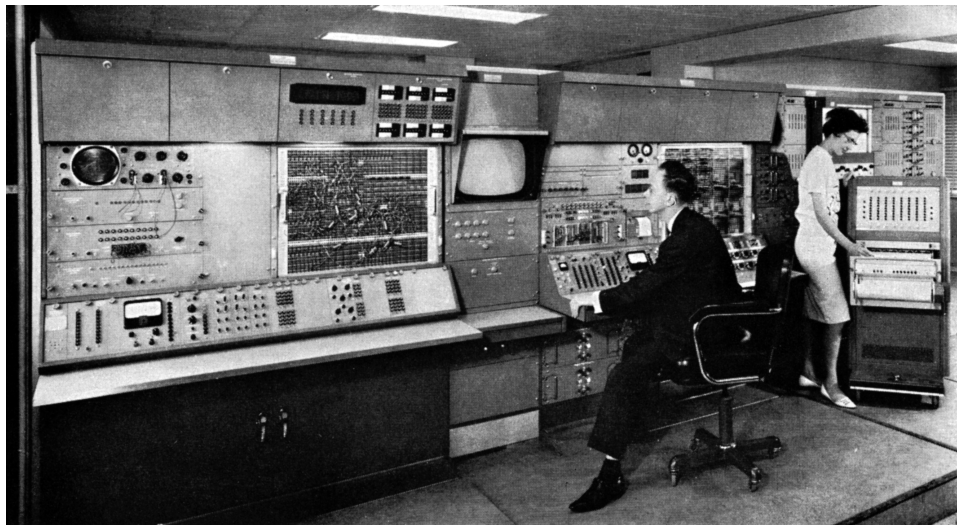


Faszination Analogrechnen



Begriffe

Zunächst sind die folgenden Begriffe zu klären:

- Analogrechnen
- Speicherprogrammierter Digitalrechner
- Direkte Analog(ie)rechner
- Indirekte Analog(ie)rechner

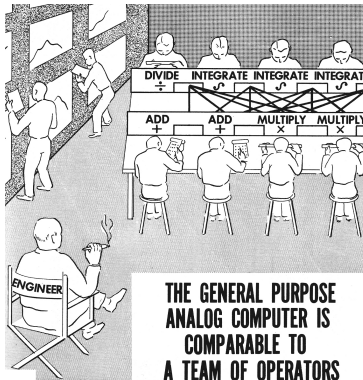
Der Begriff des Analogrechnens

- Analogrechnen bedeutet **nicht** zwingend, dass mit kontinuierlichen Werten gearbeitet wird, obwohl dies häufig so dargestellt wird¹.
- Vielmehr bedeutet Analogrechnen, dass mit einer Analogie eines zu behandelnden Problems gearbeitet wird.

¹Digital, d.h. mit diskreten Werten arbeitende Analogrechner sind nicht nur theoretisch möglich, sondern wurden auch erfolgreich implementiert.

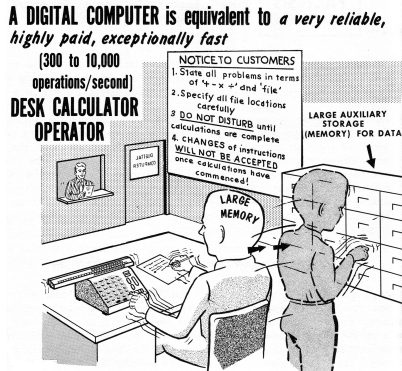
Analogrechner

Analogrechner arbeiten also durch Bilden einer Analogie, d.h. ein Problem wird durch die Verschaltung des Rechners abgebildet (Abbildung nach [TRUITT60][S. 1-41]), es gibt kein zentrales Steuerprogramm:



Speicherprogrammierte Digitalrechner

Während bei Analogrechnern die Struktur des Rechners dem Problem angepasst wird, besitzen speicherprogrammierte Digitalrechner eine feste Struktur, während ihre Steuerung dem Problem angepasst wird (Abbildung siehe [TRUITT60][S. 1-40]):



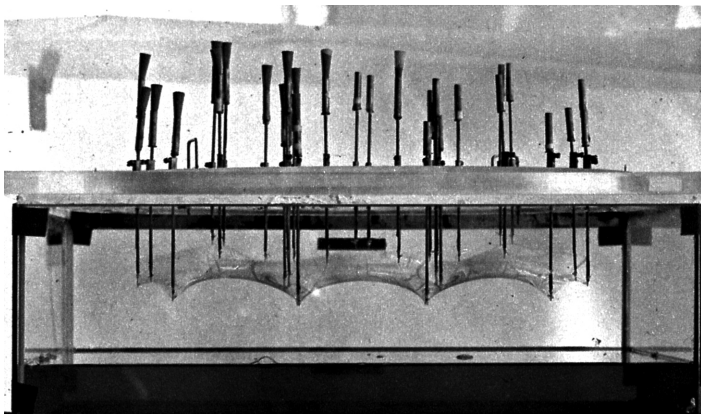
Direkte und indirekte Analogrechner

Direkte Analogrechner: Maßstabsgerechtes Modell mit geringem Abstraktionsgrad – Spezialrechner für eng umgrenzte Problemklassen.

Indirekte Analogrechner: Hohes Maß an Abstraktion – derartige Rechner sind in der Regel allgemeiner und nicht nur für eine eng umgrenzte Problemklasse einsetzbar.

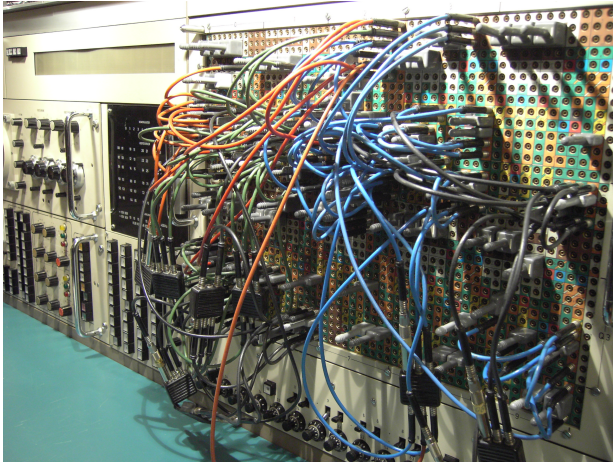
Eine direkte Analogie

Modell des Münchner Olympiastadiondaches (siehe [DRESSLER72][S. 52]):



Eine indirekte Analogie

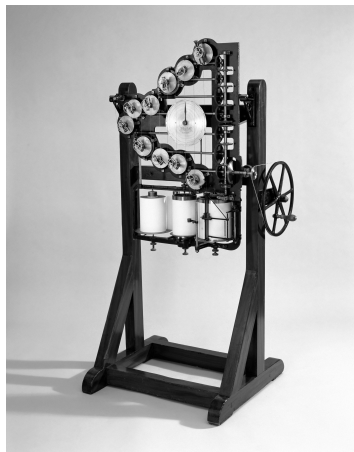
Erzeugung eines Joukowski-Profiles mit Stromlinien:



Mechanische Analogrechner

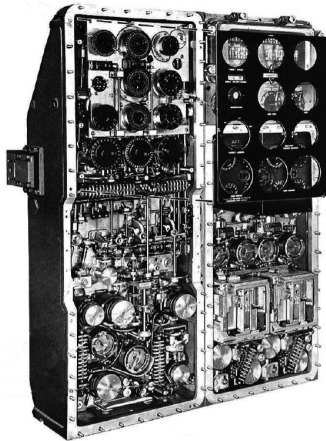
- Mechanismus von Antikythera
- Rechenschieber
- Planimeter
- Kelvins Gezeitenrechner (harmonischer Synthesizer)
- Feuerleitrechner
- Differentialanalysatoren (Vannevar Bush u.a.)

Kelvins Gezeitenrechner



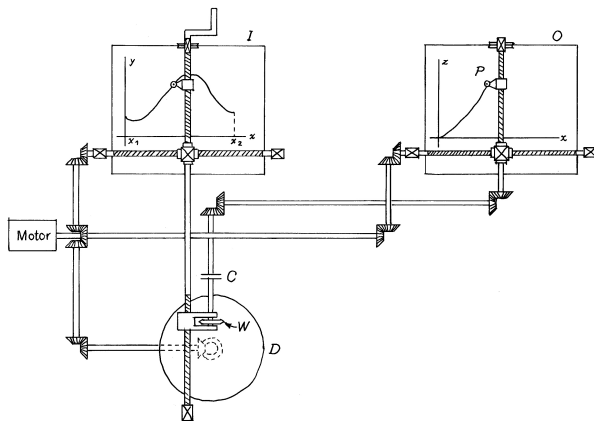
(Mit freundlicher Genehmigung des Science Museum London.)

Feuerleitrechner Mark-3



(Abbildung nach [1][S. 150].)

Ein mechanischer Differentialanalysator

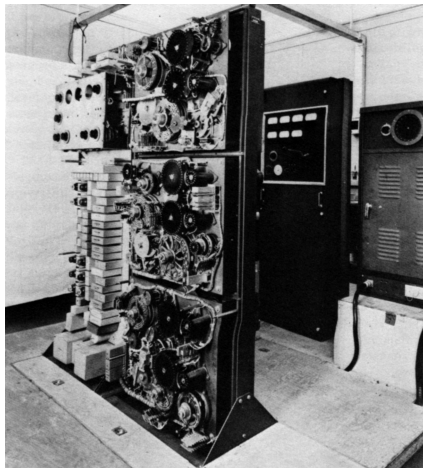


(Abbildung nach [3][S. 190].)

Frühe elektronische Analogrechner

- Feuerleitrechner
- Helmut Hoelzers Arbeiten
 - Das Mischgerät
 - Der erste elektronische Analogrechner
 - Lösung praktischer Aufgaben mit dem System

Feuerleitrechner T-15



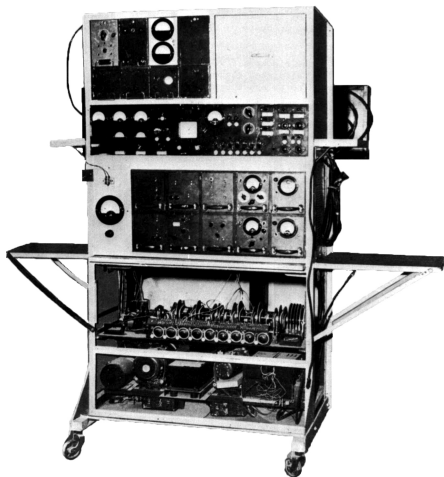
(Abbildung nach [2][S. 154].)

Das Mischgerät



(Photo: Adri de Keijzer.)

Helmut Hoelzers elektronischer Analogrechner



Grundlegende typische Rechenelemente

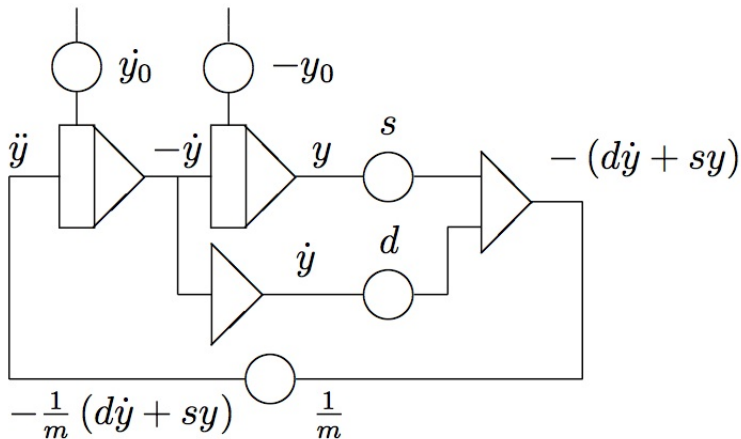
- Koeffizientenpotentiometer
- Der idealisierte Operationsverstärker
- Summierer
- Integrierer
 - Betriebsarten Pause (Initial Condition), Rechnen (Compute), Halt
- Funktionsgeber
- Multiplizierer
 - Division, Wurzelbildung
- Komparatoren
- Koordinatenwandler
- Totzeitglieder
- Rauschgeneratoren
- Ausgabegeräte

Programmierung

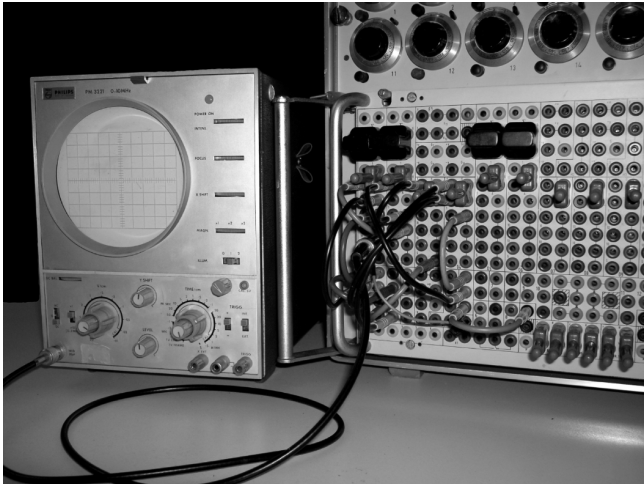
- Aufstellen von Rechenplänen (vollständige/partielle Rückführung)
- Partielle Differentialgleichungen
- Normierung und Zeitskalierung
- Beispiele (alle Beispiele wurden auf historischen Anlagen implementiert):
 - Erzeugung einer harmonischen Schwingung
 - Masse-Feder-Dämpfer-System
 - Räuber-Beute-System
 - Springender Ball in einer Kiste
 - Simulation einer Automobilfederung
 - Projektion rotierender Körper

Masse-Feder-Dämpfer-System

$$m\ddot{y} + d\dot{y} + sy = 0$$

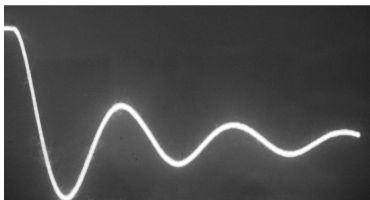


Analogrechneraufbau zum MFD-System

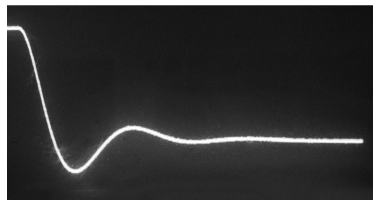


Simulationsergebnisse

$s = 0.8$ und $d = 0.6$



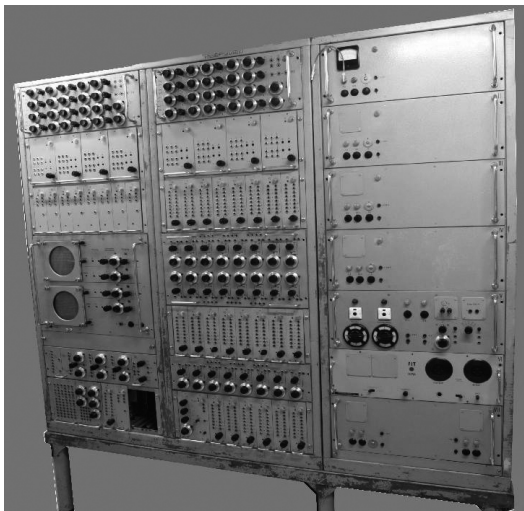
$s = 0.8$ und $d = 1$:



Systembeispiele

- Röhrenbasierte Systeme
 - Telefunken RA 1 und RA 463/2
 - EAI 231-R
- Transistorisierte Analogrechner
 - Telefunken Labormuster
 - Telefunken RAT 700
 - Telefunken RA 800 und RA 800H
 - EAI TR-10
 - Telefunken RA 770
 - Telefunken RA 742
 - Dornier DO-80

Telefunken RA 1

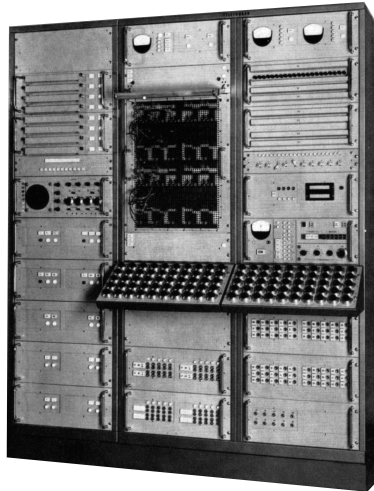


EAI 231R

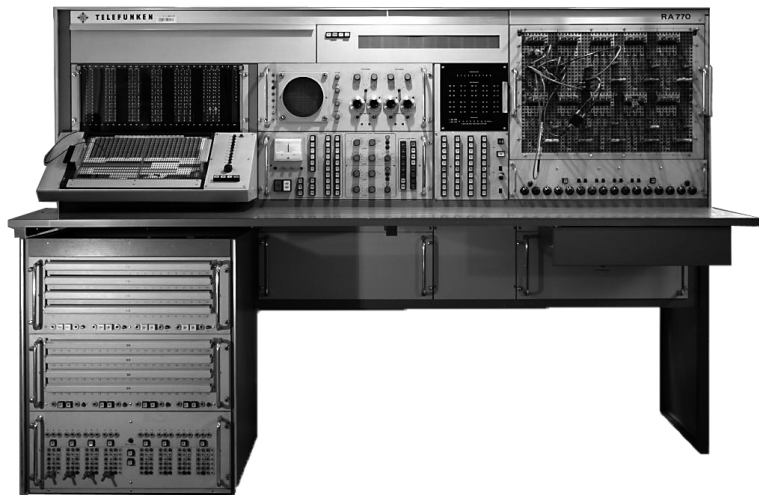


(Abbildung nach [EAI].)

Telefunken RA 800



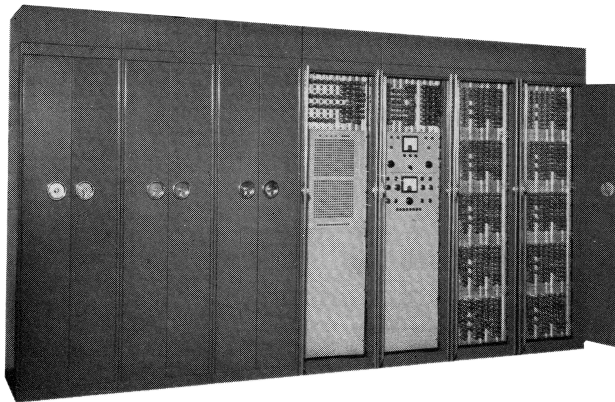
Telefunken RA 770



Hybridrechner

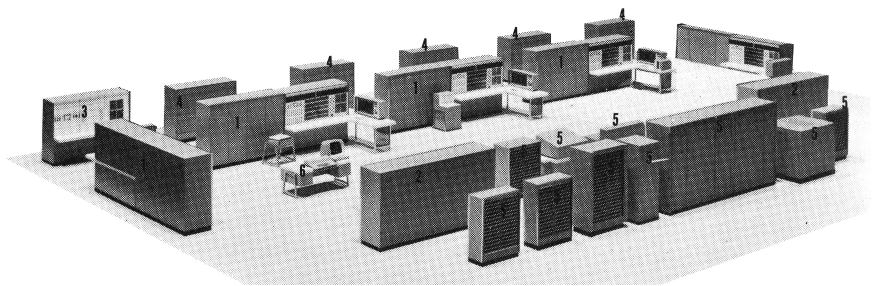
- Der ADDAVERTER der Space Technology Laboratories (1956)
- Hybridrechenanlage Comcor-CDC
- Telefunken HRS 860
- Programmierung hybrider Rechenanlagen

Der ADDAVERTER



(Abbildung nach [MCLEOD_LEGER57][S. 1129].)

Comcor-CDC-Installation (Modell)



(Abbildung nach [BEKEY_KARPLUS68][S. 166].)

CI 5000 und SDS 9300



(Installation am Dept. for Electrical Engineering der Naval Postgrad. School Ende der 1960er Jahre, Abbildung mit freundlicher Genehmigung von Bob Limes.)

Digitale Differentialanalysatoren (DDA)

Digitale Implementation eines Analogrechners – nach [MICHELS54][S. 2]:

A digital differential analyzer is an electronic computer which solves differential equations by numerical integration.

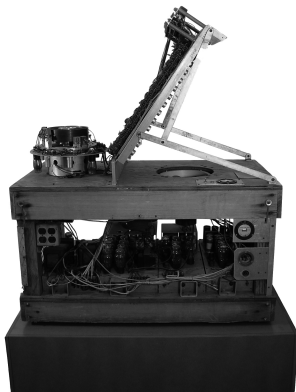
Grundlegende Rechenelemente:

- Integrierer
- Summierer
- Servo

Beispielimplementationen

- Steuerung der Cruise-Missile *Snark* durch Himmelsnavigation
- MADDIDA (ab 1949)
- Bendix D-12
- TRICE

MADDIDA



(Mit freundlicher Genehmigung von Dag Spicer, Computer History Museum.)

TRICE

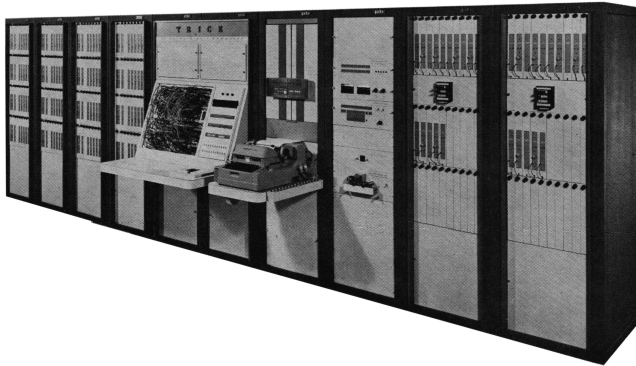


Abbildung nach [AMELING63][S. 30].

Simulation von Analogrechnern

- Grundlagen
- Beispiele

Masse-Feder-Dämpfer-System-Simulation in CSMP:

```
1      CONSTANT MASS = 1.5, D = 4.0, S = 150.0, POS0 = 1.0
2      ACC = (-S * POS - D * VEL) / MASS
3      POS = INTGRL(POS0, VEL)
4      VEL = INTGRL(0.0, ACC)
5      PRINT POS, VEL, ACC
6  TITLE  SIMULATION EINES MASSE-FEDER-DAEMPFER-SYSTEMS
7
8      TIMER FINTIM = 2.0, PRDEL = 0.05
9
10     END
11     STOP
12     ENDJOB
```

Anwendungsgebiete

- Mathematik (Differentialgleichungen, Randwertprobleme, Nullstellenbestimmung, konforme Abbildungen, lineare Algebra, Fouriersynthese und -analyse, Stochastik, Optimierungsprobleme, mehrdimensionale Darstellungen)
- Physik (Planetenbahnen, Teilchenbahnen und Strahloptik, Optik, Wärmeleitung, Halbleiterphysik)
- Chemie (Reaktionskinetik, Quantenchemie)
- Mechanik und Maschinenbau (Schwingungen und Vibrationen, rotierende Systeme, Materialwissenschaft, Pneumatik und Hydraulik, Werkzeugmaschinensteuerung, Servosysteme)
- Kerntechnik (Forschung, Training, Steuerung von Reaktoren)

Anwendungsgebiete

- Biologie und Medizin (Ökosysteme und Populationsdynamik, Stoffwechseluntersuchungen, Kreislaufsysteme, CO₂-Regulation, Pupillenregelung, Neurophysiologie, Epidemiologie, Luft- und Raumfahrtmedizin, Bewegungsapparate)
- Geologie und Meereskunde (Lagerstättenforschung, Seismologie, Ausbreitung von Schallwellen)
- Wirtschaftswissenschaften (hydraulisches Ökonomiemodell von Phillips)
- Energietechnik (Generatoren, Transformatoren, Wechsel- und Gleichrichtersysteme, Übertragungsleitungen, Versorgungsnetze, Kraftwerksbetrieb)

Anwendungsgebiete

- Elektronik und Nachrichtentechnik (Schaltungssimulation, Spektralanalyse, Resonanzuntersuchungen, Filterentwurf, (De-)Modulatoren)
- Mess-, Steuer- und Regeltechnik (Datenerfassung und -verarbeitung, Regelkreise)
- Verfahrenstechnik (Mischtanks, Wärmetauscher, Verdampfer, Kolonnen, Prozesssimulation, Adaptive Regelungen, Parameteroptimierung)
- Verkehrssysteme (Automobiltechnik, Verkehrsflusssimulation, Schienenfahrzeuge, Luftkissenfahrzeuge und Magnetschwebbahnen, Schifffahrtstechnik, Torpedoentwicklung)

Anwendungsgebiete

- Luftfahrttechnik (Flugtische, Fahrgestelle, Fangseilsysteme, Triebwerksentwicklung, Hubschrauberrotoren, Flugleitsysteme, Flugsimulation, In-flight-Simulation)
- Raketentechnik (Raketentriebwerke, Flugverhalten, Raketensteuerung)
- Raumfahrttechnik (Trägerraketen und Startfenster, Bahnberechnung, Einsteuerung geostationärer Satelliten, Rendezvousmanöver)
- Militärische Anwendungen
- Ausbildung und Lehre
- Kunst, Musik und Unterhaltung (Heinrich Heidersberger, Herbert W. Franke, Hans Kulk, Cathode-Ray Tube Amusement Device, Tennis for two)
- Analogrechenzentren

Zukunft und Chancen des Analogrechnens

Einige exemplarische Gründe für den Niedergang des Analogrechnens:

- Geringe Genauigkeit
- Drifteffekte
- Hoher Wartungsaufwand
- Erzeugung von Funktionen mehrerer Variablen sehr aufwändig
- Mit analogelektronischen Analogrechnern können partielle DGLs nur mit Mühe behandelt werden
- Geschwindigkeitsvorteil gegenüber speicherprogrammierten Digitalrechnern wurde zunehmend geringer
- Kein Timesharing möglich, hoher Aufwand für Programmwechsel

Zukunft und Chancen des Analogrechnens

Zukunft des Analogrechnens:

- Große Problemnähe (Lehre und Ausbildung)
- Hohe Interaktivität
- Hohe Parallelität analoger Rechner (eventuell ein sehr erfolgversprechender Ansatz im Zusammenhang mit FPGAs oder GPUs)






Einsatz bereits jetzt im Bereich der Neurowissenschaften: „Biological Inspired Neural and Dynamical Systems“ (BINDS Labs) der University of Massachusetts, Amherst, „Analog VLSI and Neural Systems“ von Carver Mead, „Fast Analog Computing with Emergent Transient States“ (FACETS), Universität Heidelberg etc.

Ausblick





The heritage of the past is the seed of the future².

²Inschrift des Standbildes *Heritage* von James Earl Fraser, Federal Triangle, Constitution Ave. & 9th, Washington DC.

Bibliographie

-  [AMELING63] W. Ameling, „Aufbau und Arbeitsweise des Hybrid-Rechners TRICE“, in *Elektronische Rechenanlagen*, 5 (1963), Heft 1, S. 28–41
-  [BEKEY_KARPLUS68] George A. Bekey, Walter J. Karplus, *Hybrid Computation*, John Wiley & Sons, Inc., 1968
-  Bureau of Ordnance Publication (Hrsg.), *Torpedo Data Computer, Mark 3, Mods. 5 to 12 inclusive*, June, 1944
-  [DRESSLER72] Fritz Dressler, „Das Dach“, in *hobby – Das Magazin der Technik*, Nr. 8/72, S. 50 ff.
-  M. D. Fagen (Ed.), *A History of Engineering and Science in the Bell System – National Service in War and Peace (1925–1975)*, Bell Telephone Laboratories, Inc., First Printing, 1978

Bibliographie

-  Walter J. Karplus, Walter W. Soroka, *Analog Methods – Computation and Simulation*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1958
-  [MCLEID_LEGER57] John H. McLeod, Robert M. Leger, „Combined Analog and Digital Systems – Why, When, and How“, in *Instruments and Automation*, June 1957, S. 1126–1130
-  [MICHELS54] Lowell S. Michels, *Description of BENDIX D-12 DIGITAL DIFFERENTIAL ANALYZER*, Bendix Computer Division, Bendix Aviation Corporation, 5630 Arbor Vitae Street, Los Angeles 45, California, March 13, 1954
-  [EAI] N. N., *PACE 231R analog computer*, Electronic Associates, Inc., Long Branch, New Jersey, Bulletin No. AC 6007

Bibliographie



[TRUITT60] Thos. D. Truitt, A. E. Rogers, *Basics of Analog Computers*, John F. Rider Publisher, Inc., New York, December 1960