



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Fakultät Informatik, Institut für Technische Informatik, Professur für VLSI-Entwurfssysteme, Diagnostik und Architektur

Einfache Logiksimulatoren für die Grundlagenausbildung

Benjamin Süß

Dresden, 07.07.2010

Motivation

"The objective is that students know the basics of how gates combine to compute complex functions." [Carl Burch, St John's University, Colledgeville]

- Logiksimulatoren bieten die Möglichkeit der Vorbereitung von Laborversuchen bzw. der Vertiefung des vermittelten Lehrstoffs
- Einschränkende Nutzungsbedingungen der Labore entfallen (Nutzungszeiten, Kapazitäten, ...)
- PC-basierter Schaltungsentwurf bietet erhöhte Übersichtlichkeit

Die Schwerpunkte der Grundlagenausbildung rechtfertigen nicht den Umfang und Anschaffung kommerzieller Software.

Begriffsklärung

Simulation

- Simulation: Reduzierung eines realen Systems auf ein (vereinfachtes) Modell. Dieses Simulationsmodell setzt ausgewählte Verhaltensweisen des realen Systems um.
- Simulator: Implementierung eines Simulationsmodells, welche die Auswirkungen des Modells auf vom Nutzer angegebene Eingangswerte berechnet.
- Logiksimulation: Nutzung eines Computerprogramms zur Simulation des Verhaltens einer kombinatorischen Schaltung oder eines Schaltwerks.
- Schaltungssimulationstechniken:
 - Zyklisch
 - Berechnung der Werte am Ende eines Taktzyklus
 - Keine Berücksichtigung von Verzögerungen
 - Ereignisorientiert
 - Bei allen Elementen wird für jedes Signal die Auswirkung berechnet

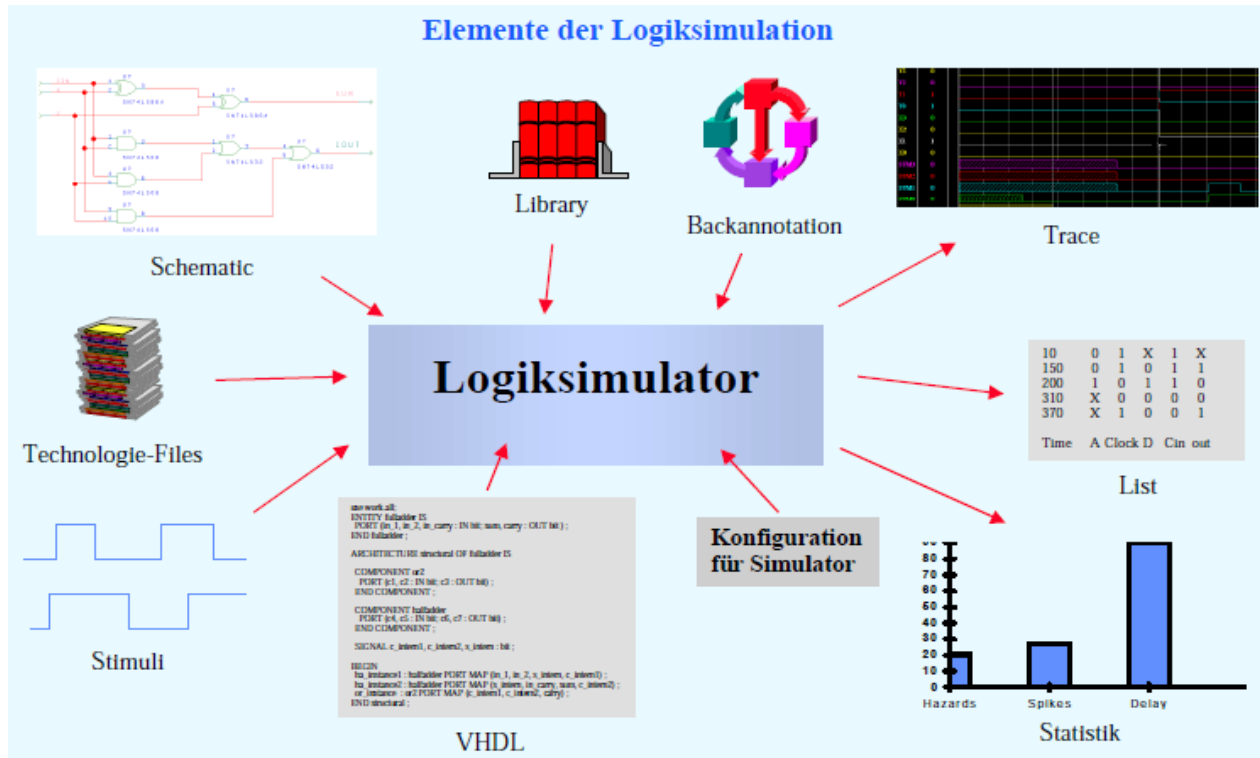
Begriffsklärung

Grundlagenausbildung

Grundlagenausbildung beinhaltet eine Einführung in:

- BOOLEsche Algebra, Vereinfachung von Schaltfunktionen
- Funktionsweise binärer Verknüpfungsglieder und deren Kombination zu komplexeren Schaltungen (hierarchische Strukturierung)
- Funktionsweise und Aufbau von Standard-Komponenten, z.B. Multiplexer
- Schaltungssynthese
- Schaltungsanalyse

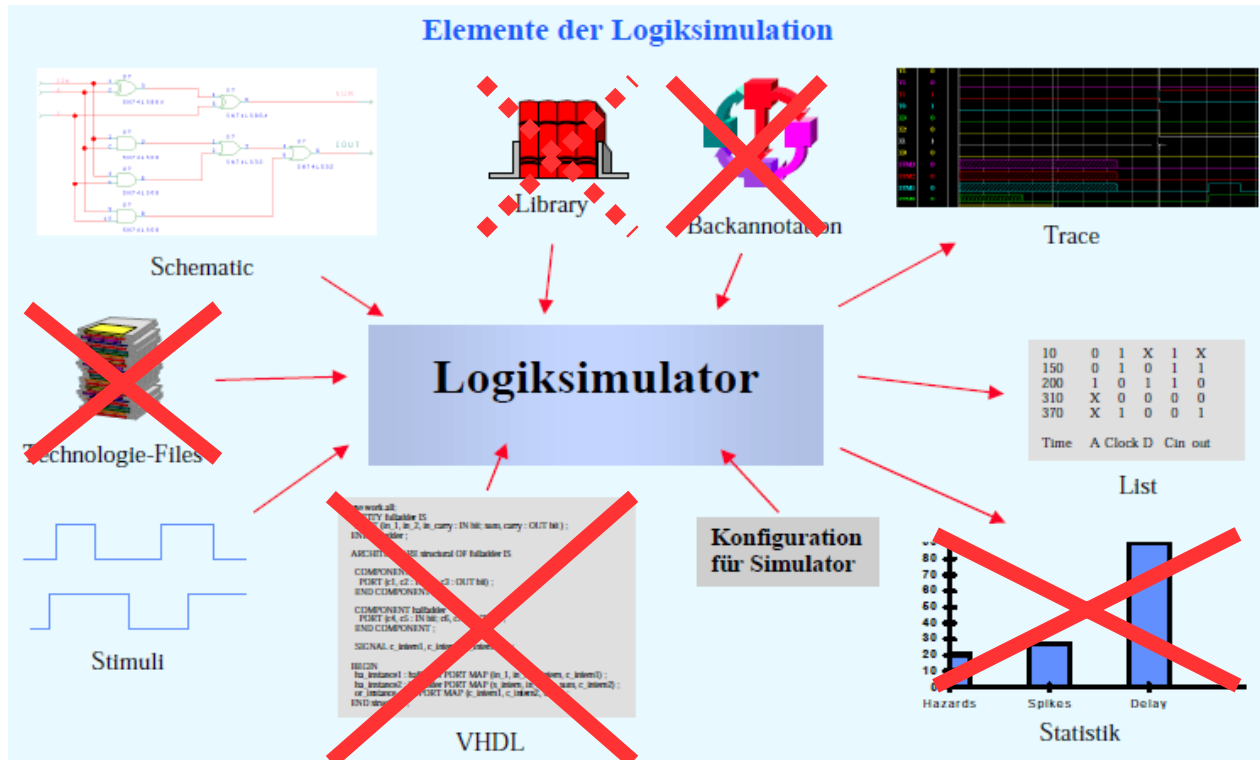
Begriffsklärung Logiksimulatoren



[Vorlesungsscript 'Logiksimulation' – Dr. Reinhold Vahrmann]

Begriffsklärung

Einfache Logiksimulatoren



[Vorlesungsscript 'Logiksimulation' – Dr. Reinhold Vahrmann]

Begriffsklärung

Einfache Logiksimulatoren

Außerdem nicht zu berücksichtigen:

- Hazards
- Spikes
- Spannungsschwankungen
- Automatisierte Eingabe von Stimuli
- Funktionalitäten zur Verwaltung umfangreicher Projekte

Begriffsklärung

Einfache Logiksimulatoren

Mindestanforderungen

- Schematische Entwurfseingabe
- Interaktive Eingabe von Stimuli
- Simulation des Schaltungsverhaltens (High-/Low-Pegel)
- Komponenten: Logikgatter, Input (Pins, Schalter), Output(LED)

Optionale Features im Hinblick auf die Eignung für die Grundlagenausbildung

- Unterstützung der gängigen OS
- Einfache (intuitive) Bedienbarkeit (= geringe Einarbeitungszeit)
- Weitere Komponenten: (De)-Multiplexer, RAM, ...
- Berücksichtigung von 'Zeitlichem Verhalten' (Signalanstiegszeiten, Schwingung)
- Tools zur Unterstützung der Schaltkreissynthese/-analyse

Überblick

Einfache Logiksimulatoren

- Vielzahl von einfachen Logiksimulatoren verfügbar, z.B.:

Software	Entwickler	OS	Lizenz
Simulo	Benjamin Gentner	Win	Ms-PL
LogicCircuit	http:// www.logiccircuit.org	Win (.NET)	GPL
Logisim	St. John's University, Colleagueville, USA	OS-unabhängig (Java)	GPL
TkGate	Carnegie Mellon University, Pittsburgh	Unix/ Win/ MacOS	GPL
HADES	Uni Hamburg	OS-unabhängig (Java)	Frei für persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch
Atanua	Jari Komppa	Unix/ Win/ MacOS	Frei für persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch

- Alle erfüllen die Mindestvoraussetzungen und verfügen über eine graphische Benutzeroberfläche
- Darüber hinaus bestehende Unterschiede werden an den Programmen Logisim, Simulo und LogicCircuit exemplarisch aufgezeigt

Überblick

Simulo

- Keine Beispiele zur Nutzung im universitären Bereich bekannt
- Entwicklung: aktuelle Version 2.5 (Juni 2010), Updates aller 6-12 Monate
- Entwickler: Benjamin Gentner
- Lizenz: Microsoft Public License (Ms-PL)
- OS: Windows XP oder höher
- Downloads: >2.400 seit Februar 2004

„Simulo is a program which simulates the operation of a digital circuit. It's easy to use and it's designed for students and hobbieists.“ [<http://simulo.codeplex.com/>]

Überblick

LogicCircuit

- Nutzung an der Universität Kassel (Rechnerarchitektur)
- Entwicklung: aktuelle Version 1.9.9 (September 2009), bis dahin Updates aller 2 Monate
- Lizenz: GPL
- OS: Windows (.NET-basiert) – Portierung auf andere Plattformen nur eingeschränkt möglich
- Downloads: >12.000 seit September 2009

„LogicCircuit – is educational software for designing and simulating digital circuits.“

[<http://logiccircuit.org>]

Überblick

Logisim

- Nutzung von Studierenden an Hochschulen und Universitäten von einer kurzen Einführung in die Logik bis hin zu Rechnerarchitektur-Vorlesungen, z.B. University of Sao Paulo (Brasilien), University of Joensuu (Finnland), Indian Institute of Technology Delhi (Indien)
- Entwicklung: aktuelle Version 2.3.5 (Mai 2010), Updates ca. aller 2 Monate
- Entwickler: Carl Burch, St. John's University, Colleagueville
- Lizenz: GPL, OS: „plattformunabhängig“ (Java)
- Downloads: >140.000 seit Oktober 2005

„Logisim is an educational tool for designing and simulating digital circuits. Logisim can be used (and is used) to design and simulate entire CPUs for educational purposes.“ [<http://ozark.hendrix.edu/~burch/logisim/index.html>]

Bedienbarkeit

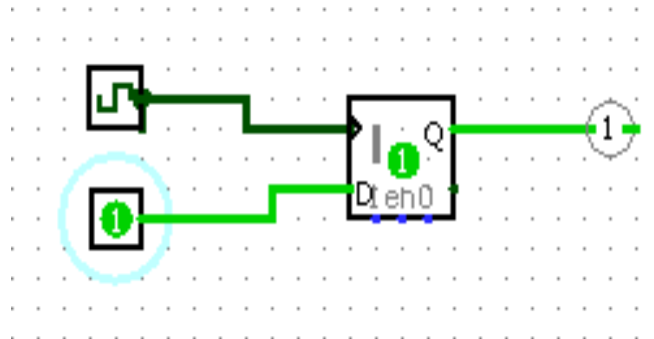
Feature	Simulo	LogicCircuit	Logisim
Frei legbare Leitungswege	X	√	√
Speichern von Schaltungen	√	√	√
Druckfunktion	√	X	√
Bildexport	PNG, BMP, JPEG	BMP, GIFF, JPEG, PNG, TIFF	PNG, GIF, JPEG Skalierung möglich
Templates	X	X	√
Hierarchischer Entwurf	X	√	√
Dokumentation, Tutorials	X	6-seitiges Tutorial (Englisch)	- 5-seitiges Tutorial - umfangreiche Erklärung aller Features & Komponenten (Englisch)

Weitere Komponenten

Komponente(n)	Simulo	LogicCircuit	Logisim
FlipFlops	RS, JK, D	X	RS, JK, D, T
RAM	X	Max. 2^{16} Adressen à 32bit	Max. 2^{24} Adressen à 32bit
Arithmetische Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> - Addierer - Schieberegister - Paritätsprüfer 	X	<ul style="list-style-type: none"> - Addierer - Subtrahierer - Multiplizierer - Dividierer - Negator (2er-Komplement) - Vergleicher - Schieberegister
(De)-Multiplexer	1 Select-Bit, 1bit-Datenleitung	X	4 Select-Bits, 32bit-Datenleitungen

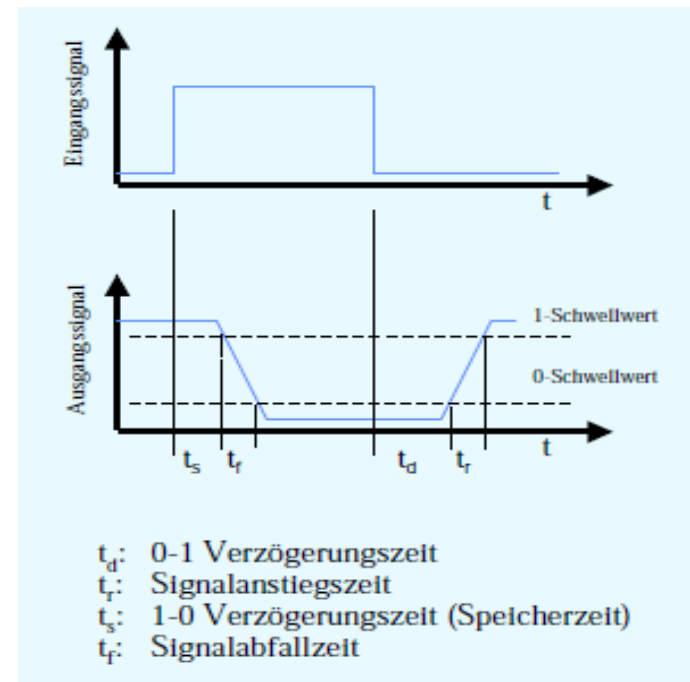
Zeitliches Verhalten Clock-Komponente

- Bedeutung für die Lehre: Synchronisation und Taktsteuerung
- Simulo: Tickzeit von 1...20Hz einstellbar
- LogicCircuit: Tickzeit nicht einstellbar ('willkürlich')
- Logisim: Tickzeit von 0.25...4096Hz einstellbar, Dauer d. H/L-Pegels in Ticks angebbbar



Zeitliches Verhalten Signalanstiegszeiten

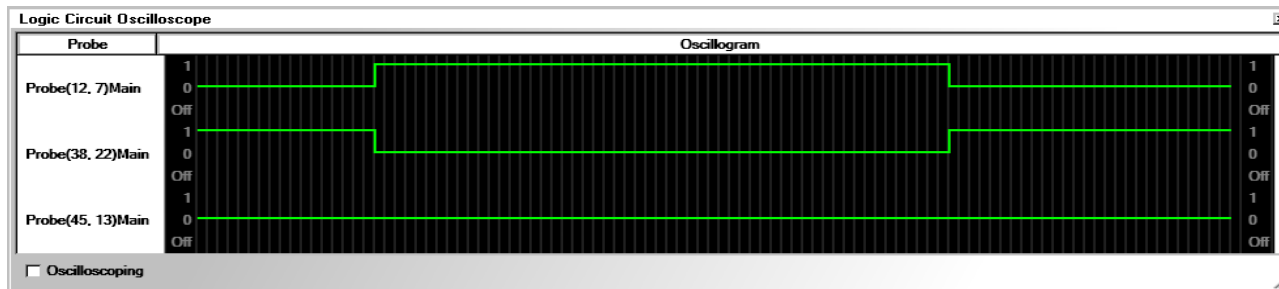
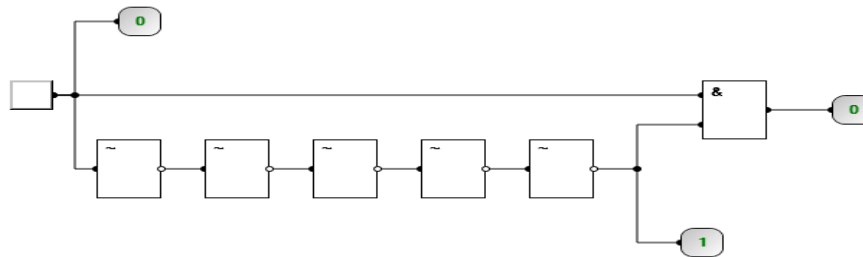
- Bedingt durch
 - Ladungsträgergeschwindigkeit in den Transistoren
 - Auf- und Entladeverhalten von Transistor- und Leitungskapazitäten
 - Temperatur
- Bedeutung für die Lehre:
 - Taktflankensteuerung



[Vorlesungsscript "Logiksimulation" - Dr.-Ing. Reinhold Vahrman]

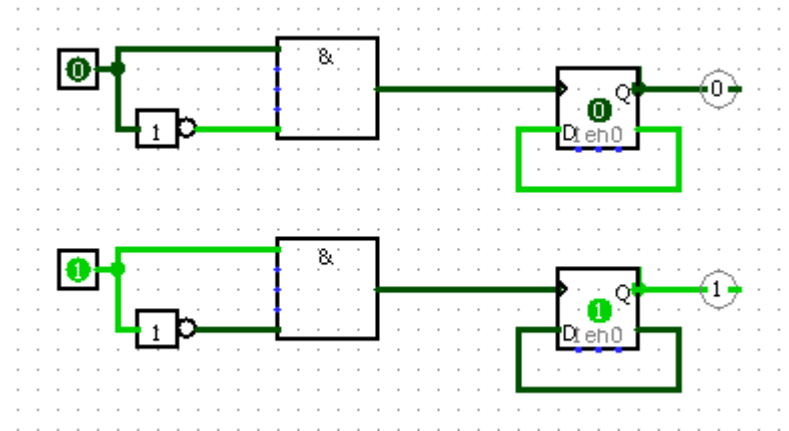
Zeitliches Verhalten Signalanstiegszeiten

- Signalanstiegszeiten werden weder von Simulo noch von LogicCircuit berücksichtigt



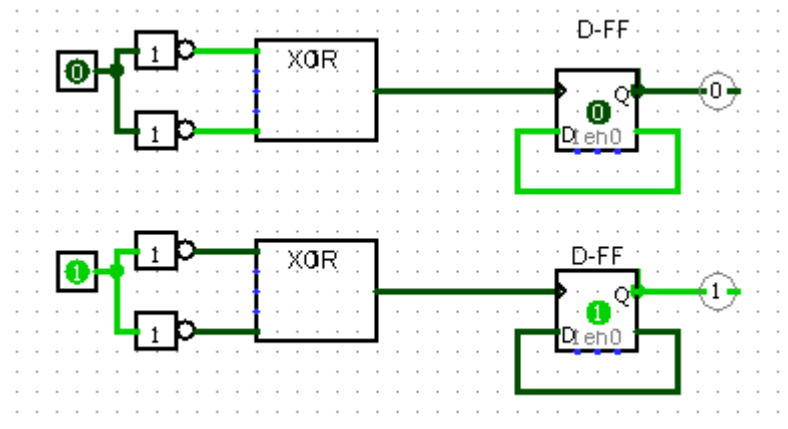
Zeitliches Verhalten Signalanstiegszeiten

- Übertragungsalgorithmus von Logisim ordnet dem Ausgangssignal jeder Komponente eine (willkürliche) zeitliche Verzögerung zu (gilt nicht für Verdrahtungen)
- Anhaltspunkt: je komplexer die Komponente, umso größer die Verzögerung



Zeitliches Verhalten Signalanstiegszeiten

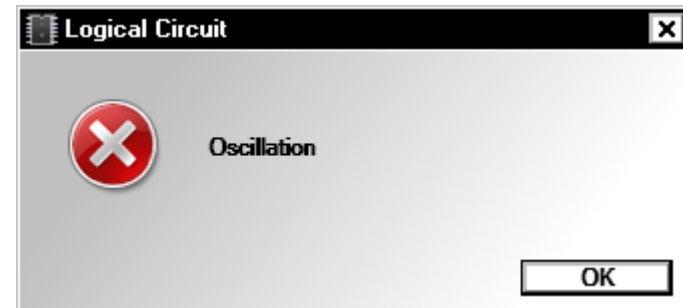
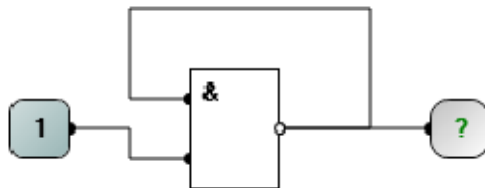
- Anstiegszeit kann zusätzlich mit Rauschen belegt werden



„Note that I'm stopping short of saying that Logisim addresses Gate Delays well. But at least it tries.“ [Carl Burch]

Zeitliches Verhalten Schwingungen

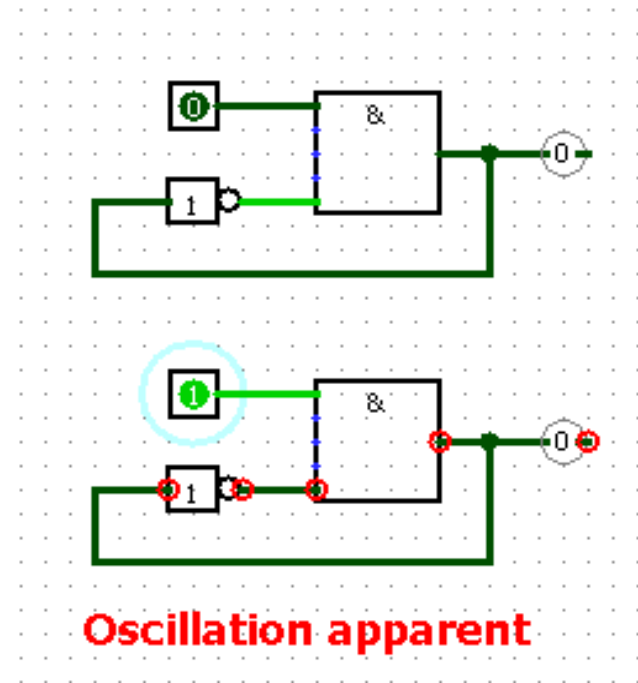
- Schwingungen werden von Logisim und LogicCircuit erkannt, von Simulo dagegen nicht
- LogicCircuit bricht Simulation bei Oszillation ab:



Zeitliches Verhalten

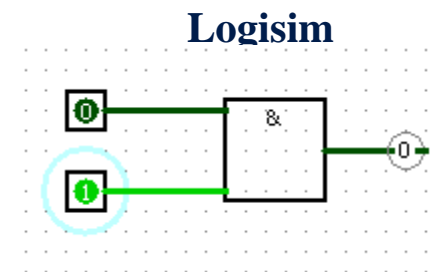
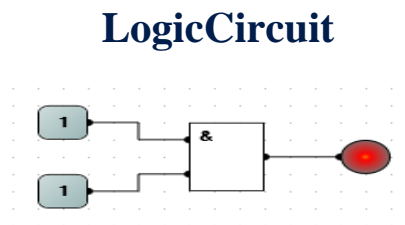
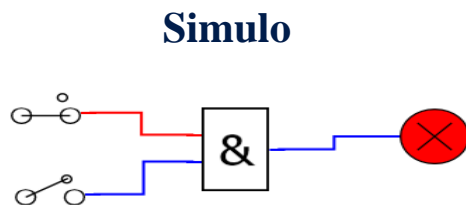
Schwingungen

- Logisim erkennt Oszillation während der Simulation, wenn die Simulation zu viele Iterationsschritte einnimmt (200...50.000)
- Komponenten, die an den letzten 25% d. Iterationsschritte beteiligt waren, werden als mögliche Ursachen markiert
- Falsche Wertebelegung im Moment des Abbruchs
- Bei komplexen Schaltungen besteht die Gefahr einer irrtümlichen Detektion von Schwingungen



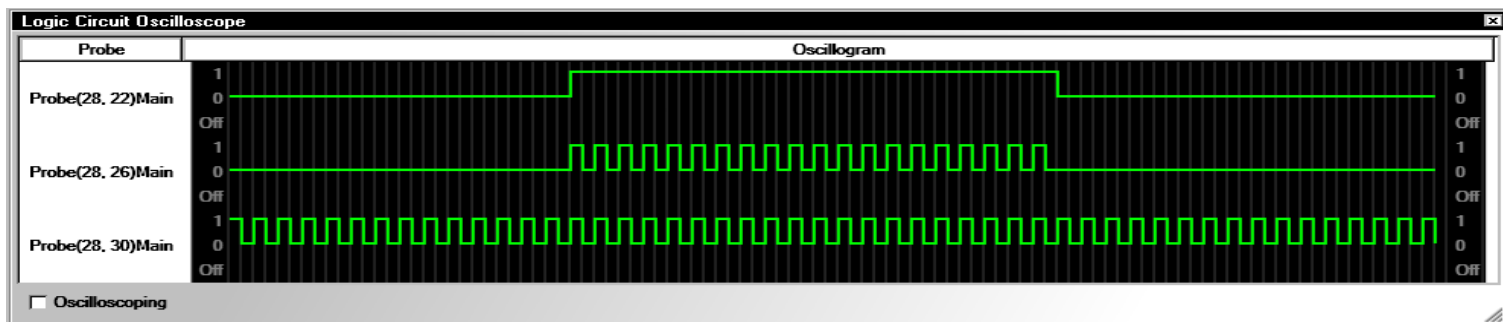
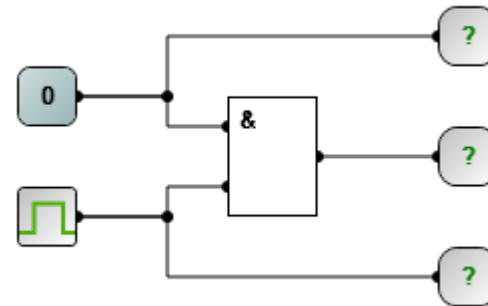
Synthese/Analyse Signalflussanzeige

- Simulo und LogicSim verfügen über eine Signalflussanzeige
- Alle 3 Programme enthalten Komponenten zur Visualisierung von Pegeln



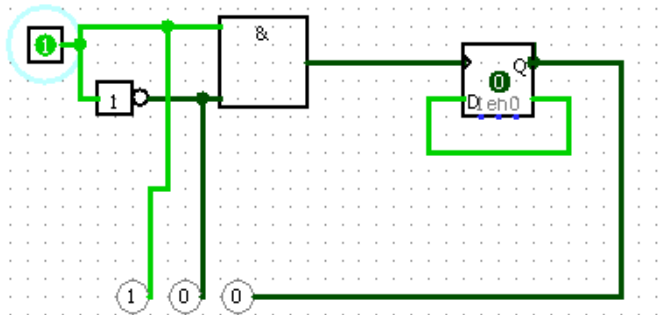
Synthese/Analyse Tracing

- Ausschließlich von LogicCircuit unterstützt
- Keine Möglichkeit des Speicherns der Mitschnitte



Synthese/Analyse Logging

- Logisim ermöglicht das Ablegen ausgewählter Eingangs- und Ausgangsbelegungen in einer Tabelle
- Optional Ausgabe des Tabelleninhalts als Logfile



Logisim: Log main of Logging

File Edit Project Simulate Window Help

Selection Table File

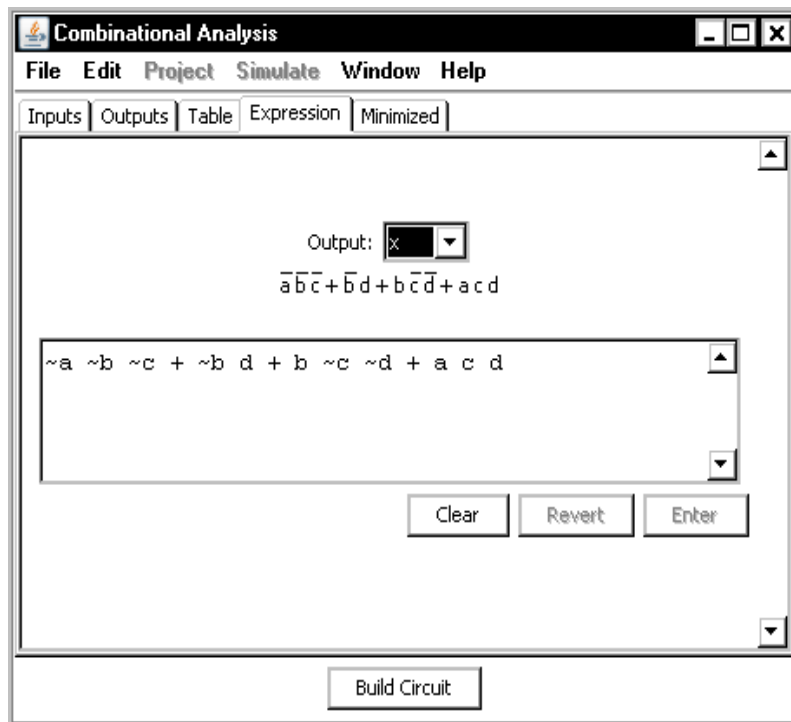
Input(60,100)	Probe(110,240)	Probe(140,240)	Probe(170,240)
0	0	1	0
1	1	0	1
0	0	1	1
1	1	0	0
0	0	1	0
1	1	0	1
0	0	1	1
1	1	0	0

Close Window

Synthese/Analyse 'Combinational Analysis'

- Logisim-Modul, weder Simulo noch LogicCircuit verfügen über vergleichbare Funktionalität
- Besondere Relevanz für die Lehre (Funktionsweise von Karnaugh-Tafeln inc. der zulässigen Zusammenfassungen, Vereinfachung von Schaltfunktionen, Schaltungssynthese, ...)
- Kann nicht auf sequentielle Schaltungen angewendet werden
- 3 Möglichkeiten zur Beschreibung kombinatorischer Schaltungen:
 - Schaltbild
 - Schaltfunktion
 - Wahrheitstabelle
- Ermöglicht Konvertierung zw. diesen 3 Beschreibungsmöglichkeiten
- Synthese unter ausschließlicher Verwendung von NAND-Gattern möglich

Synthese/Analyse 'Combinational Analysis'



Combinational Analysis

File Edit Project Simulate Window Help

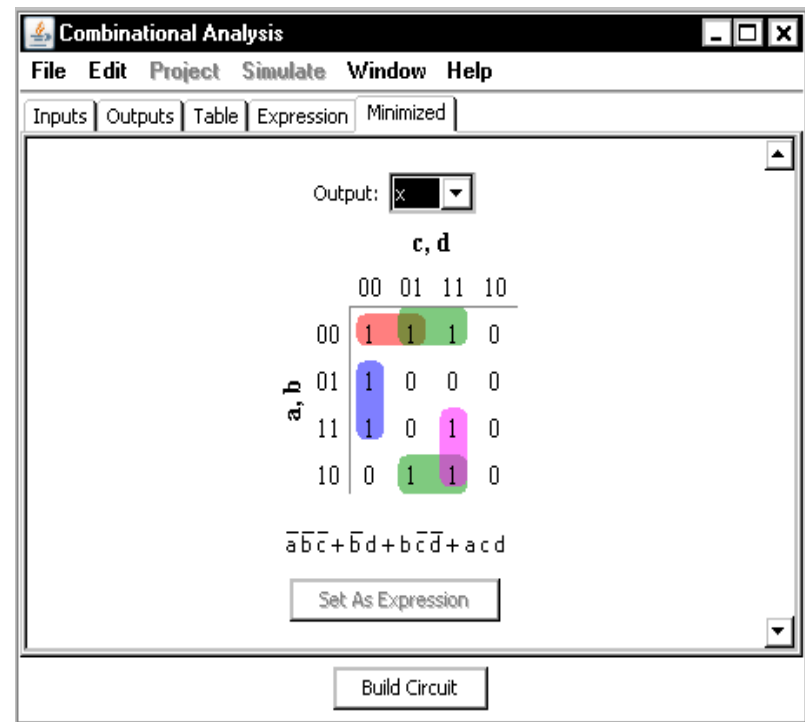
Inputs Outputs Table Expression Minimized

Output:

$\bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{b}d + b\bar{c}\bar{d} + acd$

Clear Revert Enter

Build Circuit



Combinational Analysis

File Edit Project Simulate Window Help

Inputs Outputs Table Expression Minimized

Output:

c, d

	00	01	11	10
00	1	1	1	0
01	1	0	0	0
11	1	0	1	0
10	0	1	1	0

a, b

$\bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{b}d + b\bar{c}\bar{d} + acd$

Set As Expression

Build Circuit

Zusammenfassung & Bewertung

Gemeinsamkeiten

- Graphische Benutzeroberfläche, intuitive Bedienung
- Open Source, regelmäßige Updates unter Berücksichtigung von User-Wünschen
- Speichern v. Schaltungen & Bildexport
- Komponentensammlungen, die jedoch im Umfang variieren
- Zeitgeber zur Synchronisation & Taktsteuerung

Zusammenfassung & Bewertung

Alleinstellungsmerkmale:

- Simulo
 - nur bitweise Datenverarbeitung
 - kein Logging/Tracing
 - kein hierarchischer Entwurf
- LogicCircuit
 - keine Tickzeiten einstellbar
- Logisim
 - + **ansatzweise Beachtung von Signalanstiegszeiten**
 - + **Combinational Analysis**
 - + Templates

Quellen

- <http://ozark.hendrix.edu/~burch/logisim/docs/2.1.0/guide/analyze/index.ht>
- <http://www.logiccircuit.org/>
- <http://simulo.codeplex.com/>
- <http://www.mikrocontroller.net/articles/Schaltungssimulation>
- http://mitarbeiter.hs-heilbronn.de/~vahrman/vahrman_home/unten_d-Dateien/home_d-Dateien/Vorlesungsunterl/Logiksimulation_Vorlsng.pdf
[Vorlesungsscript "Logiksimulation" - Dr.-Ing. Reinhold Vahrman]
- http://www.rz.e-technik.fh-kiel.de/~dispert/digital/digital5/dig005_0.htm
[Laufzeiteffekte]



»Wissen schafft Brücken.«