



Wolfgang Stief
VCFB, Berlin, 2017

whoami

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

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: U\$ 600.000 Startkapital, Aktien in Privatbesitz
erreicht: U\$ 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 ns $\hat{=}$ 10 MHz, 1-3 MFLOPS (1959-1965)
 - > Si-Transistoren, Flüssigkühlung (Freon)
- CDC7600: 25 ns $\hat{=}$ 40 MHz (1965-1969)
 - > Pipelining;
 - > U\$ 8 Mio. für nur ca. 4x Performance \rightarrow ist vielen zu teuer
- Control Data Corporation: Expansion weltweit, Zukäufe
 - > Aktienkurs U\$ 1 (1957) \rightarrow U\$ 300 (1964)
 - > Klage CDC ./. IBM wg. Marketing-Praxis, Monopol, Antitrust
 - > Geschäftstätigkeit zunehmend in Richtung Service
- CDC8600: 8 ns $\hat{=}$ 125 MHz, Quad-CPU (diskret)
 - > Zuverlässigkeit (!) \rightarrow 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 $\hat{=}$ 80 MHz (8600: 8 ns/125 MHz)

Nie Rocket Sience, 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



Hallie Lab



Bild: Google Maps

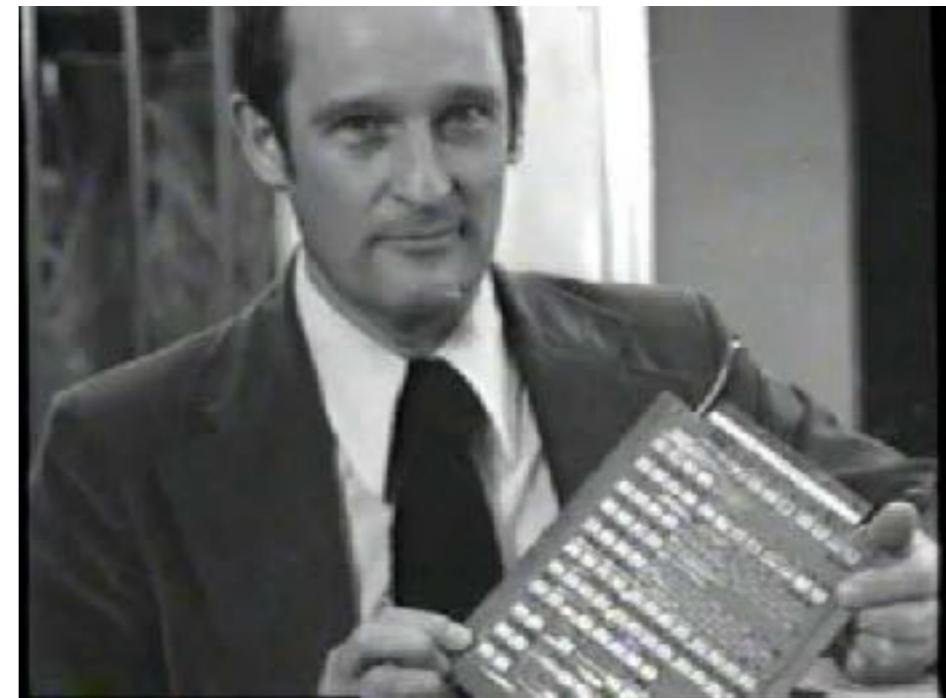
Google Maps: “Data Drive, Lake Hallie, Wisconsin, USA”

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?

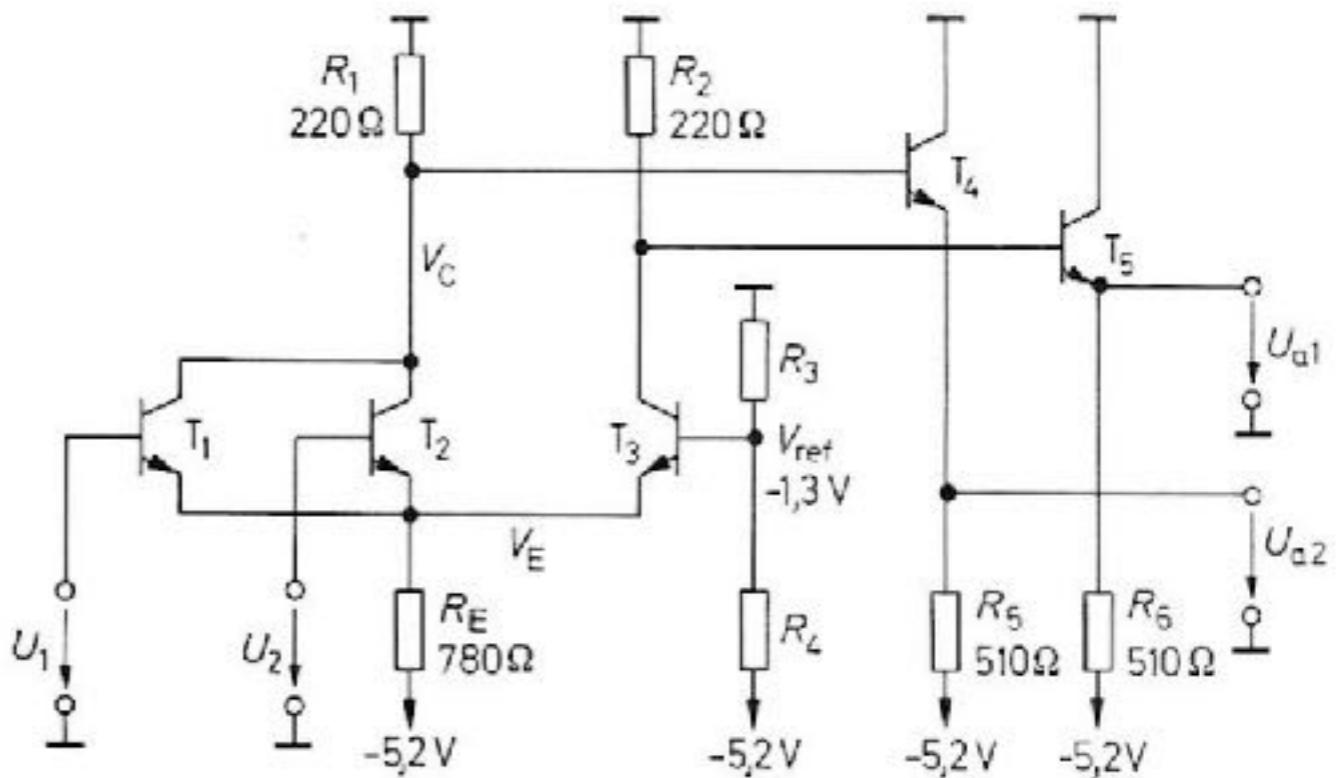
- Nur 4 IC-Typen
 - > ECL dual 5-4 NOR Gate
 - > MECL 10K 5-4 NOR Gate (address fanout)
 - > 16 x 4bit SRAM, 6ns (CPU-Register)
 - > 1024 x 1bit SRAM, 48 ns (Main Memory)
- max. 144 ICs je Board, 2 Boards je Modul
- ca. 500 Module / CPU
 - > 1.662 Module insgesamt, $\frac{2}{3}$ sind Memory
- Modul hat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



source/license unknown

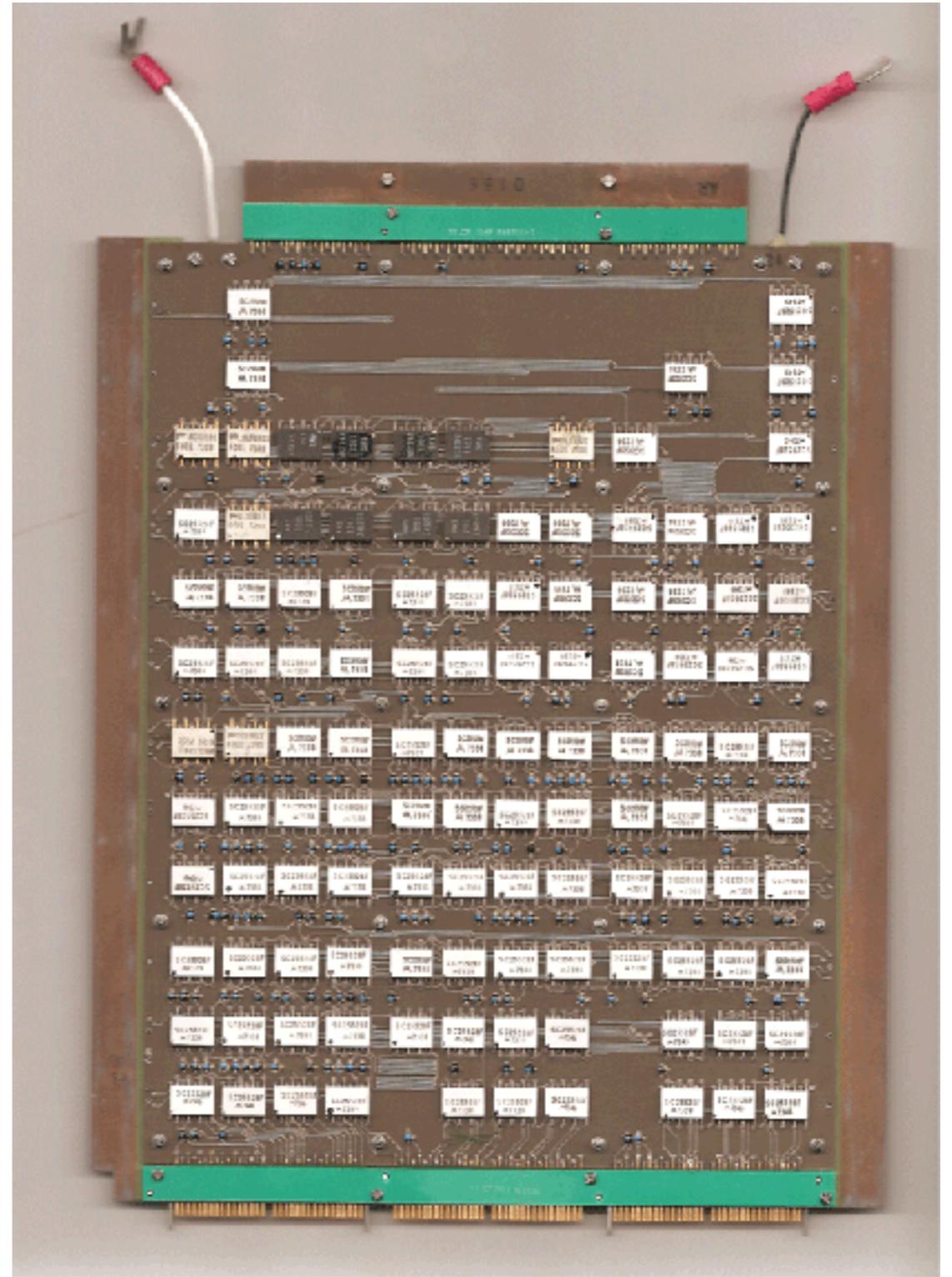
Exkurs: ECL

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



Cray-1 Board und Module

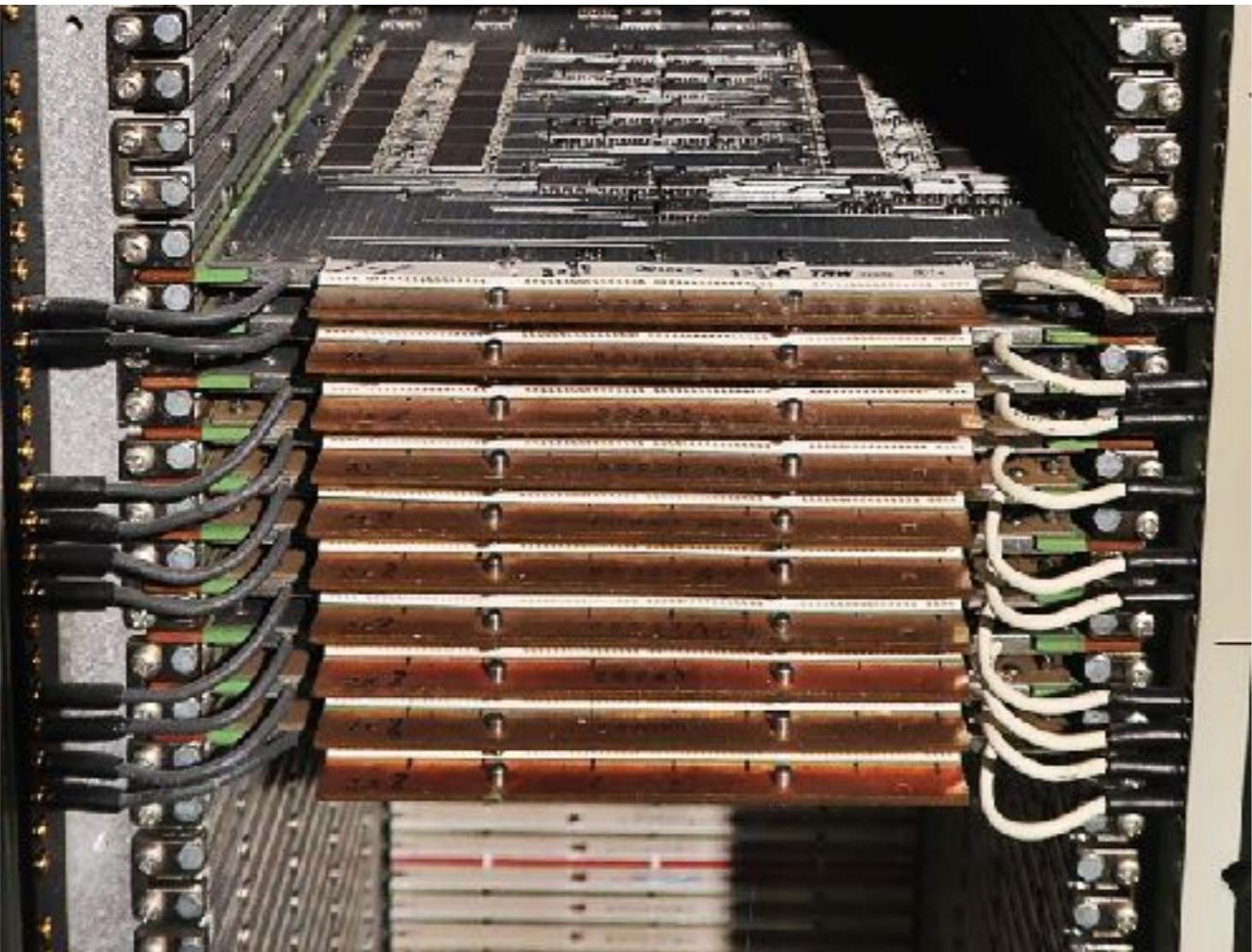
- Platine: 5 Layer
- max 144 ICs / Board
- 2 Boards back-to-back
dazwischen Kupferplatte
für Wärmetransport
- 1.662 Modules, 113 Varianten



source/license unknown

Cray-1 Modules und Racks

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



Wolfgang Stief, CC0

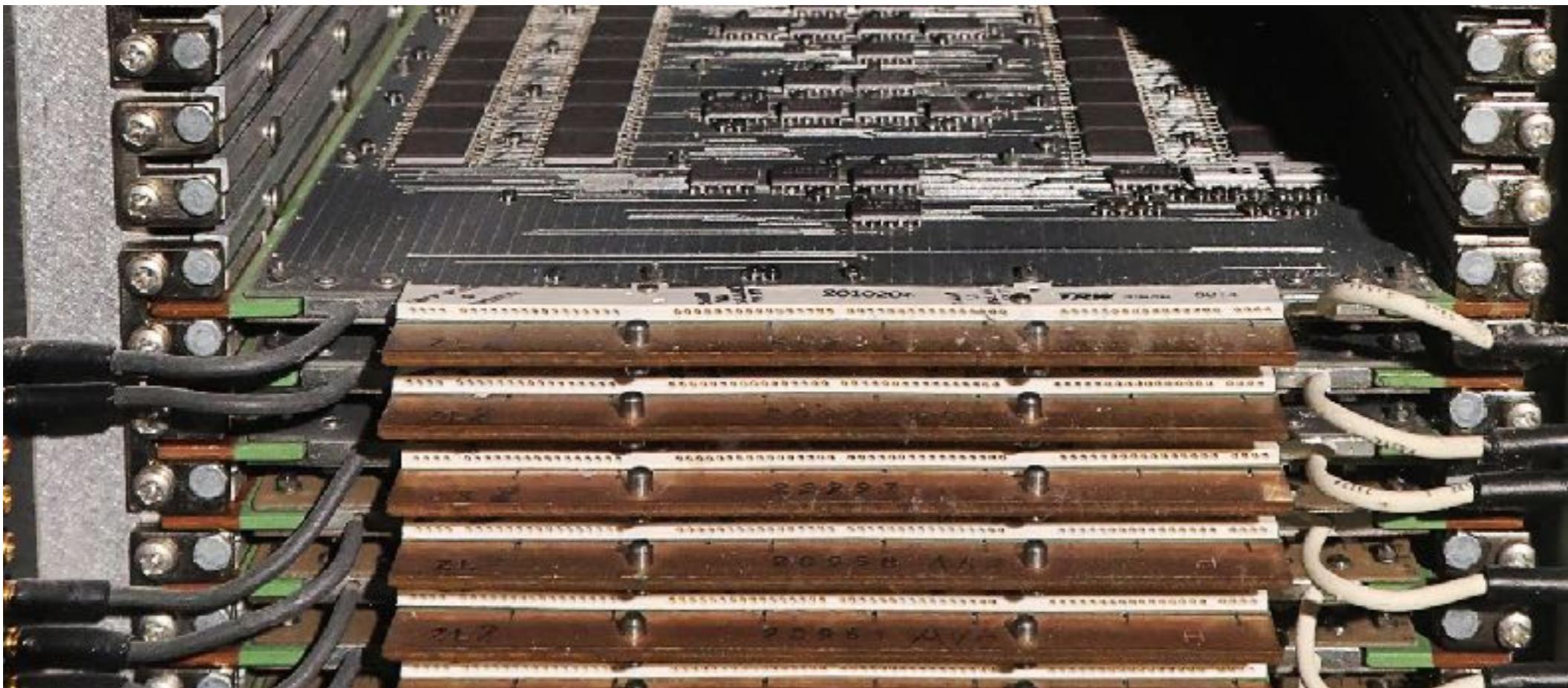


Keep cool, Baby

- 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
- ½ Jahr Verzögerung → Probleme mit Kühlsystem
 - > Leckage, Rohrverbindungen
- “forty-ton refrigerant system”
 - > ≈ 140 kW Kühlleistung (ca. 2x 8600)
https://en.wikipedia.org/wiki/Ton_of_refrigeration

Kühlung: Und so geht's

- Module werden horizontal montiert
- Kältestangen je Turm (6 ft $\hat{=}$ 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 (!)
 - > $\sum I = 4600 \text{ A}$
- 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 $\frac{1}{2}$ 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 Programmkerne	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	L [CRAY-1]		L [CRAY-1]	
	-----	L [360/91]	-----	L [470V/6]
<hr/>				
REAL*4				
	12	6.19		6.84
	72	10.59		10.74
<hr/>				
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)]
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 für grosse Programme keine Object/Load-Library Organisation notig scheint.
- (3) Die Ergebnisse der Zeitmessungen von Testkernen (Floating Point) bestätigen im wesentlichen die theoretischen Herstellerangaben über die Schnelligkeit der CRAY-1. (Faktor 10 gegenüber der 91, Faktor 25 gegenüber der 470V/6).
- (4) Die Zeitmessungen für realistischere Kerne (2/3 vektorisiert) ergaben für Vektoren mittlerer Länge (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 ungeänderten Codes laufen auf der CRAY-1 etwa 5-10 mal schneller als auf den beiden IPP-Rechnern (Appendix 3).

Relativ geringfügige Änderungen der Programme (um die Vektorisierung von weiteren inneren Schleifen zu ermöglichen) 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 (für Programme mit starker Gleitkommabenutzung in 64 bit Genauigkeit), wird durch die extremen Leistungsfaktoren von 25 bzw. 40 für 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.

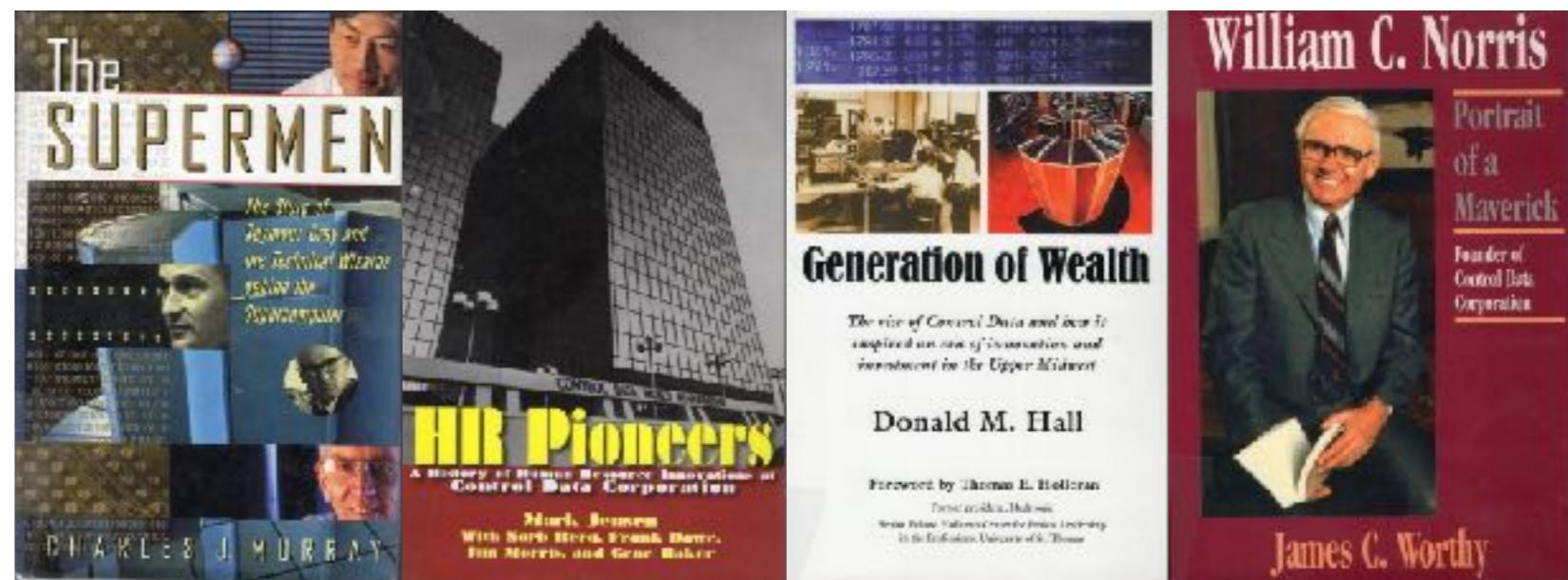
Leben nach Cray-1

- 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
- Donald 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

	Name	Last modified	Size	Description
	Parent Directory		-	
	2240004C CRAY-1 Hardware Reference Nov77.pdf	2008-11-01 03:13	8.1M	
	2240009C CRAY-1 Fortran Reference Apr78.pdf	2008-10-30 01:43	11M	
	CRAY-1 Brochure 1975.pdf	2007-01-14 03:45	2.6M	
	CRAY-1 PrelimRefRevA Jun75.pdf	2006-09-27 04:12	3.7M	
	CRAY-1 PrelimSitePlanning.pdf	2007-01-14 03:47	2.0M	
	HR-0004-CRAY_1_Hardware_Reference_Manual-PRELIMINARY-1975.OCR.pdf	2013-05-15 22:35	3.9M	
	HR-0004F CRAY-1 Computer Systems Hardware Reference Manual May82.pdf	2013-05-15 23:27	6.9M	
	HR-0065_M_Series_Site_Planning_Ref_Man_Apr83.pdf	2008-01-27 06:33	5.8M	
	HR-0808_CRAY-1S_HWref_Nov81.pdf	2004-02-07 06:06	19M	
	Nelson TimingCodesOnTheCray-1 May81.pdf	2007-01-14 05:36	3.7M	

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/stiekind>

stief@cray-cyber.org

 stiekind

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

Lizenz

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