
Digitale Schaltungstechnik

Prof. Dr. P. Fischer

Vorstellungsrunde

- Wer sind Sie ?
- Studiengang ? Semester ?
- Wieso hören Sie die DST ?
- Haben Sie schon Erfahrungen oder Vorkenntnisse ?

Organisatorisches

Vorlesung:

- Termin: Mi 9:15 – 10:45 (Block 1)
- Ort: OMZ, U012
- Dozent: Prof. Dr. P. Fischer, INF368, 420, Tel. 16400, peter.fischer at ziti.uni-heidelberg.de
Sekretariat Frau Englert, INF368, 421, Tel. 16401, sarah.englert at ziti.uni-heidelberg.de

Übung:

- Termin: Mi 11:00 – 12:30, (tbd), Beginn nach Vereinbarung
- Ort: OMZ, U012
- Übungsleiter: Christian Kreidl, INF368, 422, Tel. 16404, christian.kreidl at ziti.uni-heidelberg.de

Prüfung:

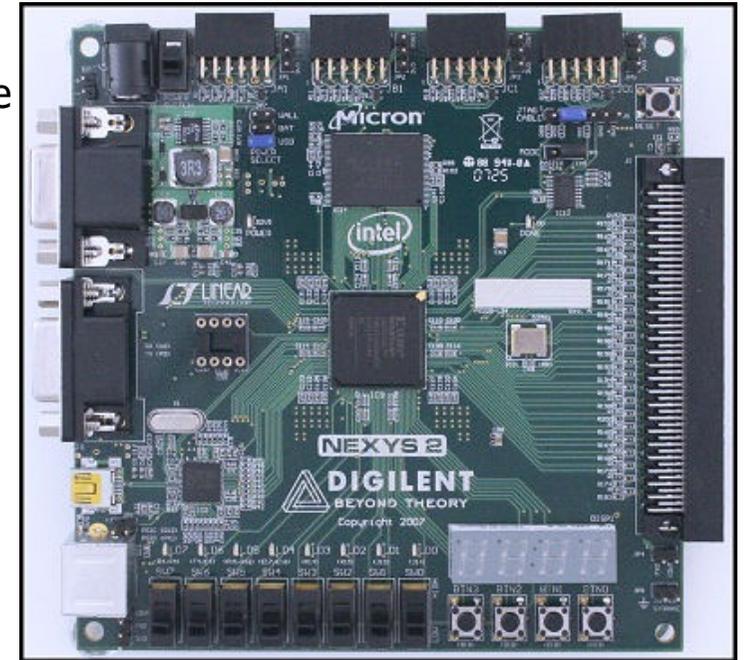
- Klausur: Termin nach Vereinbarung (Präferenzen?)
- Die Arbeiten in der Übung sind **wesentlicher Teil** (~40%) des Prüfungsstoffs!

Punkte: 6 CP

Internet: https://sus.ziti.uni-heidelberg.de/Lehre/WS_DST (und Jahre vorher)

Praktikum & Vorlesung

- Im Praktikum werden digitale Designs auf einem USB Board implementiert, das einen programmierbaren Xilinx ICs und weitere Bauteile enthält.
- Die Boards werden ausgeliehen und **können mit nach Hause genommen werden**. Dort kann auf dem eigenen PC gearbeitet werden.
- Es gibt auch eine Ansteckplatine mit verschiedenen weiteren Funktionen (ADC/DAC, Gitarrenverstärker, IRDA, SD-Card, DCF-Empfänger, Ultraschallsender, ...)



<http://www.digilentinc.com/Products/Detail.cfm?NavPath=2,400,789&Prod=NEXYS2>

- Designs werden zunächst als Schaltpläne eingegeben, später in der Hardware-Beschreibungs-sprache VERLILOG. Verilog (oder VHDL) sind **sehr wichtige (,die`)** Werkzeuge zum ,Hardwareentwurf
- Um so weit zu kommen, werden die für die Arbeit mit den programmierbaren Bausteinen nötigen Grundlagen **so früh wie möglich behandelt**.
- Der Aufbau von Transistoren, Herstellungstechnologie, Innenleben der Bausteine etc. werden daher erst **im zweiten Teil** des Semesters behandelt.

Inhalt der Vorlesung I

Einführung & Motivation

- Historische Übersicht: Entwicklung der Technologie, Firmen und Leute (*knapp*)
- ~~Exponentielles Wachstum – Moore's Law~~

Kombinatorische Logik

- Zustände und Zahlendarstellung
- Boolesche Algebra, Regeln der Schaltalgebra (*knapp*)
- Beschreibungen von Funktionen: Tabelle, K-MAP, Gatter, Verilog, ...
- Elementare Gatter, Decoder, Multiplexer, Code-Umsetzer, ...
- Kompliziertere Funktionen: Halbaddierer, Volladdierer, Komparator, ...
- ~~Arithmetik: Addierer, Subtrahierer und Multiplizierer~~
- Digitale Simulation

Hardware-Beschreibung mit Verilog

- Syntax
- Beschreibung kombinatorischer Schaltungen
- Beschreibung sequentieller Schaltungen
- Beispiele

Inhalt der Vorlesung II

Sequentielle Logik

- Flipflops, Setup- und Hold- Zeiten
- Systematischer Entwurf von Schaltwerken ('Automaten')
- Zustandskodierung (Minimum Bit Change, One Hot)
- Zähler, Schieberegister, ...
- Pipelining

Programmierbare Logikbausteine

- PLD-Strukturen: PAL, PLA, LCA
- Beispiel: Altera, Xilinx, Actel, etc., Beispiele für aktuelle Bauteile
- Computergestützter PLD-Entwurf

Inhalt der Vorlesung III

Diode und Transistor

- Dotierung, Bändermodell, Elektronen und Löcher, Sperrschicht
- Diode, Kennlinie, Kapazität
- MOSFET (einfaches Modell in starker Inversion, linearer Bereich und Sättigung)
- ~~Bipolartransistor~~
- ~~Herstellungstechnologie~~

Logikfamilien und Signalniveaus

- ~~NMOS, CMOS, TTL, ECL, PECL, LVDS, Pass Gates, CML~~
- Logikfamilien, Signalpegel, Störabstände
- ~~Open drain, Wired OR, Tri-State~~

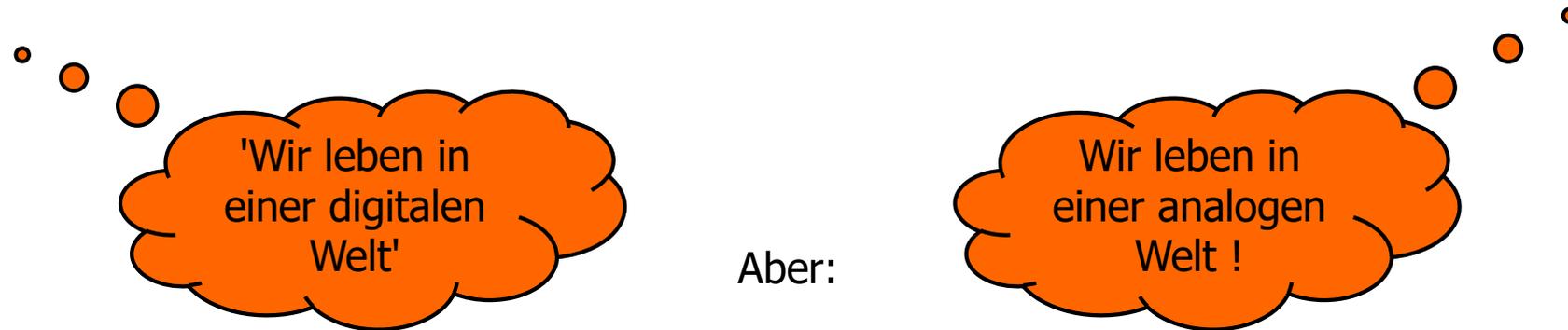
Speicher

- ~~ROM~~
- ~~EPROM, EEPROM, Flash-EPROM,~~
- ~~statische RAMs~~
- ~~dynamische RAMs~~

Literatur

1. Für viele Themen die meisten Bücher über digitales Design
- 2. Einführung in die Halbleiter Schaltungstechnik**
H. Göbel (Autor der Smile Applet in Hamburg), Springer, ISBN 3-540-23445-4, ~50€
Sehr verständlich, genau der richtige Umfang! Mit CD mit Applets, PSPICE, Beispielen. Kaufen!
- 3. Contemporary Logic Design**
R. Katz, Addison-Wesley 1994, ISBN 0-201-53376-6, 91 € (Amazon)
Klassiker für CMOS Design, bezahlbar, einfach zu lesen
- 4. Digital Integrated Circuits: A Design Perspective**
Jan M. Rabaey, Prentice Hall 1985, ISBN 0-13-178609-1, 165.75 € (Amazon)
Stärker Hardware-orientiert
- 5. Halbleiter Schaltungstechnik**
U. Tietze, C. Schenk, Springer, 80 € (Amazon)
- 6. Digitaltechnik**
K. Beuth, Vogel Fachbuch, ISBN 3-8023-1755-6, 34.80 € (Amazon)
- 7. Logischer Entwurf digitaler Systeme**
H. Liebig, S. Thome, Springer 1996, ISBN 3-540-61062-6, 45 € (Amazon)
Schwerpunkt liegt auf funktionaler Ebene. Wird in der Rechnerarchitektur eingesetzt.
- 8. Principles of CMOS VLSI Design**
Neil H. E. Weste, K. Eshraghian, Addison-Wesley 1994, ISBN 0-201-53376-6, 91 € (Amazon)
Klassiker für CMOS Design, einfach zu lesen
- 9. Verilog Tutorials** gibt es im **Netz** – gute Links bitte weiterleiten !

Digital vs. Analog

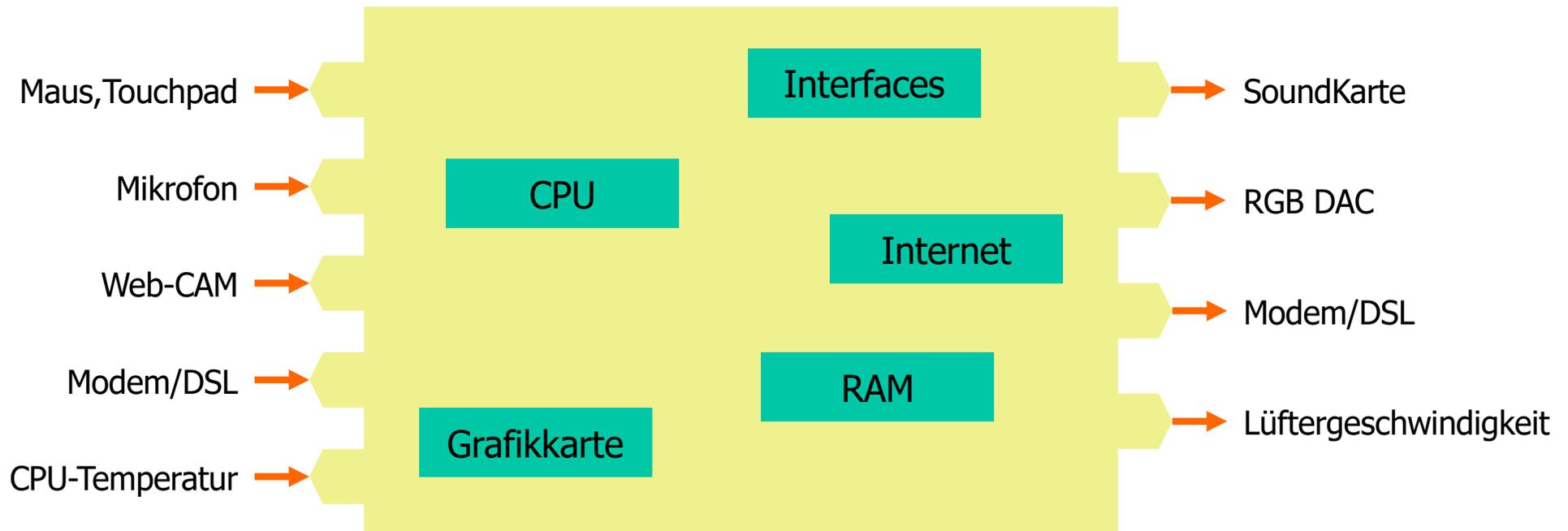


- Alle 'Meßgrößen' unserer Umwelt (Licht, Töne, Temperatur, elektrische Spannungen, Druck etc..) sind analog.
- Die analoge Verarbeitung und Übertragung ist daher 'natürlich':
 - Telefon, Fernsehen, Musikaufnahme und Wiedergabe (Band, Schallplatte), Temperaturregelung, analoge Computer!
- Analoge Signale sind jedoch störanfällig und 'ungenau'. Daher waren z.B. Computer schon sehr früh digital.
- Mit den schnell steigenden Möglichkeiten der Digitaltechnik werden immer mehr analoge Signale durch digitalisierte Werte ersetzt:



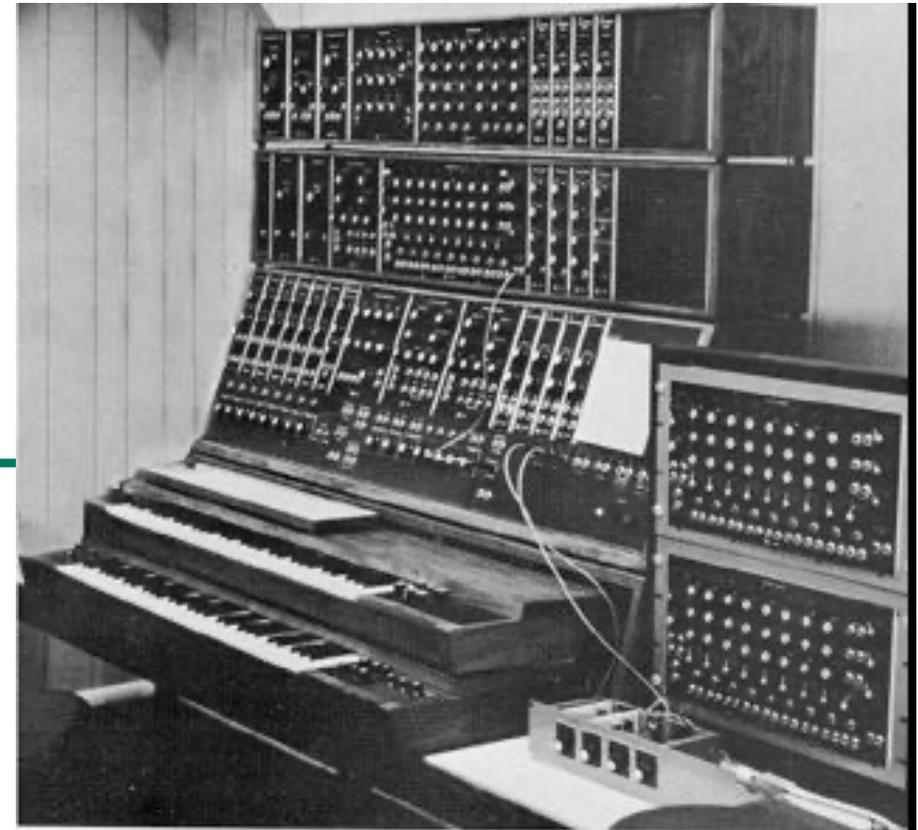
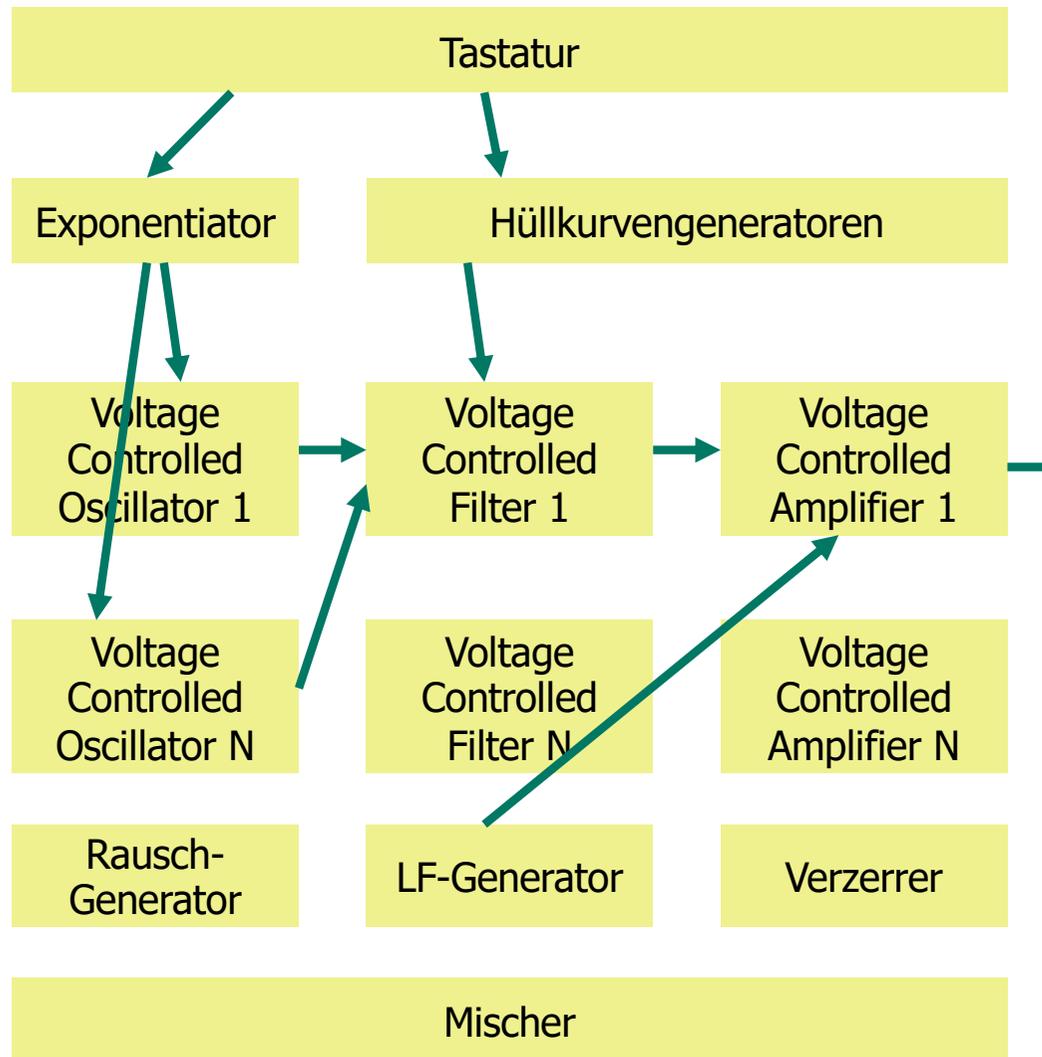
- Der 'Aufwand' für die Analog-Digital und Digital-Analog-Wandlung ist geringer als der Vorteil der digitalen Verarbeitung

Die digitale Welt



- Vorteile der digitalen Verarbeitung:
 - Störsicherheit, auch bei hohen Geschwindigkeiten. Möglichkeiten der Fehlererkennung und Korrektur
 - Hoher dynamischer Bereich / hohe Auflösung
 - Robuste Architekturen
 - Wiederverwertbarkeit von Design-Lösungen
 - Einfache Portabilität zwischen unterschiedlichen Technologien
- Aber: Wir leben in einer analogen Welt: **digitale Signale sind analoge Signale!**
 - Zum Verständnis und zur Optimierung (z.B. der Geschwindigkeit) werden die Grundbauelemente als analoge Schaltungen betrachtet.
 - RAM-Leseverstärker, Leseverstärker von Platten, IO-Zellen etc. sind analoge Baugruppen!

Beispiel: Analoger Musik-Synthesizer



Moog, ca. 1970, > 25 Patente...

Walter (Wendy) Carlos (1968)

Revolutionäre 'Sounds':

- „Switched On Bach“ (1968), Filmmusik von ‚Clockwork Orange‘ (1972)
- DEMO
- Auch www.youtube.com/watch?v=4SBDH5uhs4Q oder www.youtube.com/watch?v=Z3cab5IcCy8



<http://www.wendycarlos.com>

Digitaler Synthesizer ('Sound Karte')

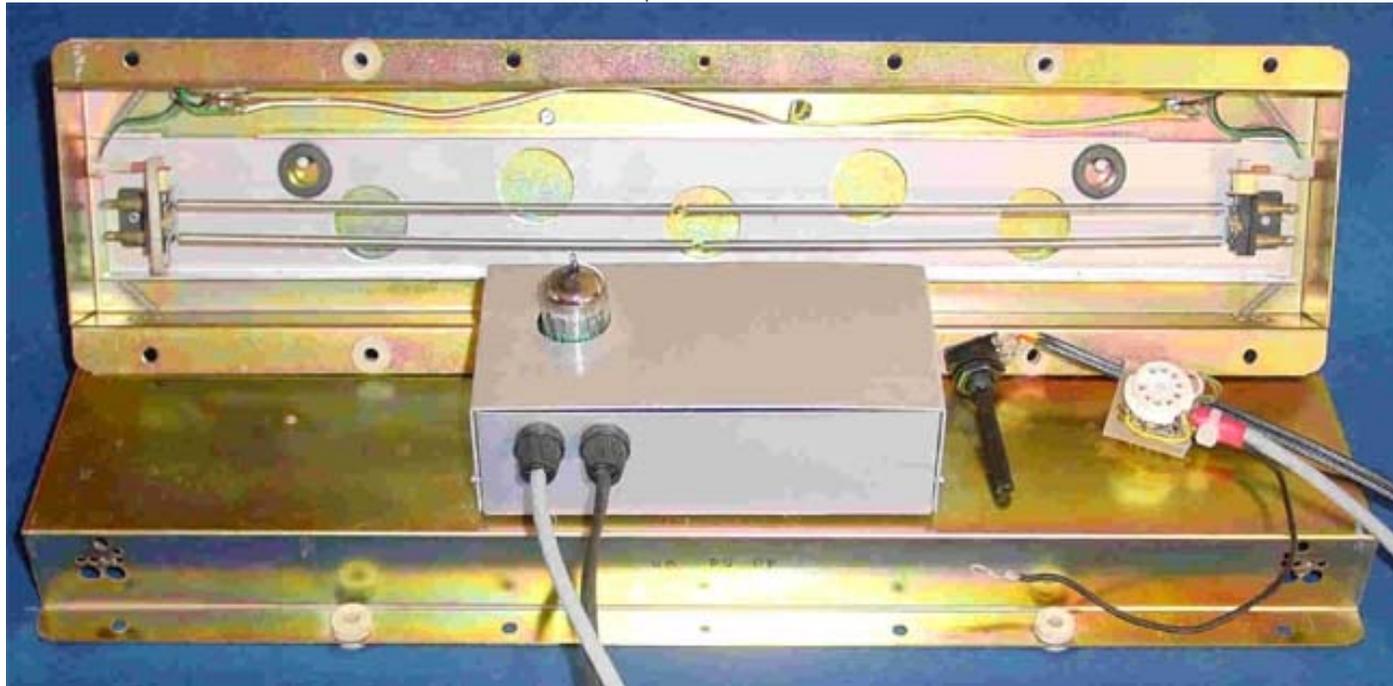
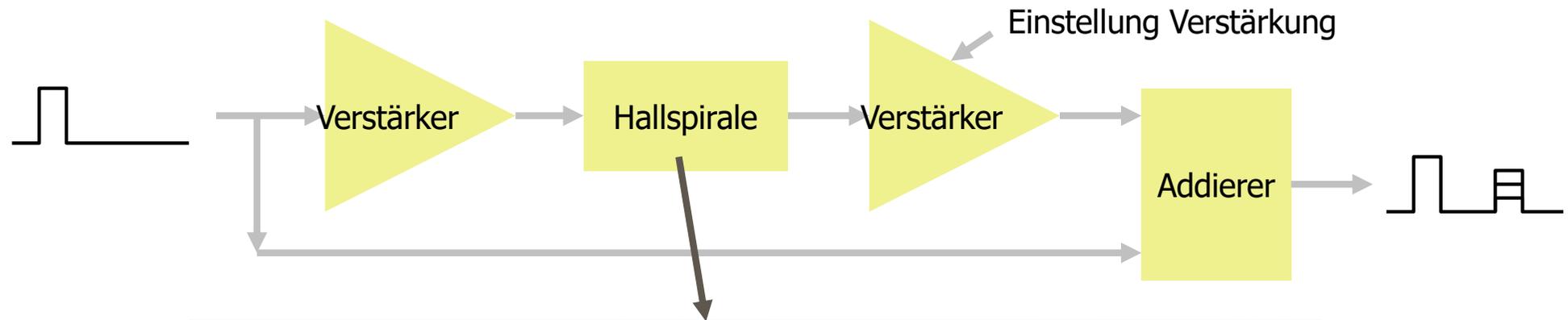


Der Kreis schließt sich...

- www.arturia.com (u.v.a.): Software-Emulation des Moog Modular 5

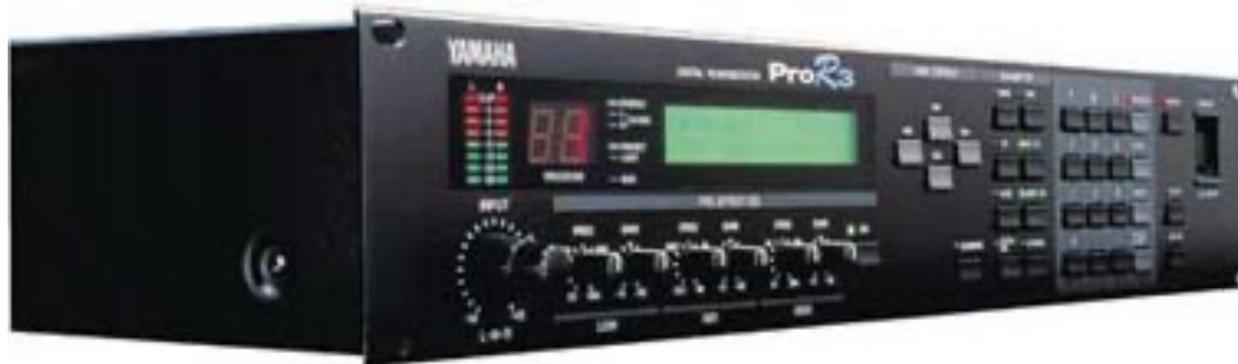
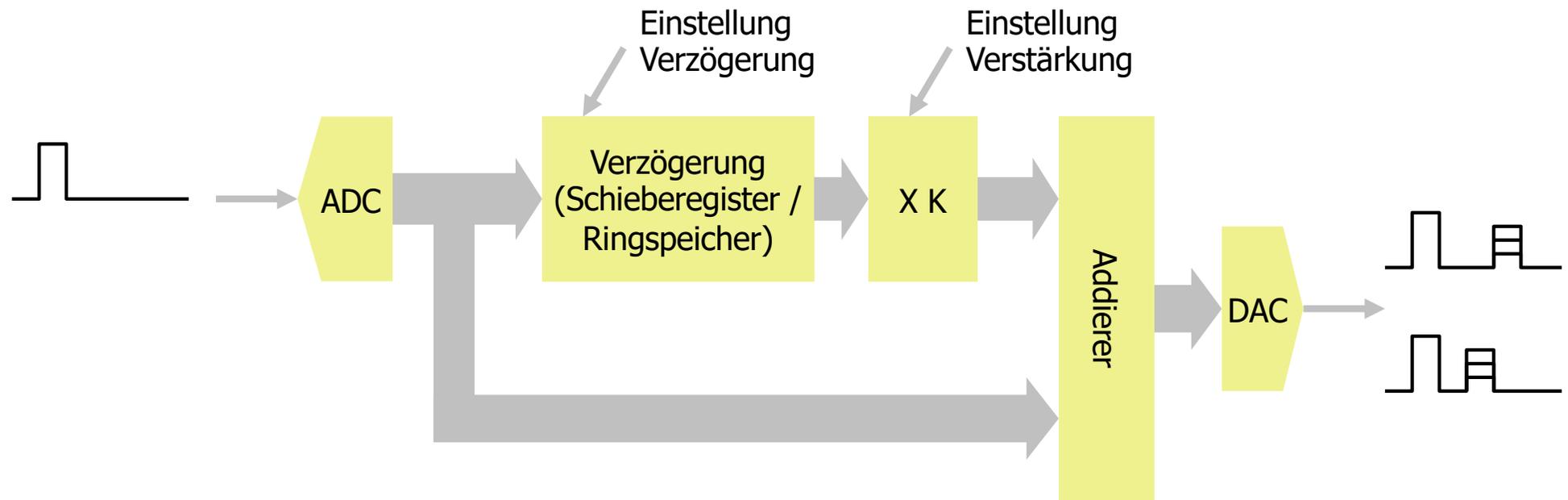


Beispiel: Analoges Echo/Hallgerät



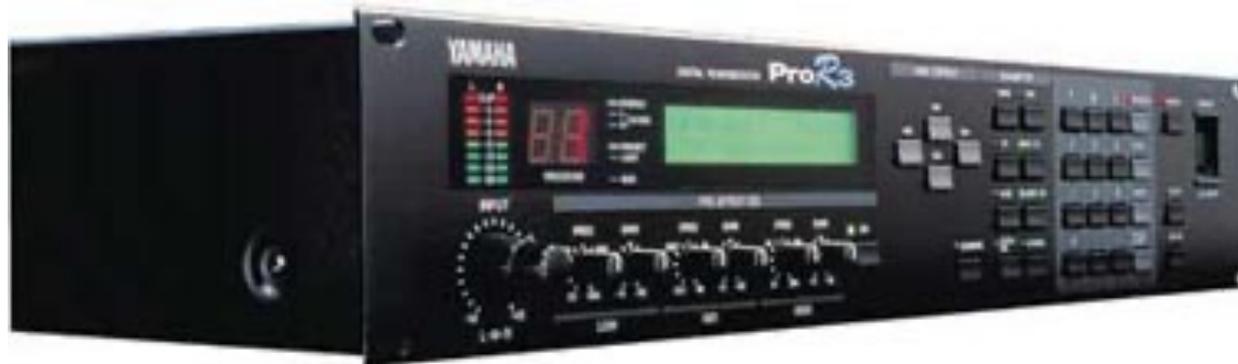
Mehrfache Wiederholung erreicht man durch Rückkopplung des Ausgangssignal auf den Eingang

Digitales Hallgerät



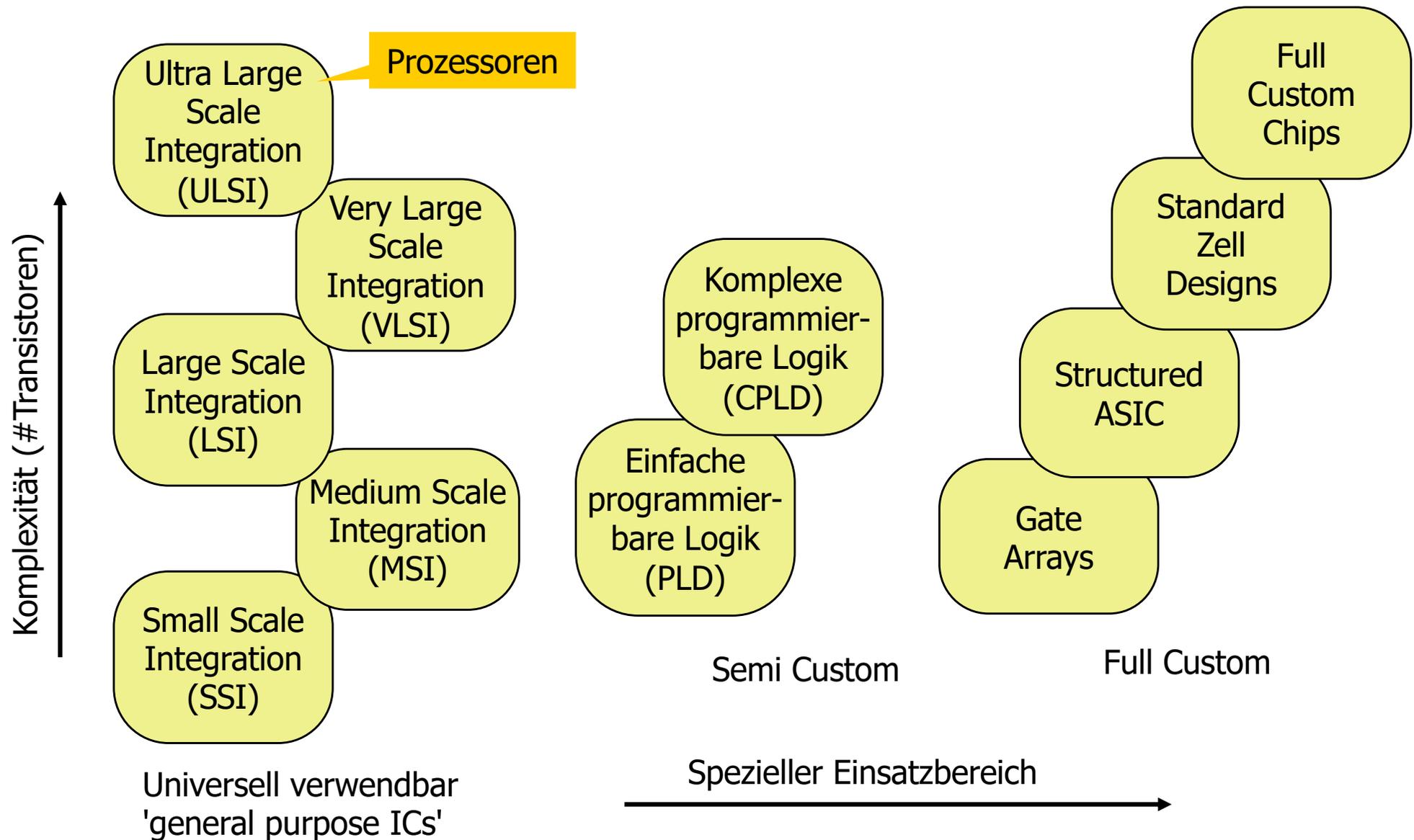
20 Bit ADC/DAC, 32 Bit Verarbeitung

Digitales Hallgerät – Praktische Realisierung



20 Bit ADC/DAC, 32 Bit Verarbeitung, **gleichzeitig digitale Filter, Raumsimulationen, ...**

Implementierung von Digitalen Schaltungen



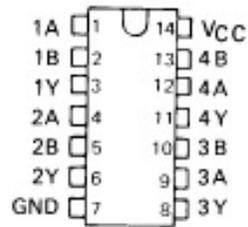
'Small Scale Integration'

- Ab ~1960: Digitale Bauelemente enthalten einfache Funktionen:
 - 4 Gatter, 1 Decoder, 4 Bit Zähler
 - Dazu 'kleine' Speicherbausteine
 - ICs im Dual-In-Line (DIL) Gehäuse
- Meist nur ein- oder doppelseitige Platinen ('PCB': Printed Circuit Board)
- Beispiel: Drucker-Interface für den AppleII Computer:

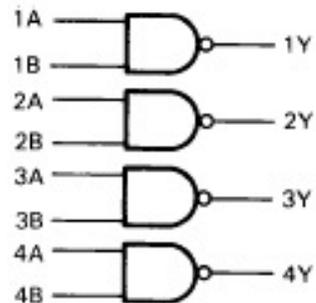


Beispiel für SSI ICs

74LS00: 4 fach NAND

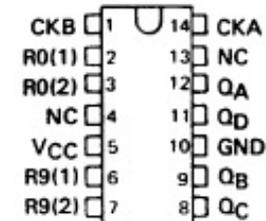


logic diagram (positive logic)

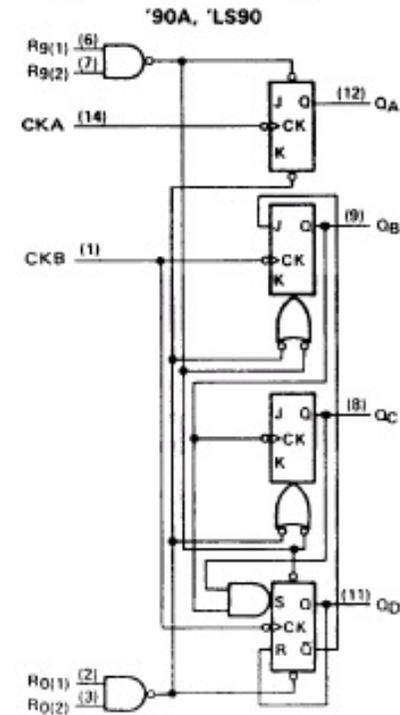


5V, 7 mW, $t_{PD}=10$ ns

74LS90: 4 Bit Decade-Zähler (0..9)



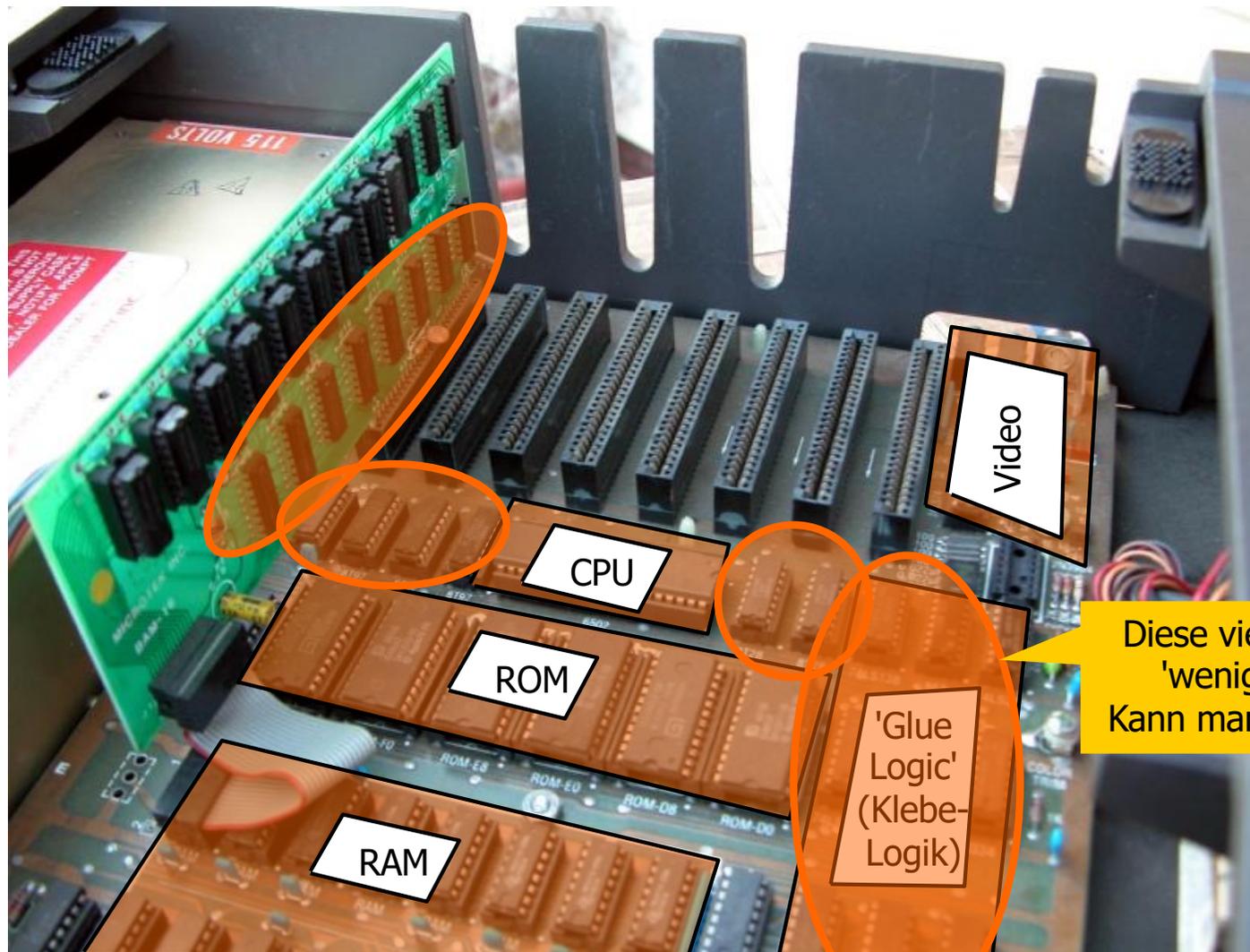
logic diagrams (positive logic)



5V, 45 mW, $f_{max}=16$ MHz

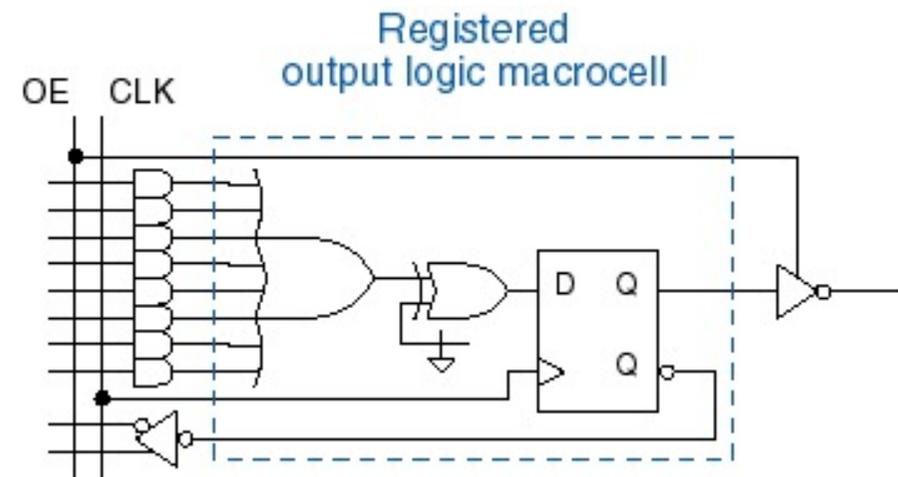
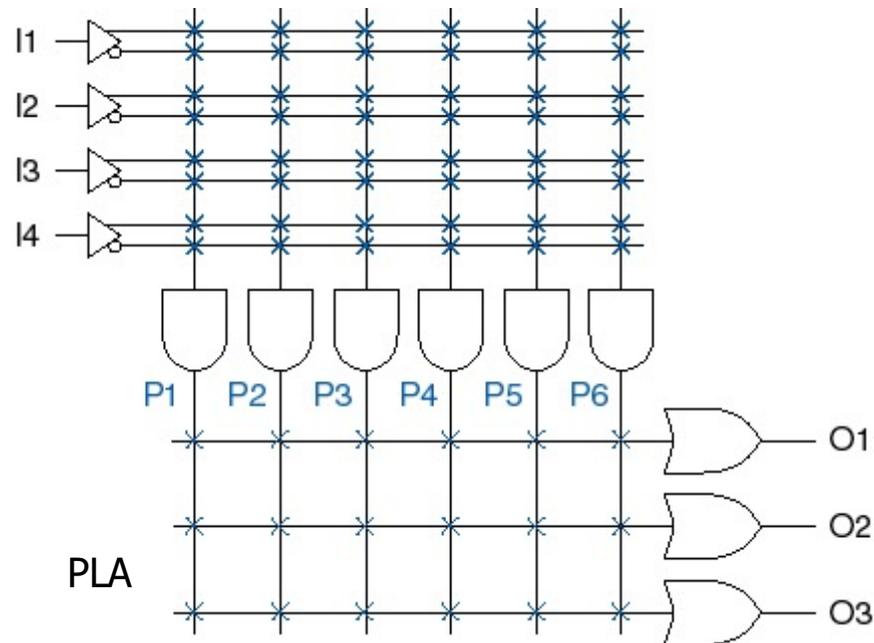
'Medium Scale Integration'

- Ab ~1970: Komplexere ICs, z.B. einfache Mikroprozessoren (6502, 8080)
- Beispiel: Apple Computer (1977, 8Bit, 1 MHz). RAMs mit 8k x 1 bit, ROMs mit 8kx8 bit



Einfache programmierbare Logik

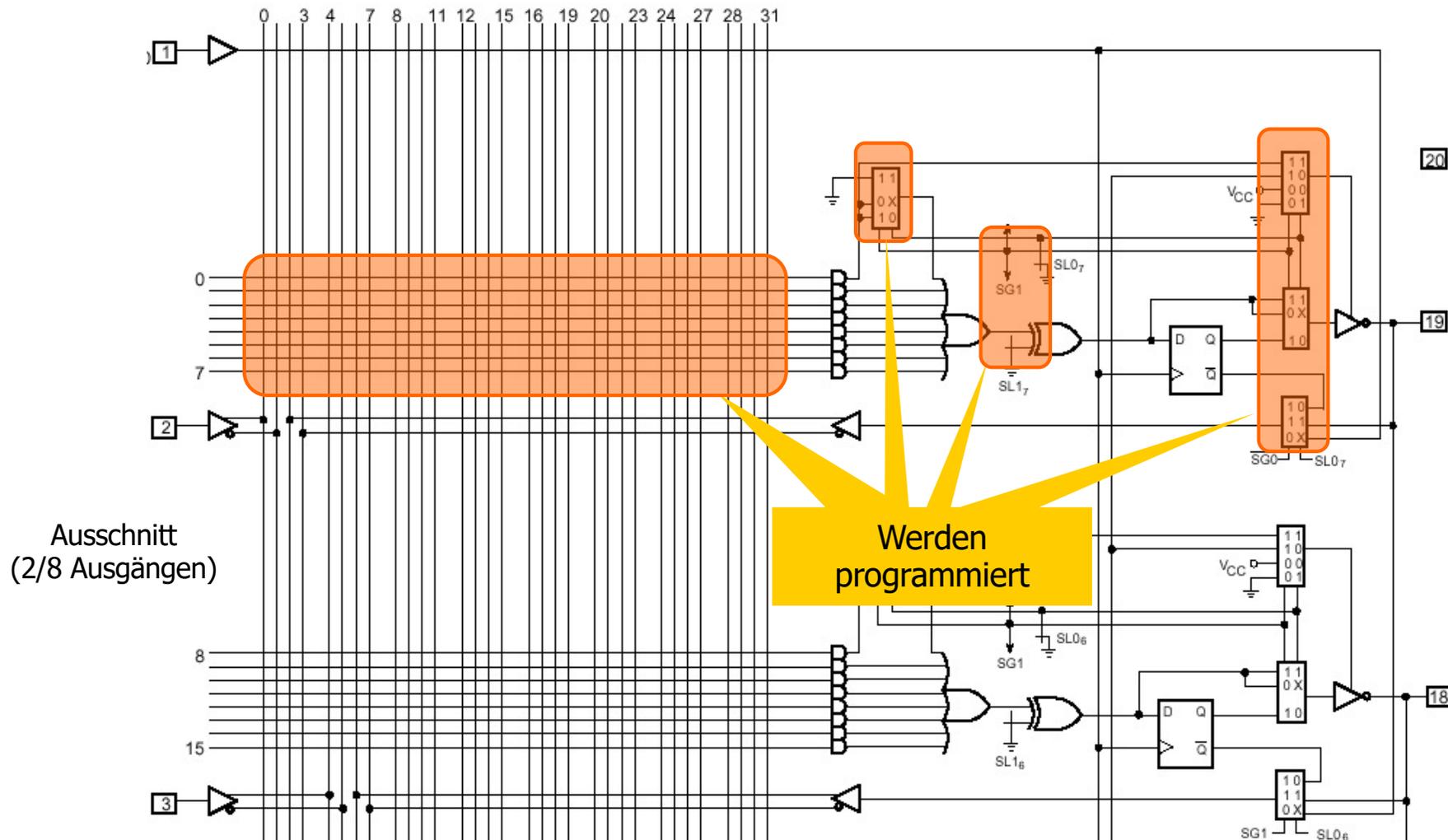
- Chips enthalten regelmäßige Strukturen aus UND und ODER Elementen, die vom Kunden für eine spezielle Anwendung programmiert werden können ('semi custom')
- Zunächst nur einmal programmierbar (One-Time-Programmable, OTP), dann UV-löschbar, dann elektrisch löschbare Typen
- Verschiedene Varianten haben Flipflops am Ausgang, so daß auch Zähler etc. erzeugt werden können



- Zum Herausfinden des Programmiermusters sind erstmals notwendig:
 - Beschreibungssprache für die Logik (meist 'ABEL')
 - Software, die die gewünschte Funktion mit den technischen Möglichkeiten des Bausteins darstellt ('Synthese-Tools')
 - Software und Hardware zum Programmieren der Bausteine

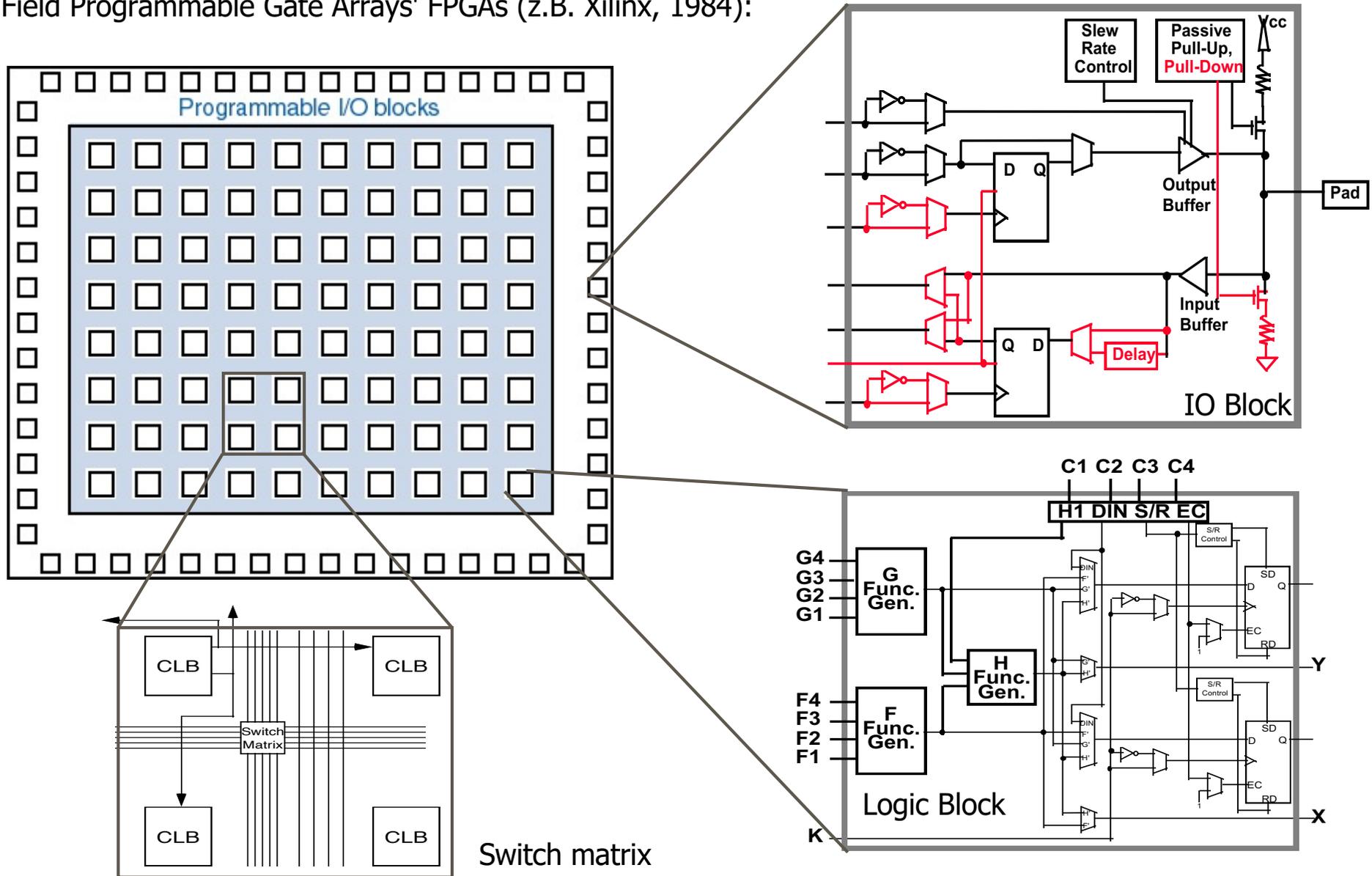
Beispiel PALCE 16V8

- Fortgeschrittenes PAL (feste ODER-Struktur)
- 8 Eingänge, 8 Ausgänge (können als Eingänge geschaltet werden), 20 Pins (+ OE, CLK, GND, VDD)
- Ausgänge mit FFs oder kombinatorisch, programmierbare Polarität, Tri-state programmierbar



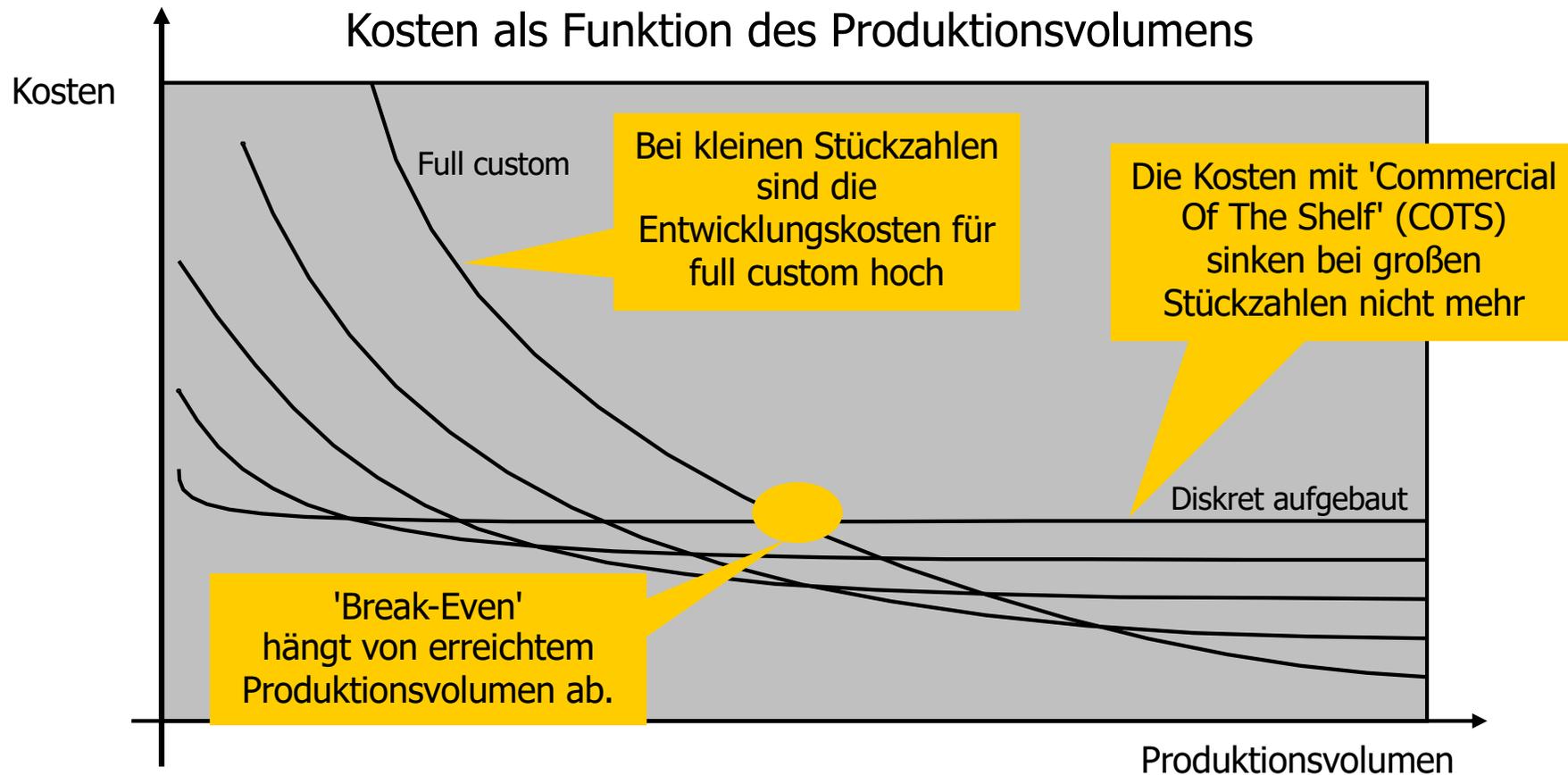
Komplexere programmierbare Bausteine

- 'Field Programmable Gate Arrays' FPGAs (z.B. Xilinx, 1984):



Kundenspezifische Chips

- Für Massenanwendungen (PCI Interface, CD-Player, MPEG-Decoder, Ethernet Chip, ...) sind die FPGA-Lösungen zu teuer.
- Die Entwicklung eines auf die Anwendung genau zugeschnittenen Designs ('Full Custom') **kann** sich lohnen.
- Andererseits erfordert es viel Zeit, Personal und Know-How, einen Chip 'von Null' zu entwickeln



- Ein weiterer Vorteil von full custom Chips ist der Schutz vor Kopien (Sicherung der 'Intellectual Property')

Aufwand für Chipentwicklung

- Kosten für Chipentwicklung (lt. Markt & Technik 14/2004) für ASIC in 0.13 μm Technologie:
 - Personalkosten (46%)
 - EDA Tools (17%)
 - Maskenkosten (16%)
 - Rechenleistung (ca. 16%)
 - übergeordnete Kosten

- Beispiel LCA Entwicklung (Altera):
 - Entwicklung der ‚Stratix‘-Chipfamilie: 75 M\$
 - Entwicklung der ‚Stratix II‘-Chipfamilie in 90nm Technologie: 130 M\$

Beispiel eines kleinen 'Full-Custom' Chips

