Universität Bielefeld
Technische Fakultät

RVS
Rechnernetze und
Verteilte Systeme

Technische Informatik I

Schaltnetze und Schaltwerke I

Tim Köhler
tkoehler@techfak.uni-bielefeld.de

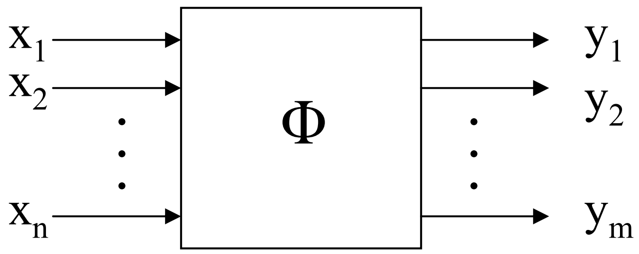
Übersicht

- Schaltnetze
  - Beispiele: Schaltnetze zur Arithmetik
- Schaltwerke
  - Speicher
  - Taktsteuerung
  - Beispiele zu Schaltwerken

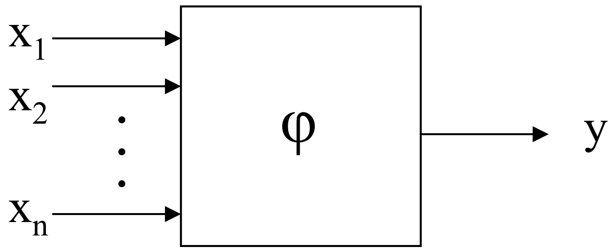
Kombinatorischer Automat 1/3

- **Kombinatorische Automaten** sind Schaltnetze die eine Menge von Eingangswertkombinationen (Eingaben) auf eine Menge von Ausgangswertkombinationen (Ausgaben) abbilden
- Die Verknüpfungen UND, ODER, NICHT (AND,OR,NOT/$\wedge$,$\vee$,$\neg$) heißen **elementare kombinatorische Automaten**

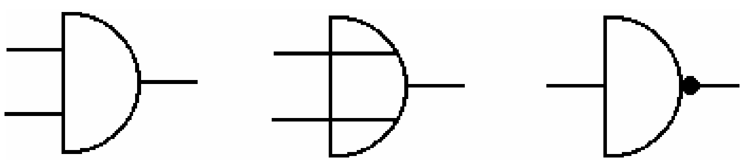
Kombinatorischer Automat 2/3



Kombinatorischer Automat



Einfacher kombinatorischer Automat



Elementare kombinatorische Automaten

- **Kombinatorischer Automat**

  $A = (X, Y, \Phi)$
- **Eingabealphabet** $X=B^n=\{0,L\}^n$ mit den Buchstaben

  $x = (x_1, x_2,\ldots,x_n)$
- **Ausgabealphabet** $Y=B^m$ mit den Buchstaben $y=(y_1,y_2,\ldots,y_m)$
- **Alphabetabbildung**

  $\Phi : X \rightarrow Y, \;\; \varphi : X \rightarrow B$

  $\Phi(x) = y$

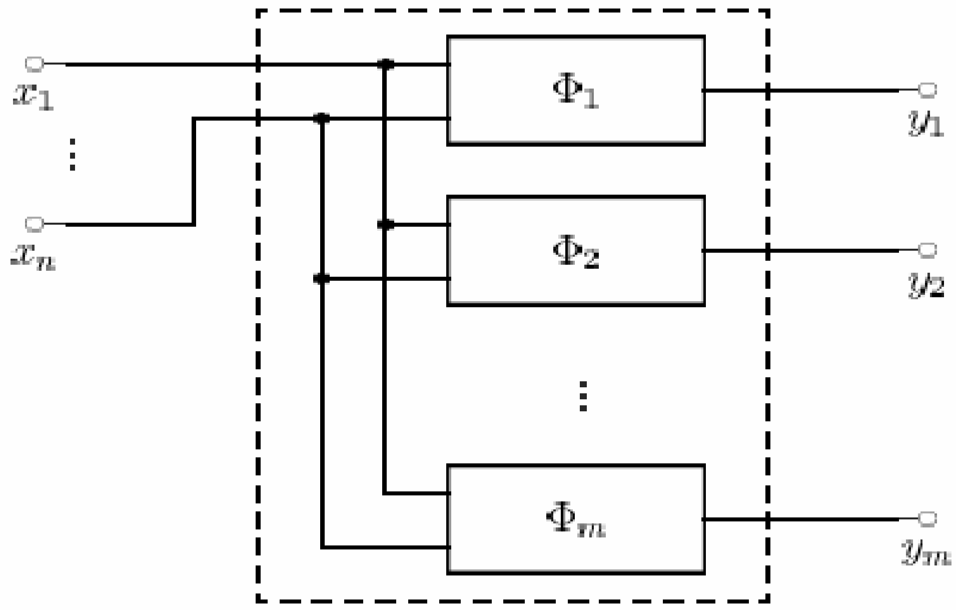
  $\Phi(x_1,x_2,\ldots,x_n)= (y_1,y_2,\ldots,y_m)$
- **Einfacher kombinatorischer Automat** $A = (X,B,\varphi)$
- **Elementare kombinatorische Automaten** AND, OR, NOT

Kombinatorischer Automat 3/3

1. Jeder einfache kombinatorische Automat läßt sich aus Elementarautomaten (elementare kombinatorische Automaten) aufbauen

   (Beweis über DNF)

2. Jeder kombinatorische Automat läßt sich aus m einfachen kombinatorischen Automaten aufbauen:

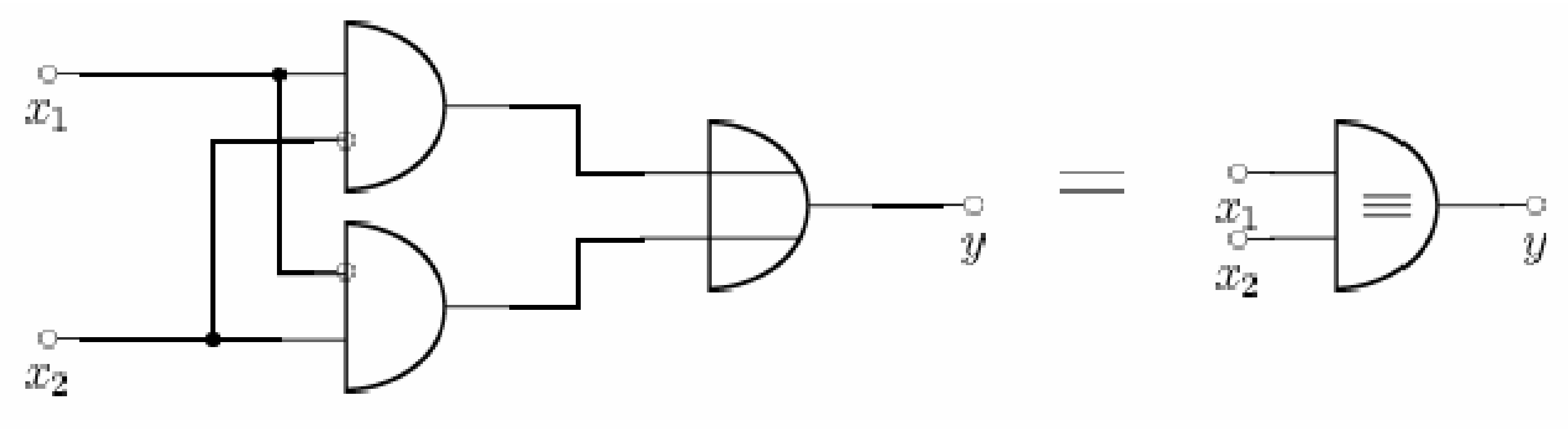


Beispielschaltnetze 1/2

- Exklusiv-Oder (Antivalenz)

Hier: Eingabealphabet $X=B^2$ Ausgabealphabet $Y=B$

$y = \varphi(x_1,x_2) = (x_1 \text{ xor } x_2) = (x_1 \equiv x_2) = (x_1 \oplus x_2) = ((x_1 \wedge \neg x_2) \vee (\neg x_1 \wedge x_2))$



Beispielschaltnetze 2/2

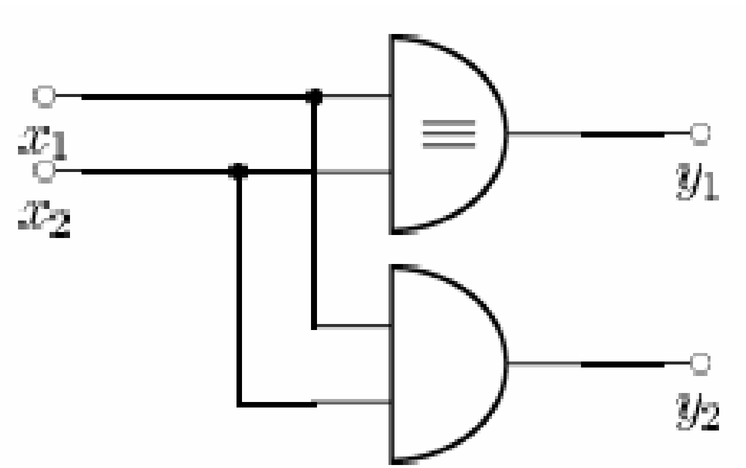
- Halbaddierer

  Schaltung zur Addition zweier einstelliger Dualzahlen ($X=B^2$) mit Ausgabe des zweistelligen Ergebnisses (Summe und Übertrag, $Y=B^2$)

x_2	x_1	y_2	y_1
0	0	0	0
0	L	0	L
L	0	0	L
L	L	L	0

$y_1 = (x_1 \wedge \neg x_2) \vee (\neg x_1 \wedge x_2) = x_1 \text{ xor } x_2$

$y_2 = (x_1 \wedge x_2)$



Sequentielle Automaten

- Beim Schaltnetz y zum Zeitpunkt t nur abhängig von x(t) : y(x(t))
- Feste Zuordnung zwischen x und zugehörigem y
- Beim **sequentiellen Automaten (Schaltwerk)** y auch abhängig von (allen) früheren Eingaben:

  $y(x(t), x(t - T_1), x(t - T_2),...)$ mit $T_1 < T_2 < T_3$ ...
- Schaltwerk muß frühere Eingaben **speichern** können
- Sequentielle Automaten bestehen aus kombinatorischen Automaten und **Speichern**
- **Zustand** eines Schaltwerks (jeweiliger Inhalt aller Speicher) $y(t) = y(x(t),z(t))$, $z(t) = z(x(t-T), z(t-T))$

Speicher 1/4

- Eingabealphabet = Ausgabealphabet
- In dieser Vorlesung X=Y=B (einstellig) :

- Ausgabe ist verzögerte Eingabe. Speicher daher auch „Verzögerungsglied“ genannt.
- Speicher *merkt* sich Eingabe x für die Dauer T

Speicher 2/4

- Meistens zusätzlicher Takt (Clock) oder *Trigger*-Eingang c (binär, einstellig)
- Eingang c steuert das Speichern von x, bzw. das Ändern von y
- Alternativ auch Speicherzeitpunkt aus x ableitbar oder mit internem Takt gesteuert

Speicher 3/4

- Für die Zeit T zwischen zwei Speichervorgängen jeder Wert > 0 möglich
- Aber jetzt: Signallaufzeit wird beachtet!

  → T deutlich größer als Einspeicherungszeit
- Meistens **T konstant** (feste Taktfolge, **Taktfrequenz** f = 1/T, [Hz]). Dann **Taktverhältnis**: Verhältnis Dauer „1“ zu Dauer „0“ (“H“:“L“, “L“:“0“). Meistens 1:1 bzw. 50:50
- Alle Zustandsänderungen in fest definiertem Zeitraster (als „synchron“ bezeichnet).
- „Asynchrone“ Schaltwerke auch möglich (Bezeichnung nicht ganz korrekt: Eigentlich auch synchron)

Speicher 4/4

- Bei konstantem T auch Zeitindex-Schreibweise üblich:

  $y(k)=x(k-1)$, Zeitindex k: $t=k*T$

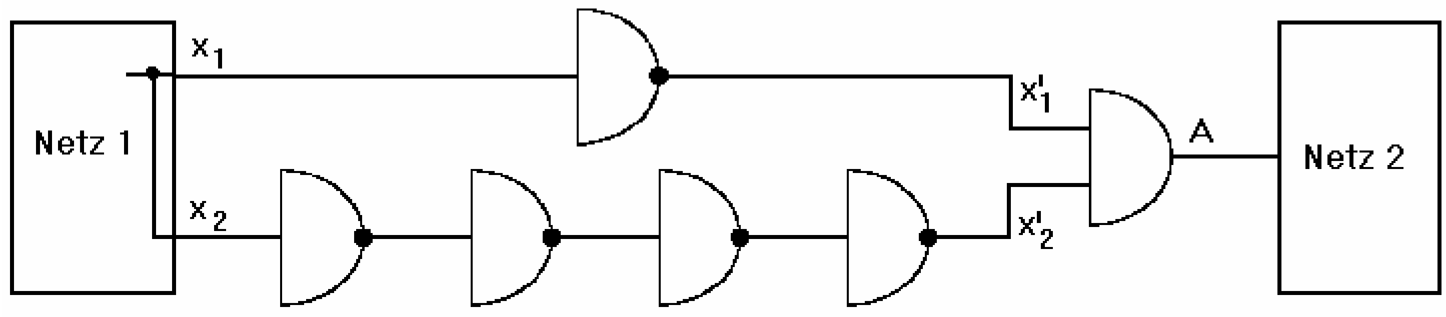
t/T = k	0	1	2	...	k	k +1
x	x(0)	x(1)	x(2)	...	x(k)	x(k+1)
y	y(0)	x(0)	x(1)	...	x(k-1)	x(k)

- Durch diese Verzögerung sind nun auch Rückkopplungen möglich (Beispiel Takthalbierer). Bei „asynchronen" Schaltnetzen könnten diese zu Instabilitäten führen (Flimmerschaltungen).

Vorteile von Schaltwerken

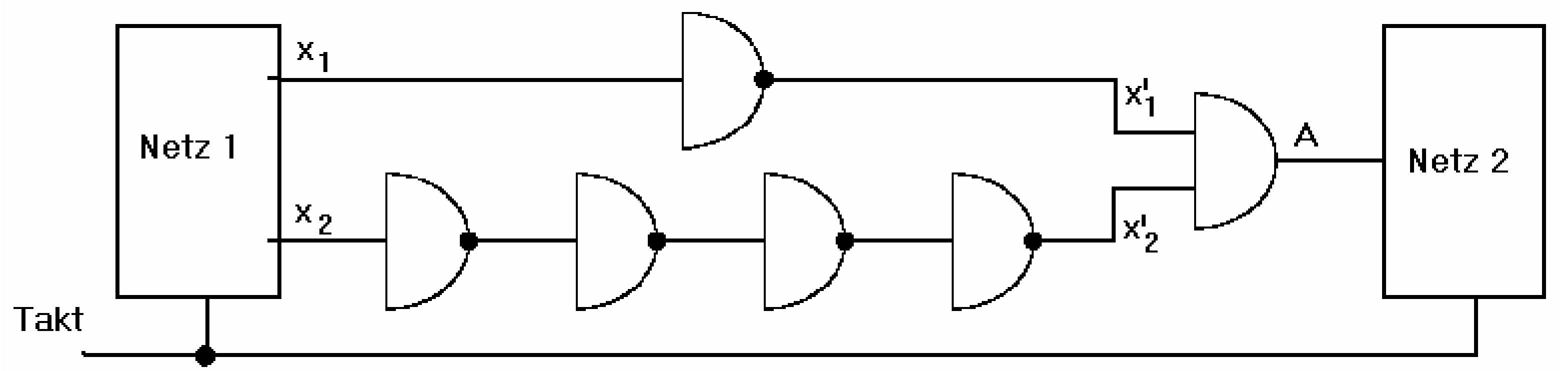
- Komplexere Problemstellungen möglich (Beispiel Cola-Automat)
- Vermeiden/Herausfiltern von Störungen zwischen den Schaltnetzen
- Vermeiden/Herausfiltern von unterschiedlichen Laufzeiten innerhalb der Schaltnetze

Beispielschaltung 1/2



1. x_1 sei am Ende von Netz 1 direkt mit x_2 verbunden. Zum Zeitpunkt t=0 springt x_1 (und somit auch x_2) von H nach L

Beispielschaltung 2/2



2. Durch den gemeinsamen Takt (und T genügend groß) werden Schalt- und Laufzeiteffekte herausgefiltert
3. Auch wenn jetzt x_1 und x_2 unterschiedlich schnell schalten, kommt es zu keinen Fehlern mehr.

Taktsteuerungen

- **Taktzustandssteuerung:** Solange Steuerleitung c in einem Zustand ist, folgt der Ausgang dem Eingang, im anderen Zustand wird Eingabe gespeichert. Meistens realisiert durch konjunktive (selten auch: disjunktive) Verknüpfung von c mit Eingangssignalen
- **Taktflankensteuerung:** Solange Steuerleitung c konstant H oder L ist, wird Ausgabe nicht verändert (=gespeicherter Wert). Wechselt c (zum Beispiel von L nach H) wird aktuelle Eingabe gespeichert und ausgegeben.
- **Zweizustands-/Zweiflankensteuerung:** Aufeinander folgende Speicher werden mit zeitversetzten oder mit unterschiedlichen Flanken des gleichen Taktes gesteuert.

Ausblick: Nächste Vorlesung

- Beispielschaltwerke
- Allgemeines zu sequentiellen Automaten
- Mealy- und Moore-Automat
- Beispielschaltwerk zur Steuerung einer Ampelanlage