

# Defining Supercomputing

## Seymour Cray und die CDC 6600

Wolfgang Stief  
VCFE 2016, München

## # whoami

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

## 00\_README.txt

- Work in Progress
- Cray und Surroundings
  - Firmen
  - Personen
  - Technologien
  - Seitenäste
- Vortragsreihe mit loser Folge (VCFE/VCFB)
- <http://www.speakerdeck.com/stiekind/>

```
# ls -l
```

- Control Data Corporation  
ca. 1960 - 1970
- CDC6600, CDC7600, CDC8600

## Was bisher geschah...

- 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

[https://media.ccc.de/v/vcfb2015\\_-\\_23\\_-\\_de\\_-\\_medientheater\\_-\\_201510041130\\_-\\_wie\\_das\\_supercomputing\\_auf\\_die\\_welt\\_kam\\_-\\_wolfgang\\_stief](https://media.ccc.de/v/vcfb2015_-_23_-_de_-_medientheater_-_201510041130_-_wie_das_supercomputing_auf_die_welt_kam_-_wolfgang_stief)

5

- ERA — Engineering Research Associates
- Bei ERA: Goldberg (1947), Demon (1948), Atlas I (ERA-1101, 1950) und Atlas II (ERA-1103, 1953)  
→ Röhren, Drum Memory
- Remington Rand kauft kurz vorher auch Eckart-Mauchly → UNIVAC

*“All I know how to do is build computers,  
so I’ll do that.”*

— Seymour Cray

## CDC6600 – The Beginning

- Entwicklung beginnt unmittelbar nach Fertigstellung 1604
- Design-Ziele
  - > 50x schneller als 1604
  - > 1-3 MFLOPS
  - > Clock Cycle 100ns  $\triangleq$  10 MHz
- UNIVAC LARC → Ziel: 100x schneller als Vorgänger
  - > “spektakulärer Flop”
- “Cash Cow” → CDC3600, 160/160A (Desktop)



7

- CDC-1604 → 0.2 MHz = 5 $\mu$ s Clock Cycle
- Zu der Zeit üblich: 4-5x Clock-Cycle zum Vorgängermodell. 50x war **sehr ambitioniert**. Überambitioniert?

*“Five-year goal: Build the biggest computer in the world. One year goal: One fifth of the above.”*

— Seymour Cray

8

- Manager müssen 5-Jahres-Pläne erstellen wg. Budgetplanung.
- Andere schreiben mehrere Seiten mit Planung und Begründungen.
- Cray will Computer bauen ohne Management-Störung. → Erst vor MINT verantworten, wenn Maschine fertig ist.
- Rücktritt vom Posten “Director of Engineering” → Umzug mit Labor nach Chippewa.
- Wichtig für CDC: Cray als Engineer halten, auf **keinen Fall** an die Konkurrenz verlieren.

## Strutwear Building und Chippewa Falls

- 1960: Umzug Cray + Entwickler
  - > ehemalige Unterwäschefabrik, "Strutwear Building"
  - > Minneapolis, nahe Hauptquartier
- Cray ist gefragt wegen Erfolg 1604
  - > (zu) viel Besuch von Management/Kunden
  - > braucht Ruhe zum Arbeiten
- 1962: Umzug Cray-Team nach Chippewa Falls
  - > ca. 80 Meilen entfernt
  - > Ferngespräche waren kompliziert (Operator)
  - > weit entfernt von möglichen Zielen eines Nuklearsprengkopfs
  - > Frühjahr 1962 → Cray + 14 Engineers + 4 Programmierer

9

- Cray sucht mehrere Monate nach möglichen Locations, Verwandtschaftsbesuch in seiner Heimatstadt gibt den Ausschlag
- Cray kümmert sich um alles selbst: Grundstückskauf, Laborgebäude, Wohnhaus (in Fußweite), Laboreinrichtung etc.
- CDC Mgmt nickt den Umzug ab, unterstützt aber nicht → Engineer hat 1962 ≈ 8000/9000 U\$/Jahr, muss Umzug selber bezahlen.

## Ein Supercomputer entsteht — CDC6600

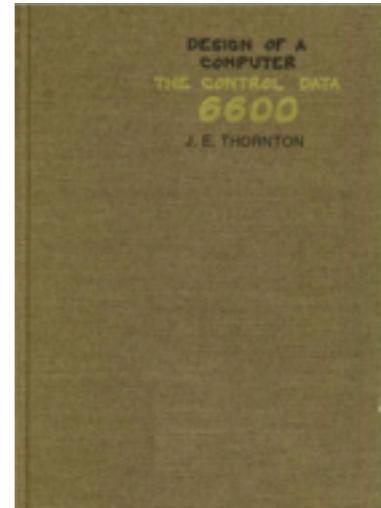
- Schaltkreise aus 1604, bessere Transistoren
  - > nur mäßiger Erfolg
- Tweaks an Schaltungen
  - > viele Runden
  - > wird nicht schneller, aber Zuverlässigkeit sinkt
- “Verzweiflungstat”: Umstieg von Ge auf Si
  - > Neuentwicklung von Fairchild Semiconductor
  - > beeindruckende elektrische Eigenschaften
  - > insbesondere kürzere Schaltzeiten

10

- Anfang 1962: CDC3600 sehr erfolgreich, Druck vom Management für eine neue Maschine wächst.
- “Scheitern im großen Stil” ist blöd für eine Ingenieurskarriere.
- Die Neuentwicklung dürfte nicht der Siliziumtransistor an sich sein, sondern das Herstellungsverfahren (silicon mesa variety → planar process)

## Ein Supercomputer entsteht — CDC6600

- Si-Transistor: Schaltungsentwurf Cray
  - > viel einfacher als die 1604 Circuits
- kürzere Schaltzeiten Si-Transistor
  - > schnellere Schaltzyklen
  - > höhere Taktrate
  - > geringere Signallaufzeiten
  - > Bottleneck Laufzeitverzögerungen!
- Jim E. Thornton  
The Control Data 6600 — Design of a Computer  
CPU-Design 6600: Cray/Thornton  
[http://ygdes.com/CDC/DesignOfAComputer\\_CDC6600.pdf](http://ygdes.com/CDC/DesignOfAComputer_CDC6600.pdf)



## Ein Supercomputer entsteht — CDC6600

- 10x - 20x mehr Gates als 1604
  - > Cordwood Package
  - > 64 Gates / Cordwood
  - > Packungsdichte → Hitzeentwicklung
- Luftkühlung → Flüssigkühlung
  - > Novum beim Rechnerbau
  - > Dean Roush → kommt aus dem Kühlanlagenbau
- 1. Entwurf: Hybrid mit Luft/Freon
  - > nicht ausreichend Kühlleistung
- 2. Entwurf: reine Flüssigkühlung mit Freon
  - > Prototyp wird gebaut



David Forbes — CC-BY-3.0  
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>



David Forbes — CC-BY-3.0  
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>

12

- Footprint der Maschine sollte kleiner werden als CDC-1604!
- 1604: 2 Gates / Circuit Board
- Dean Roush → Lab Mechanical Engineer

# Ein Supercomputer entsteht — CDC6600

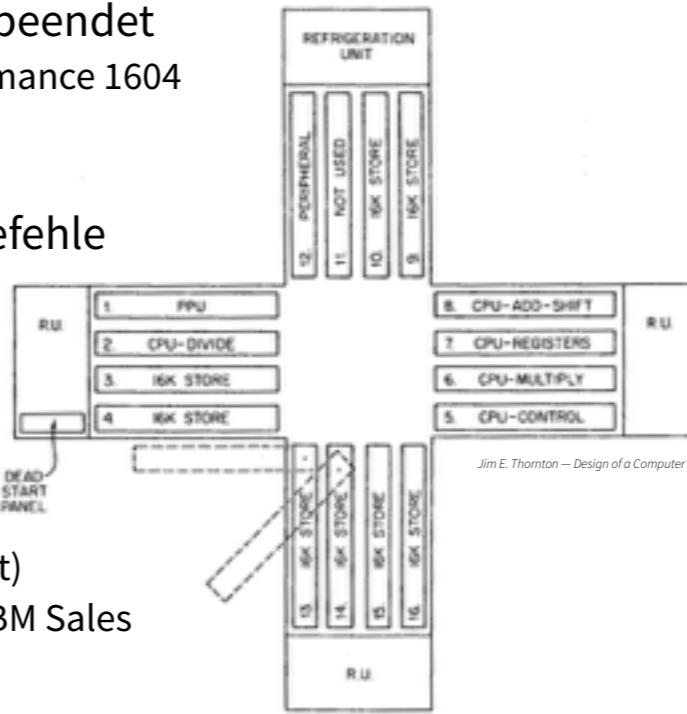
- Kühlprinzip
  - > Alu-Kappe je Cordwood-Modul
  - > Kappe hat Wärmeleitungskontakt mit Rohrsystem
  - > Zum Wärmetransport Freon im Rohrsystem
- 6700 Cordwood Modules
  - > 400.000 logic gates

Scott Beale, CC BY-NC 2.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>



# Ein Supercomputer entsteht — CDC6600

- Mitte 1963: Entwicklung beendet
  - > erste Labortests: 50x Performance 1604
  - > Designziel erreicht
- Instruction Set: nur 64 Befehle
  - ≈ 20 Jahre vor “RISC”
- ≈ 3 MIPS
- Mitbewerb
  - > IBM ASC-1 (wurde nie gebaut)
  - > IBM S360/90 → FUD durch IBM Sales



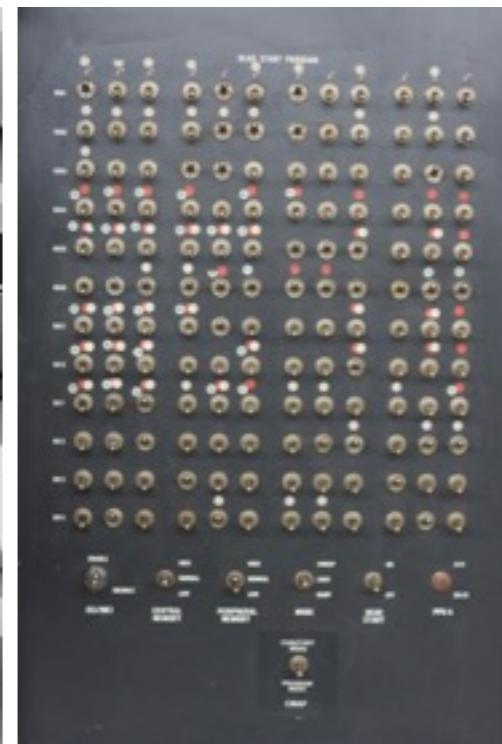
14

- 3 MIPS sind das mit Abstand schnellste der damaligen Zeit.
- Spricht sich schnell rum, plötzlich hatten alle Probleme zu berechnen, die die Geschwindigkeit einer CDC6600 brauchten: Los Alamos, NSA, etc.

# Ein Supercomputer entsteht — CDC6600



Computer History Museum



Wolfgang Stief, CC0

*“Last week Control Data had a press conference during which they officially announced their 6600 system. I understand that in the laboratory developing this system there are only 34 people, including the janitor. Of these, 14 are engineers and 4 are programmers, and only one person has a Ph.D., a relatively junior programmer. Contrasting this modest effort with our own vast development activities, I fail to understand why we have lost our industry leadership position by letting someone else offer the world’s most powerful computer.”*

— Thomas J. Watson, President IBM Corp.

## Goldrush — Rise and Fall

- in ca. 1965
  - > computer division
  - > research division
  - > peripherals division
  - > Chippewa Laboratory
  - > system sciences division
  - > data center division
  - > government systems division

	Share	# Mitarbeiter
1957	1 U\$	1957 11
1961	126 U\$	1959 325
1964	300 U\$	1961 1.500
		1962 2.200
		1963 3.500
		1965 >9.000

- 15 Büros: 11x USA, 3x in Europa, 1x Honolulu
- 1965: Umzug Headquarter nach Bloomington
  - > Suburb Minneapolis
  - > bleibt Headquarter bis zum Schluss

17

- Umsätze insgesamt gut: 1604/160/3600/6600
- Europa: England (Birmingham), Germany, Switzerland.
- Zu schnelles Wachstum schadet Firmen auch heute noch.

## Goldrush — Rise and Fall

- CEO Norris: will CDC auf möglichst breite Basis stellen
  - > viele Akquisitionen zwischen Ende 1950 und Ende 1960
  - > Cedar Engineering, Bendix Corporation (Computer Division),  
Holley Computer Products, Daystrom (Control Systems Division),  
Control Corporation, Meiscon Engineers
  - > 8 Firmen in 1963, 12 Firmen zwischen Januar 1964 und 1965
- Ziel: allumfassende Lösungen
  - > Science/Engineering, Hardware, Software, Rechenzeit
  - > Consulting, Auftragsprogrammierung
- (zu) schnelles Wachstum, Erfolgsdruck
- 1966: vier langjährige und wichtige Key Engineers kündigen

18

- **Cedar:** Servomotoren, Verstärker; **Bendix, Holley:** Tapes, Printer, Monitore, Card Reader, Paper Tape Reader; **Daystrom, Control Corp., Meiscon:** Bauingenieurwesen, Statik,
- Drei der vier Key Engineers sind seit Gründung dabei, u. a. Frank Mullaney (Director Engineering)

## Goldrush — Rise and Fall

- Integration Aufkäufe → kostenintensiv → Liquidität (!)
- Anlaufprobleme mit ersten ausgelieferten CDC6600
  - > Lieferung an LLNL erwartet Februar 1964, ausgeliefert Anfang 1965
- IBM wacht auf
  - > kennt CDC-interne Schwierigkeiten
  - > IBM Sales verbreitet *fear, uncertainty and doubt* (FUD)
  - > S360/90 angeblich um Vielfaches schneller als CDC6600
  - > ca. 126 Mio. U\$ Entwicklungskosten (1965),  
trotzdem noch nicht mal ein Prototyp

19

- Integration nach Aufkäufen/Fusionen sind auch heute noch kostenintensiv
- IBM FUD hat Auswirkungen auf Verkaufszahlen CDC6600
- Arbeiten mit FUD ist teilweise heute noch häufig gängige Praxis

## Goldrush — Rise and Fall

- IBM 360/90 kann Versprechen nicht halten
  - > unzuverlässig, viele technische Probleme, keine Marktakzeptanz
- CEO Norris sauer auf IBM
  - > unfaire Marketing-Praxis, Marktmonopolisierung, Antitrust-Gesetze
- Klage CDC ./ IBM
  - > hat sich vorher niemand getraut, große Rechtsabteilung @ IBM
  - > “*they could bury a company in paperwork*”
  - > Ziel Norris: Geschäftspraktik stoppen, sonst bei 7600 selbes Theater

20

- Vorstand und Aufsichtsrat müssen überredet werden und stimmen der Klage schließlich zu.

## Vor Gericht

- Anwälte bekommen Erlaubnis, Dokumente der Gegenseite einzusehen
  - > CDC stellt für IBM ca. 8 Mio. Unterlagen bereit
  - > CDC fordert von IBM ca. 15 Mio. Unterlagen
- CDC beschäftigt Assistenten extra für die Klage
  - > sichten und sortieren der Unterlagen
  - > Unterlagen elektronisch erfassen (spezielle Formulare)
  - > Anwälte können dann nach Begriffen suchen (auf Tape)
- Novum: Computer spielt tragende Rolle in einem Gerichtsverfahren
  - > 2 Jahre Dokumente sichten, sortieren, extrahieren

21

- Interviews mit IBM Executives: "*I don't know.*" — "*I don't remember.*" → NSAUA anybody?

## Unzufriedene Herde

- Engineering wird unzufrieden
  - > Integration der Zukäufe kosten Geld
  - > Entwicklungsbudgets werden gekürzt
  - > Wasserkopf wird größer und damit teurer
- Computer Division extra sauer
  - > verantwortlich für Erfolg/Umsatz (1604, 3600, 6600)
  - > trotzdem Budgetkürzungen
- Aus Startup wird Großunternehmen samt Sachzwängen
- Engineering verliert Kontrolle über ihr eigenes Schaffen

## Meanwhile in Chippewa Falls

- CDC6600 unzuverlässig
  - > **Aber:** besser 9h am Stück CDC6600, als 40h Rechenzeit mit selbem Problem auf Rechner des Mitbewerbs
- Cray “das Genie” weiterhin öffentlichkeitsscheu
  - > keine Interviews
  - > keine Besuche durch Kunden/Management
  - > Rücktritt aus dem CDC-Vorstand (Zeitgründe)
- ca. 1969: Arbeiten an 6600 und Varianten abgeschlossen
  - > 6600 → Hochleistungs-CPU, parallel functional units
  - > 6400 → geringere Leistung, keine parallel functional units
  - > 6500 → 2x 6400 CPU
  - > 6700 → 6600 CPU + 6400 CPU

23

- Cray wäre heute wahrscheinlich ein leicht exzentrischer, etwas sonderbarer Nerd.
- Misserfolge IBM: S360/90 und IBM Stretch (7030, erster Transistorrechner von IBM, ab 1961 ausgeliefert)
- MTBF CDC6600 → 9h
- Bei Mehr-CPU-Systemen war der Engpass immer die Speicherbandbreite (Kernspeicher)

## What's next? → n+1 — CDC7600

- Entwicklung CDC7600 (1965-1969)
  - > sollte zunächst 6800 werden
  - > Microcode inkompatibel zur 6600, deshalb Namensänderung
  - > Cray ist Head of Development
- Design-Ziel: 25ns Clock-Cycle (27.5ns?)
  - > 25ns  $\hat{=}$  40 MHz  $\approx$  4x schneller als CDC6600
- Markteinführung 1969
  - > U\$ 8 Mio für 4x Performance → lohnt häufig nicht
  - > CDC verkauft nur ca. ½ Stückzahl der CDC6600

24

- 1604: 0.2 MHz (5μs) — 6600: 10 MHz (100ns) — 7600: 40 MHz (25ns)
- 8 Mio U\$ (1969) → ca. 50-60 Mio U\$
- Kaufkraftumrechnungen nicht ganz so einfach, weil sich Warenkörbe über Zeit ändern (PC/Smartphone in 2016).
- Durchschnittseinkommen 1969 USA ca. 3.000 U\$, Engineer ca. 9.000 U\$

# CDC7600

Lawrence Livermore National Laboratory, CC BY-NC-SA 2.0  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/>



25

- C-Form → Kompromiss aus Wartung und Signallaufzeit ( $25\text{ns} = 5\text{m Strecke} / \text{Zyklus}$ )
- Instruction Pipeline

## n+2 — CDC8600

- Designziel:
  - > keine Rückwärtskompatibilität
  - > 8ns Clock Cycle  $\triangleq$  125 MHz (1969!)
  - > Multiprozessor, Quad-CPU → Novum  
Probleme meistens sequentiell, halbieren/vierteln schwierig
  - > nochmal höhere Packungsdichte
- bewährtes Entwicklerteam wie CDC6600/CDC7600
  - > Chippewa Laboratory
  - > außer Jim Thornton → Arden Hills, STAR-100 (Vektor-Processor)

26

- 1604: 0.2 MHz (5 $\mu$ s) — 6600: 10 MHz (100ns) — 7600: 40 MHz (25ns) — 8600: 125 MHz (8ns)
- Intel Pentium, 1. HJ 1995, 125/133 MHz
- **Multiprocessing** auch heute noch **Herausforderung** für Applikationsentwicklung (**45! Jahre später**)

# Entwicklung CDC8600

- höhere Packungsdichte  
> 6" x 8" (ca. 15cm x 20cm)
- erste Testmodule:  
hohe Stromaufnahme  
> je Modul 8 Circuit Boards  
> je Modul ca. 3kW (!) Leistungsaufnahme
- Flüssigkühlung  
> Kupferplatte **in** Boards zur Wärmeleitung  
> Kühlaggregat 20t, Volumen 2x 7600 bzw. 3x 3600  
> einzelnes Modul wg. verbautem Kupfer ziemlich schwer
- Problem: Zuverlässigkeit  
> viele diskrete Bauelemente, viele Lötstellen, viel Hitze



By Source (WP:NFCC#4), Fair use, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=39643859>

27

- Circuit Board CDC7600 hatte etwa 1/5 der Fläche.

## Entwicklung CDC8600

- Mitte 1971 → 2 Jahre Entwicklungszeit, kein Fortschritt
- Ausgaben Chippewa Lab → 10% kürzen (Vorgabe Mgmt.)
  - > 40 Engineers ≈ 4 Mitarbeiter
  - > Cray will alle Mitarbeiter behalten und verzichtet auf eigenes Gehalt
  - > Arbeiten ohne Gehalt verboten → Mindestlohn, 1.25 U\$/h
- Management/Board/Norris: Schwenk auf Services
  - > In Services liegt die Zukunft

28

- Hardware → Services: Geschichte wiederholt sich. Aktuell HP, IBM.

*“Everybody who needs a computer has one.”*

— Bill Norris, CEO Control Data Corp., 1971

## 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.

## Ende der Entwicklung CDC8600

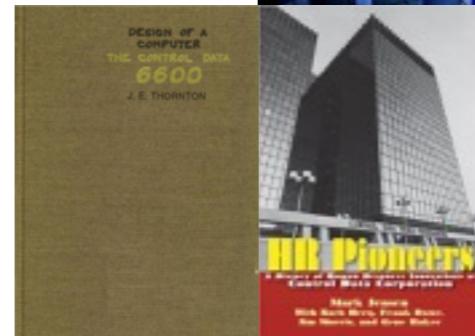
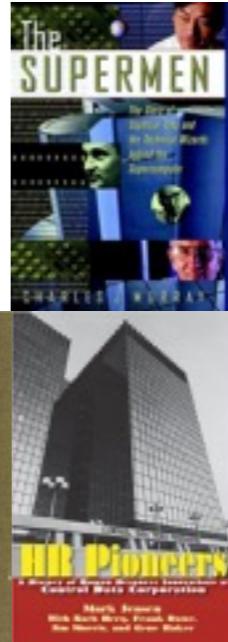
*“An Employee has only one life, whereas a company could go on and on”*

— Bill Norris, CEO Control Data Corp.

Norris/CDC investiert U\$ 250.000 in Cray Research Inc.

# /usr/src

- **Englische Wikipedia**  
CDC 6600, CDC 7600, CDC 8600, Engineering Research Associates, Control Data Corporation, Cray, Seymour Cray, William Norris (CEO)
- **Charles J. Murray — The Supermen (Buch)**  
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
- **Jim E. Thornton — The Control Data 6600**  
Design of a Computer  
[http://ygdes.com/CDC/DesignOfAComputer\\_CDC6600.pdf](http://ygdes.com/CDC/DesignOfAComputer_CDC6600.pdf)



## /usr/src

- The CDC 6600 Architecture  
<http://ygdes.com/CDC/cdc6600.html>
- Oral history interview with William C. Norris (1986)  
<http://conservancy.umn.edu/handle/11299//107551>
- Oral history interview with Frank C. Mullaney (1986)  
<http://conservancy.umn.edu/handle/11299/107538>
- Gordon Bell — A Seymour Cray Perspective (Präsentation)  
<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/gbell/craytalk/>

## /usr/src

- Seymour Cray — Cray-1 Introduction (Vortrag, 1976, LANL)  
<https://www.youtube.com/watch?v=vtOA1vuoDgQ>
- Seymour Cray — Whats 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>

EOF

Danke!  
Fragen?

<https://about.me/stiefkind>

 stiefkind

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