




Wolfgang Stief  
VCFB, Berlin, 2017

# # whoami

- Elektriker, Dipl.-Ing. (FH)
- freiberuflich, sys4 AG  
Storage, E-Mail, Projektkümmerer
- Computermuseum München, Cray-Cyber.org  
“Alles unter 30 A ist Kriechstrom.”
- <https://about.me/stiefkind>  
[stief@cray-cyber.org](mailto:stief@cray-cyber.org)  
 stiefkind



# 00\_README.txt

- Work in Progress
- Cray und Surroundings
  - Firmen
  - Personen
  - Technologien
  - Seitenäste
- Vortragsreihe mit loser Folge (VCFE/VCFB)
- <http://www.speakerdeck.com/stiefkind/>  
<https://media.ccc.de/search?q=Wolfgang+Stief>

# # ls -l

- Cray Research Inc.  
ca. 1972–1976
- Gründung, Cray-1
- Danke Team Computermuseum München  
Diskussion + Anekdoten (Markus Kalmuk, Alexander Mann)
- Danke Controlfreaks Mailingliste  
Augenzeugenerzählungen

# Was bisher geschah (Teil 1, 1949-1959)

- CSAW (US Navy, WWII) → ERA (1946) → Remington-Rand (1951) → Sperry-Rand (1951) → Control Data (1957)
- 1951: Seymour Cray (\*1925 †1996) kommt zu ERA  
B. Sc. Electrical Engineering (1949), M. Sc. Applied Mathematics (1951)
- Control Data Corporation (Herbst 1957)  
Plan: US\$ 600.000 Startkapital, Aktien in Privatbesitz  
erreicht: US\$ 1.2 Mio.
- CDC Little Character (Testballon für Transistor-Rechner)
- CDC 1604 (1959)  
48bit, 0.2 MHz → schnellste Maschine der Welt

# Was bisher geschah (Teil 2, 1959-1972)

- CDC6600:  $100\text{ ns} \triangleq 10\text{ MHz}$ , 1-3 MFLOPS (1959-1965)
  - > Si-Transistoren, Flüssigkühlung (Freon)
- CDC7600:  $25\text{ ns} \triangleq 40\text{ MHz}$  (1965-1969)
  - > Pipelining;
  - > U\$ 8 Mio. für nur ca. 4x Performance → ist vielen zu teuer
- Control Data Corporation: Expansion weltweit, Zukäufe
  - > Aktienkurs U\$ 1 (1957) → U\$ 300 (1964)
  - > Klage CDC ./ IBM wg. Marketing-Praxis, Monopol, Antitrust
  - > Geschäftstätigkeit zunehmend in Richtung Service
- CDC8600:  $8\text{ ns} \triangleq 125\text{ MHz}$ , Quad-CPU (diskret)
  - > Zuverlässigkeit (!) → zu viele Lötstellen, Wärmeentwicklung

# Ende der Entwicklung CDC8600

- Treffen Cray/Norris in Bloomington (HQ)
  - > 8600 funktioniert so nicht, grundlegend falscher Ansatz
  - > komplett neues Design, neues Entwicklungsprogramm, mehr Budget
  - > Norris: 1 Jahr warten, STAR-100 ist teuer, zwei Projekte nicht möglich
  - > Cray: Bedenkzeit
- Cray @ Chippewa
  - > Beratungen mit Vertrauten und Ex-CDC (u. a. Mullaney)
  - > U\$ 2.5 Mio Startkapital, davon 20% von Cray
  - > handverlesenes Entwicklerteam, ca. 25% weniger Gehalt
- Memo Cray → Norris, 14. Februar 1972
  - > unlösbare Probleme @ 8600 Entwicklung
  - > Cray + 6 Mitarbeiter verlassen CDC und gründen Cray Research Inc.

# Kick-Off *Cray Research Inc.*

*“An Employee has only one life, whereas a company could go on and on”*

— Bill Norris, CEO Control Data Corp.

- Norris/CDC investiert U\$ 250.000 in Cray Research Inc.
- erstes Büro hat  $900 \text{ ft}^2 \approx 85 \text{ m}^2$  (Cray + 6 Mitarbeiter)



# Strategie? Na klar! Naja. Ja...irgendwie...

- Entwicklung der 8600 weiter führen  
> “computing speed” ist der heilige Gral
- **Aber:** Platziere ein neues Produkt in etablierter Industrie ohne Marktforschung!
- Industrie war noch nicht erwachsen
- High Speed darf ruhig Geld kosten
- Evolution statt Revolution

# Cray-1 Design-Ziele

- Lessons learned aus CDC8600 Entwicklung
  - > keine diskret aufgebaute CPU mehr (Anzahl Lötstellen)
  - > Integrated Circuits seit 14 Jahren existent
  - > ICs sind kleiner und brauchen weniger Leistung
    - ⇒ kürzere Signallaufzeiten, weniger Wärmeentwicklung
- 1 CPU (8600: 4 CPUs)
- 12.5 ns clock cycle  $\triangleq$  80 MHz (8600: 8 ns/125 MHz)

***Nie Rocket Science, immer etwas abgehangen.***

Policy Seymour Cray

# Parallel: Facility Management

- Planung für neues Lab (“Hallie Lab”)
  - > Pat Durch, High School Kumpel
  - > plante auch schon Wohnhaus und CDC Chippewa Lab
- Wohnhaus Cray, CDC Chippewa Lab, Cray Hallie Lab  
jeweils nur wenige 100m voneinander entfernt
  - > “The fabled Hallie Lab”
  - > <http://www.0x07bell.net/WWWMASTER/CrayWWWStuff/hallie.html>
- Einzug im September 1972,  $10.000 \text{ ft}^2 \triangleq 930 \text{ m}^2$ 
  - > CDC Chippewa Lab:  $24.000 \text{ ft}^2 \triangleq 2.230 \text{ m}^2$



# Hallie Lab

Control Data Chippewa Falls Lab

Cray Research "Hallie" Lab

Bild: Google Earth



# Hallie Lab



Bild: Google Maps

Google Maps: “Data Drive, Lake Hallie, Wisconsin, USA”

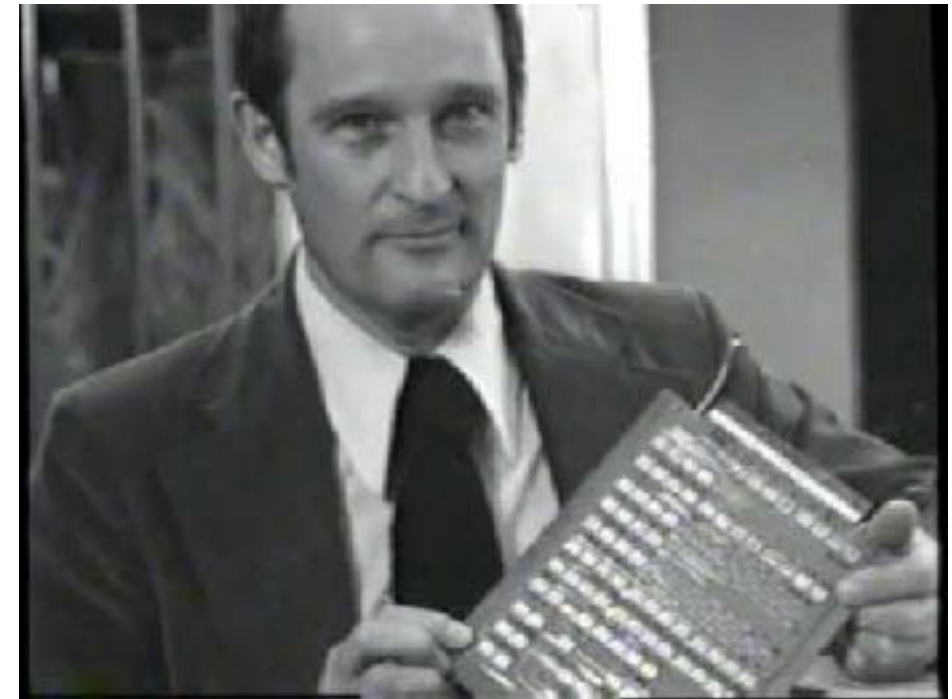
# Meanwhile @ Control Data

- Law Suite CDC ./ IBM → zugunsten CDC, Dezember 1972
  - > Vermarktung von “phantom machines”
  - > IBM ist gewillt, mit Verlust zu verkaufen; CDC vom Markt verdrängen
- außergerichtliche Einigung, U\$ 200 Mio.
  - > IBM Service Bureau Corporation
  - > U\$ 15 Mio. cash → Anwalts- und Gerichtskosten
  - > U\$ 26 Mio. cash → Zusatzleistungen für Service Bureau Angestellte
- IBM Service Bureau Corporation?
  - > Vertrieb/Verkauf von Rechenzeit CDC-eigener Rechenzentren



# Wie war das jetzt mit den ICs?

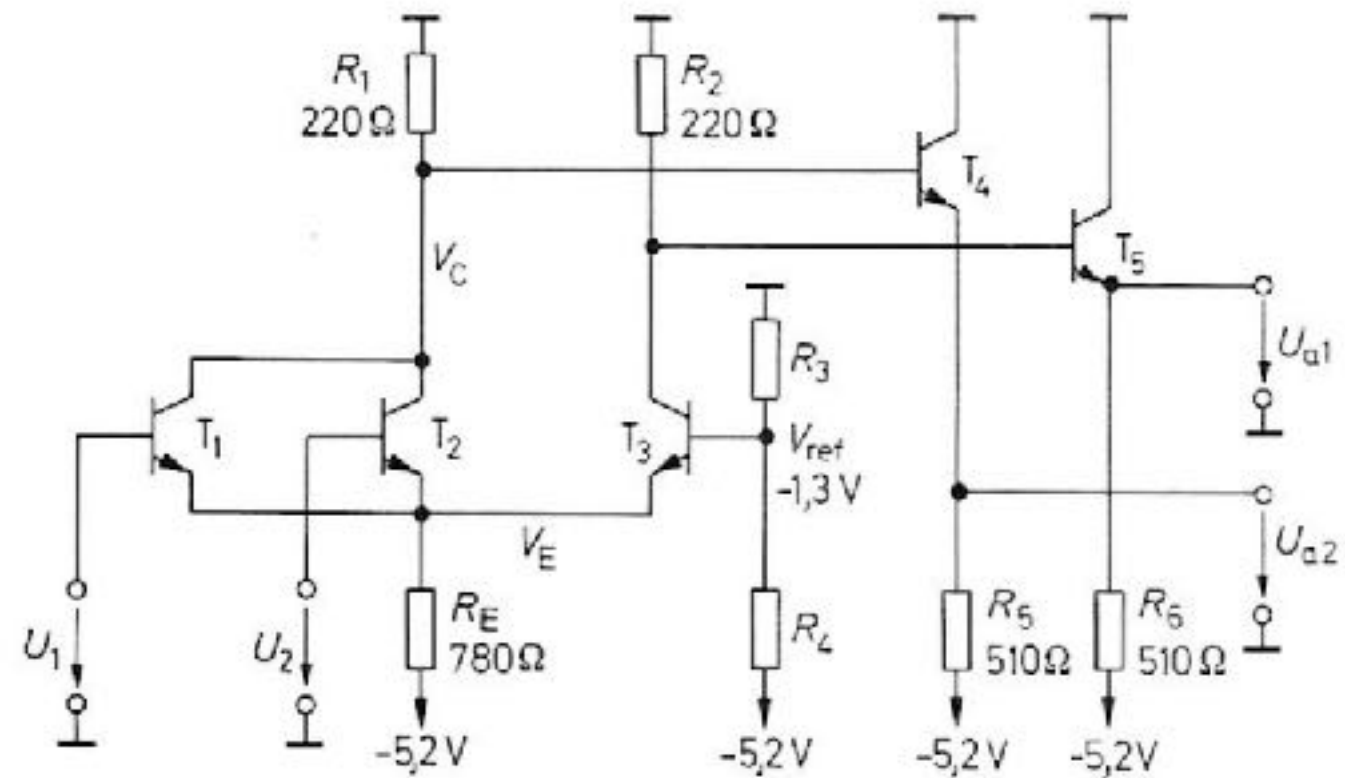
- Nur 4 IC-Typen
  - > ECL dual 5-4 NOR Gate
  - > MECL 10K 5-4 NOR Gate (address fanout)
  - > 16 x 4bit SRAM, 6ns (CPU-Register)
  - > 1024 x 1bit SRAM, 48 ns (Main Memory)
- max. 144 ICs je Board, 2 Boards je Modul
- ca. 500 Module / CPU
  - > 1.662 Module insgesamt,  $\frac{2}{3}$  sind Memory
- Modul hat ca. Fläche von ca. DIN A5
- 144.000 ICs, 288.000 Gates
  - > ca. 20 Jahre später auf 1 Chip



source/license unknown

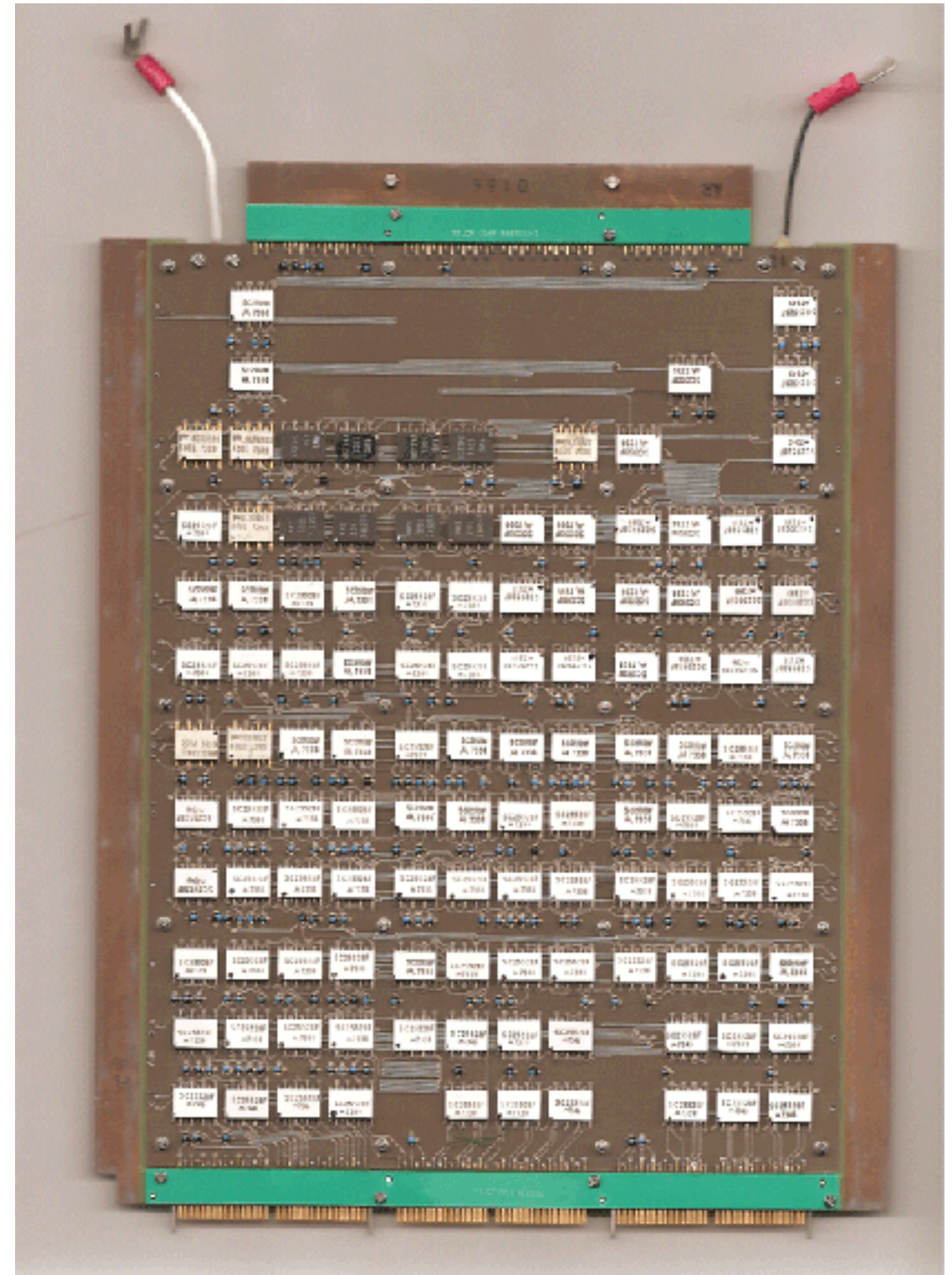
# Exkurs: ECL

- Differenzverstärker  
 $T_2/T_3$
- **keine** Sättigung
- **schnelle** Schaltzeiten  
kleinste Gatterlaufzeit aller Logikfamilien
- **aber** hohe Verlustleistung  
z. B. 25 mW / Gatter +  $P_V$  in Emitterwiderständen
- $288.000 \text{ Gatter} \times 25 \text{ mW/Gatter} = 7.2 \text{ kW}$



# Cray-1 Board und Module

- Platine: 5 Layer
- max 144 ICs / Board
- 2 Boards back-to-back  
dazwischen Kupferplatte  
für Wärmetransport
- 1.662 Modules, 113 Varianten

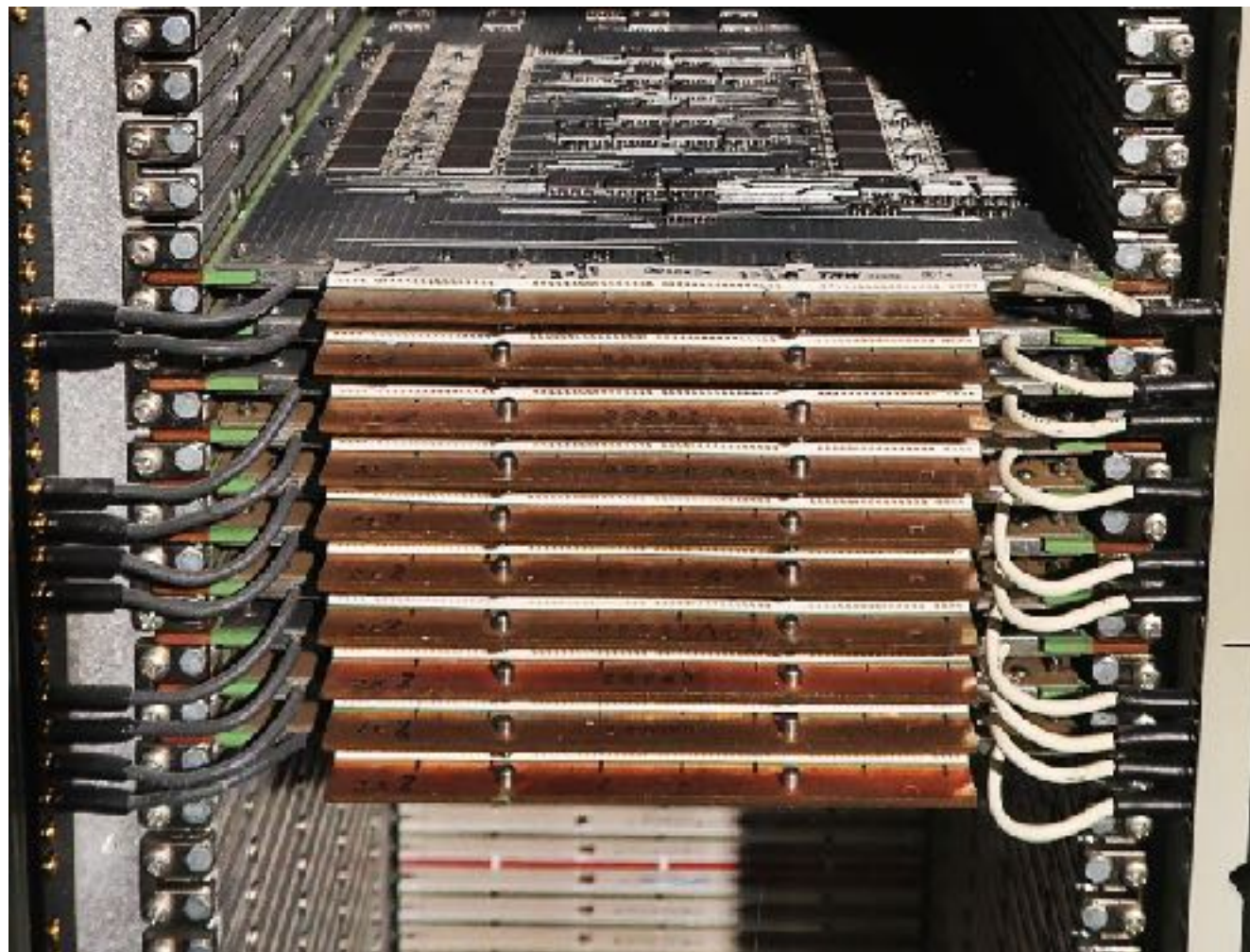


source/license unknown



# Cray-1 Modules und Racks

- 72 Modules / Rack
- 24 Segmente (“Racks”), je 710 mm hoch



Wolfgang Stief, CC0



Wolfgang Stief, CC0

# Keep cool, Baby

- höhere Packungsdichte
  - > mehr Wärmeentwicklung
  - > einfacherer Wärmetransport
- Cooling ab Beginn integraler Bestandteil der Planung
  - > Dean Roush, CDC6600/7600/8600
- Patente für Cray-1 → nur für Einzelheiten des Kühlsystems
- 1/2 Jahr Verzögerung → Probleme mit Kühlsystem
  - > Leckage, Rohrverbindungen
- “forty-ton refrigerant system”
  - >  $\approx 140$  kW Kühlleistung (ca. 2x 8600)
  - [https://en.wikipedia.org/wiki/Ton\\_of\\_refrigeration](https://en.wikipedia.org/wiki/Ton_of_refrigeration)



# Kühlung: Und so geht's

- Module werden horizontal montiert
- Kältestangen je Turm (6 ft  $\triangleq$  1,82 m)
  - > Freon
  - > Wärmeleitkontakte je Modul



Wolfgang Stief, CC0



# ECL → da muss Strom rein

- ca. 4600 A **in** der Maschine
- Stromschienen  $1 \text{ in}^2 \triangleq 6,5 \text{ cm}^2$ 
  - > mit Freon gekühlt



Wolfgang Stief, CCO

# Cray-1 Verkabelung

- Twisted Pair, differential signals
  - > ausbalancierte Last auf Stromversorgung
  - > Verzicht auf Regelung in Netzteilen (!)
  - >  $\Sigma I = 4600 \text{ A}$
- 90 cm max. Leitungslänge
  - > 7600: max. 4,5 m

Wolfgang Stief, CC0



# Novitäten

- CPU bekommt Vektor-Einheit (neu @ Cray Research)
  - > STAR-100, ILLIAC IV, TI ab ca. Mitte der 60er
- nur wenige Applikationen mit Vektor-Rechnung
  - > Skalar-Unit weiterhin notwendig
- Herausforderung: Koordination Skalar/Vektor
- Vektor-Design @ Cray: STAR-100 stark vereinfacht
  - > einfachere Control-Logik für Signalfluss
  - > kürzere Vektoren mit fixer Länge (64 Ziffern)

*“The pioneer never wins.  
It’s always easier to be the one who goes second.”*

*— Seymour Cray über STAR-100.*

# Architektur

- 64-bit
  - > 6600/7600 → 60-bit
- 24-bit Adressraum
  - > 1.048.576 64-bit Worte (1 Megaword,  $\triangleq$  8 MByte)
  - > 8 parity bits / word
- 16 Speicherbänke, interleaving, 50ns cycle time
- 2er-Komplement
- 4x 6-Channel I/O Controller
  - > keine peripheral processors mehr
  - > jeder Controller hat Zugriff auf Memory, Zugriff @ 4. Cycle
  - > 16 bit Data + 3 bit Control + 4 bit Error Correction
  - > max. Transfer 1 Word/100 ns bzw. 500 Words/s

# Was kostet sowas in der Entwicklung?

- Entwicklung Cray-1 ca. U\$ 42.000/Monat (1975!)
- August 1975: Geld reicht noch für max. 45 Tage
- neuer CFO → John Rollwagen
  - > 34 Jahre jung, MIT EE, Harvard MBA
  - > Vertrieb CDC6600
  - > Auftrag: Kapital beschaffen
- kurzfristig U\$ 600.000 in Bonds
  - > U\$ 1 Mio. Kreditrahmen
- Cray: keine Schulden!
  - > statt dessen: Aktien

# Going public?

- Erfolgsmodell CDC auch auf Cray anwendbar?
- Aktienmarkt 1975 zurückhaltend
  - > insbesondere HighEnd Technology und Supercomputing
- Cray sieht ausreichende Lücke als Nischenanbieter
- Engineering: optimistisch
  - > Laborsamples 80 MFLOPS @ Vektor, bis 160 MFLOPS wenn fertig
  - > Hallie Lab ab vom Schuss



# Going public!

- Anfang 1976: Rollwagen @ New York
  - > Gespräche mit Investment Bankern
  - > “Genie Cray”
  - > Lücke im HighEnd-Supercomputer-Markt
  - > Banker überraschen durchweg positiv
- 70 Firmen investieren in Cray Research Inc.
- Mitte März 1976: 600.000 Shares, U\$ 10 Mio.
  - > Schulden abbezahlen
  - > neues Development Lab @ Chippewa Falls
  - > weitere Angestellte (Rollwagen: #34)
  - > Entwicklung Cray-1 kann zu Ende gebracht werden

# We need Sales!

- Cray-1 ist kurz vor Markteinführung
- John Rollwagen: CFO → VP Sales
  - > kennt Supercomputer-Business von CDC6600
  - > Government Labs haben gerne Status-Symbole  
(bekannte Wissenschaftler, Medienpräsenz, teures Spielzeug)
  - > spielt Los Alamos + Lawrence Livermore gegeneinander aus mit S/N 1
- beide Labs wollen, DoE bezahlt aber nur eine Cray-1

# Go install it!

- Deal mit Los Alamos
  - > S/N 1 wird für lau installiert
  - > nach ½ Jahr Entscheidung: kaufen, leasen, zurück geben
- Streit der Labs ist beendet
- Kalkül: sobald die erste Cray-1 installiert ist, kommen auch andere Interessenten
- Los Alamos @ Presse: 5x Vektorleistung zu CDC7600
- Erster Bezahlkunde: NCAR
  - > National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado
  - > U\$ 8.86 Mio (7.9 Mio Rechner + 1 Mio. Disks)
  - > S/N 3, lief bis 1989

# Success Stories

- European Center for Medium Range Weather Forecasts
  - > Großbritannien
- United Computing Systems, Inc. (Kansas City)
- Lawrence Livermore Laboratory (Kalifornien)
  - > Entscheidung Cray-1 vs. CDC STAR-100
  - > CDC wirft Cray unfaire Angebotspraktiken vor
- Max-Planck IPP, Garching bei München
  - > Benchmark-Versuche mit Cray-1 (1979)
  - > <http://edoc.mpg.de/display.epl?mode=doc&id=668860&col=33&grp=1311#cb>

# Success Stories — IPP

1. Einleitung	1
1.1 Die CRAY-1	1
1.2 Computational Physics im IPP	1
2. Die Benchmarks	3
2.1 Erfahrungen mit dem CRAY-System im RHEL	3
2.2 Tests mit einfachen Programmkernen	4
2.2.1 Einfache Schleifen	4
2.2.2 Komplexere Schleifen	5
2.3 Die "Number-Cruncher" des IPP	6
2.3.1 Programm BRM	6
2.3.2 Programm UHS	7
2.3.3 Programm ROC	8
2.3.4 Programm HEW	9
2.3.5 Programm MCK	10
2.4 Optimierungsversuche	10
2.4.1 Optimierung des Programms BRM	11
2.4.2 Optimierung des Programms UHS	11
3. Folgerungen	13
Appendix 1: Leistungsvergleich: Compiler	14
Appendix 2: Leistungsvergleich: MHD-Code Schleifen	15
Appendix 3: Leistungsvergleich: MHD-Code Programme	16

# Success Stories — IPP

	470V/6 REAL*4	470V/6 REAL*8	360/91 REAL*4	360/91 REAL*8	CRAY-1
Compilation[sec]	17.0	17.0	27.0	27.0	0.76
Execution[sec]	34.2	45.0	61.3	61.7	6.4

	360/91	470V/6	CRAY-1
Compile-Zeit[sec]	19.1	10.5	0.638
Zeit pro Iteration[sec]	1.5	2.2	0.22



# Success Stories — IPP

Vektorlaenge		$\frac{L \text{ [CRAY-1]}}{L \text{ [360/91]}}$	$\frac{L \text{ [CRAY-1]}}{L \text{ [470V/6]}}$
REAL*4			
	12	6.19	6.84
	72	10.59	10.74
REAL*8			
	12	5.98	12.33
	72	11.11	17.93

# Success Stories — IPP

CRAY-1 FORTRAN Compiler  
 IBM 360/91 FORTRAN-H extended  
 AMDAHL 470V/6 FORTRAN-H extended

Programm	L [CRAY-Comp.]	L [CRAY-Comp.]
	-----	-----
	L [Fo-H (91)]	L [Fo-H (470)]
<hr/>		
BRM	18.2	9.9
UHS	29.9	16.5
ROC	33.9	16.3
HEW	35.4	17.9
MCK	35.6	22.4

# Success Stories — IPP

Die Ergebnisse der Benchmarks demonstrieren eindeutig die Leistungsfähigkeit der CRAY-1:

- (1) Die Umstellung der Programme auf den CRAY-1 Computer ist einfach zu bewerkstelligen.
- (2) Die Compilationszeiten (Appendix 1) sind so kurz (Faktor 20-30 gegenüber IPP-Rechnern), dass selbst fuer grosse Programme keine Object/Load-Library Organisation noetig scheint.
- (3) Die Ergebnisse der Zeitmessungen von Testkernen (Floating Point) bestaetigen im wesentlichen die theoretischen Herstellerangaben ueber die Schnelligkeit der CRAY-1. (Faktor 10 gegenüber der 91, Faktor 25 gegenüber der 470V/6).
- (4) Die Zeitmessungen fuer realistischere Kerne (2/3 vektorisiert) ergaben fuer Vektoren mittlerer Laenge (72) einen Faktor 10 gegenüber der 91 und einen Faktor 18 gegenüber der 470V/6 (Appendix 2).
- (5) Das wichtigste Ergebnis ist der Leistungsvergleich an Hand grosser MHD Programme:

Die im wesentlichen ungeaenderten Codes laufen auf der CRAY-1 etwa 5-10 mal schneller als auf den beiden IPP-Rechnern (Appendix 3).

Relativ geringfuegige Aenderungen der Programme (um die Vektorisierung von weiteren inneren Schleifen zu ermoeglichen) ergaben eine weitere Leistungssteigerung um einen Faktor 2.

- (6) Das Fazit, dass die CRAY-1 einen realistischen Leistungsfaktor von 10 gegenüber der IBM 360/91 und einen Faktor 20 gegenüber der Amdahl 470V/6 erbringt (fuer Programme mit starker Gleitkommabenutzung in 64 bit Genauigkeit), wird durch die extremen Leistungsfaktoren von 25 bzw. 40 fuer einzelne Routinen noch unterstrichen.



# Modellvarianten

- Cray-1A, 1976
  - > 5.5 t einschließlich Kühlaggregat
  - > 115 kW elektr. Anschlussleistung zzgl. Kühlung und Disk
- Cray-1S, 1979
  - > 1 Mio., 2 Mio., 4 Mio. Worte Hauptspeicher
  - > 4096 x 1bit bipolar RAM ICs, 25 ns access time ( $\approx 2x$ )
- Cray-1M, 1982
  - > Replacement zur Cray-1S

# Software

- COS — Cray Operating System  
CAL — Cray Assembly Language  
CFT — Cray FORTRAN
- LLL: CTSS — Cray Time Sharing System
- NCAR: NCAROS
- NSA: Folklore (OS), Pascal, C

```
$ ls -lh cos_117.img  
-rw-r--r--@ 1 wgs  staff      64M Feb 26 18:46 cos_117.img
```



# So, what's next?

- Cray → konzentrieren auf Cray-2
  - > will neuen Präsidenten
  - > kann John Rollwagen dazu überreden/überzeugen
  - > AR skeptisch, Rollwagen ist erst 36 Jahre alt
- Rollwagen nimmt an für maximal 10 Jahre.

*“Of course I want to be president. I went to Harvard. I’m supposed to be president.*

*[...]*

*I’ve noticed that companies tend to go sour if a president stays too long.”*

— John Rollwagen, 1976

# And what about Cray Research Inc?

- Plan: 2 Systeme/Jahr (Seymour Cray am Anfang)
- 4 Systeme / Jahr → 8 Systeme/Jahr  
> Rollwagen @ Präsident
- neues Engineering-Building @ Chippewa Falls
- mehr Angestellte
- Ausbau Fertigungsanlagen  
> Herstellung Cray-1 dauert ca. ½ Jahr Montage + ½ Jahr Checkout
- insgesamt: ca. 80 Cray-1 verkauft (alle Modelle)  
> typ. U\$ 5 Mio. - U\$ 8 Mio.

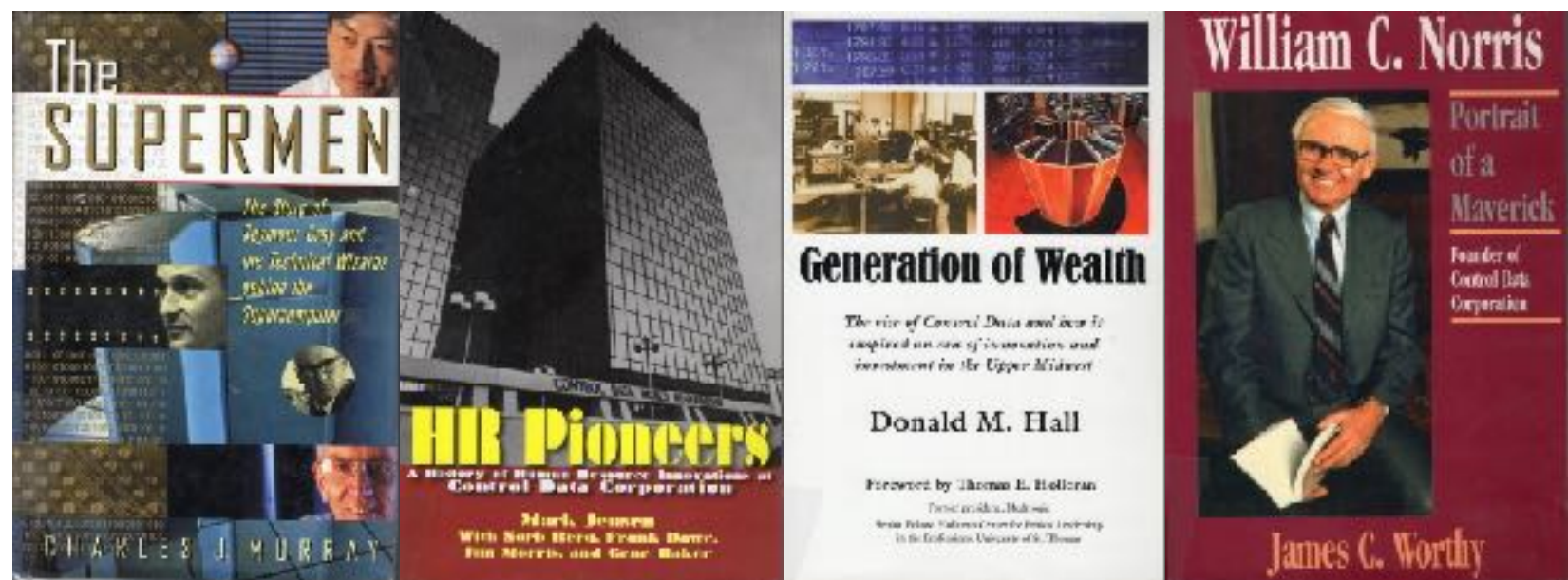
# Leben nach Cray-1

- 1982: X-MP (Multiprozessor, 800 MFLOPS)
- 1985: Cray-2 (1.9 GFLOPS peak)
- 1988: Y-MP

*2013 Smartphone CPU: typ. 1 GFLOPS. **Aber!** Memory Bandwidth.*

# Beyond this talk — reading

- Charles J. Murray — **The Supermen**  
The Story of Seymour Cray and the Technical Wizards behind the Supercomputer
- Mark Jensen — **HR Pioneers**  
A History of Human Resource Innovations at Control Data Corporation
- Donalds M. Hall — **Generation of Wealth**  
The rise of Control Data and how it inspired an era of innovation and investment in the Upper Midwest
- James C. Worthy — **William C. Norris**  
Portrait of a Maverick
















# Beyond this talk — reading

- Bitsavers PDF Archive (Mirror Uni Stuttgart)  
<http://bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de/pdf/cray/CRAY-1/>

## Index of /pdf/cray/CRAY-1

<a href="#">Name</a>	<a href="#">Last modified</a>	<a href="#">Size</a>	<a href="#">Description</a>
 <a href="#">Parent Directory</a>		-	
 <a href="#">2240004C_CRAY-1_Hardware_Reference_Nov77.pdf</a>	2008-11-01 03:13	8.1M	
 <a href="#">2240009C_CRAY-1_Fortran_Reference_Apr78.pdf</a>	2008-10-30 01:43	11M	
 <a href="#">CRAY-1_Brochure_1975.pdf</a>	2007-01-14 03:45	2.6M	
 <a href="#">CRAY-1_PrelimRefRevA_Jun75.pdf</a>	2006-09-27 04:12	3.7M	
 <a href="#">CRAY-1_PrelimSitePlanning.pdf</a>	2007-01-14 03:47	2.0M	
 <a href="#">HR-0004-CRAY_1_Hardware_Reference_Manual-PRELIMINARY-1975.OCR.pdf</a>	2013-05-15 22:35	3.9M	
 <a href="#">HR-0004F_CRAY-1_Computer_Systems_Hardware_Reference_Manual_May82.pdf</a>	2013-05-15 23:27	6.9M	
 <a href="#">HR-0065_M_Series_Site_Planning_Ref_Man_Apr83.pdf</a>	2008-01-27 06:33	5.8M	
 <a href="#">HR-0808_CRAY-1S_HWref_Nov81.pdf</a>	2004-02-07 06:06	19M	
 <a href="#">Nelson_TimingCodesOnTheCray-1_May81.pdf</a>	2007-01-14 05:36	3.7M	

*Apache/2.4.10 (Debian) Server at bitsavers.informatik.uni-stuttgart.de Port 80*

# Beyond this talk — reading

- Oral History of Les Davis (Mai 2010)  
<http://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2012/04/102657915-05-01-acc.pdf>
- Benchmark-Versuche mit der Cray-1 am IPP  
<http://edoc.mpg.de/display.epl?mode=doc&id=668860&col=33&grp=1311#cb>
- Cray-1 Digital Archeology  
Über die Rekonstruktion eines COS Disk-Images  
<http://www.chrisfenton.com/cray-1-digital-archeology/>
- The Cray Files  
Wie man einen Cray-1 Simulator baut  
<http://www.modularcircuits.com/blog/articles/the-cray-files/>
- Gordon Bell — A Seymour Cray Perspective (Präsentation)  
<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gbell/craytalk/>

# Beyond this talk — watching

- Seymour Cray — Cray-1 Introduction @ LANL (1973/74? 1976?)  
<https://www.youtube.com/watch?v=vtOA1vuoDgQ>
- Seymour Cray — What's all this about Gallium Arsenide?  
Vortrag zur Entwicklung der Cray-3  
<https://www.youtube.com/watch?v=xW7j2ipE2Ck>
- Cray Research — A Story of the Supercomputer (Dokumentation)  
<https://www.youtube.com/watch?v=wn03wn3k47Y>
- Cray-1 Supercomputer 30th Anniversary (Computer History Museum)  
<https://www.youtube.com/watch?v=J9kobkqAicU>



**EOF**

Danke!  
Fragen?

<https://about.me/stiefkind>

[stief@cray-cyber.org](mailto:stief@cray-cyber.org)

 stiefkind

<http://www.speakerdeck.com/stiefkind/>



# Lizenz

Die gesamte Präsentation ohne Bilder unterliegt der CC0 1.0 Lizenz (Public Domain Dedication). Bild-Lizenzen sind einzeln aufgeführt.