
Digitale Schaltungstechnik

Prof. Dr. P. Fischer

Organisatorisches

Vorlesung:

- Termin: Mi 9:15 – 10:45 (Block 1)
- Ort: INF 205, SR9
- Dozent: Prof. Dr. P. Fischer, B6, 26, B3.02, Tel. 2735, peter.fischer@ziti.uni-heidelberg.de
Sekretariat Frau Wunsch, B6, 26, B3.03, Tel. 2733, wunsch@ziti.uni-heidelberg.de

Übung:

- Termin: Di 9:15 – 10:45, **ab 24.10** (Block 1)
- Ort: INF 205, SR9
- Übungsleiter: Christian Kreidl, MANNHEIM, B6, 26, B3.07, christian.kreidl at ziti.uni-heidelberg.de

Prüfung:

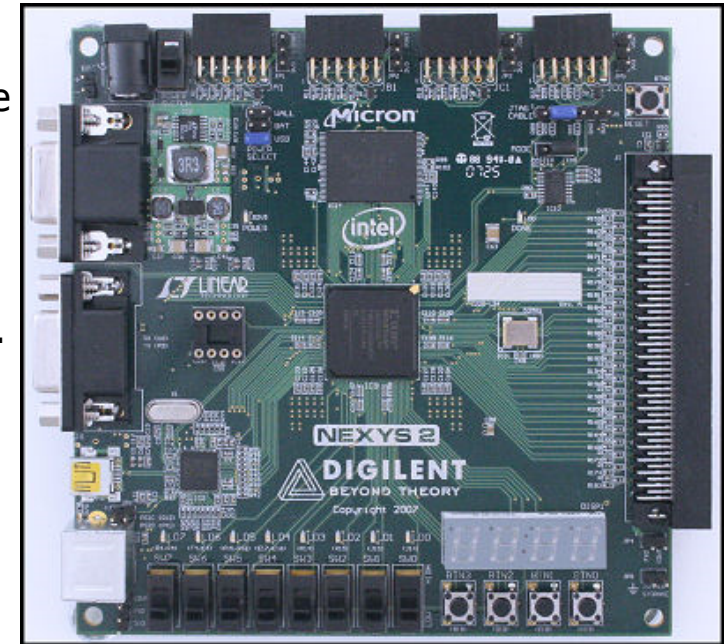
- Klausur: Termin nach Vereinbarung (Präferenzen?)
- Die Arbeiten in der Übung sind **wesentlicher Teil** des Prüfungsstoffs!

Punkte: 6 CP

Internet: https://sus.ziti.uni-heidelberg.de/Lehre/WS1718_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 an Zweiergruppen ausgeliehen und **können mit nach Hause genommen werden**. Dort kann auf dem eigenen PC (Windows, zur Not Linux oder iOS) 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 z.T. als Schaltpläne eingegeben, hauptsächlich aber in der Hardware-Beschreibungssprache VERLIOG. 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.

Umfrage

- Dotierung ?
- Bipolartransistor / MOS Transistor ?
- Herstellung von Chips?

- Aus wie vielen Transistoren besteht ein CMOS NAND ? Was ist ECL ?
- Was ist ein PAL?
- Wer kennt Verilog ?
- Was ist ein Flipflop ? Wie ist ein Binärzähler aufgebaut ?
- Was bestimmt die Geschwindigkeit eines Gatters? Was die Leistungsaufnahme?
- Was ist ein Tri-State-Ausgang ?

- Was ist eine Karnaugh-Map ?
- Was ist die Regel von De Morgan?

Hinweis

- Die Vorlesung ist seit diesem Semester von 4 SWS auf 2 SWS gekürzt
- Daher müssen viele Themen wegfallen, die bisher in den Folien sind.
- Die Auswahl wird sukzessive erfolgen

- Verilog wird komplett in der Übung behandelt werden!

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

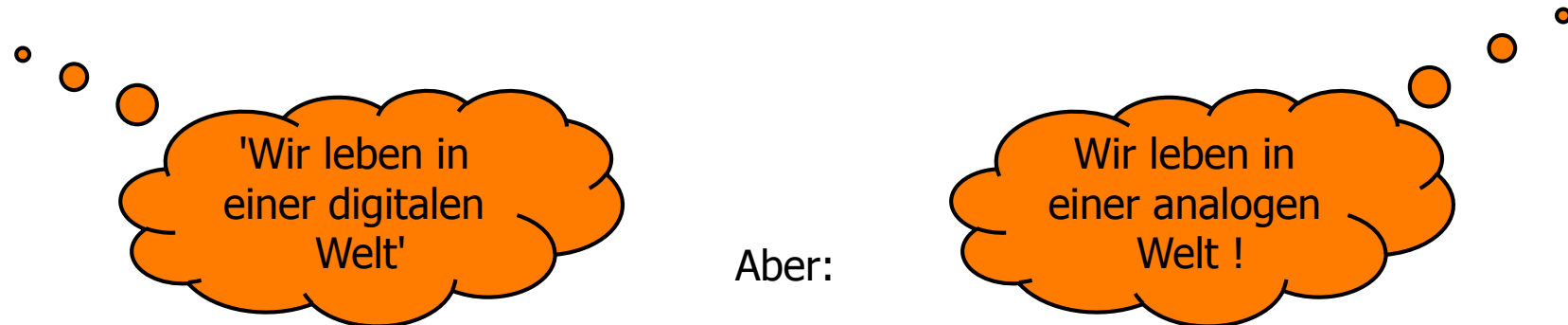
H. Liebig, S. Thome, Springer 1996, ISBN 3-540-61062-6, 45 € (Amazon)
Schwerpunkt liegt auf funktionaler Ebene. Wird in der Rechnerarchitektur eingesetzt.

8. Principles of CMOS VLSI Design

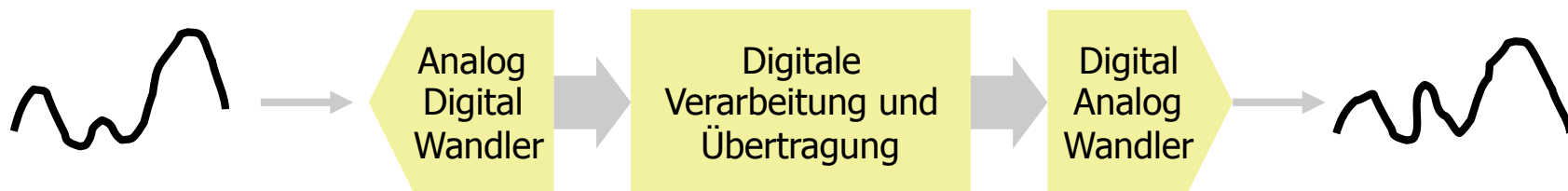
Neil H. E. Weste, K. Eshraghian, Addison-Wesley 1994, ISBN 0-201-53376-6, 91 € (Amazon)
Klassiker für CMOS Design, einfach zu lesen

9. Verilog Tutorials gibt es im Netz – gute Links bitte weiterleiten !

Digital vs. Analog

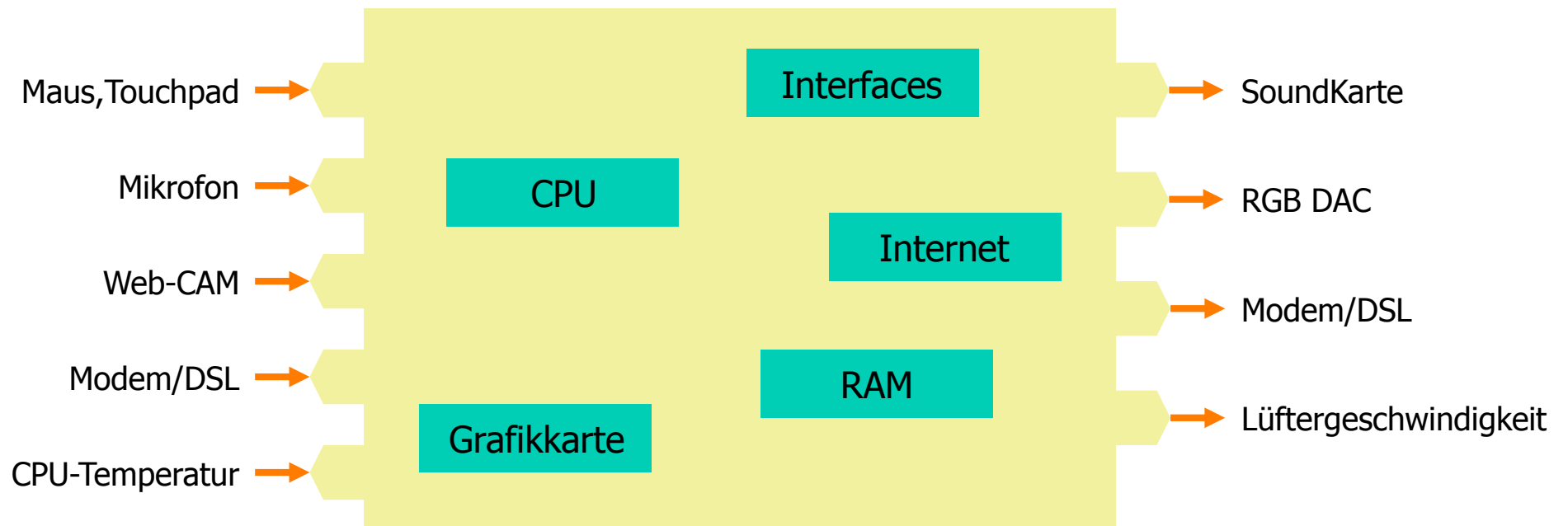


- Alle 'Meßgrößen' unserer Umwelt (Licht, Töne, Temperatur, elektrische Spannungen, Druck etc..) sind analog.
- Die analoge Verarbeitung und Übertragung ist daher 'natürlich':
 - Telefon, Fernsehen, Musikaufnahme und Wiedergabe (Band, Schallplatte), Temperaturregelung, analoge Computer!
- Analoge Signale 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:



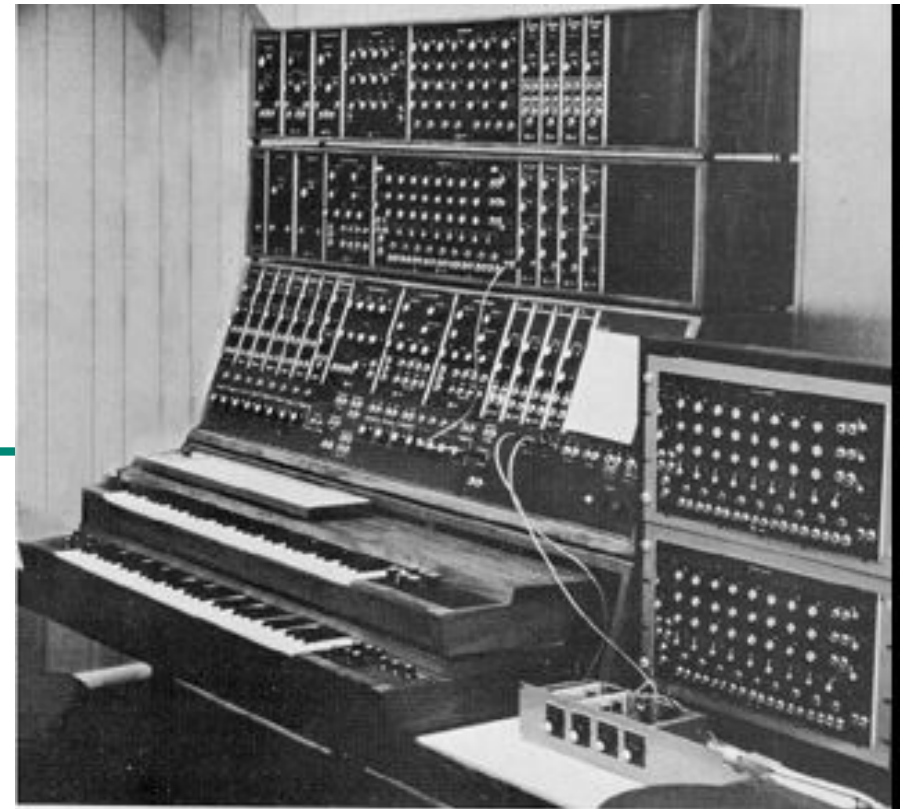
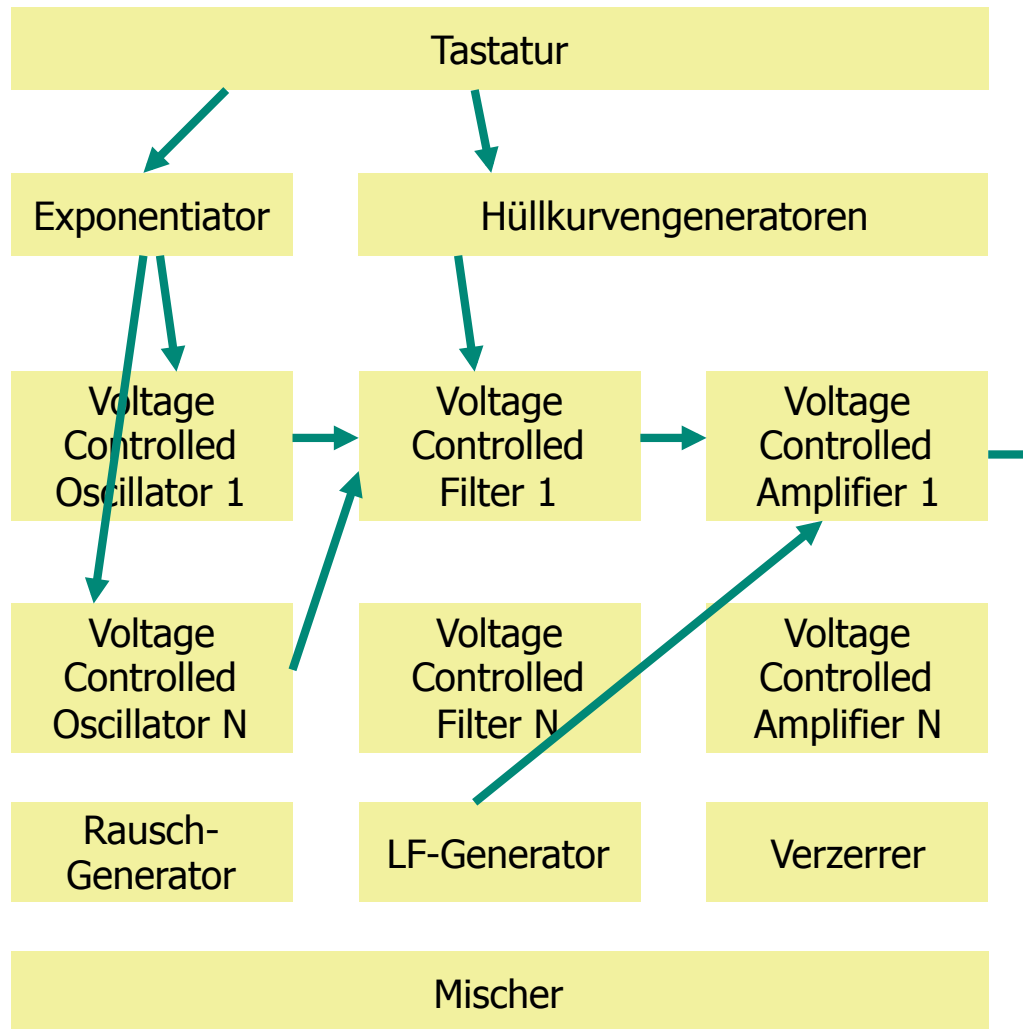
- Der 'Aufwand' für die Analog-Digital und Digital-Analog-Wandlung ist geringer als der Vorteil der digitalen Verarbeitung

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...

„Switched On Bach“ von Walter (Wendy) Carlos (1968)

Revolutionäre 'Sounds':

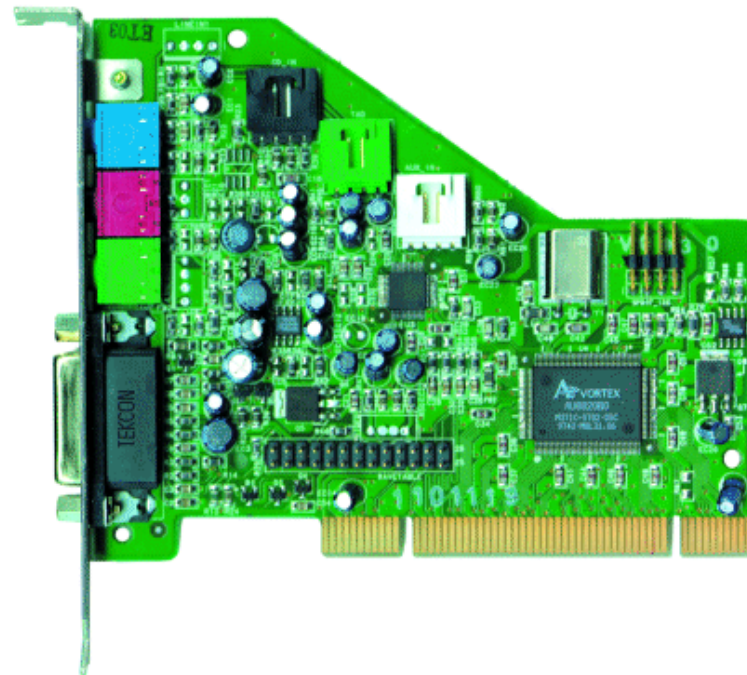
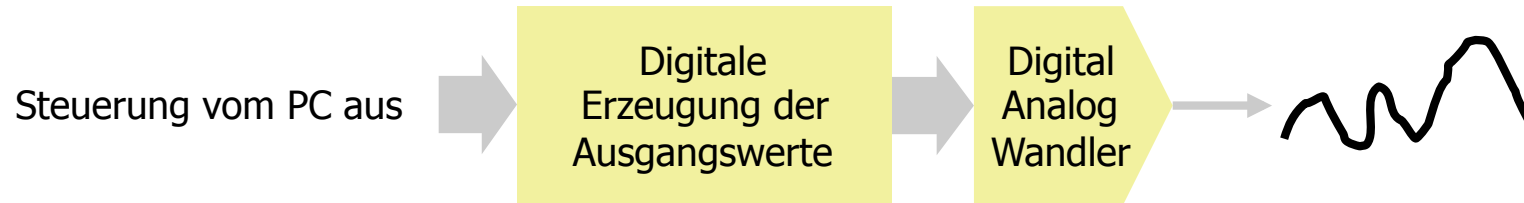
3 Grammy-Awards, 'Platinum-Award' als zweites klassisches Album...

- DEMO -



<http://www.wendycarlos.com>

Digitaler Synthesizer ('Sound Karte')

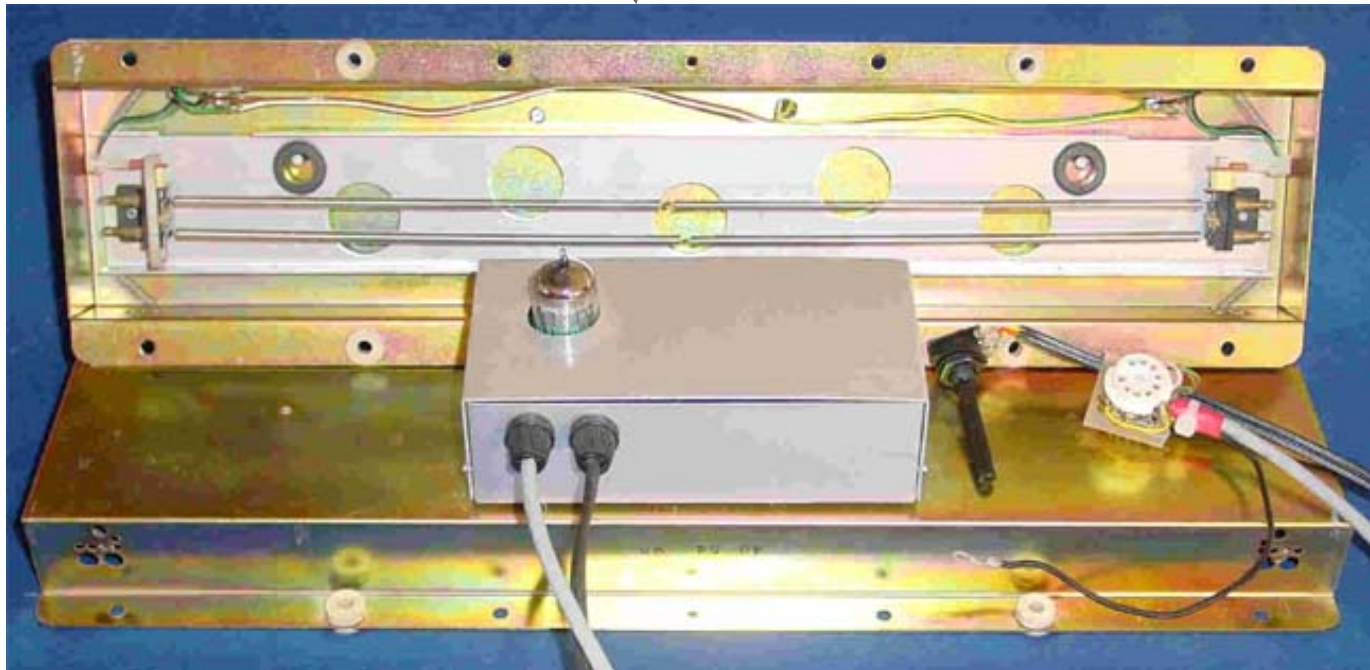
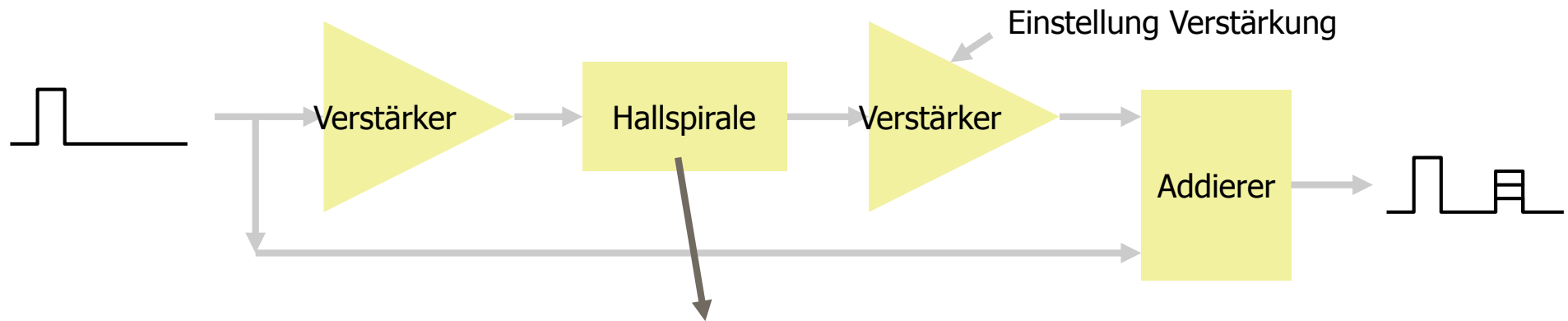


Der Kreis schließt sich...

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

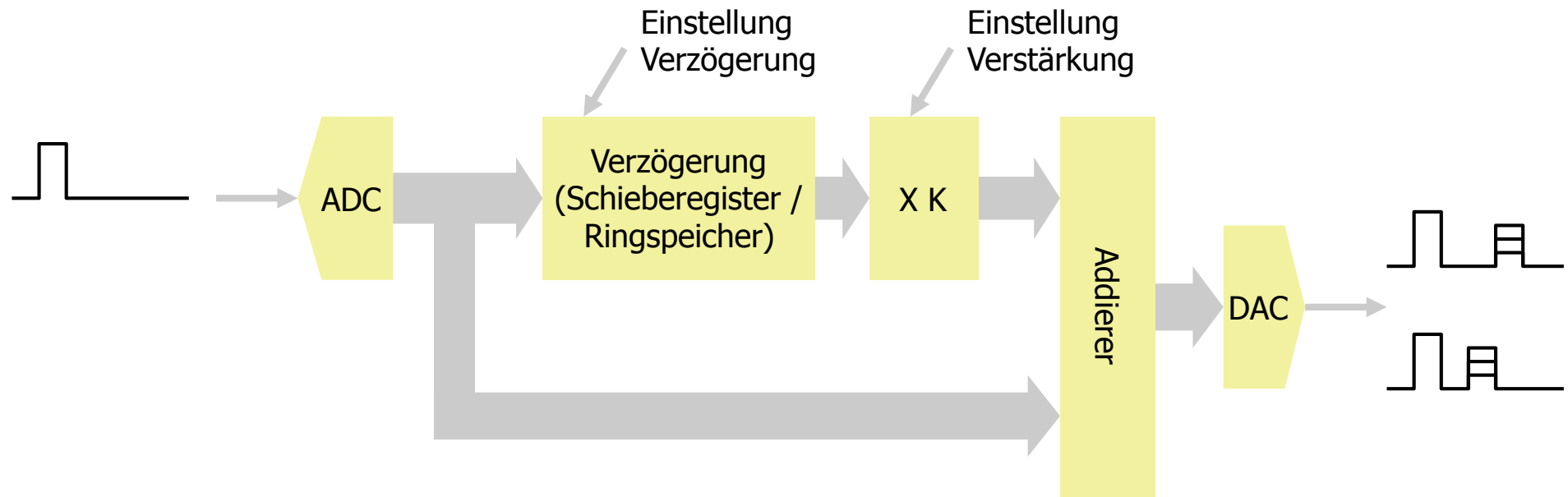


Beispiel: Analoges Echo/Hallgerät



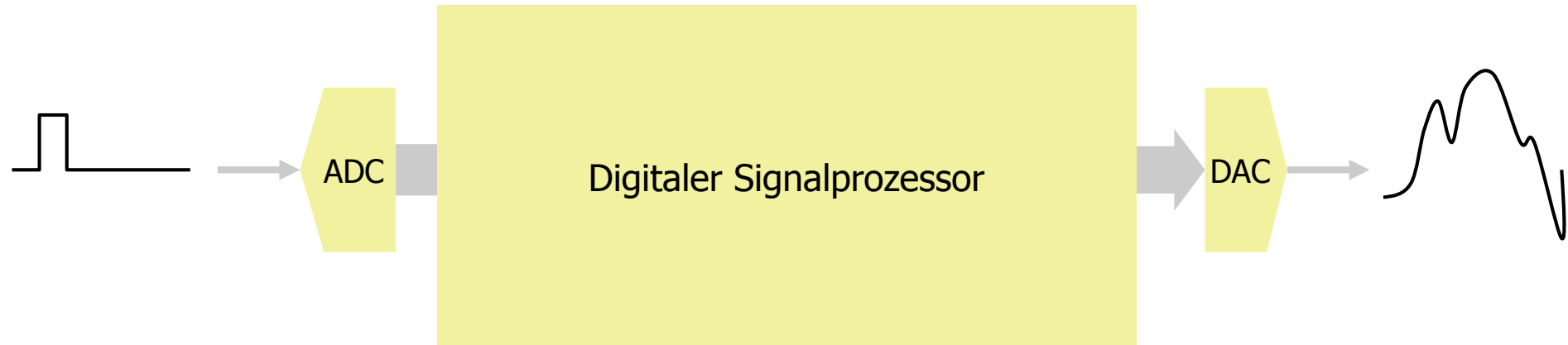
Mehrfache Wiederholung erreicht man durch Rückkopplung des Ausgangssignal auf den Eingang

Digitales Hallgerät



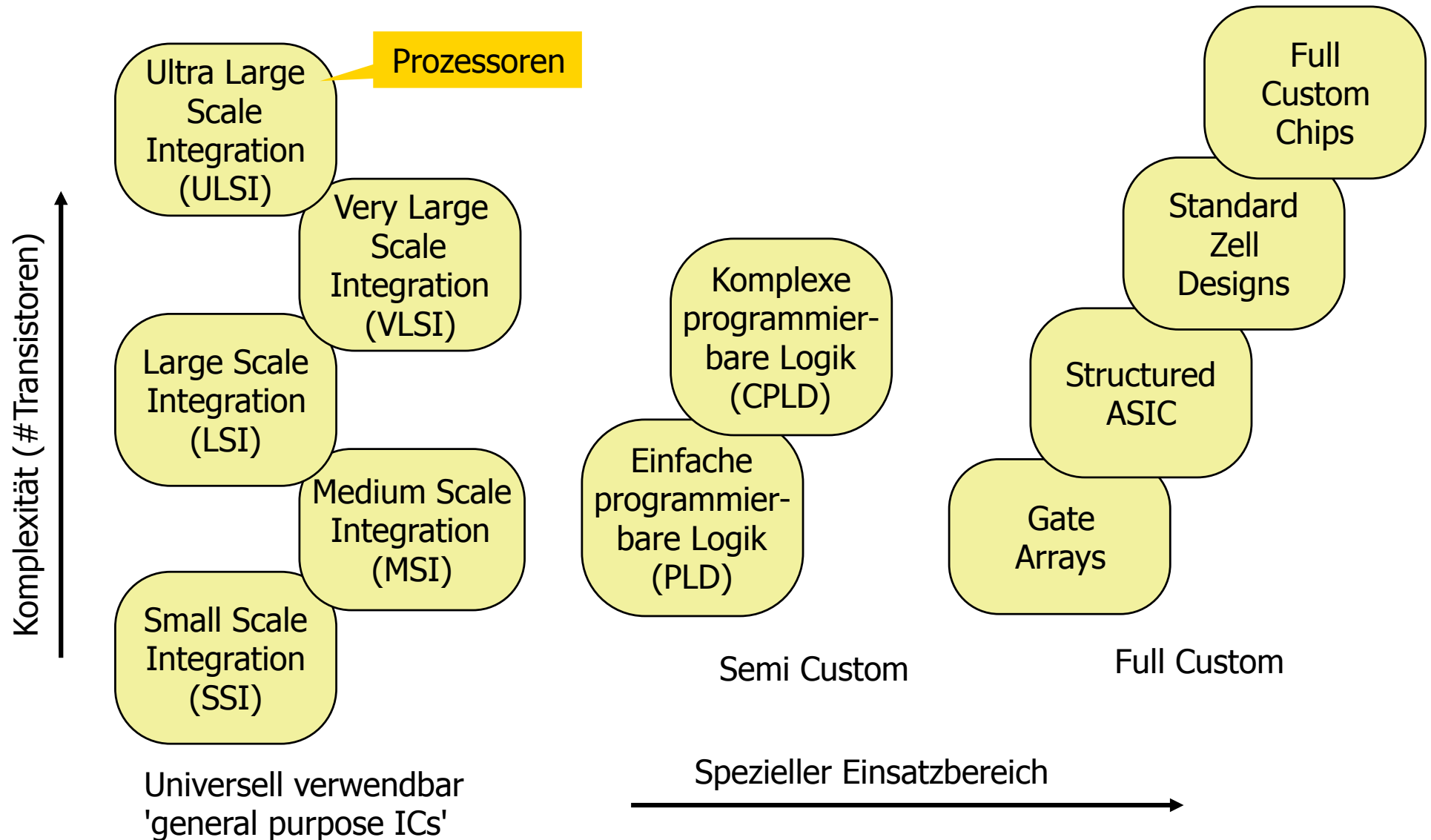
20 Bit ADC/DAC, 32 Bit Verarbeitung

Digitales Hallgerät – Praktische Realisierung



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

Implementierung von Digitalen Schaltungen



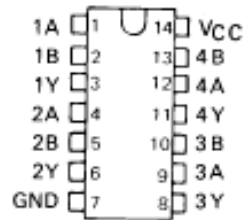
'Small Scale Integration'

- 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:

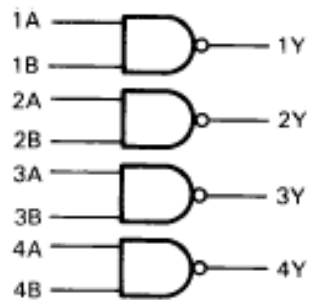


Beispiel für SSI ICs

74LS00: 4 fach NAND

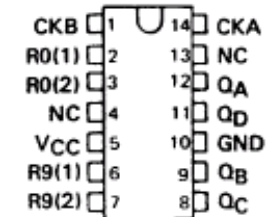


logic diagram (positive logic)

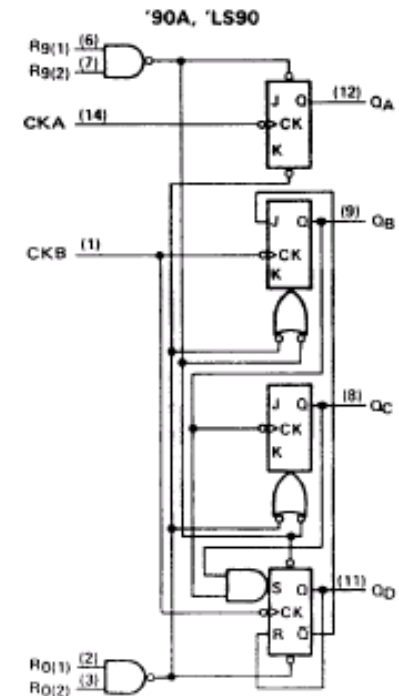


5V, 7 mW, $t_{pD}=10$ ns

74LS90: 4 Bit Decade-Zähler (0..9)



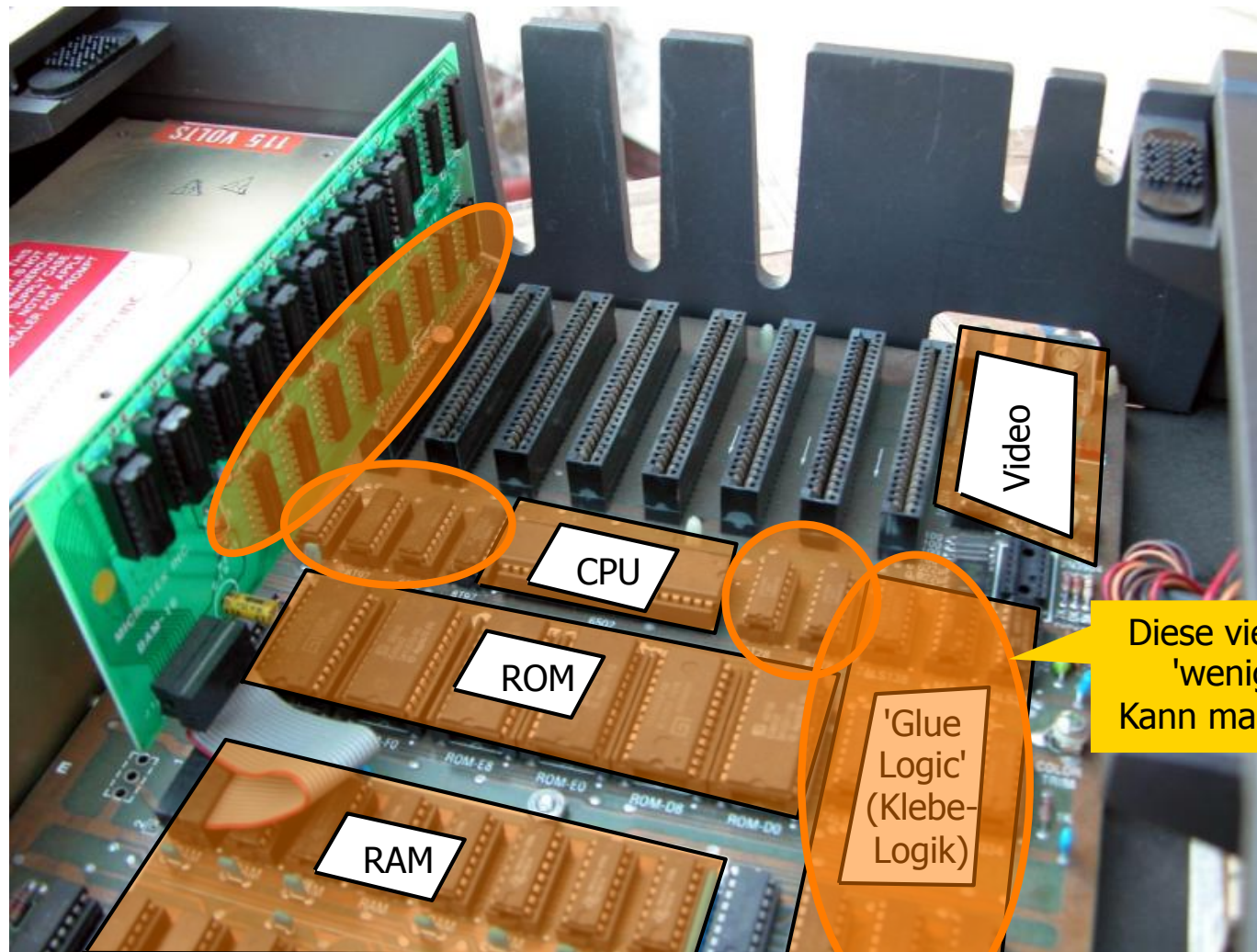
logic diagrams (positive logic)



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

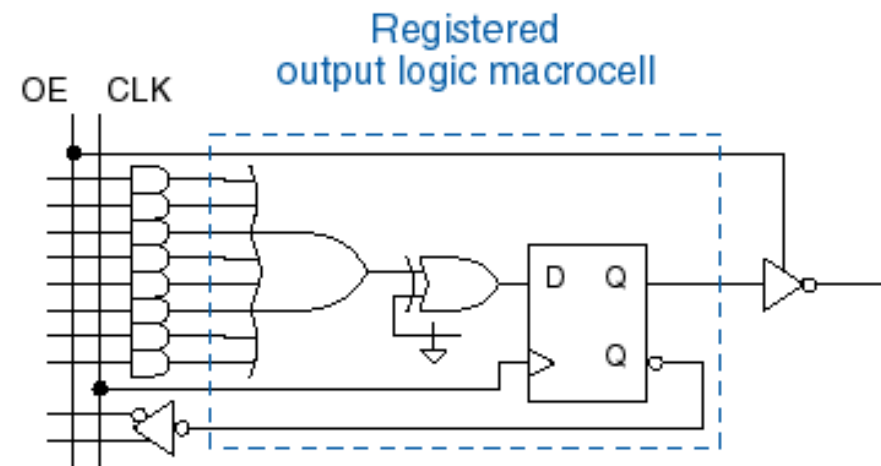
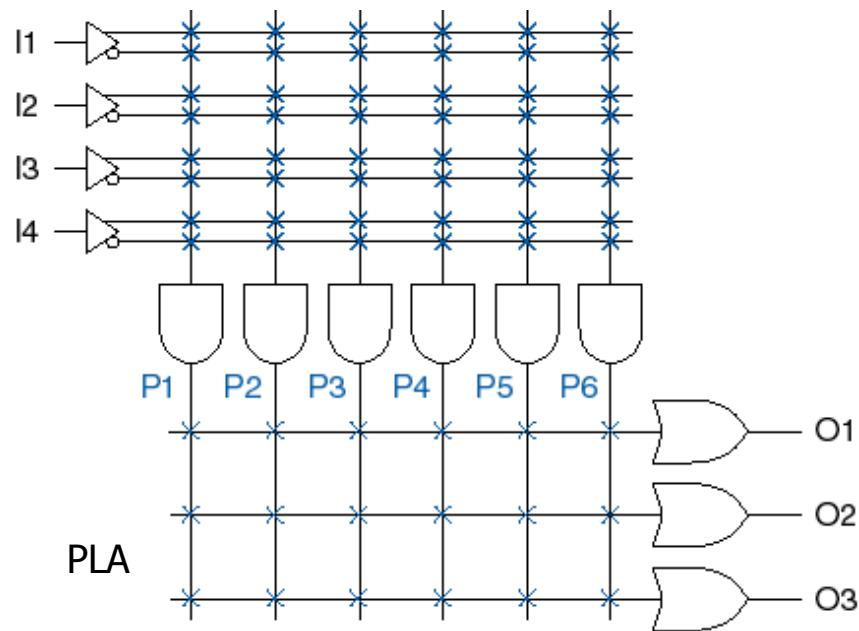
'Medium Scale Integration'

- 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

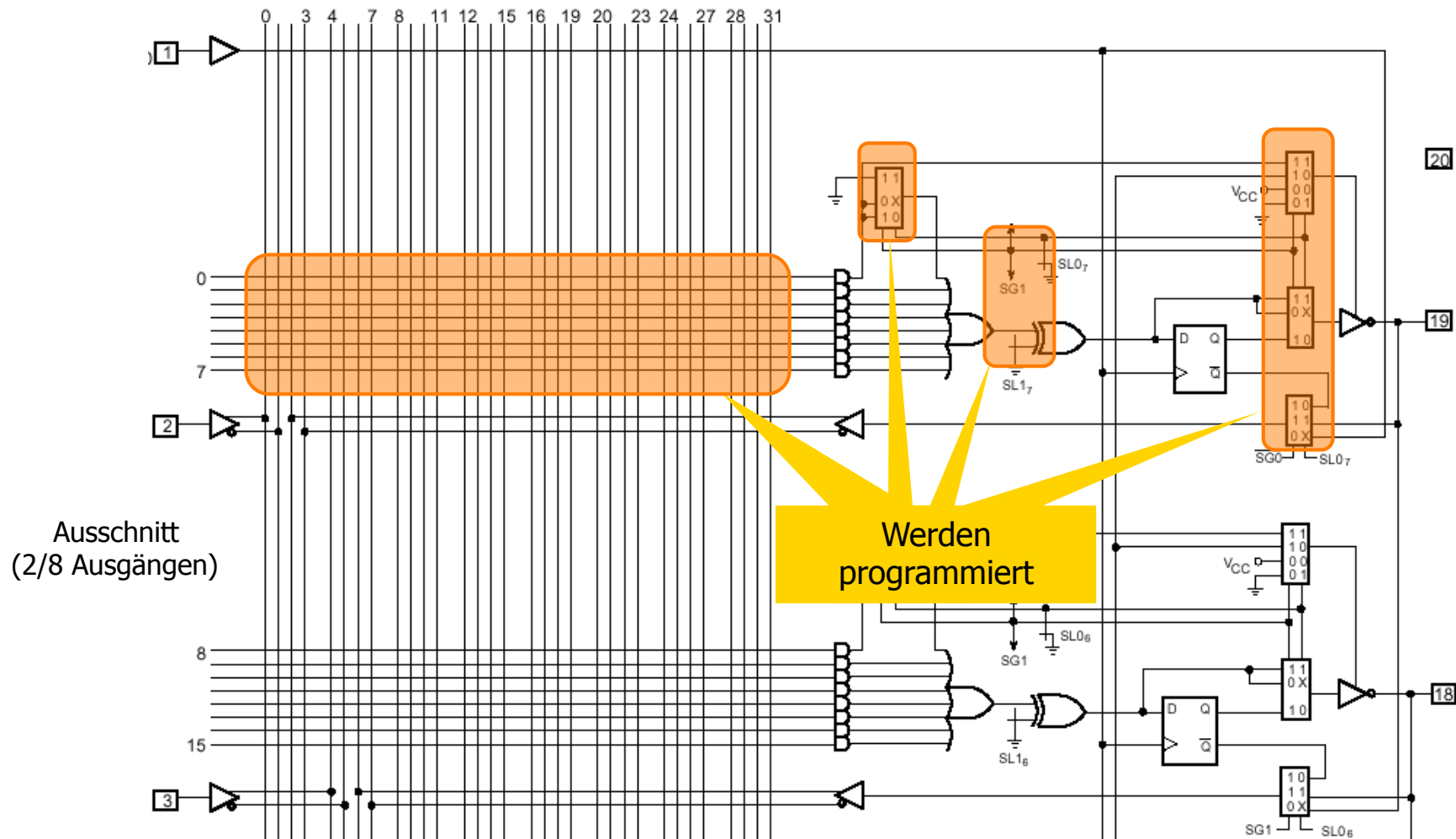
- Chips enthalten regelmäßige Strukturen aus UND und ODER Elementen, die vom Kunden für eine spezielle Anwendung programmiert werden können ('semi custom')
- Zunächst nur einmal programmierbar (One-Time-Programmable, OTP), dann UV-löschbar, dann elektrisch löschbare Typen
- Verschiedene Varianten haben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

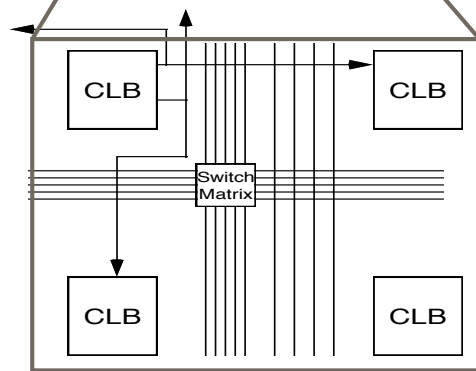
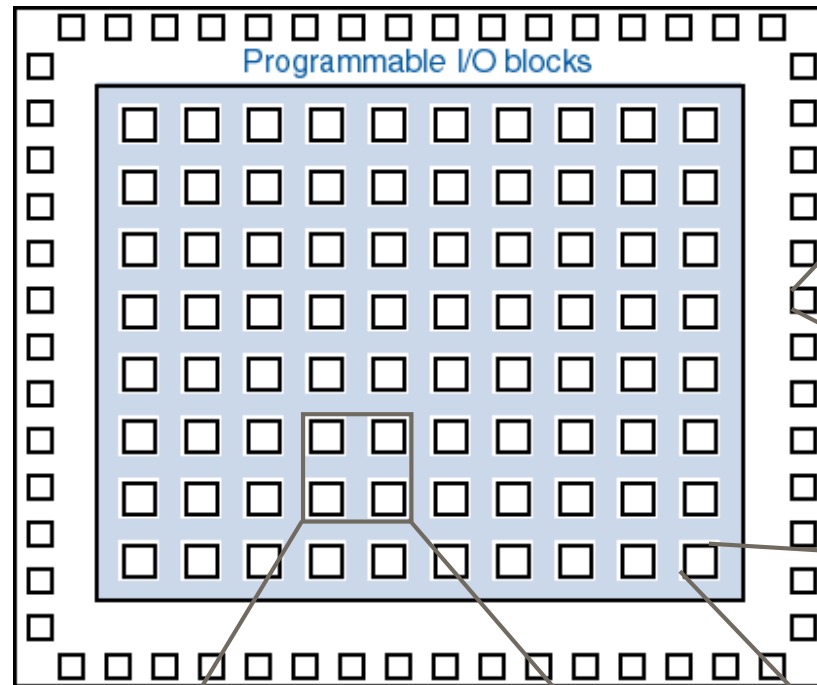
Beispiel PALCE 16V8

- 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

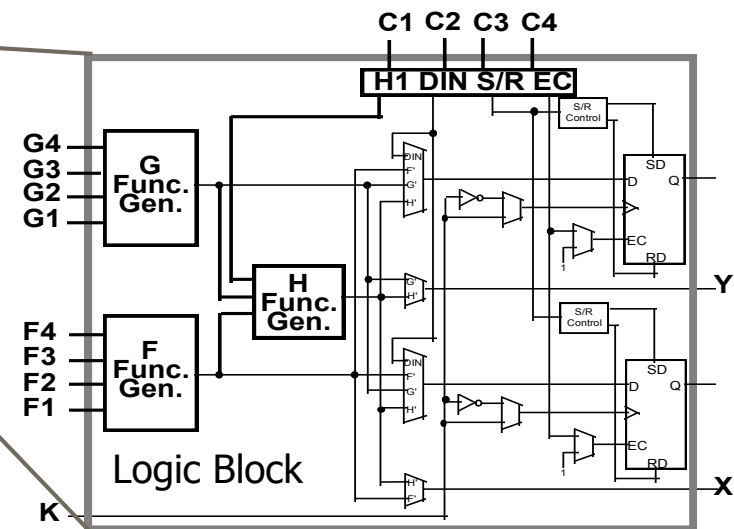
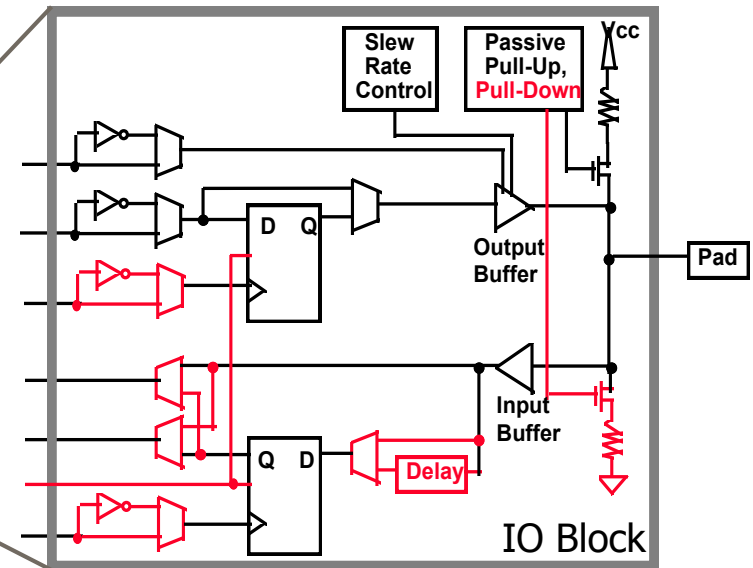


Komplexere programmierbare Bausteine

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



Switch matrix



Beispiel eines kleinen 'Full-Custom' Chips

