

Themen

	Seite	
Lokale und globale IPv4-Adressen	108	1
Subnetze und Subnetzmasken	110	2
Lokale und globale IPv6-Adressen	114	3
Routing	117	4
Routing in FILIUS simulieren	122	5
Internet in FILIUS simulieren	124	6

weitere Themen siehe Seite 107

Themen

	Seite	
Aussagenlogik	126	7
Logische Gatter	128	8
Schaltnetze	130	9
Simulator IO	132	10
Universelle logische Gatter	135	11
Von der Wahrheitstafel zum Schaltnetz	139	12
Halbaddierer und Volladdierer	144	13
RS-Flipflop	148	14

Subnetze und Subnetzmasken

Damit ein Datenpaket in einem Netzwerk den richtigen Computer erreicht, müssten alle Router wissen, welche Computer sich in welchem Teil des Netzwerkes befinden. Alternativ könnten die Router alle Datenpakete auf gut Glück im Netzwerk herumschicken, damit sie irgendwann am Ziel ankommen, was eine hohe Netzlast erzeugen würde.

Deshalb werden Netzwerke in so genannte Subnetze unterteilt. Die einzelnen Computer werden nach organisatorischen oder räumlichen Gesichtspunkten den Subnetzen zugeordnet. Das können beispielsweise alle Computer auf einer Etage eines Firmengebäudes sein oder die Computer aller Mitarbeitenden einer Abteilung.

Die IP-Adressen werden so vergeben, dass anhand der Adresse die Zugehörigkeit eines Computers zu einem bestimmten Subnetz ermittelt werden kann. Die Router benötigen dadurch nur noch die Routing-Information zu den einzelnen Subnetzen und nicht zu allen Computern innerhalb dieser Subnetze. Erst der letzte Router stellt das Datenpaket an den Computer zu.

Innerhalb jedes Subnetzes haben alle Computer eine eindeutige Nummer, die am Ende der IP-Adresse steht. Am Anfang der IP-Adresse steht der so genannte Netzwerkteil, der für alle Computer eines Subnetzes identisch ist. Anhand des Netzwerkteils lassen sich alle Computer einem Subnetz zuordnen.

An welcher Stelle die Trennung zwischen Netzwerk- und Geräteteil der IP-Adresse erfolgt, legt die Subnetzmaske fest.

Subnetzmasken sind 32 Bit lang und wie eine IPv4-Adresse aufgebaut. Eine häufig genutzte Subnetzmaske lautet 255.255.255.0. Schreibt man die Subnetzmaske mit binären Zahlen, ist leicht zu erkennen, wo die IPv4-Adresse in Netzwerk- und Geräteteil getrennt wird:

255.	255.	255.	0
11111111	11111111	11111111	00000000
Netzwerkteil			Geräteteil

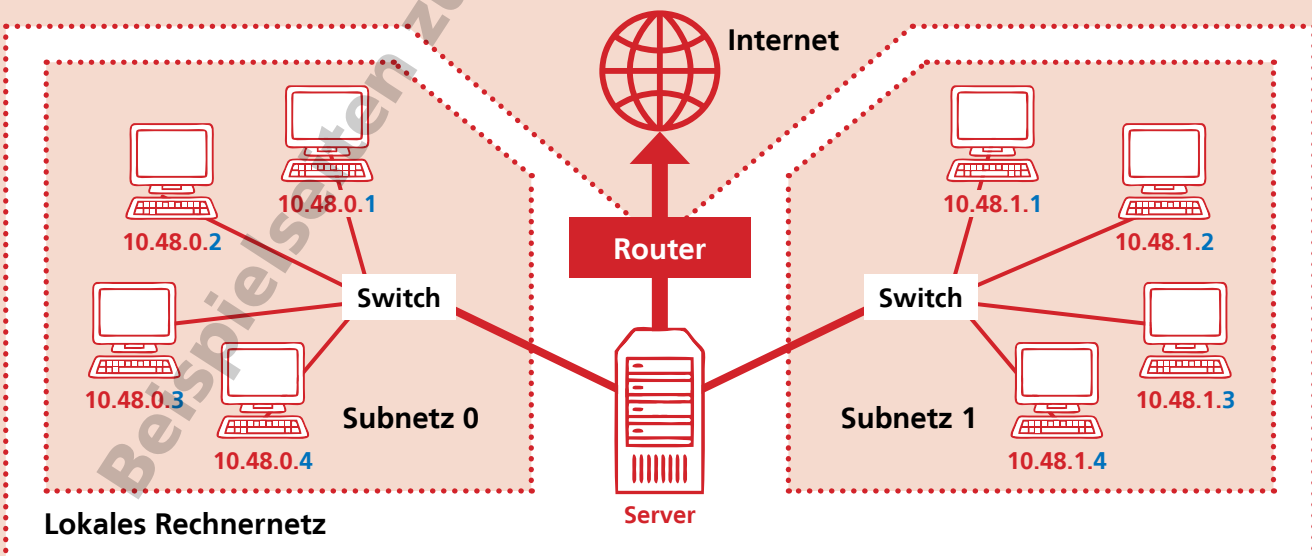
Anhand der Länge des Geräteteils lässt sich berechnen, wie viele IPv4-Adressen in einem Netzwerk zur Verfügung stehen.

$$\text{Anzahl IPv4-Adressen} = 2^{\text{Länge Geräteteil}}$$

Für unser Beispiel mit einem 8 Bit langen Geräteteil erhält man auf diese Weise 2^8 , also 256 IPv4-Adressen. Die IPv4-Adresse mit dem kleinsten Geräteteil (00000000) ist für die IPv4-Adresse des Netzwerkes reserviert. Die IPv4-Adresse mit dem größten Geräteteil (11111111) dient als so genannte Broadcast-Adresse. Mit ihr ist es möglich, Daten und Informationen an alle Geräte eines Netzwerkes zu versenden. In einem Netz mit unserer Beispiel-Subnetzmaske können folglich 254 Geräte verbunden werden.

Die Subnetzmaske erlaubt es, ein Netzwerk individuell zu konfigurieren. Ein Netzwerk mit der Subnetzmaske 255.255.240.0, also

11111111 11111111 11110000 00000000 kann beispielsweise $2^{12} - 2 = 4094$ Geräte aufnehmen. Mit der Subnetzmaske 255.255.255.192, also 11111111 11111111 11111111 11000000 sind es $2^6 - 2 = 62$ Geräte.



Subnetze und Subnetzmasken

Aufgabe 1

In einem Netzwerk tragen die Geräte diese IPv4-Nummern:

192.168.0.1 192.168.0.25
192.168.0.120 192.168.0.233

Nenne eine Subnetzmaske, die in dem Netzwerk verwendet werden könnte?

Da die ersten 24 Bit der vier IP-Adressen identisch sind, ist die Standard-Subnetzmaske 255.255.255.0 die naheliegendste Lösung. Aber auch Subnetzmasken mit einem größeren Geräteteil könnten verwendet werden.

Aufgabe 2

a) Notiere die folgenden vier Subnetzmasken in Binärschreibweise.

255.0.0.0, 255.255.0.0, 255.192.0.0, 255.255.255.128

Unterstreiche den Netzwerkteil der Subnetzmasken.

Netzmaske	Binärschreibweise
255.0.0.0	<u>11111111</u> 00000000 00000000 00000000
255.255.0.0	<u>11111111</u> <u>11111111</u> 00000000 00000000
255.192.0.0	<u>11111111</u> <u>11000000</u> 00000000 00000000
255.255.255.128	<u>11111111</u> <u>11111111</u> <u>11111111</u> <u>10000000</u>

b) Wie viele IPv4-Adressen sind in Netzwerken mit diesen Subnetzmasken verfügbar?

Netzmaske	Max. Anzahl Geräte pro Subnetz
255.0.0.0	$2^{24} - 2 = 16\,777\,216 - 2 = 16\,777\,214$
255.255.0.0	$2^{16} - 2 = 65\,536 - 2 = 65\,534$
255.192.0.0	$2^{22} - 2 = 4\,194\,304 - 2 = 4\,194\,302$
255.255.255.128	$2^7 - 2 = 128 - 2 = 126$

Aufgabe 3

Warum stehen in einem Netzwerk mit der Subnetzmaske 255.255.255.0 nur 254 Geräte zur Verfügung?

Die IPv4-Adresse mit dem kleinsten Geräteteil (alle Bits sind 0) ist für die IPv4-Adresse des Netzwerkes reserviert.

Die IPv4-Adresse mit dem größten Geräteteil (alle Bits sind 1) dient als so genannte Broadcast-Adresse. Mit ihr ist es möglich, Daten und Informationen an alle Geräte eines Netzwerkes zu versenden.

Subnetze und Subnetzmasken

Aufgabe 4

Ermittle die IPv4-Adresse deines Computers und die im Netzwerk verwendete Subnetzmaske.

Gib dazu im CMD-Fenster den Befehl `ipconfig` ein.

```
Eingabeaufforderung
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1110]
(c) Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
C:\Users\>ipconfig
```

```
Eingabeaufforderung
Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1110]
(c) Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.
C:\Users\>ipconfig

Windows-IP-Konfiguration

Ethernet-Adapter Ethernet:
    Medienstatus. . . . . : Medium getrennt
    Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:

Drahtlos-LAN-Adapter LAN-Verbindung* 1:
    Medienstatus. . . . . : Medium getrennt
    Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:

Drahtlos-LAN-Adapter LAN-Verbindung* 2:
    Medienstatus. . . . . : Medium getrennt
    Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:

Drahtlos-LAN-Adapter WLAN:
    Verbindungsspezifisches DNS-Suffix: Speedport_
    IPv6-Adresse. . . . . : 2003:::
    Temporäre IPv6-Adresse. . . . . : 2003:::
    Verbindungslokale IPv6-Adresse : fe80:::
    IPv4-Adresse . . . . . : 192.
    Subnetzmaske . . . . . : 255.255.255.0
    Standardgateway . . . . . : fe80::%3
    192.

Ethernet-Adapter Bluetooth-Netzwerkverbindung:
    Medienstatus. . . . . : Medium getrennt
    Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:

C:\Users\>
```

- ① Name des Routers
- ② globale IPv6-Adresse des Routers
- ③ temporär gültige IP-Adresse des Routers (diese IP-Adresse ist von außen sichtbar)
- ④ IPv6-Adresse des Rechners im lokalen Netzwerk
- ⑤ IPv4-Adresse des Rechners im lokalen Netzwerk
- ⑥ Zur IPv4-Adresse gehörende Subnetzmaske. Nur die Kombination aus IPv4-Adresse und Subnetzmaske ermöglicht die korrekte Adressierung von Paketen im lokalen Netz.
- ⑦ ⑧ interne IP-Adressen des Routers

Subnetze und Subnetzmasken

Aufgabe 5

In einem Rechnernetz mit der Subnetzmaske 255.255.255.0, das aus mehreren Subnetzen besteht, gibt es die folgenden IPv4-Adressen:

172.16.0.64 172.16.2.100 172.16.3.170
 172.16.2.199 172.16.0.15 172.16.2.254

- a) Zu wie vielen Subnetzen gehören die Adressen?
- b) Welche dieser IPv4-Adressen gehören zum gleichen Subnetz?
- c) Wie lautet der Netzwerkteil der IPv4-Adressen der Subnetze?

- a) Die Adressen gehören zu drei Subnetzen.
- b) 172.16.0.64 und 172.16.0.15
 172.16.2.100, 172.16.2.199 und 172.16.2.254
 172.16.3.170
- c) 172.16.0.
 172.16.2.
 172.16.3.

Aufgabe 6

In einem Netzwerk beginnen alle IPv4-Adressen mit 10.10.10. und es wird die Subnetzmaske 255.255.255.192 verwendet.

- a) Notiere die Subnetzmaske in Binärschreibweise und markiere den Netzwerkteil.
- b) Die letzten beiden Binärstellen des Netzwerkteils stehen für die Nummerierung der Subnetze zur Verfügung. Wie viele Subnetze sind auf diese Weise möglich?
- c) Wie viele IPv4-Adressen stehen in jedem Subnetz für Geräte zur Verfügung?
- d) Notiere die kleinste und die größte IPv4-Adresse aller Subnetze in Binär- und Dezimalschreibweise.

a) Subnetzmaske Binärschreibweise
 255.255.255.192 11111111 11111111 11111111 11000000

b) vier Subnetze sind möglich, da die beiden Bits jeweils die Werte 0 und 1 annehmen können: 00, 01, 10, 11

c) Netzmaske Max. Anzahl Geräte pro Subnetz
 255.255.255.192 $2^6 - 2 =$ $64 - 2 =$ 62

d) IPv4 Netzwerk 10.10.10. ...

IP Subnetz 1	von	<u>00001010 00001010 00001010 00000000</u>	10.10.10.0
	bis	<u>00001010 00001010 00001010 00111111</u>	10.10.10.63
IP Subnetz 2	von	<u>00001010 00001010 00001010 01000000</u>	10.10.10.64
	bis	<u>00001010 00001010 00001010 01111111</u>	10.10.10.127
IP Subnetz 3	von	<u>00001010 00001010 00001010 10000000</u>	10.10.10.128
	bis	<u>00001010 00001010 00001010 10111111</u>	10.10.10.191
IP Subnetz 4	von	<u>00001010 00001010 00001010 11000000</u>	10.10.10.192
	bis	<u>00001010 00001010 00001010 11111111</u>	10.10.10.255

Schaltnetze

Logische Gatter verfügen stets nur über einen oder zwei Eingänge. Benötigt man mehr als zwei Eingänge, kombiniert man zwei oder mehr Gatter zu einem Schaltnetz. Auf diese Weise lassen sich auch mit Hilfe mehrerer logischer Gatter die Schaltfunktionen nicht verfügbarer logischer Gatter nachbilden.

Die Ausgangssignale eines Schaltnetzes hängen – wie bei einem logischen Gatter – nur von den Eingangssignalen ab. Ändert sich das Signal an einem Eingang, wirkt sich das sofort auf das Ausgangssignal aus. Das neue Ausgangssignal ist unabhängig davon, welche Zustände die Eingangssignale vorher hatten. Man sagt deshalb, dass es in Schaltnetzen keine Rückkopplung gibt.

Schaltnetze werden von links oben nach rechts unten gelesen. In unserem Beispiel bedeutet das, dass A und B die Eingangssignale sind. X ist das Ausgangssignal des Beispielschaltnetzes.

A	B	R	S	X
1	1	1	0	0
1	0	1	1	1
0	1	1	1	1
0	0	0	1	0

In einem Schaltnetz können die Signale A und B gleichzeitig Eingangssignale von zwei oder mehr Gattern sein. Die abzweigenden Signalleitungen werden im Schaltnetz durch einen Punkt • gekennzeichnet. Zwei Leitungen, die sich einfach nur kreuzen, werden hingegen ohne Punkt dargestellt.

Auch die Ausgangssignale von Schaltnetzen können in Wahrheitstafeln notiert werden. Hilfwerte erleichtern dabei das Ermitteln der Werte des Ausgangssignals X. Der Hilfwert R ist das Ausgangssignal des ODER-Gatters, der Hilfwert S ist das Ausgangssignal des NAND-Gatters.

Die Hilfwerte R und S sind zugleich die Eingangssignale des UND-Gatters. Dadurch lässt sich aus den Hilfwerten R und S der Ausgangswert X des Schaltnetzes ermitteln.

Vergleicht man die Werte des Ausgangssignals X des Beispielschaltnetzes mit den Wahrheitstabellen der unterschiedlichen logischen Gatter, fällt auf, dass das Beispielschaltnetz die gleichen Ausgangssignale hat wie ein XOR-Gatter.

In solchen Fällen – also wenn zwei Schaltnetze eine identische Wahrheitstabelle haben – spricht man von äquivalenten Schaltnetzen.

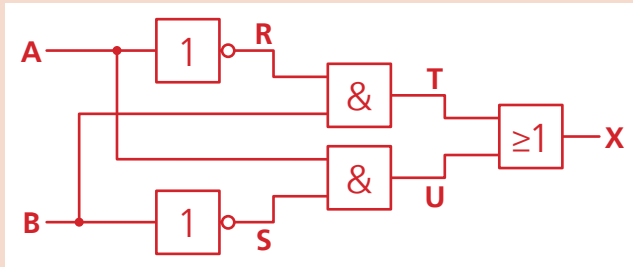
In Schaltnetzen mit mehr als zwei Eingangssignalen gibt es mehr als vier mögliche Kombinationen der Eingangssignalwerte. Für drei Eingangswerte sind es 2^3 , also acht Kombinationen. Entsprechend viele Zeilen hat auch die Wahrheitstabelle eines solchen Schaltnetzes.

A	B	C	R	S	X
1	1	1	0	0	1
1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	0	1
0	0	0	1	0	0

Schaltnetze

Aufgabe 1

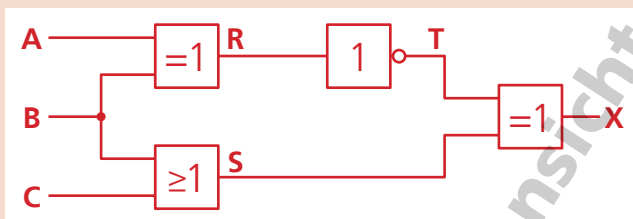
Erstelle die Wahrheitstabelle für dieses Schaltnetz mit zwei Eingängen.



A	B	R	S	T	U	X
1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	0	0

Aufgabe 2

Erstelle die Wahrheitstabelle für dieses Schaltnetz mit drei Eingängen.

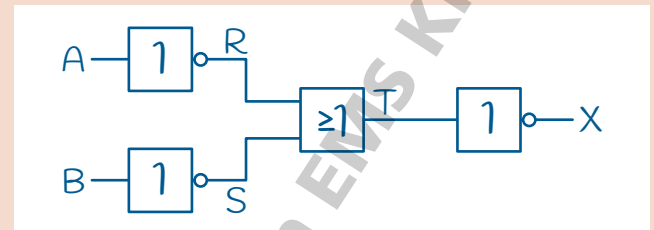


A	B	C	R	S	T	X
1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0	1
1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	0	1
0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1

Aufgabe 3

Zeichne ein Schaltnetz aus NICHT- und ODER-Gattern, das äquivalent zu einem UND-Gatter ist.

Überprüfe das Ergebnis mit Hilfe einer Wahrheitstabelle.

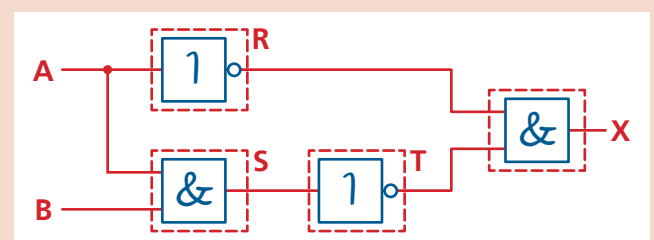
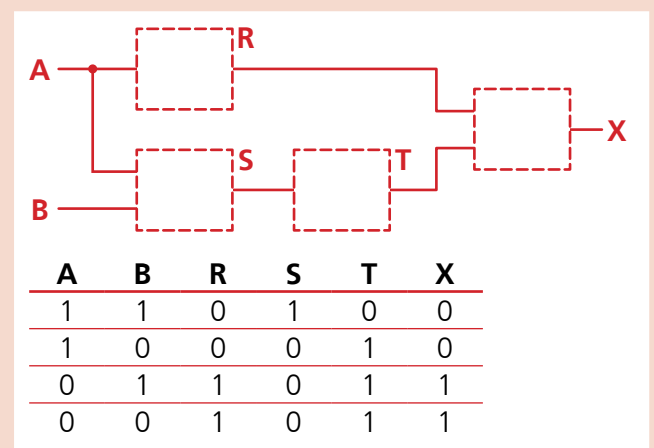


A	B	R	S	T	X
1	1	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0

Aufgabe 4

Das Schaltnetz aus vier logischen Gattern mit zwei Eingängen hat für die Zwischenwerte R, S, T und das Ausgangssignal X die darunter gezeigte Wahrheitstabelle.

Zeichne ein Beispiel, welche logischen Gatter in den vier Kästchen platziert werden können, um diese Wahrheitstabelle zu erhalten.



Universelle logische Gatter

Für die zahlreichen Funktionen, die mit Hilfe der Bauteile auf einer Steuerungsplatine erzeugt werden müssen, steht meist wenig Platz zur Verfügung. Deshalb werden Chips genutzt, die mehrere Schaltfunktionen in einem Gehäuse vereinen.



Vier NAND-Gatter mit jeweils zwei Eingängen in einem Gehäuse (Foto: Stefan506, Lizenz: CC BY-SA 3.0)

Der Chip im Foto enthält beispielsweise vier NAND-Gatter mit jeweils zwei Eingängen und einem Ausgang. Äußerlich identisch aussehende Chips gibt es auch mit vier NOR-Gattern.

Dass gerade diese beiden Gatter in diesen Chips verwendet werden, liegt daran, dass sich mit ihnen alle anderen logischen Schaltfunktionen realisieren lassen. Sie werden deshalb universelle logische Gatter genannt und in großer Stückzahl produziert.

Alles aus NAND und NOR

NAND- und NOR-Gatter liefern bei zwei identischen Eingangssignalen das jeweils invertierte (umgekehrte) Ausgangssignal. Das nutzt man, um die Schaltfunktion NICHT zu erzeugen. Das Eingangssignal A wird an beide Eingänge angelegt, das Ausgangssignal X ist entsprechend das invertierte A.



Diese einfache Möglichkeit, das Eingangssignal umzukehren wird auch bei allen weiteren Schaltfunktionen genutzt, die sich aus NAND und NOR erzeugen lassen.

Der Aufbau der Schaltnetze, in denen die NAND- oder NOR-Gatter verknüpft werden, lässt sich aus den Wahrheitstabellen der beiden universellen Gatter und der jeweils angestrebten Schaltfunktion ermitteln.

Anhand der Wahrheitstabellen von NAND und UND ist leicht zu sehen, dass UND ein NAND mit invertiertem Ausgangssignal ist. Für das Umkehren des Ausgangssignals wird ein zweites NAND-Gatter an das erste angefügt.

NAND		
A	B	X
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

→

UND		
A	B	X
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

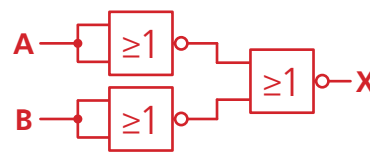


Der Vergleich der Wahrheitstabellen von NOR und UND zeigt, dass UND ein NOR mit invertierten Eingangssignalen ist. Entsprechend werden dem NOR-Gatter zwei weitere NOR-Gatter vorangestellt, die die Eingangssignale umkehren.

NOR		
A	B	X
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

→

UND		
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



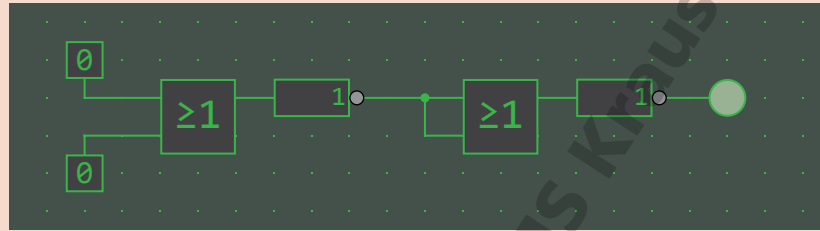
Auf diese Weise, also durch das Umkehren von Eingangs- oder Ausgangssignalen, lassen sich aus NAND- oder NOR-Gattern auch Schaltnetze für alle weiteren logischen Schaltfunktionen bauen. Dabei wird stets versucht, mit vier Gattern auszukommen, damit sich das ganze Schaltnetz mit einem Standardchip mit vier NAND- oder NOR-Gattern bauen lässt.

Universelle logische Gatter

Aufgabe 1

Nutze die Simulationsumgebung Simulator IO, um ein Schaltnetz für die Schaltfunktion ODER aus NOR-Gattern zu bauen.

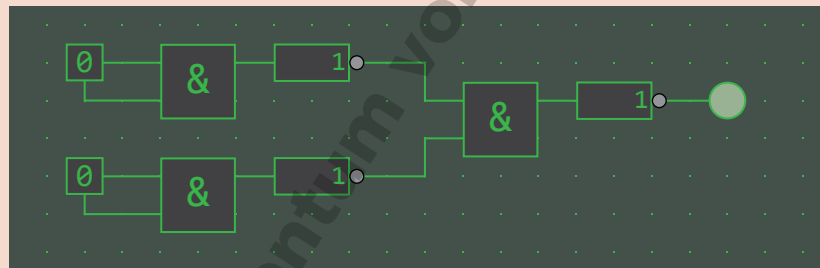
Beispiellösung



Aufgabe 2

Nutze die Simulationsumgebung Simulator IO, um ein Schaltnetz für die Schaltfunktion ODER aus NAND-Gattern zu bauen.

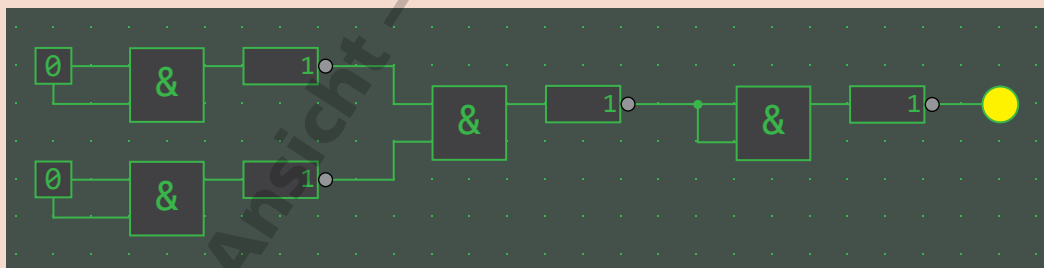
Beispiellösung



Aufgabe 3

Nutze die Simulationsumgebung Simulator IO, um ein Schaltnetz für die Schaltfunktion NOR aus NAND-Gattern zu bauen.

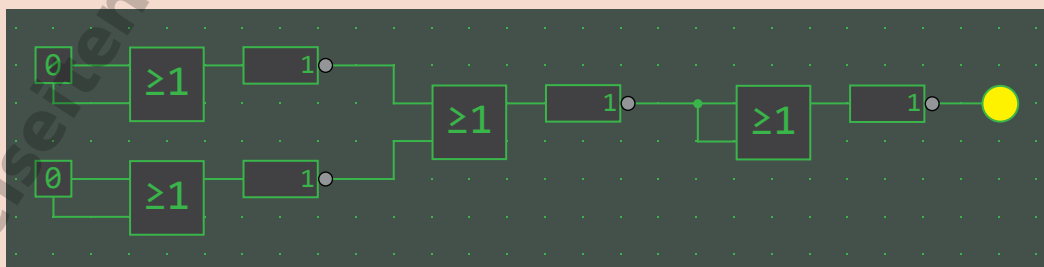
Beispiellösung



Aufgabe 4

Nutze die Simulationsumgebung Simulator IO, um ein Schaltnetz für die Schaltfunktion NAND aus NOR-Gattern zu bauen.

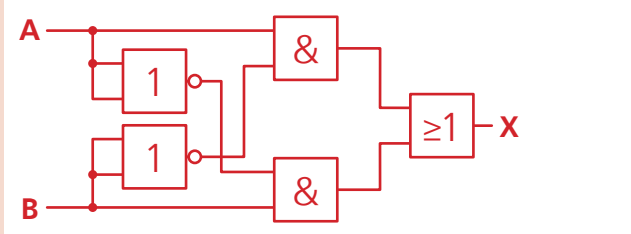
Beispiellösung



Universelle logische Gatter

Aufgabe 5

Ein Schaltnetz mit der Schaltfunktion XOR lässt sich in dieser Form mit zwei NICHT-, zwei UND- und einem ODER-Gatter aufbauen.

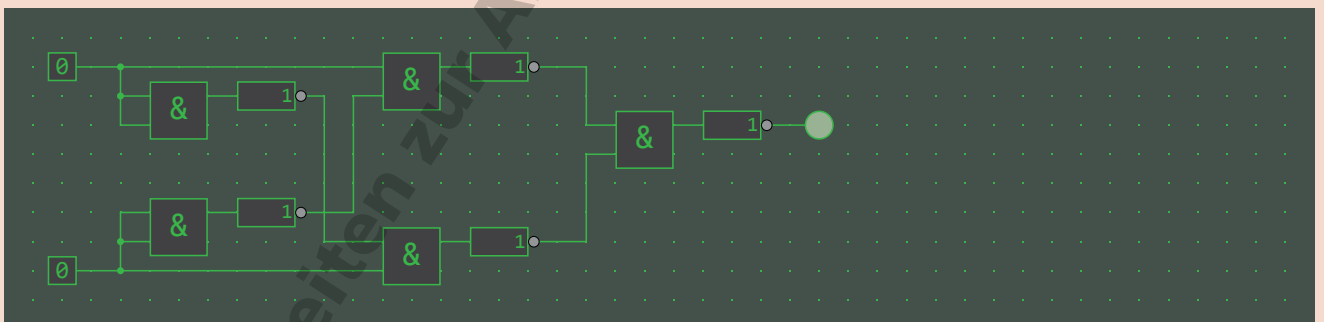
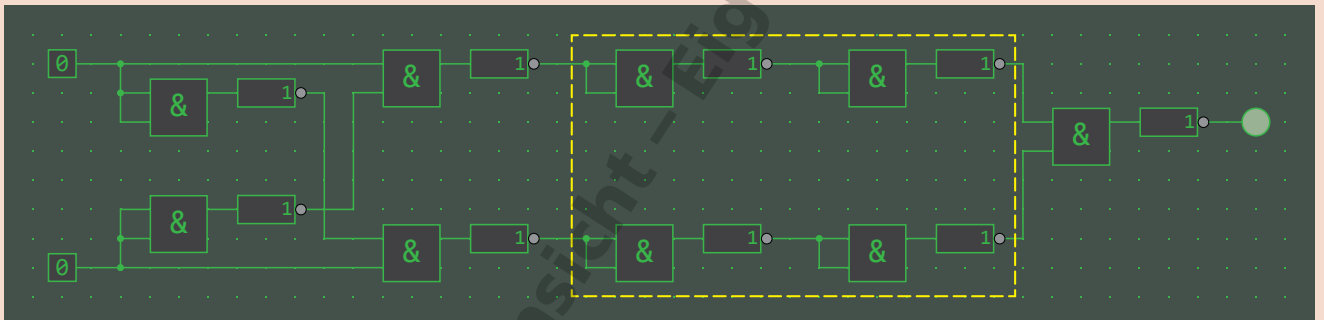


a) Nutze die Simulationsumgebung Simulator IO, um ein Schaltnetz für die Schaltfunktion XOR aus NAND-Gattern zu bauen.

Folge dabei dem dargestellten Schaltnetzaufbau und ersetze die fünf Gatter durch das jeweils äquivalente Schaltnetz aus NAND-Gattern.

b) Untersuche das Schaltnetz auf möglicherweise überflüssige NAND-Gatter und entferne sie.

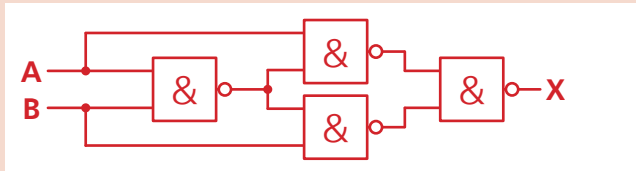
Beispiellösung



Universelle logische Gatter

Aufgabe 6

Dieses Schaltnetz mit vier NAND-Gattern wird häufig genutzt, da es sich mit einem Standardchip umsetzen lässt.

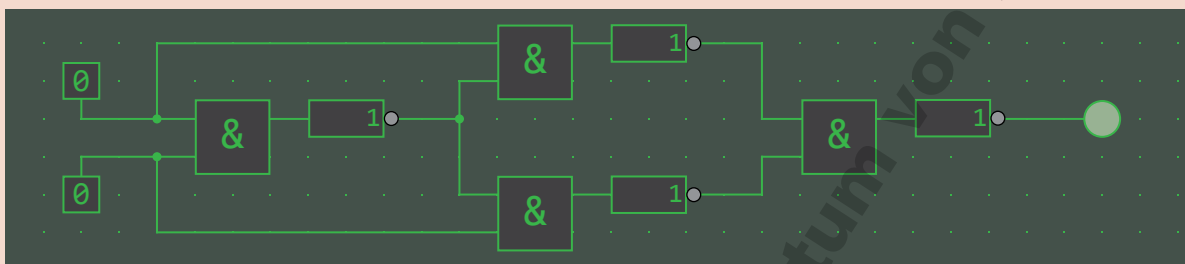


Baue das Schaltnetz in der Simulationsumgebung Simulator IO.

Wechsle in den Testmodus und erstelle mithilfe des Schaltnetzes eine Wahrheitstabelle.

Welche Schaltfunktion lässt sich mit diesem Schaltnetz realisieren?

Beispiellösung



A	B	X
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Mit diesem optimierten Schaltnetz erhält man mit nur vier NAND-Gattern die XOR-Funktion. Damit ist es auch mit einem Standardchip mit vier NAND-Gattern möglich, die XOR-Funktion umzusetzen.

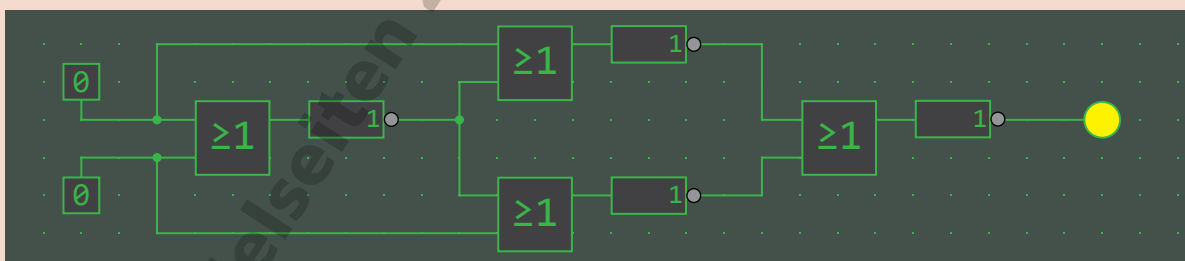
Aufgabe 7

Ersetze im Schaltnetz aus Aufgabe 6 in der Simulationsumgebung Simulator IO die NAND-Gatter durch NOR-Gatter.

Wechsle in den Testmodus und erstelle mithilfe des Schaltnetzes eine Wahrheitstabelle.

Welche Schaltfunktion lässt sich mit diesem Schaltnetz realisieren?

Beispiellösung



A	B	X
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

Mit diesem optimierten Schaltnetz erhält man mit nur vier NOR-Gattern die XNOR-Funktion. Damit ist es auch mit einem Standardchip mit vier NOR-Gattern möglich, die XNOR-Funktion umzusetzen.