64-040 Modul IP7: Rechnerstrukturen

http://tams.informatik.uni-hamburg.de/lectures/2011ws/vorlesung/rs

Kapitel 13

Andreas Mäder

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Fachbereich Informatik
Technische Aspekte Multimodaler Systeme

Wintersemester 2011/2012

Kapitel 13

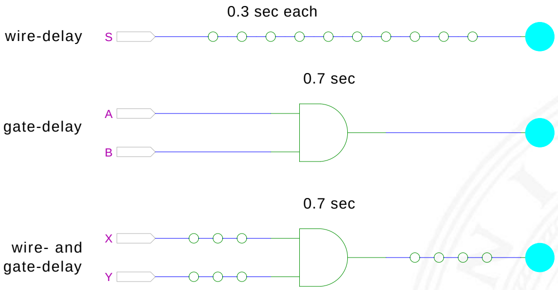
Zeitverhalten einer Schaltung: Modellierung

Wie wird das Zeitverhalten eines Schaltnetzes modelliert?

Gängige Abstraktionsebenen mit zunehmendem Detaillierungsgrad

1. algebraische Ausdrücke: keine zeitliche Abhängigkeit
2. „fundamentales Modell“: Einheitsverzögerung des algebraischen Ausdrucks um eine Zeit τ
3. individuelle Gatterverzögerungen
   - mehrere Modelle, unterschiedlich detailliert
   - Abstraktion elektrischer Eigenschaften
4. Gatterverzögerungen + Leitungslaufzeiten (geschätzt, berechnet)
5. Differentialgleichungen für Spannungen und Ströme (verschiedene „Ersatzmodelle“)

Gatterverzögerung vs. Leitungslaufzeiten



- früher: Gatterverzögerungen $\gg$ Leitungslaufzeiten
- Schaltungen modelliert durch Gatterlaufzeiten
- aktuelle „Submicron"-Halbleitertechnologie:
  Leitungslaufzeiten $\gg$ Gatterverzögerungen

Zeitverhalten

- alle folgenden Schaltungsbeispiele werden mit Gatterverzögerungen modelliert
- Gatterlaufzeiten als Vielfache einer Grundverzögerung (τ)
- aber Leitungslaufzeiten ignoriert

- mögliche Verfeinerungen
  - gatterabhängige Schaltzeiten für INV, NAND, NOR, XOR etc.
  - unterschiedliche Schaltzeiten für Wechsel: $0 \rightarrow 1$ und $1 \rightarrow 0$
  - unterschiedliche Schaltzeiten für 2-, 3-, 4-Input Gatter
  - Schaltzeiten sind abhängig von der Anzahl nachfolgender Eingänge (engl. *fanout*)

Exkurs: Lichtgeschwindigkeit und Taktraten

- Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: $c \approx 300\,000\,\text{km/sec}$
  $\approx 30\,\text{cm/ns}$
- in Metallen und Halbleitern langsamer: $c \approx 20\,\text{cm/ns}$

$\Rightarrow$ bei 1 Gigahertz Takt: Ausbreitung um ca. 20 Zentimeter

Abschätzungen:

- Prozessor: ca. 2 cm Diagonale $\approx$ 10 GHz Taktrate
- Platine: ca. 20 cm Kantenlänge $\approx$ 1 GHz Takt
- UKW-Radio: 100 MHz, 2 Meter Wellenlänge

$\Rightarrow$ prinzipiell kann (schon heute) ein Signal innerhalb eines Takts nicht von einer Ecke des ICs zur Anderen gelangen

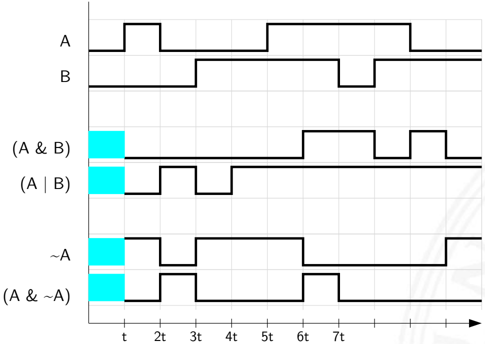
Impulsdiagramme

- **Impulsdiagramm** (engl. *waveform*): Darstellung der logischen Werte einer Schaltfunktion als Funktion der Zeit

- als Abstraktion des tatsächlichen Verlaufs
- Zeit läuft von links nach rechts
- Schaltfunktion(en): von oben nach unten aufgelistet

- Vergleichbar den Messwerten am Oszilloskop (analoge Werte) bzw. den Messwerten am Logic-State-Analyzer (digitale Werte)
- ggf. Darstellung mehrerer logischer Werte (z.B. 0,1,Z,U,X)

Impulsdiagramm: Beispiel



- im Beispiel jeweils eine „Zeiteinheit“ Verzögerung für jede einzelne logische Operation
- Ergebnis einer Operation nur, wenn die Eingaben definiert sind
- im ersten Zeitschritt noch undefinierte Werte

Hazards

- **Hazard**: die Eigenschaft einer Schaltfunktion, bei bestimmten Kombinationen der individuellen Verzögerungen ihrer Verknüpfungsglieder ein Fehlverhalten zu zeigen

- **Hazardfehler**: das aktuelle Fehlverhalten einer realisierten Schaltfunktion aufgrund eines Hazards

Hazards: Klassifikation

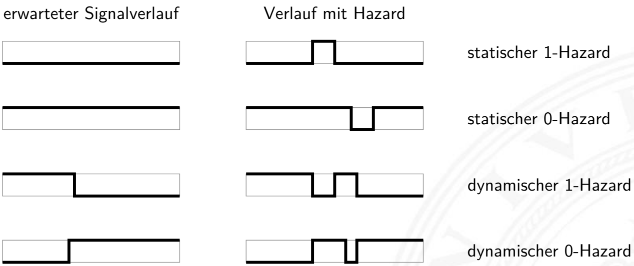
nach der Erscheinungsform am Ausgang

- **statisch**: der Ausgangswert soll stabil sein, es tritt aber ein Wechsel auf
- **dynamisch**: der Ausgangswert soll (einmal) wechseln, es tritt aber ein mehrfacher Wechsel auf

nach den Eingangsbedingungen, unter denen der Hazard auftritt

- **Strukturhazard**: bedingt durch die Struktur der Schaltung, auch bei Umschalten eines einzigen Eingangswertes
- **Funktionshazard**: bedingt durch die Funktion der Schaltung

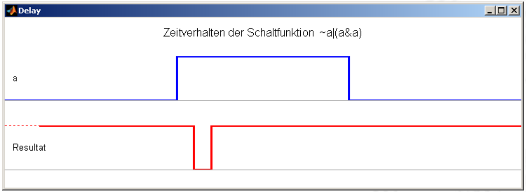
Hazards: statisch vs. dynamisch



- 1-Hazard wenn fehlerhaft der Wert 1 auftritt, und umgekehrt
- es können natürlich auch mehrfache Hazards auftreten
- Hinweis: Begriffsbildung in der Literatur nicht einheitlich

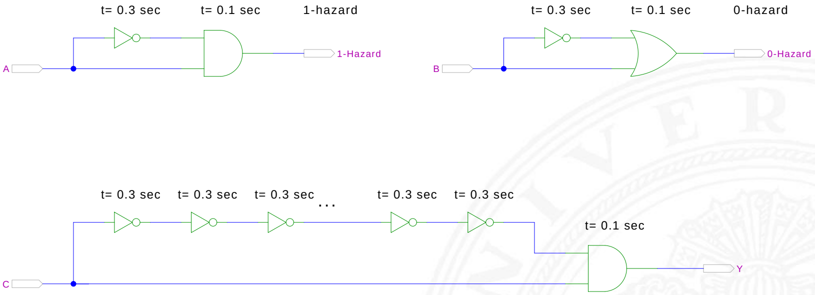
Hazards: Strukturhazard

- **Strukturhazard** wird durch die gewählte Struktur der Schaltung verursacht
- auch, wenn sich nur eine Variable ändert
- Beispiel: $f(a) = \neg a \vee (a \wedge a)$
  $\neg a$ schaltet schneller ab, als $(a \wedge a)$ einschaltet



- Hazard kann durch Modifikation der Schaltung beseitigt werden
  im Beispiel mit: $f(a) = 1$

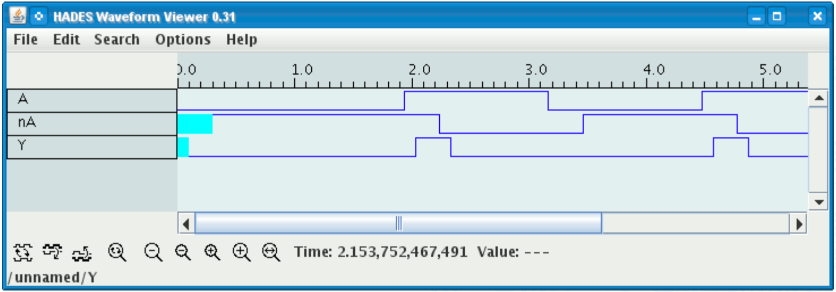
Strukturhazards: Beispiele



- logische Funktion ist $(a \wedge \overline{a}) = 0$ bzw. $(a \vee \overline{a}) = 1$
- aber ein Eingang jeweils durch Inverter verzögert

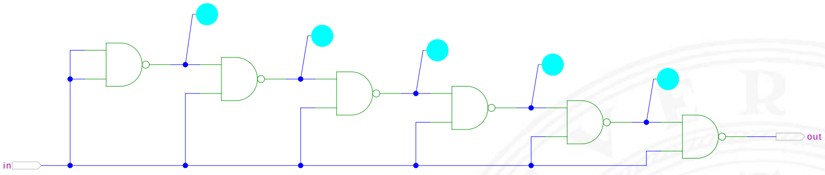
$\Rightarrow$ kurzer Impuls beim Umschalten von $0 \rightarrow 1$ bzw. $1 \rightarrow 0$

Strukturhazards: Beispiele (cont.)



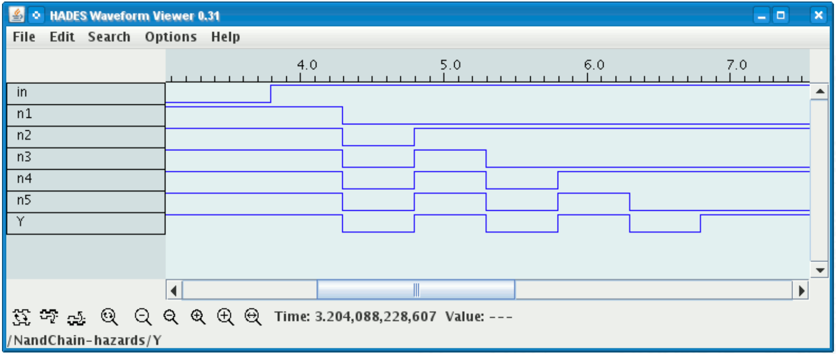
- Schaltung $(a \wedge \overline{a}) = 0$ erzeugt (statischen-1) Hazard
- Länge des Impulses abhängig von Verzögerung im Inverter
- Kette von Invertern erlaubt Einstellung der Pulslänge

Strukturhazards extrem: NAND-Kette



- alle NAND-Gatter an Eingang *in* angeschlossen
- $in = 0$ erzwingt $y_i = 1$
- Übergang *in* von 0 auf 1 startet Folge von Hazards...

Strukturhazards extrem: NAND-Kette (cont.)



- Schaltung erzeugt Folge von (dynamischen-0) Hazards
- Anzahl der Impulse abhängig von Anzahl der Gatter

Strukturhazards im KV-Diagramm

x2 \ x1 x0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

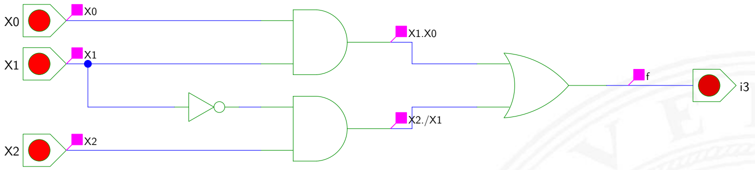
x2 \ x1 x0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

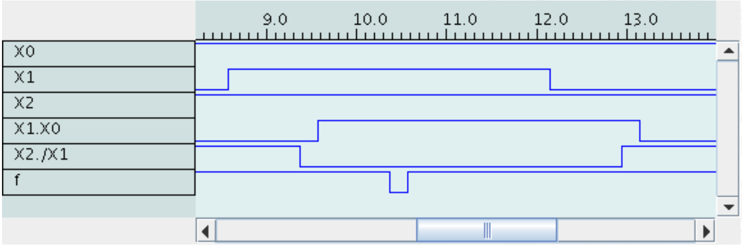
- Funktion $f = (x_2\overline{x_1}) \vee (x_1 x_0)$
- realisiert in disjunktiver Form mit 2 Schleifen

Strukturhazard beim Übergang von $(x_2\overline{x_1}x_0)$ nach $(x_2 x_1 x_0)$

- Gatter $(x_2\overline{x_1})$ schaltet ab, Gatter $(x_1 x_0)$ schaltet ein
- Ausgang evtl. kurz 0, abhängig von Verzögerungen

Strukturhazards im KV-Diagramm (cont.)





Strukturhazards beseitigen

x2 \ x1 x0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

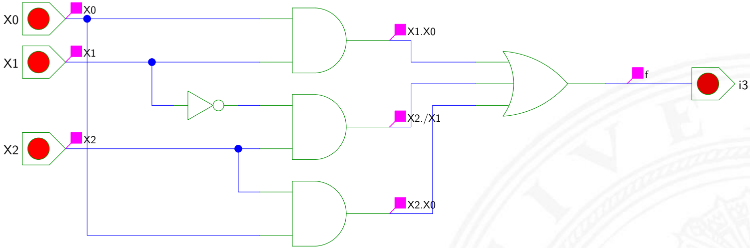
x2 \ x1 x0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	1	1	0

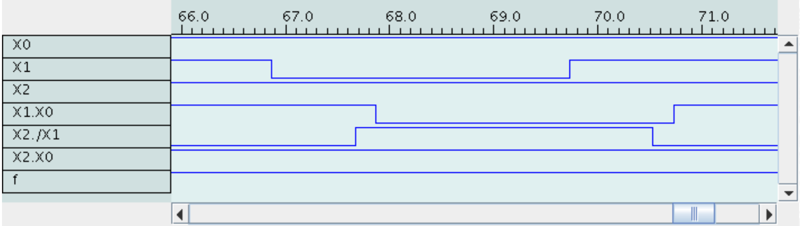
- Funktion $f = (x_2\overline{x_1}) \vee (x_1 x_0)$
- realisiert in disjunktiver Form mit **3 Schleifen**

  $f = (x_2\overline{x_1}) \vee (x_1 x_0) \vee (x_2 x_0)$

+ Strukturhazard durch zusätzliche Schleife beseitigt
– aber höhere Hardwarekosten als bei minimierter Realisierung

Strukturhazards beseitigen (cont.)





Hazards: Funktionshazard

- **Funktionshazard** kann bei gleichzeitigem Wechsel mehrerer Eingangswerte als Eigenschaft der Schaltfunktion enststehen
- Problem: Gleichzeitigkeit an Eingängen

⇒ Funktionshazard kann nicht durch strukturelle Maßnahmen verhindert werden

- Beispiel: Übergang von $(x_2\overline{x_1}x_0)$ nach $(\overline{x_2}x_1x_0)$