

# Technische Informatik

## Zeitverhalten und Hazards

Thorsten Thormählen

24. November 2022

Teil 6, Kapitel 1

Dies ist die Druck-Ansicht.

**Aktiviere Präsentationsansicht**



## Steuerungstasten

- nächste Folie (auch **Enter** oder **Spacebar**).
- ← vorherige Folie
- d** schaltet das Zeichnen auf Folien ein/aus
- p** wechselt zwischen Druck- und Präsentationsansicht
- CTRL** **+** vergrößert die Folien
- CTRL** **-** verkleinert die Folien
- CTRL** **0** setzt die Größenänderung zurück



# Notation

Typ	Schriftart	Beispiele
Variablen (Skalare)	kursiv	$a, b, x, y$
Funktionen	aufrecht	$f, g(x), \max(x)$
Vektoren	fett, Elemente zeilenweise	$\mathbf{a}, \mathbf{b} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = (x, y)^\top,$ $\mathbf{B} = (x, y, z)^\top$
Matrizen	Schreibmaschine	$\mathbf{A}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$
Mengen	kalligrafisch	$\mathcal{A}, \mathcal{B} = \{a, b\}, b \in \mathcal{B}$
Zahlenbereiche, Koordinatenräume	doppelt gestrichen	$\mathbb{N}, \mathbb{Z}, \mathbb{R}^2, \mathbb{R}^3$



## Inhalt

Zeitverhalten von Schaltsystemen

Gatterverzögerungen

Ozillator-Schaltungen

Hazards und Glitches

Statische und dynamische Hazards

Konstruktion Hazard-freier Schaltungen



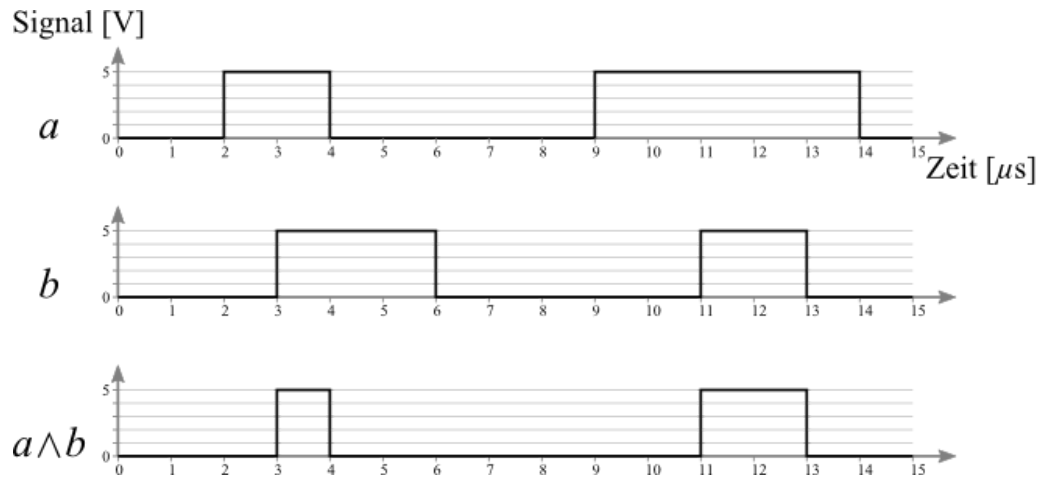


# Analyse des Zeitverhaltens von Schaltnetzen

Das Zeitverhalten von Schaltsystemen kann durch Signalverläufe analysiert werden

Darstellung der Signalwerte in einer Schaltung abhängig von der Zeit

Notwendig, um zeitliche Kausalitäten und Folgen von Ereignissen zu erkennen



Thorsten Thormählen 5 / 20



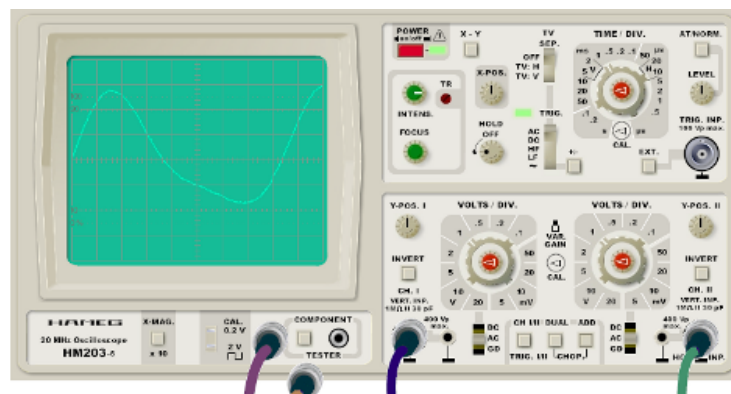
# Messen des Zeitverhaltens

Bei Schaltungen aus diskreten Bauelementen kann das Zeitverhalten z.B. mit einem Oszilloskop gemessen werden

Auf der Internetseite [www.virtuelles-oszilloskop.de](http://www.virtuelles-oszilloskop.de) kann ein analoges Oszilloskop ausprobiert werden

Digitale Oszilloskope können analoge Signalverläufe durch einen Analog-Digital-Wandler digital aufzeichnen und erlauben damit die genaue zeitliche Analyse eines Signals

Bei ICs (Integrated Circuits) können normalerweise nur die Signale gemessen werden, die nach außen auf die Pins geführt werden



[Bildquelle: [www.virtuelles-oszilloskop.de](http://www.virtuelles-oszilloskop.de)]

Thorsten Thormählen 6 / 20



## Simulation des Zeitverhaltens

Ein Schaltnetz kann mit einer Simulations-Software nachgebildet werden

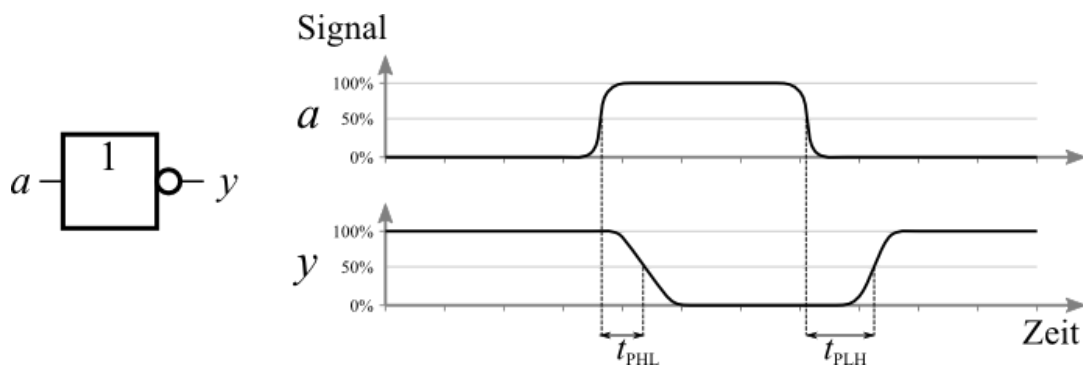
Eingabe: Schaltstruktur (d.h. die Gatter und deren Verbindungen) und Stimuli (d.h. die Eingangssignale für das Schaltnetz)

Ausgabe: Signalverläufe

Die Simulation basiert auf mathematischen Modellen der Bauteile



# Gatterverzögerung



Eine Änderung am Gatter-Eingang bewirkt erst nach einer gewissen Verzögerung eine Änderung am Ausgang

Diese Zeit wird als Gatterverzögerung (engl. propagation delay time) bezeichnet

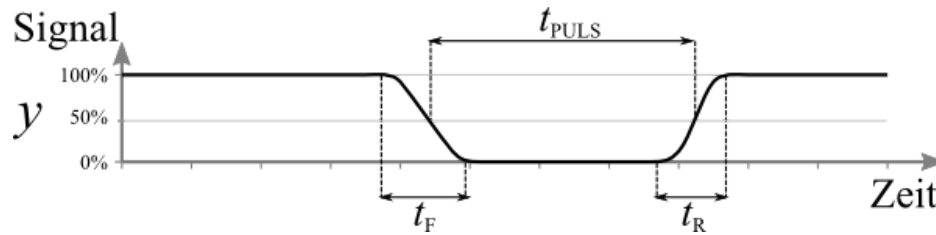
Die Gatterverzögerung bei einer fallenden Flanke  $t_{PHL}$  kann eine andere sein als bei einer steigenden Flanke  $t_{PLH}$

Typische Gatterverzögerungen haben eine Größenordnung von ca. 100 Piko- bis 100 Nanosekunden (je nach Logikfamilie)





# Anstiegs-, Abfallzeit, Pulsbreite



Bei Logiksignalen handelt es sich in der Praxis nicht um perfekte Rechtecksignale

Ein Gatter kann die Signalflanken verändern (typischerweise werden die Flanken mit jedem Gatterdurchgang "weicher")

Abfallzeit  $t_F$  (engl. fall time): Zeit, die ein Ausgang benötigt, um von HIGH nach LOW umzuschalten

Anstiegszeit  $t_R$  (engl. rise time): Zeit, die ein Ausgang benötigt, um von LOW nach HIGH umzuschalten

Pulsbreite  $t_{PULS}$  (engl. puls width): Zeit, die ein Ausgang auf LOW bzw. HIGH verbleibt



# Amilosim (A Minimalistic Logic Simulator)

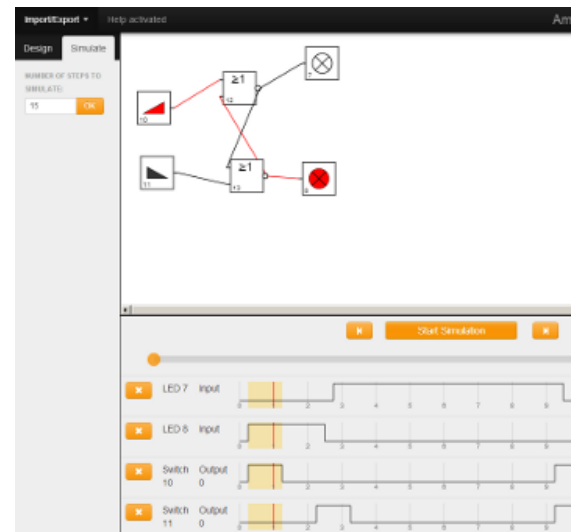
Zur Simulation und Veranschaulichung des Zeitverhaltens von Logikschaltungen wird in dieser Vorlesung [Amilosim](#) verwendet

Amilosim ist eine Webanwendung, die von Mareike Schilling im Rahmen Ihrer Bachelorarbeit (2013) entwickelt wurde

Die Zeitsimulation ist einheitenlos. Jedes Gatter hat immer exakt eine Zeiteinheit Gatterverzögerung.

Dies ist ein sehr grobes und minimalistisches Modell der Realität, ist jedoch ausreichend, um viele Effekte abzubilden

Zur komfortablen Navigation in den Signalverläufen, ermittelt die Software automatisch die maximale Gesamtlauzeit bis sich ein Signal vollständig in einem Schaltnetz (ohne Rückkopplungen) ausgebreitet hat und stellt dies als einen Simulationsschritt im Zeitdiagramm dar



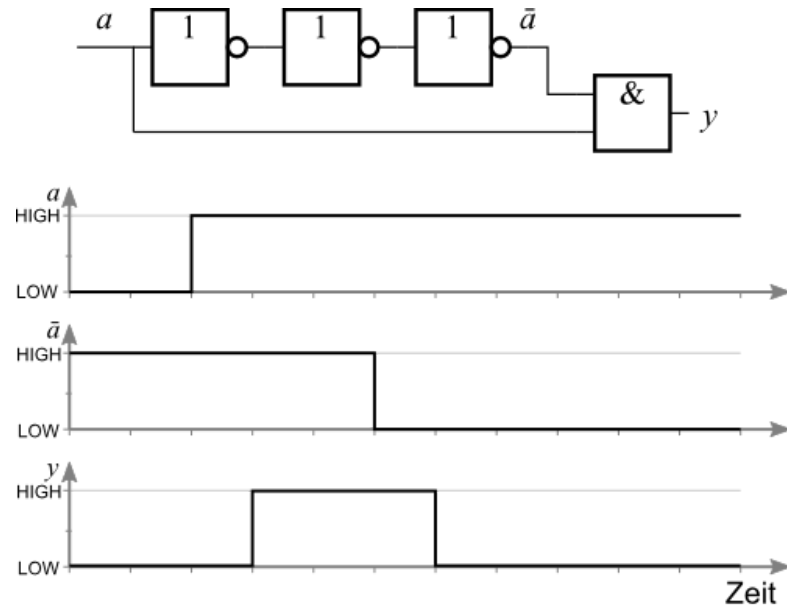
Amilosim



## Kurzzeitige Änderungen am Ausgang

Wenn folgendes Schaltsystem betrachtet wird, müsste der Ausgang des UND-Gatters gemäß boolescher Algebra eigentlich immer Null sein, da  $a \wedge \bar{a} = 0$

Durch die Laufzeitverzögerung an den Invertern entsteht jedoch ein kurzer Puls am Ausgang ([Öffnen in Amilosim](#) )

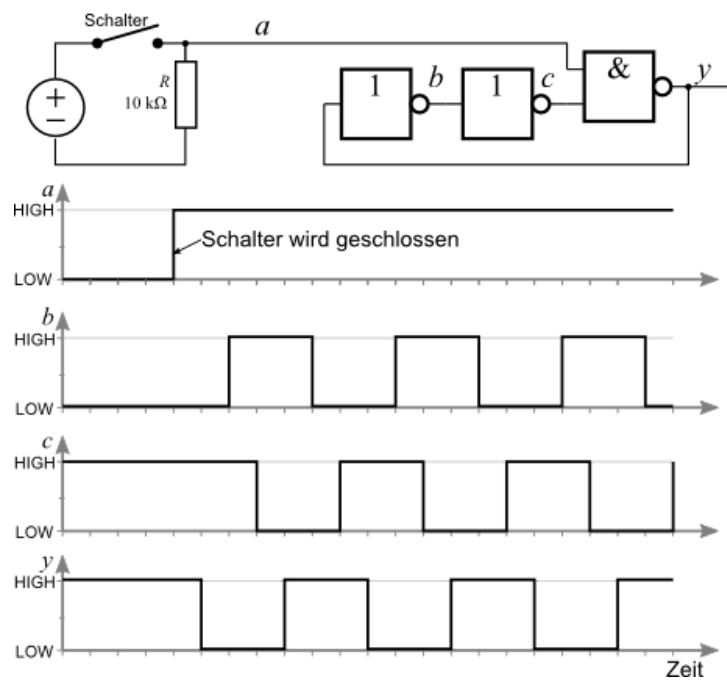


Thorsten Thormählen 11 / 20



# Oszillatoren

Eine Oszillatorschaltung ist eine elektronische Schaltung zur Erzeugung einer periodischen Wechselspannung ([Öffnen in Amilosim](#) )



Thorsten Thormählen 12 / 20





## Hazards und Glitches

Laufzeitverzögerungen können zu gravierenden Problemen in Logikschaltungen führen

Ein *Glitch* ist eine nicht beabsichtigte Signaländerung am Ausgang eines Logikgatters

Ein Glitch kann auftreten, wenn verschiedene Pfade durch ein Schaltsystem unterschiedliche Laufzeiten haben

Ein *Hazard* ist eine Konfiguration, bei der ein Glitch auftreten kann (aber nicht muss)

Glitches (bzw. Hazards) sind kritisch, wenn die Störimpulse ungewollte Auswirkungen in der nachfolgenden Logik erzeugen (bzw. erzeugen können)



# Klassifikation von Hazards

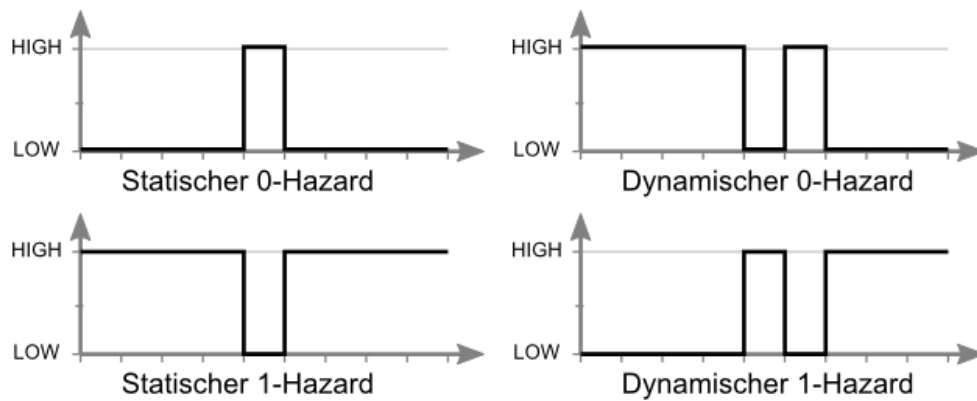
## Statischer Hazard

Bei einem statischen Hazard kann ein Wechsel am Eingang einen einmaligen temporären Wechsel des Ausgangs zur Folge haben

## Dynamischer Hazard

Bei einem dynamischen Hazard kann ein Wechsel am Eingang einen mehrfachen Wechsel des Ausgangs zur Folge haben bis sich der Ausgang stabilisiert

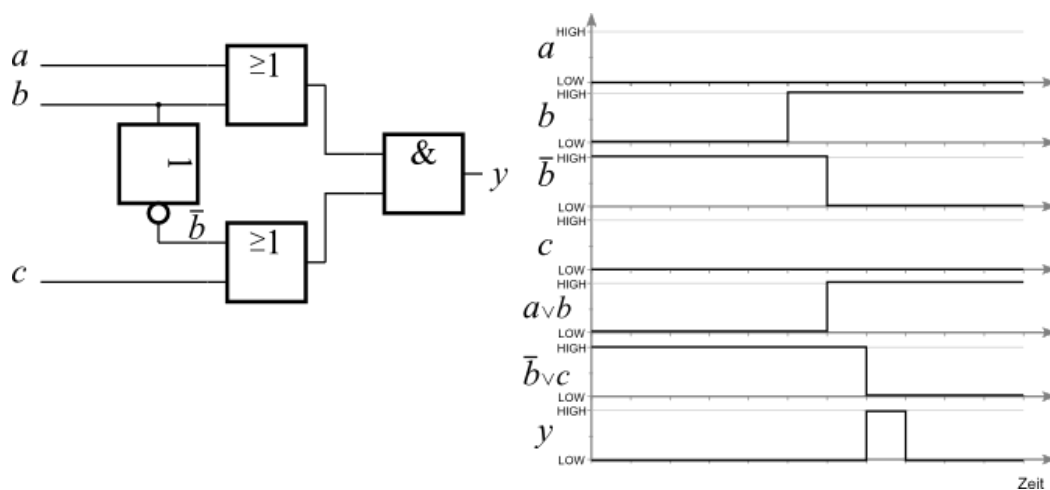
Es wird ebenfalls zwischen 0-Hazards und 1-Hazards unterschieden. Bei 0-Hazards sollte das Signal eigentlich 0 sein, bei 1-Hazards eigentlich 1.



Thorsten Thormählen 14 / 20



## Beispiel für einen statischen Hazard



Laut boolescher Algebra müsste eigentlich gelten:

$$y = (a \vee b) \wedge (\neg b \vee c) = a\neg b \vee ac \vee b\neg b \vee bc = a\neg b \vee ac \vee bc$$

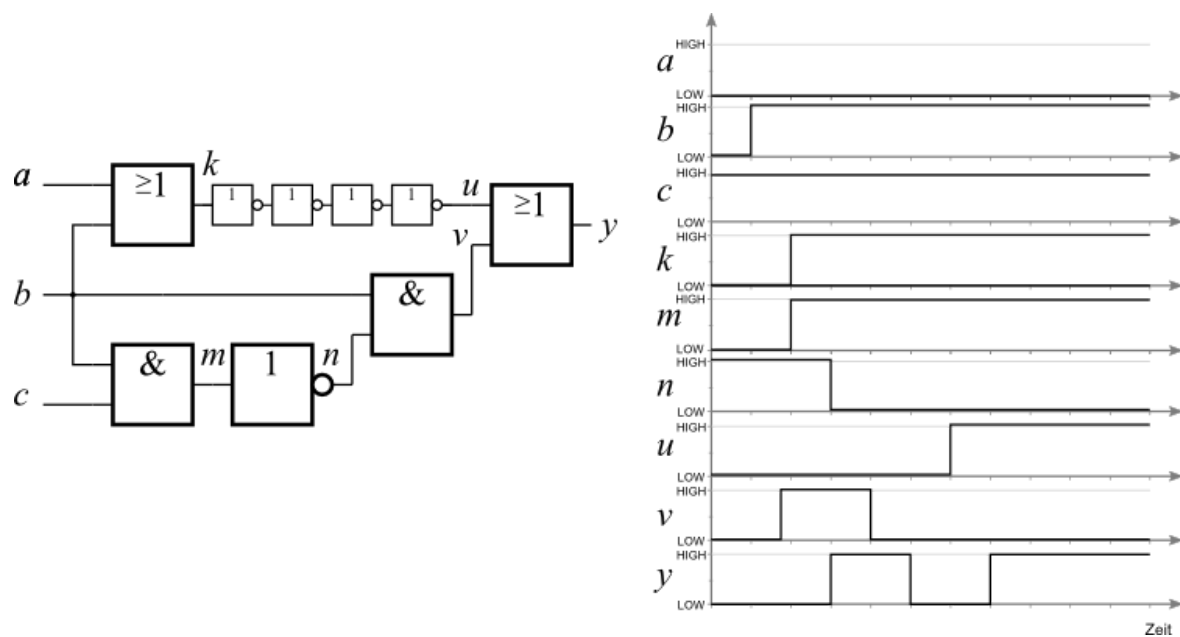
mit  $a = 0$  und  $c = 0$  folgt:

$$y = a\neg b \vee ac \vee bc = 0$$

Es handelt sich also um einen statischen 0-Hazard ([Öffnen in Amilosim](#) )



## Beispiel für einen dynamischen Hazard



Es handelt sich um einen dynamischen 1-Hazard ([Öffnen in Amilosim](#) )

Dieser entsteht hier durch einen statischen 0-Hazard der Variablen  $v$





# Konstruktion Hazard-freier Schaltungen

## Synchrones Design

Eine Möglichkeit, die Ausbreitung von Glitches zu vermeiden, ist zu warten bis alle Signale stabil sind

Dies kann durch ein Clock-Signal erreicht werden, dass anzeigt, wann ein Wert übernommen werden soll

Dies führt zu einem synchronen Schaltungsdesign

## Zusätzliche Gatter

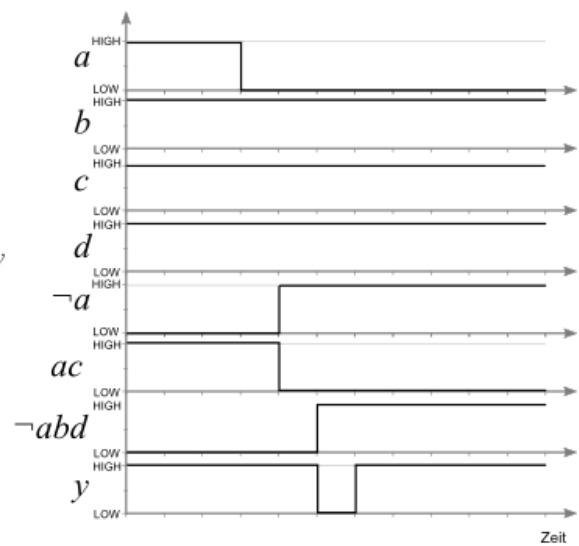
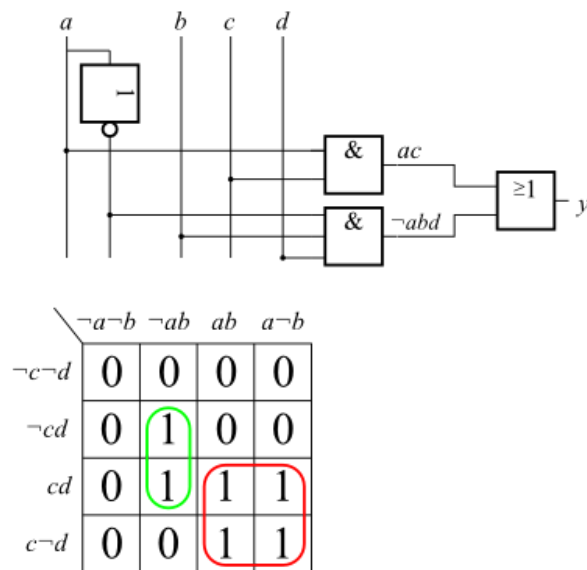
Durch zusätzliche Gatter kann eine Hazard-freie Schaltung realisiert werden

Ein KV-Diagramm kann helfen, Hazards zu entdecken



# Konstruktion Hazard-freier Schaltungen

$$y = ac \vee \neg abd$$



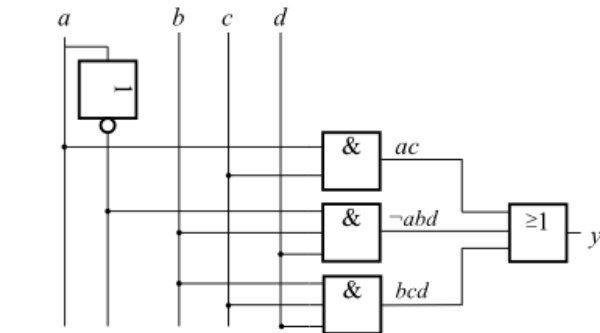
Beobachtung: Hazards entstehen, wenn zwei Primterm-Blöcke überlappungsfrei aneinander grenzen



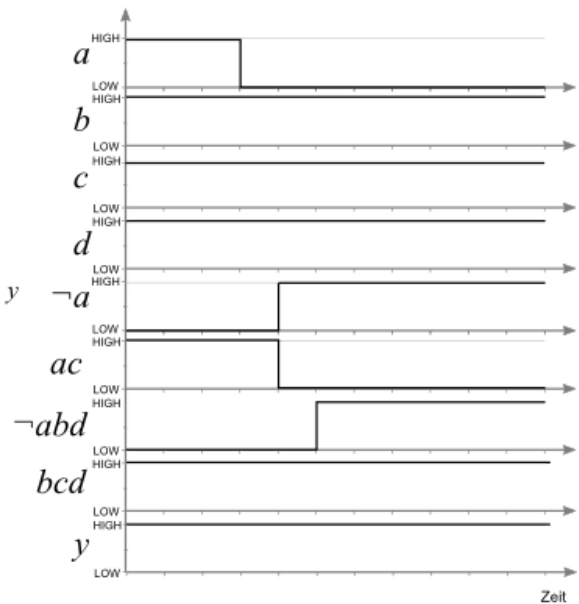
# Konstruktion Hazard-freier Schaltungen

Lösung: Mit zusätzlichen Gattern wird ein weiterer Primterm-Block erzeugt, der die Überlappung der 1-Menge garantiert

$$y = ac \vee \neg abd \vee bcd$$



	$\neg a \neg b$	$\neg ab$	$ab$	$a \neg b$
$\neg c \neg d$	0	0	0	0
$\neg cd$	0	1	0	0
$cd$	0	1	1	1
$c \neg d$	0	0	1	1



Thorsten Thormählen 19/20



## Gibt es Fragen?



Anregungen oder Verbesserungsvorschläge können auch gerne per E-mail an mich gesendet werden: [Kontakt](#)

[Weitere Vorlesungsfolien](#)

[\[Impressum\]](#) [\[Datenschutz\]](#)

Thorsten Thormählen 20 / 20

