Master-Speichereinheiten (cs_sl und sl_in bei den Slaves). Die Taktgenerierung ist damit eng verknüpft mit der Technik des lastfreien Schaltens. Ein vollständiger Instruktionszyklus zerfällt in etliche Untertakte entsprechend den zu erzeugenden Taktsignalen. Im hier besprochenen Rechner wurde all dies rein relaisbasiert implementiert. (Zuse benutzte dazu motorgetriebene Schaltwalzen [1, S. 36/59].) Weitere Details zu diesem bei weitem schwierigsten Teil des Projekts würden den Rahmen dieses Berichts sprengen.

VERNEIGUNG VOR KONRAD ZUSE

Ich wusste aus meinem Studium schon recht gut, wie Computer aufgebaut sind, und ich kannte auch schon einiges aus Zuses Arbeiten, bevor ich den Relaisrechner plante. Zuse hatte all das überhaupt erst erfinden müssen, bevor er seine Maschinen entwerfen und bauen konnte (Gesamtaufbau, Gleitkommaarithmetik, Verwendung des Binärsystems, Speicherwählwerk, einschrittiger Additionsübertrag, Relaisschaltungen, stromloses Schalten), und das in kürzester Zeit und unter schlechtesten Bedingungen (mitten in der Kriegszeit; Z3 und Z4 waren 1941 bzw. 1944 lauffähig).

Selbst mit meinen Vorkenntnissen hat es mich viel Zeit und einige Irrwege gekostet, um nur einen vergleichsweise kleinen und einfachen Relaisrechner zu entwerfen und zu bauen. Erst dadurch konnte ich die Arbeiten von Konrad Zuse richtig würdigen, und meine Bewunderung für diesen genialen Erfinder ist während meiner eigenen Arbeiten fast ins Unermessliche gestiegen. Daher habe ich das Museumsexponat in seiner endgültigen Form diesem wohl immer noch zu wenig bekannten Computerpionier gewidmet und mit dem Vortitel «Homage à Konrad Zuse» versehen.

DANK AN DAS MUSEUM ENTER

Ich bin dem Museum ENTER sehr dankbar, dass der Relaisrechner dort eine neue Heimat finden durfte. Wenn er mit seinem Klappern und seinem Lichterspiel die Besucherinnen und Besucher erfreuen kann, ist schon ein Grossteil seines Zwecks erfüllt. Und wenn er – so hoffe ich – dazu noch einen tieferen Einblick in die Anfänge und in die inneren Vorgänge der Computer vermitteln kann, bleibt nichts zu wünschen übrig.

Quellen:

- [1] Konrad Zuse, Der Computer – Mein Lebenswerk, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 5. Auflage 2010
- [2] Friedrich L. Bauer, «Konrad Zuse – Fakten und Legenden», in Raúl Rojas (Hrsg.), Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998

COMPUTERBAU AN DER ETH ZÜRICH

Teil 2:

Nachdem im ersten Teil die Beschaffung und der Einsatz der Z4 (Relaisrechner erbaut vom Computerpionier Konrad Zuse in den Jahren 1942 bis 1945 in Berlin – ab 1950 an der ETH Zürich) ausführlich behandelt wurde, geht es in diesem Teil um den Eigenbau einer Computeranlage, welche schlussendlich unter dem Namen ERMETH (Elektronische Rechenmaschine an der ETH) in die weltweite Computergeschichte eingehen sollte.

Schon während der Mietdauer der Z4 – die Beschaffung muss als einmaliger Glücksfall gesehen werden – war den Betreibern im Institut für angewandte Mathematik, gegründet 1948 von Professor Eduard Stiefel (1909–1978, Mathematiker), klar, dass es sich nur um eine Übergangslösung handeln konnte. Da es 1950 weltweit keinen programmierbaren Rechner käuflich zu erwerben gab, wuchs der Wunsch nach einem Eigenbau, im Bewusstsein, dass es mehrere Jahre zur Realisierung brauchen würde.

So hielt sich Eduard Stiefel vom Oktober 1948 bis März 1949 zu Studienzwecken in den USA auf und verschaffte sich so einen Überblick über den Stand der Forschung. Seine beiden Mitarbeiter, der Elektroingenieur Ambros Speiser (1922–2003) und der geniale Mathematiker Heinz Rutishauser (1918–1970), sollten sich 1949 auf Studienreisen in Europa und in den USA (Howard Aiken, Harvard University Boston und John von Neumann, Institute for Advanced Study, Princeton) spezifische Kenntnisse für den Bau von modernen Rechenanlagen aneignen. Unter dem Titel «Programmgesteuerte digitale Rechengeräte» publizierten sie im Mitteilungsblatt des Instituts (1951) einen aufsehenerregenden Bericht mit einer umfassenden Zusammenstellung über bestehende und im Aufbau befindliche Anlagen in den USA und Europa.



Bild A: Ambrosius Paul Speiser (* 13. November 1922 in Basel; † 10. Mai 2003 in Aarau) leitete mit seiner technischen Gruppe die Planung und Grundlagenentwicklung der ERMETH. Später war er Direktor des IBM-Forschungslabors und Gründer des BBC-Forschungslabors.



Bild B: Heinz Rutishauser (* 30. Januar 1918 in Weinfelden, Schweiz; † 10. November 1970 in Zürich) war Leiter der mathematischen Gruppe und erarbeitete zusammen mit Eduard Stiefel die mathematischen und organisatorischen Eigenschaften der ERMETH. Mit seiner Habilitationsschrift «Automatische Rechenplanfertigung» im Jahr 1951 legte er die Grundsteine für ein anerkanntes Compilerkonzept, welches bei den Programmiersprachen ALGOL, FORTRAN, BASIC und vielen Nachfolgern zur Anwendung kam.

Daraus entstanden die Pläne zum Eigenbau an der ETH und Eduard Stiefel musste einen mühsamen Weg beschreiten, um auch die grössten Skeptiker bei seinen Professorenkollegen an der ETH zu überzeugen, dass dieses Grossprojekt gestartet wird. 1953 konnte man mit dem Bau der ERMETH beginnen.

MERKMALE DER ERMETH

Wie auch die Z4 sollte die ERMETH ein universeller Digitalrechner werden, welcher sowohl die Bedürfnisse des Instituts, wie auch Wünsche von anderen ETH-Abteilungen abdecken bzw. erfüllen konnte, d.h. die Rechenanlage muss sehr flexibel sein. Man ging, wie auch bei der Z4 davon aus, dass auch Fremdfirmen die Rechenanlage gegen Entgelt benutzen sollten.

Für das Rechenwerk wurden elektronische Bauteile (Radoröhren, Germanium-Dioden) ausgewählt, die Z4 arbeitete mit elektromechanischen Relais, erprobte elektronische Bauteile, welche schon in Anlagen in den USA und in England Verwendung fanden.

Die ERMETH arbeitete im Dezimalsystem (Z4 Dualsystem) und wie bei der Z4 realisierte man die Zahlendarstellung nach dem Gleitkommaprinzip und der Betrieb wurde programmgesteuert und vollautomatisch vollzogen.

Verwendete die Z4 noch Lochstreifen zur Steuerung, so wurde die ERMETH über Speicherprogramme gesteuert. Beide Systeme waren in der Nutzung frei programmierbar, aber der grösste Unterschied bestand darin, dass bei der ERMETH von Anfang an die Von-Neumann-Architektur (Programm und zu verarbeitende Daten im gleichen Arbeitsspeicher) zum Einsatz kam, was die Flexibilität der Maschine erheblich steigerte.

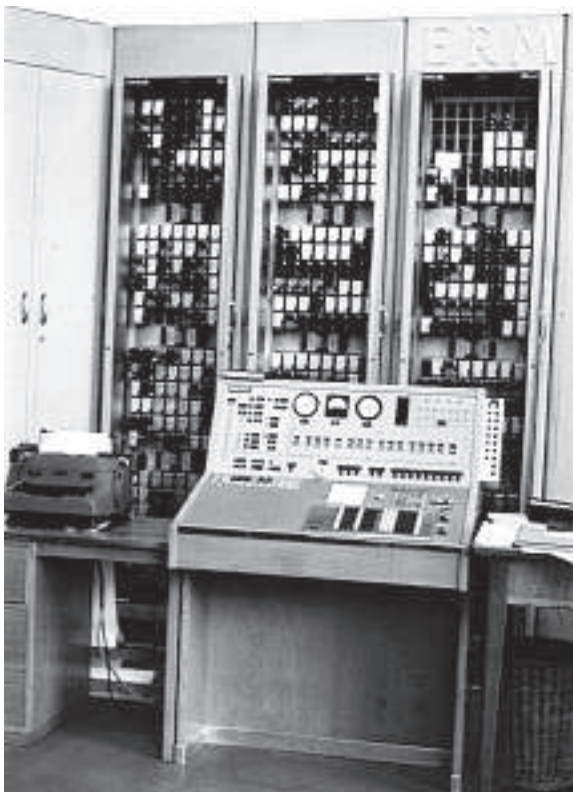


Bild C: Teilansicht der ERMETH im Betrieb im Institut für angewandte Mathematik im Hauptgebäude der ETH Zürich im Juli 1956. Die Schranktüren sind offen und in den Racks (Buchten) sind die einzelnen Steckeinheiten (Kannen) gut sichtbar.

Die Z4 war anfangs kein Turing-mächtiger universeller Computer und erst nachträglich wurde der bedingte Sprung, ein wichtiges Merkmal der Turing-Definition (Turing-Vollständigkeit), auf Wunsch der ETH eingebaut.

AUFWENDIGE ORGANISATION DES PROJEKTES

Stiefel war sich bewusst, dass er für sein Projekt keine Unterstützung seitens des Bundes erwarten konnte (der Bund steckte Anfangs der 50er seine Forschungsgelder lieber in die aufkommende Atomtechnologie) und dass nur ein bescheidener und kostengünstiger Aufbau an der ETH möglich sein würde.

Auch war es wichtig, die Programmierung auf der Ebene des Maschinencodes (Programmiersprachen waren damals noch nicht bekannt) zu realisieren, um den mühsamen Programmieraufwand auf ein Minimum zu beschränken. So nutzte man die Grundlagen, welche Heinz Rutishauser 1951 in seiner Habilitationsschrift «Automatische Rechenplanfertigung» erarbeitet hatte und welche heute als Grundstein für das Compilerkonzept gelten. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass die Behauptung «Der Compiler ist eine Softwareerfindung der Schweiz» als richtig angesehen werden muss. Rutishauser schuf so die Grundlagen zur Entwicklung von ersten Compilern und Interpreter wie ALGOL (entwickelt an der ETH), FORTRAN (IBM, John Backus), BASIC (John G. Kemeny und Thomas E. Kurtz am Dartmouth College, USA) u.a.m. So gilt ALGOL als Urahn vieler moderner Programmiersprachen wie C, Pascal und Java.

Die mathematischen und organisatorischen Eigenschaften der ERMETH stammten von Stiefel und Rutishauser als Leiter der mathematischen Gruppe sowie von den beiden Logikern Robert Stock und Peter Läuchli. Die Schaltungen entwarf vor allem Hans Schlaeppli. Ambros Speiser stand der technischen Gruppe, zusammen mit fünf Ingenieuren und drei Mechanikern, mit der Planung und Entwicklung der Grundlagen vor.

Da Speiser 1955 unruhlich zur IBM wechselte (Gründungsleiter IBM-Forschungslabor in Adliswil, später Rüschlikon und danach Gründer des BBC-Forschungslabor in Baden-Dättwil), vollendete Alfred Schai 1956 den endgültigen Aufbau und die Durchprüfung des ambitionierten Werks. Da IBM auch noch den Entwickler der Schaltkreise Hans Schlaeppli abwarb, vermutete man, dass IBM den Bau der ERMETH sabotieren wollte.



Bild D: Die ERMETH-Mannschaft während der Bauzeit im Jahr 1954
Obere Reihe v.l.n.r: Eduard Stiefel, Heinz Rutishauser, Annemarie Hürlimann, Hans Schäppi, Ambrosius Speiser, Peter Läuchli, Robert Stock, Alfred Schai und Rudolf Appenzeller
sitzend v.l.n.r: Charles Silberling, H.r Walter, Emil Engel und Rudolf Messerli.

Im Hintergrund der Prototyp eines elektronischen Speichers des Relaiscomputers Z4.

Ab 1950 wurden bereits theoretische und experimentelle Voruntersuchungen unter der Mitarbeit der Firmen Gfeller in Bümpliz (Kreuzwähler), Hasler in Bern (Elektronik) und Wittwer in Männedorf (Speichertrommel) vorgenommen.

Schlussendlich wurde die Betriebsanleitung von Heinz Waldburger (1928-2015) verfasst, welcher später Informatikchef bei Nestlé war und dann die Firma Diser SA gründete, welche für den kommerziellen Vertrieb des Lilith-Rechners von Niklaus Wirth zuständig war (Details in einem späteren Teil).

DIE UMSETZUNGEN VON STIEFELS IDEEN: DESIGN UND BAU

Rechenwerk

Eduard Stiefel befasste sich zuerst mit der Gestaltung des Rechenwerkes, welches im Stande sein sollte, Zahlen in jeder Grössenordnung zu verarbeiten, was mit einer Architektur für Gleitkommazahlen ($Z=a \cdot 10^a$) möglich sein sollte. Der Bereich des Exponenten auf der Basis 10 wurde dabei auf +199 bis -199 festgesetzt. Obwohl mit der Basis 10 eine Dezimalzahl dargestellt wird, arbeitet die Maschine intern mit Binärzahlen.

Somit war die ERMETH eine Dezimalmaschine, welche die Beurteilung der Resultate vereinfachen konnte. Intern wurden die Dezimalziffern über den sog. Aiken-Code (Entwickelt von Howard Aiken, 1900–1973, Vater der Mark I, Prinzip: Darstellung der Zahlen 0 bis 9 mit vier Binärzahlen, wird heute noch in Digitaluhren und Taschenrechnern verwendet) als Binärzahl dargestellt.

Speicherwerk

Stiefel entschied sich, auch die ERMETH mit nur einem Speicherwerk auszurüsten, um die aufwendige Programmierung mit zwei Speicherwerken, einem schnellen Pufferspeicher und einem langsameren Hauptspeicher, zu umgehen.

Man entschied sich für einen Magnettrommelspeicher (Prinzip 1932 vom Österreicher Gustav Tauscheck), den man als Vorläufer des Festplattenspeichers sehen kann. Diese Speicherart war aber nicht käuflich, sodass man an der ETH zuerst einen Prototyp baute (Kapazität: 64 Worte mit 16 Schreib-/Leseköpfen) und diesen sehr erfolgreich an der Z4 testete.

Der schliesslich eingesetzte ERMETH-Speicher war für damalige Verhältnisse sehr anspruchsvoll und umfasste 10'000 Worte à 64 Bit (also 80 Kilobyte). Er bestand aus einem massiven Aluminiumzylinder (45 cm hoch, Durchmesser 26 cm) mit einer Magnetschicht aus galvanisch aufgetragenem Nickel. Der Antrieb des 1.5 Tonnen-Monstrums bewältigte ein Elektromotor mit 6000 Umdrehungen pro Sekunde.

Die rund 250 Schreib-/Leseköpfe, welche mechanisch, im Gegensatz zu den späteren beweglichen Köpfen in Plattenspeichern, fixiert waren, mit nur 3 Hundertstel-millimeter Abstand zur Oberfläche (einstellbare Präzisionsmechanik von der Firma Wittwer aus Männedorf), erlaubten einen Aufbau von 192 Magnetspuren, wobei vier Spuren gleichzeitig mit einer Impulsfrequenz von 352 Kilohertz beschrieben oder gelesen werden konnten. Dieser Magnettrommelspeicher sollte sich aber später als zeitbestimmender Flaschenhals im Betrieb herausstellen, da die Elektronenröhren im Rechenwerk um ein Vielfaches schneller gewesen sind und so das Rechenwerk immer auf die Daten oder Befehle aus der Magnettrommel «warten» musste.

Betriebssicherheit und Bauelemente

Weiter war eine hohe Betriebssicherheit eine Voraussetzung, was sich in der Wahl der elektronischen und in der Praxis bewährten Komponenten niederschlug. Zuerst wurden bei der Hasler AG in Bern Relaiskomponenten (bekannt von der Z4) getestet, aber diese konnten der vorgesehenen Belastung nicht standhalten. Die elektronischen und die meisten mechanischen Bauteile wurden dann von dieser Firma angefertigt. Hasler entwickelte dazu steckbare modulare Einheiten (wurden als Kannen bezeichnet), welche mit unterschiedlichen elektronischen Komponenten bestückt wurden.

Weiter wollte das Entwicklungsteam sich noch nicht auf die unerprobte, aber viel schnellere Transistor-Technologie, diese waren ja ab 1951 auch in kleineren Stückzahlen erhältlich, einlassen. Dies war der Grund,



Bild E: Die Belegschaft des Instituts für angewandte Mathematik vor den Röhrenschränken der ERMETH 1963, im letzten Einsatzjahr der ERMETH.

Stehend v.l.n.r.: Youssef Boutros, Peter Gantenbein, Fredy Stofer, Tibor Siklossey, Eduard Stiefel, Max Rössler, Heinz Waldvogel, Dimitri Koutroufiotis, Paul Szigeti, Hans-Rudolf Schwarz, Alfred Schai, Carl August Zehnder, Alfred Ganz und Roshidi Amer.

Sitzend v.l.n.r.: Annemarie Meier, Josef Schär, Heinz Rutishauser, Peter Läuchli und Hans Ammann.

Vorne links: Ausgabeschreibmaschine und Bedienungskonsolle. Vorne rechtes: Magnettrommelspeicher.

weshalb man sich auf die erprobte Röhrentechnologie einliess. So wurden dann in der ERMETH bewährte 2000 Vakuumröhren (Doppeltrioden) und 6400 Germanium-Dioden verbaut. Dies hatte allerdings zur Folge, dass die Klimaanlage wegen der hohen Wärmeentwicklung der Röhren neu konzipiert werden musste.

Weiter nutzten die Ein- und Ausgabemodule rund 500 Relais, welche in schwenkbaren Einheiten platziert und somit leicht zugänglich waren.

Hans Schlaeppli überarbeitete und verbesserte ständig, infolge des schon damals schnellen Technologiewandels, die elektronischen Schaltkreise, welche auf den Grundideen des Aiken Mark III-Computers in den USA aufsetzten. Er meldete auch zwei Patente für entwickelte Schaltungen an, was zu Problemen zwischen der ETH und der Hasler AG führen sollte.

Die Elektronik wurde schlussendlich aus rund 2000 quaderförmigen und modularen Steckeinheiten (Kannen genannt), es existierten 23 unterschiedliche bestückte Einheiten, in 10 Racks (Buchten genannt) realisiert, wobei auch hier auf einfache Wartungsmöglichkeiten geachtet wurde. Rechenwerk und Leitwerk der ERMETH waren im Herbst 1955 fertig.

FERTIGSTELLUNG DER ERMETH

Der eigentliche Bau begann 1954 und geplant war die Fertigstellung auf das 100-Jahr-Jubiläum der ETH im Sommer 1955, um die Fortschrittlichkeit der Institute zu demonstrieren. Die ERMETH war damals der erste Universitätsrechner auf dem europäischen Kontinent.

Infolge des Wegzuges von Speiser (1955) übernahm der Ingenieur Alfred Schai den Zusammenbau und die Inbetriebnahme. Schai war später zusammen mit den ETH-Ingenieuren Rudolf Graf und Ronald Hug an den Grundlagen einer elektronischen Fakturiermaschine beteiligt, welche 1963 als Prototyp von Paillard SA erstellt wurde.

Zum Jubiläumszeitpunkt funktionierte leider nur die Ein- und Ausgabe problemlos und so wurden dem stauenden Auditorium die Berechnung der Zahl Pi gezeigt. Dass dabei die tröpfchenweise Darstellung der Kommastellen zuvor manuell eingegeben wurde, verschwieg man allerdings.

In Betrieb genommen wurde die voll funktionsfähige ERMETH ein Jahr später (Juli 1956), wobei immer noch der Prototyp der Magnettrommel zum Einsatz kam. 1957 erfolgte dann der Einbau der richtigen viel grösseren Trommel, nachdem aufwendige Detailprobleme (Durchzug, Temperaturschwankungen) zuerst gelöst werden mussten.



Bild F: Die ERMETH war aus rund 2000 modularen Steckeinheiten, als Kannen bezeichnet, aufgebaut, welche von der Firma Hasler AG in Bern mit total 23 unterschiedlichen Bestückungen produziert wurden. Unter den schwarzen Abdeckungen befinden sich meistens Doppeltrioden-Röhren.

Leistungsfähigkeit

Bald aber lief die ERMETH Tag und Nacht und sie war rund 100-mal leistungsfähiger als die «alte» Z4. Sie schaffte so zwischen 60 und 100 Operationen pro Sekunde, wobei – wie gesagt – der Speicherzugriff auf die Magnettrommel zeitbestimmend war.

Der Nachfolger der ERMETH, der kommerzielle Hochleistungsrechner CDC 1604, war mit seinem Kernspeicher dann rund 400-mal schneller als die ERMETH. Das Bit des Kernspeichers kostete damals aber unglaubliche 13 Rappen.

Bis zur endgültigen Fertigstellung der ERMETH mit allen geplanten Optionen im Jahr 1958, beliefen sich die Entwicklungskosten auf rund eine Million Franken.

Die ERMETH wurde dann bis zum 5. Dezember 1963 betrieben, um danach im damaligen Technorama Winterthur einen verdienten Ruheplatz zu finden. Da der Fokus in Winterthur aber auf experimentelle Versuche verlagert wurde, stellte die ETH dem Museum für Kommunikation in Bern die ERMETH zur Verfügung, wo sie auch heute noch bewundert werden kann.

Bildquellen:

Bild A, B, C, D, E, F

Bildarchiv ETH-Bibliothek, Zürich

Bild G

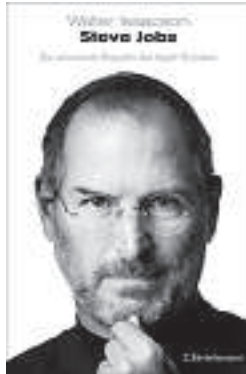
Museum für Kommunikation, Bern



Bild G: Gesamtansicht der ERMETH wie diese im Museum für Kommunikation in Bern ausgestellt ist

DAS LEBEN VON STEVE JOBS

Teil 23:



TECHNOLOGIE TRIFFT KUNST

Als Jobs im Sommer 1985 bei Apple immer mehr an Boden verlor, traf er sich mit Alan Kay, der früher bei Xerox PARC gearbeitet hatte und dann zu Apple wechselte. Kay war bekannt, dass Jobs sich für die Verbindung von Kreativität und Technologie interessierte, und schlug ihm vor, seinen Freund Edwin Catmull zu besuchen, der die Computerabteilung des Filmstudios von George Lucas leitete. Die Lucasfilm Computer Division setzte sich aus zwei Hauptabteilungen zusammen: Sie entwickelte einen eigenen Rechner, der Filmmaterial für Realfilme digitalisieren und tolle Spezialeffekte integrieren konnte, und sie beschäftigte eine Gruppe von Spezialisten für Computeranimation (Pixar Animation Studios), die Kurzfilme wie «The Adventures of André and Wally B.», mit dem der Regisseur John Lasseter Berühmtheit erlangte, als er 1984 auf der Computergrafikmesse SIGGRAPH gezeigt wurde, machten.

Jobs wollte Lucasfilm kaufen, weil er erkannte, dass diese Computerleute anderen mit ihrer Computergrafik weit voraus waren. Er wusste, dass Rechner in den nächsten Jahren mit hundertfacher Kapazität arbeiten würden, und er glaubte, dass Animation und realistische 3 D-Grafiken riesige Fortschritte machen würden. Jobs bot an, Lucas fünf Millionen Dollar zu zahlen und weitere fünf Millionen Dollar zu investieren, um die Abteilung als unabhängige Firma zu kapitalisieren. Fortan gehörten Jobs 70% der Firma und er hat Pixar Animation Studios in Pixar umbenannt.

DER PIXAR IMAGE COMPUTER

Die wichtigste Hardware der Abteilung war der Pixar Image Computer, welcher für 150 000 Dollar angeboten wurde. Nebst den Trickfilmzeichnern und Grafikdesignern profitierte auch die Medizinbranche davon, die Daten der Computertomographie liessen sich damit dreidimensional darstellen. Auch der Geheimdienst kaufte für die Bearbeitung der Daten von Aufklärungsflügen Pixar Image Computer. Die Flut von Daten, welche von Satelliten gesendet wurde, konnte damit verarbeitet werden.

Jobs drängte Pixar eine kostengünstigere Version des Computers zu bauen, der dann für rund 30000 Dollar verkauft werden sollte. Er bestand darauf, dass das Design von Hartmut Esslinger stammte.



Pixar Image Computer

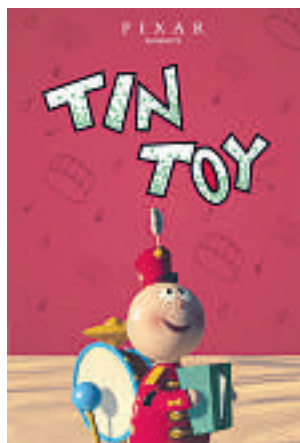
DAS RENDERING-PROGRAMM

Auf der Software-Seite besass Pixar ein Rendering-Programm (Vorausrechnungs-Programm) zur Herstellung von dreidimensionalen Grafiken und Bildern, das unter der Bezeichnung Reyes (Renders Everything You Ever Saw) bekannt war. Die Firma entwickelte unter Jobs eine neue Programmiersprache mit der Bezeichnung «Render-Man», die, so hoffte man, zum Standard für das 3D-Grafikrendering werden würde, so wie Adobe PostScript für den Laserdruck. Doch stellte sich heraus, dass die teure und nicht allzu einfach zu bedienende Software für die Masse nicht geeignet war.

Eine Firma gab es jedoch, die darauf erpicht war, das Rendering der Arbeiten der Trickfilmzeichner in Farbbilder für Zelluloidfilme zu automatisieren. Roy Disney hatte sich in der Firma, die sein Onkel Walt Disney gegründet hatte, als Anführer einer Umsturzbewegung gegen das Board hervorgetan. Er wollte der ehrwürdigen, aber langsam in Vergessenheit geratenen Animationsabteilung des Unternehmens wieder neues Leben einhauchen. Pixar stellte für ihn ein Paket mit massgeschneiderter Hardware und Software namens CAPS (Computer Animation Production System) zusammen. Es wurde 1988 erstmals für die Abschlusszene in «The Little Mermaid» (Arielle, die Meerjungfrau) eingesetzt. Disney kaufte Dutzende der Pixar-Image-Computer.

JOHN LASSETER AUS HOLLYWOOD

Der in Hollywood geborene Lasseter wuchs mit den Zeichentrickserien auf, die jeden Samstagmorgen im Fernsehen gezeigt wurden. Er studierte am California Institute of the Arts, welches von Walt Disney gegründet wurde, und gewann den Student Academy Award für den Kurzfilm «Lady and the Lamp». Lasseter wurde bei Lucasfilm angestellt und von Jobs gefördert, der ihn einen weiteren Kurzfilm für die Computergrafikmesse SIGGRAPH 1986 produzieren liess. Lasseter verwendete damals die Luxo-Leuchte auf seinem Schreibtisch als Modell für grafische 3D-Darstellung und beschloss, Luxo in einen lebens-echten Charakter zu verwandeln.



«Luxo Jr.» dauerte zwei Minuten und erzählte die Geschichte von einer Eltern-Lampe und einer Kind-Lampe, die so lange einen Ball zwischen sich hin und her spielten, bis der Ball zum Entsetzen des Kindes platzte. Der Film wurde an der Computermesse mit Standing Ovations bedacht und später für den Oskar nominiert, welchen er nicht gewann. Jobs liess daraufhin jedes Jahr neue animierte Kurzfilme produzieren, auch wenn es dafür eigentlich keine geschäftliche Begründung gab.

PIXAR SHOWPLACE

Pixar entwickelte einige leistungsstarke Software-Produkte für den Durchschnittsanwender. Man hoffte, dass die Möglichkeit, zu Hause superrealistische 3D-Bilder zu erstellen, ein fester Bestandteil der Desktop-Publishing-Welle würde. Mit Pixar Showplace konnten Nutzer beispielsweise die Schattierungen der erstellten 3D-Objekte ändern, um sie aus mehreren Blickwinkeln mit den entsprechenden Schatten darzustellen. Konkurrent blieb weiterhin Adobe, das weniger hochentwickelte, aber dafür unkompliziertere und preisgünstigere Software herstellte.

JOBS RETTET PIXAR

Auch als die Hardware- und Software-Produktlinien von Pixar scheiterten, hielt Jobs seine Hand schützend über die Animationsgruppe. Für ihn war sie zu einer kleinen Insel der zauberhaften Kunst geworden, die ihm äusserst grosse Freude bereitete. Anfangs 1988 wurde das Geld so knapp, dass Jobs noch einmal 300 000 Dollar aus der eigenen Tasche beisteuerte. Zu diesem Zeitpunkt hatte Jobs fast 50 Millionen Dollar in Pixar hineingepumpt und er verlor zudem immer noch Geld bei NeXT.

John Lasseter war gerade daran, einen neuen Kurzfilm «Tin Toy» zu realisieren und Jobs glaubte an ihn. 1988 gewann der Film den Oskar als erster am Computer hergestellter animierter Kurzfilm. Animierte Geschichten über Spielzeuge, die plötzlich lebendig werden und menschliche Regungen zeigen, waren hoch im Kurs.

1991 schloss Pixar Animation einen Vertrag mit den Walt Disney Studios über 26 Millionen US-Dollar ab, in dem die Produktion dreier animierter Spielfilme vereinbart wurde.

1995 erschien mit Toy Story die erste Co-Produktion mit Disney. Der Film wurde ein durchschlagender Erfolg und spielte weltweit rund 360 Millionen US-Dollar ein. Eine Woche nach dem Start von Toy Story ging Pixar an die Börse. Die Aktie verdoppelte ihren Wert und Steve Jobs wurde zum Milliardär.

JETZT MITGLIED WERDEN

Werden auch Sie Mitglied im Förderverein Museum ENTER und oder im Club der Radio- und Grammophon-Sammler (CRGS) und helfen Sie mit, die Geschichte der Technik für die nächsten Generationen zu erhalten.

ENTER.ch

Das Museum
für Computer und
Unterhaltungselektronik

Der Förderverein Museum ENTER setzt sich für die **Jugendförderung** in den technischen Berufen und für den **Unterhalt** der Museumsobjekte ein.

www.enter.ch



Club der Radio- und
Grammophonsammler

Die Leidenschaft für Radio, Fernsehgeräte und Grammophone verbindet uns. Der CRGS fördert die **Sammeltätigkeit** und den **Austausch** zwischen den Mitgliedern.

www.crgs.ch



ENTER EINFACHE MITGLIEDSCHAFT

inkl. Eintritt Museum ENTER und HISTEC-Abo
CHF 80.-/Jahr



CRGS MITGLIEDSCHAFT

inkl. HISTEC-Abo
CHF 50.-/Jahr



ENTER DAUERMITGLIEDSCHAFT

inkl. Eintritt Museum ENTER und HISTEC-Abo
CHF 800.-



CRGS & ENTER MITGLIEDSCHAFT

inkl. Eintritt Museum ENTER und HISTEC-Abo
CHF 100./Jahr



HISTEC-ABONNEMENT

4 x jährlich
CHF 30.-

.....
Name, Vorname

.....
Adresse

.....
Interessensgebiet(e)

Senden an:
info@enter.ch oder
Museum ENTER
Zuchwilerstrasse 33
4500 Solothurn

Historische Radiogeräte Reparaturen Restaurationen

Ernst Härri

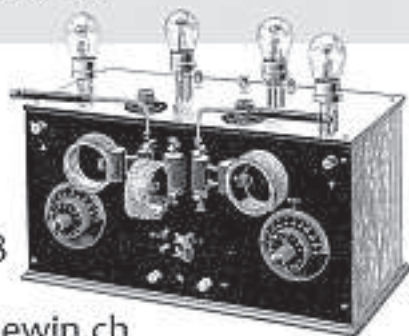
Einsiedlerstrasse 424

8810 Horgen

Telefon/Fax 044 726 15 58

Mobile 079 313 41 41

Mail oldradio.haerri@bluewin.ch



Wenn...

in der neuen Wohnung der Platz für die Radiosammlung fehlt, wenn sie zu gross, aus irgendwelchen Gründen untragbar geworden oder gar verwaist ist...

Ich kann helfen!

Übernehme (auch Einzelgeräte und Zubehör) zu fairem Preis und stehe ebenfalls für Schätzungen zu Diensten.

Nach allfälliger Reinigung und Gehäuse-Auffrischung werden die Apparate (bei Bedarf auch komplettiert bzw. revidiert) zu günstigen Preisen wieder an Sammler abgegeben — nicht mehr brauchbares Material wird fachgerecht entsorgt.

Kurt Thalmann, Tieracker 9
4616 Kappel bei Olten

Permanenter Flohmarkt
in der "Radio-Scheune"
Tel. 062 216 31 68/
kuthalmann@bluewin.ch

Besuch ist jederzeit nach
Vereinbarung möglich.



Suchen Sie ein sinnvolles
Geschenk?

Gutscheine

für Museumseintritt, Mitgliedschaft im Förderverein oder Museums-Führungen jetzt im Museum ENTER erhältlich oder via info@enter.ch.

Museum ENTER
Zuchwilerstrasse 33
4500 Solothurn

+41 32 621 80 52
info@enter.ch
www.enter.ch

Wir kopieren:

Bei der Firma sokutec arbeitet qualifiziertes Personal (Techniker und Ingenieur) mit über 30 Jahren Erfahrung. Wir digitalisieren alte Filmrollen, Videobänder und Tonträger und erstellen eine DVD in PAL-Auflösung. Bei altem Trägermaterial führen wir eine fachgerechte Reinigung und wenn notwendig eine Reparatur oder Restauration des Datenträgers durch. Im Normalfall dauert bei uns eine Digitalisierung ca. 1 Woche für kleine Aufträge. Wir verwenden Original KODAK Klebmittel für die Reparatur der alten Filme, sowie BASF Reparaturteile für Videobänder. Unsere Arbeitsplätze sind mit qualitativ hochwertigen Wiedergabegeräten ausgerüstet. Wir verwenden Direkt-Synchron-Einzelbildabtaster für die Filmdigitalisierung 8 mm und 16 mm. Die Ausleuchtung erfolgt über eine homogene und kalte LED-Lampe, damit das alte Filmmaterial thermisch nicht belastet wird.

Tel. 032 621 80 50

www.sokutec.ch

PORTRAIT

BENJAMIN GRAF

Museumsführer



Benjamin Graf ist seit 2018 im Museum tätig. Er führt Sie gerne durch das Museum, sei dies eine normale Führung, fokussiert auf Computer/Apple oder auch in der Top-Secret Version. Das Ganze gibt es auch mehrsprachig (Deutsch, Englisch, Französisch). Ben arbeitet als Software Engineer in einem KMU in Bern.

«Ich freue mich auf das neue Kapitel des Museums in Derendingen! Jede Führung ist einzigartig und macht Spass. Besonders das Leuchten in den Augen der Besucher beim Anblick der Ausstellungsstücke, wenn längst vergessen gedachte Erinnerungen wieder aufkommen, bereitet mir eine grosse Freude».

IMPRESSUM

Das HISTEC wird vom Förderverein ENTER und vom Club der Radiosammler CRGS realisiert.

Redaktion:

ENTER: Felix Kunz

CRGS: Ernst Härri

Redaktionelle Mitarbeiter:

Ernst Härri

Alexander Kunz

Florence Kunz

Klaus Leuschel

Michel Receveur

Kurt Thalmann

Christoph Traber

Violetta Vitacca

Walter Vollenweider

Heidi von Siebenthal

Robert Weiss

Felix Wirth

Konzept, Gestaltung und Layout:

Janis Oppliger

Redaktion: Florence Kunz

Erscheinungsdaten:

Ausgabe 34: Dezember 2021

4 × jährlich, März, Juni,

September, Dezember.

Verschiebungen möglich

Auflage: 1200 Exemplare

Druck: Merkur Druck AG,
Langenthal

Preise und Abonnemente:

Preis Einzelnummer: CHF 8.00

Jahresabonnement:

4 Ausgaben, CHF 30.–

Für Mitglieder vom Förderverein ENTER und vom Radiosammlerclub CRGS ist das Abonnement vom «HISTEC» im Jahresbeitrag inbegriffen.

Redaktionsadresse:

Florence Kunz

Obere Steingrubenstrasse 9

4500 Solothurn

florence.kunz@sokutec.ch

Hinweis: Redaktionelle Beiträge bitte als Word-Datei bis Ende Januar 2022 einreichen.

«Top
Secret»



«Top Secret» Event

Unsere Museumsführer verraten Ihnen auf der «Top Secret-Museumsführung» die **bestgehüteten Geheimnisse der Technikgeschichte** – von der Chiffriermaschine bis zur Cyberkriminalität.

Erleben Sie einen **unvergesslichen Moment** im Museum für Computer und Unterhaltungselektronik und lassen Sie den Abend gemütlich ausklingen.

Pauschalangebot pro Person, CHF 75.– (exkl. Getränke)

Mind. 10 Personen / max. 50 Personen

- Willkommens-Drink
- Eintritt ins Museum
- Museumsführung 90 Minuten
- Apéro Riche (warmes Buffet)
- Nutzung Game Corner, Juke Box und Töggeli-Kasten

Buchung und Infos unter

Museum ENTER
Zuchwilerstrasse 33
4500 Solothurn
www.enter.ch
info@enter.ch
Tel. 032 621 80 52

ENTER.ch
Das Museum
für Computer und
Unterhaltungselektronik