

Das INVENT a CHIP-Quiz ist Teil des MINT-Schülerwettbewerbs INVENT a CHIP vom VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. mit Förderung durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt.

Die Aufgaben sind nach **Registrierung über das Join-Portal** unter join.invent-a-chip.de online **bis zum 31. Mai 2026** zu lösen.

Das vorliegende PDF zeigt alle Fragen in der Übersicht.
Viel Spaß beim Mitmachen!

Weitere Informationen zum Wettbewerb INVENT a CHIP gibt es unter:
www.invent-a-chip.de

Hintergrundinfos

Mikrochips machen moderne Medizin möglich

Finde im Quiz heraus, welche Rolle sie dabei spielen.

Mikrochips messen, wie sich dein Körper bewegt, wie du schläfst oder wie sich wichtige Gesundheitswerte verändern. Genau solche Chips werden daher auch in der Medizin eingesetzt, um Daten zu erfassen, auszuwerten und Behandlungen besser auf einzelne Menschen abzustimmen. Sie sind winzig, arbeiten oft unentdeckt im Hintergrund und haben trotzdem großen Einfluss darauf, wie moderne Medizin funktioniert.

Seit 25 Jahren beschäftigt sich der Wettbewerb INVENT a CHIP mit Mikrochip-Technologien. Auch in diesem Jubiläumsjahr ist das Thema aktueller denn je, denn Mikrochips spielen eine zentrale Rolle in vielen Bereichen unseres Alltags und insbesondere dort, wo Technik und Medizin zusammenkommen. Passend dazu steht das Wissenschaftsjahr 2026 unter dem Motto „Medizin der Zukunft“ und rückt genau diese Entwicklungen in den Fokus.

Im INVENT a CHIP-Quiz tauchst du in echte Fragen aus 25 Jahren Wettbewerb ein. Du begegnest Mikrochips dort, wo sie in der Medizin wirklich gebraucht werden: beim Messen, Auswerten und Verarbeiten von Daten. Du erfährst, wie Mikrochips aufgebaut sind, wie sie funktionieren und warum sie in medizinischen Anwendungen eine zentrale Rolle spielen. Das Quiz zeigt dir, wie aus Technik Lösungen entstehen, die moderne Medizin möglich machen.

Teste dein Wissen, entdecke neue Zusammenhänge und finde heraus, wie Mikrochips dazu beitragen, Medizin präziser, verständlicher und zukunftsfähig zu machen.



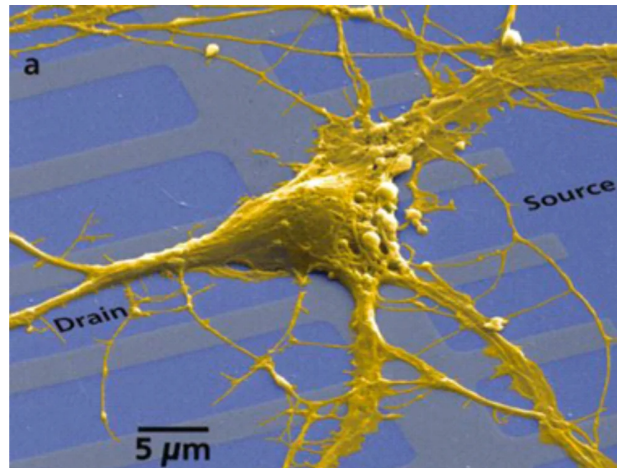
Aufgabe 1

Biologie trifft High-Tech

Die Verbindung von organischen Strukturen mit mikroelektronischen Komponenten (winzigen elektronischen Bauteilen) gehört bis heute zu den spannendsten Themen der modernen Forschung. Dabei untersuchen Forschende, wie lebende Zellen oder andere biologische Materialien auf speziell vorbereiteten Chipoberflächen wachsen und mit diesen zusammenarbeiten können. Das Ziel ist, elektronische Bauteile so zu entwickeln, dass sie biologische Signale erkennen, weiterleiten oder sogar gezielt beeinflussen können.

Dieses Forschungsgebiet eröffnet neue Möglichkeiten für biomedizinische Technologien, moderne Sensorik und Elektronik, die sich an natürlichen Strukturen orientieren. Dank neuer Materialien, flexibler Substrate und mikroskopisch feinen Strukturen ist es möglich, elektronische Systeme immer stärker an die Eigenschaften lebender Organismen anzupassen. Der Trend geht hin zu weichen, biokompatiblen und hochauflösenden Systemen, die biologische Prozesse sehr genau beobachten oder gezielt unterstützen können.

Die Abbildung zeigt ein Beispiel einer organischen Struktur in Verbindung mit einer mikroelektronischen Komponente. Wähle aus, was genau auf dem Bild zu sehen ist.



Quelle: <https://doi.org/10.1002/sml.200400077>

- A Ein Neuron, das auf einer Chipoberfläche aufgewachsen ist
- B Ein Prozessor, der von einem Computervirus befallen wurde
- C Eine Verbindung eines Chips mit Zellgewebe zur Insulinproduktion
- D Ein durch Überspannung geschmolzener Gold-Anschlussdraht eines Chips



Aufgabe 2

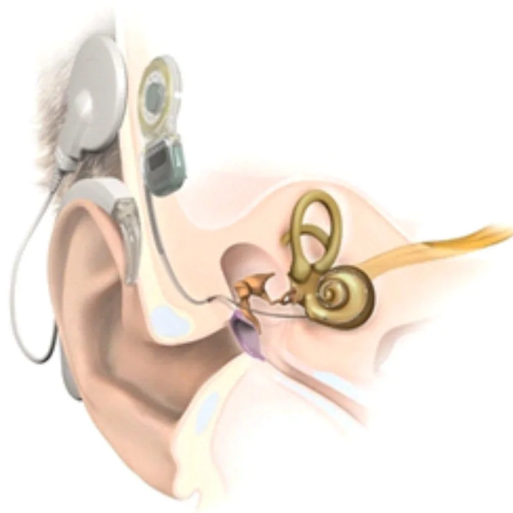
Medizinische Implantate

Durch die Mikroelektronik sind in der Medizin riesige Fortschritte möglich geworden. Die Medizintechnik umfasst eine große Vielfalt an technischen Geräten, die Ärztinnen und Ärzte zur Diagnose und Therapie einsetzen. Dazu gehören beispielsweise bildgebende Verfahren wie Ultraschall oder Magnetresonanztomographie (MRT), tragbare Messsysteme zur Überwachung von Herz- oder Atemfunktion und auch komplexe Implantate wie Herzschrittmacher oder künstliche Hörsysteme.

All diese Geräte beruhen auf elektronischen Schaltungen, die biologische Signale erfassen, verarbeiten oder gezielt stimulieren können. Dank moderner Mikroelektronik können solche Systeme immer kleiner, präziser und energieeffizienter gebaut werden. Dadurch entstehen medizinische Anwendungen, die früher völlig undenkbar waren – etwa Implantate, die dauerhaft im Körper bleiben können, oder Sensoren, die winzige elektrische Spannungen oder chemische Veränderungen zuverlässig messen können.

Die Medizintechnik zeigt damit auf beeindruckende Weise, wie stark technische Innovationen unser Verständnis des menschlichen Körpers verbessern und wie sie gleichzeitig die Lebensqualität vieler Menschen erhöhen können.

Die Abbildung zeigt ein Beispiel für ein im Körper des Patienten implantiertes System.
Recherchiere, welches System aus den vorgegebenen Antworten das richtige ist.



Quelle: Foto: Cochlear Ltd.; MED-EL

- A Cochlea-Implantat
- B Herzschrittmacher
- C Defibrillator
- D Insulin-Pumpe



Aufgabe 3

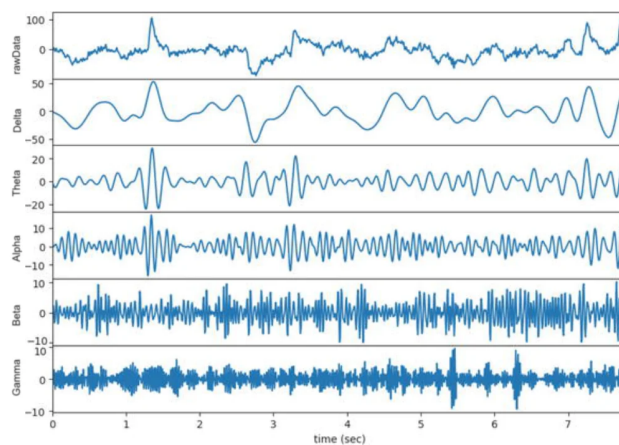
Signalverarbeitung

Bei der Erkennung von Herzrhythmusstörungen oder bei der Steuerung moderner Prothesen spielt die Verarbeitung biologischer Signale eine wichtige Rolle. Elektrische Aktivitäten im Körper, zum Beispiel die Signale des Herzens, der Muskeln oder der Nervenbahnen, können mit sehr empfindlichen Sensoren gemessen werden. Diese Sensoren sitzen entweder direkt im Körper oder werden von außen auf die Haut geklebt.

Damit aus diesen Rohsignalen klare und zuverlässig nutzbare Informationen werden, braucht man die sogenannte Signalverarbeitung. Mikroelektronische Schaltungen rechnen störende Einflüsse heraus, verstärken wichtige Teile des Signals und erkennen typische Muster, die auf bestimmte Zustände oder Bewegungsabsichten hinweisen. Erst durch diese genaue Aufbereitung kann man beispielsweise Unregelmäßigkeiten im Herzschlag sicher erkennen oder eine Prothese so ansteuern, dass sie natürliche Bewegungen möglichst echt nachahmt.

Moderne Medizintechnik und Mikroelektronik wirken zusammen, um diagnostische Verfahren und Assistenzsysteme immer leistungsfähiger, zuverlässiger und sicherer zu machen.

Bestimme, was in der Abbildung dargestellt ist.



Quelle: <https://doi.org/10.5772/intechopen.94398>

- A Myoelektrische Signale, die für die Steuerung von Computerprothesen herangezogen werden können.
- B Durch EEG aufgezeichnete Gehirnströme
- C Daten eines Elektrokardiogramms
- D Ein für die einzelnen Elektroden eines Cochlea-Implantats aufgeteiltes Audiosignal



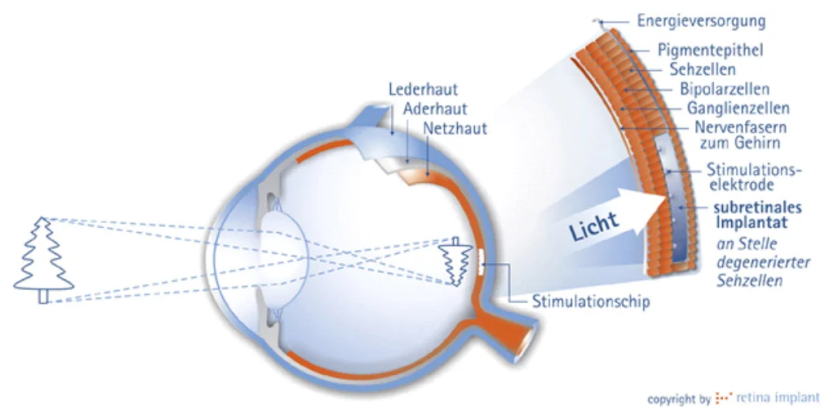
Aufgabe 4

Retina-Implantate

Das menschliche Auge ist ein äußerst komplexes Sinnesorgan. Es kann Lichtreize in elektrische Signale umwandeln, damit unser Gehirn überhaupt etwas sehen kann. Wenn ein Teil dieses Systems ausfällt, beispielsweise durch Erkrankungen der Netzhaut, führt das zu starken Seheinschränkungen oder schlimmstenfalls sogar zu vollständiger Erblindung.

Um Menschen, die davon betroffen sind, dennoch einen Teil ihrer visuellen Wahrnehmung zurückzugeben, entwickelt die moderne Medizintechnik neue, spannende Lösungen. Besonders faszinierend sind sogenannte Retina-Implantate. Das sind winzige mikroelektronische Bauelemente, die direkt im Auge eingesetzt werden.

Diese Implantate sollen Aufgaben übernehmen, die das beschädigte Netzhautgewebe nicht mehr erledigen kann. Dazu müssen sie beispielsweise Licht erkennen, elektrische Signale erzeugen und diese an die noch funktionsfähigen Bereiche des Sehsystems weiterleiten. Diese Technologie ist noch in der Entwicklung, aber erste Ergebnisse zeigen, dass damit zumindest einfache optische Eindrücke wieder wahrgenommen werden können. Damit eröffnet die Bioelektronik einen neuen, innovativen Weg, verlorene Sinnesfunktionen teilweise zurückzuholen.



Quelle: Retina Implant GmbH

Bestimme, welche Aussage den Zweck eines Retina-Implantats zutreffend beschreibt!

- A Das Retina-Implantat soll erblindeten Menschen eine eingeschränkte Sehfähigkeit ermöglichen
- B Das Retina-Implantat ersetzt die Brille bzw. Kontaktlinsen
- C Das Retina-Implantat wird bei Farbblindheit eingesetzt
- D Das Retina-Implantat erweitert die normale Sehfähigkeit des Menschen



Aufgabe 5

Wie schnell rechnet das menschliche Gehirn?

Moderne Computerprozessoren arbeiten mit extrem hohen Taktfrequenzen – heute oft im Bereich mehrerer Gigahertz. Das bedeutet: Milliarden Schaltvorgänge pro Sekunde. Damit sind PCs bei vielen Aufgaben wie schnellen Berechnungen, dem Durchsuchen großer Datenmengen oder der Speicherung und Verarbeitung von Informationen dem menschlichen Gehirn klar überlegen.

Trotzdem gibt es Bereiche, in denen das menschliche Gehirn beeindruckend leistungsfähig bleibt. Besonders bei Aufgaben wie Mustererkennung, Orientierung im Raum, sprachlicher Interpretation oder dem Erkennen von Gesichtern arbeitet es oft schneller, zuverlässiger und insbesondere energieeffizienter als heutige Computer.

Die grundlegenden Vorgänge im Gehirn folgen keinen gleichmäßig getakteten Signalen, sondern entstehen durch komplexe biologische Prozesse, die in riesigen Netzwerken gleichzeitig ablaufen. Während elektronische Schaltungen in klassischen Computern präzise und genau getaktet arbeiten, ist die Arbeitsweise biologischer Systeme viel flexibler, vielfältiger und stark von ihrer Umgebung beeinflusst.

Recherchiere, in welchem (ungefähren) Frequenzbereich (verglichen zur Taktfrequenz im PC) die Schaltvorgänge der Neuronen im Gehirn stattfinden.

- A THz
- B GHz
- C MHz
- D kHz



Aufgabe 6

Hörgeräte-Algorithmen

Ein bekanntes Beispiel für tragbare Elektronik sind Hörgeräte. Früher nutzte man analoge Hörhilfen, die das Geräusch einfach nur lauter machten. Heutzutage gibt es digitale Hörgeräte. Diese können nicht nur den Schall verstärken, sondern auch zusätzlich Schritte der Signalverarbeitung durchführen. Das bedeutet, dass das Gerät das eingehende Audiosignal analysiert, Störungen herausfiltert oder bestimmte Frequenzen verstärkt, damit das Hören angenehmer und klarer wird.

Damit all diese Verarbeitungsschritte nicht als Verzögerung wahrgenommen werden, müssen die Bearbeitungszeit und der technische Aufbau der elektronischen Bauteile (die sogenannte Hardwarearchitektur) gut aufeinander abgestimmt sein. Gleichzeitig muss der Energieverbrauch niedrig sein, damit der Akku möglichst lange hält.

In der Audiotechnik spricht man von Latenz, wenn zwischen dem Eingangssignal (z. B. Sprache) und dem Ausgangssignal (also den Worten, die man dann durchs Hörgerät hört), eine kleine Verzögerung entsteht. Eine Latenz von bis zu 15 Millisekunden wird normalerweise nicht bemerkt und daher als unproblematisch angesehen.

Bevor ein digitales Hörgerät aber überhaupt mit dem Signal arbeiten kann, muss der Ton erst umgewandelt werden. Dafür wird ein sogenannter Analog-Digital-Wandler verwendet. Er macht aus dem analogen Schall, also dem echten Ton, ein digitales Signal, das aus vielen kleinen messbaren Werten besteht. Nach der Verarbeitung wird das Signal dann wieder zurück in ein analoges Signal verwandelt, damit der Hörgeräte-Nutzer diesen Ton dann auch hört.

Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass beide Wandlungsschritte jeweils 4 Millisekunden Zeit benötigen. Das Hörgerät nutzt für die Signalverarbeitung eine digitale Schaltung, die mit einem Taktsignal von 50 MHz betrieben wird.

Berechne, wie viele Taktzyklen dem Hörhilfen-Algorithmus zur Verfügung stehen.

- A $1,8 \cdot 10^6$
- B $3,5 \cdot 10^5$
- C $18 \cdot 10^7$
- D 35.000



Aufgabe 7

Dehnungsmessstreifen

Die Medizin ist eines der spannendsten Einsatzgebiete für moderne Robotik. Bereits in den 1990er Jahren kamen OP-Roboter zum Einsatz, um Chirurgeninnen und Chirurgen bei ihren Operationen zu unterstützen. In diesem Bereich können Roboter in manchen Aufgaben tatsächlich präziser arbeiten als ein Mensch. Sie können extrem ruhig und ohne Zittern schneiden und sie werden dabei nicht müde.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass OP-Roboter Computertomographie-Daten (also 3D-Bilder aus vielen mit Röntgenstrahlen aufgenommenen Querschnittsbildern) in dreidimensionale Räume übersetzen können. Diese Daten werden dann mit den Live-Aufnahmen der OP-Kamera abgeglichen. Sensoren an den OP-Werkzeugen zeigen dem Arzt die genaue Stelle, wo er operieren muss. Auch können Roboter beispielsweise Tumore mit einer Zielgenauigkeit von einigen Millimetern mit einer Nadel punktieren. Das macht man, um Gewebeproben zu entnehmen oder Medikamente einzubringen.

Dabei ist es wichtig, die Kraft, die der Roboter ausübt, ganz genau zu messen. Wenn die Kraft zu groß wird, kann der Arzt eingreifen und korrigieren. Für diese Kraftmessung verwendet man häufig Dehnungsmessstreifen. Das sind sehr empfindliche Sensoren, die ihre elektrische Eigenschaft ändern, sobald sie gedehnt oder gestaucht werden. Daraus lässt sich dann die wirkende Kraft berechnen.

Berechne den Faktor k , um den sich der elektrische Widerstand R durch die Kraftausübung des Roboters ungefähr verändert, wenn sich die Länge des Messstreifens um den Faktor 2 vergrößert und die Querschnittsfläche um 10% kleiner wird.

$$R_{Ausdehnung} = k \cdot R_{Ruhelage}$$

- A 1,1
- B 1,8
- C 0,45
- D 2,2



Aufgabe 8

OP-Roboter

Stell dir vor, ein OP-Roboter steht mit dem Patienten in einem Operationssaal in Deutschland, während der Chirurg, der ihn steuern soll, sich gerade in Japan befindet. Die Verbindung zwischen beiden Orten hat eine Latenz von etwa 250 Millisekunden pro Richtung. Latenz bezieht sich hier auf die Zeitverzögerung bei der Signalübertragung von einem Ort zum anderen. Zusätzlich sorgt die Videokodierung (das Kamerabild wird in ein übertragbares Datenformat umgewandelt) für weitere 35 Millisekunden Verzögerung zwischen dem Moment der Aufnahme und dem Zeitpunkt, an dem das verarbeitete Video losgeschickt wird.

Der Chirurg in Japan muss diese Verzögerung unbedingt berücksichtigen. Denn wenn er zum Beispiel den Befehl zum Schnitt mit einem Skalpell gibt, dann sieht er erst mit deutlicher Verzögerung, was der Roboter tatsächlich macht. Deshalb muss er sehr vorsichtig handeln, damit das Instrument nicht zu schnell oder zu weit geführt wird.

Nun passiert zum Zeitpunkt t_1 im OP ein unerwartetes Ereignis, auf das der Chirurg mit dem Befehl „Anhalten“ reagieren muss. Die Reaktionszeit des Chirurgen beträgt dabei 0,2 Sekunden. Der Roboter empfängt den Befehl zum Zeitpunkt t_2 und setzt ihn ohne nennenswerte Verzögerung um. In der Zeit von t_1 bis t_2 hat der Roboter ein Skalpell mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, so dass es noch die Strecke x zurücklegt.

Wähle die höchste noch zulässige Geschwindigkeit, wenn der Betrag von x nicht größer als 2 mm sein soll.

- A 0,25 cm/s
- B 4 mm/s
- C 9,7 m/h
- D 102 dm/h



Aufgabe 9

Tragbare Elektronik

Die Akkulaufzeit von Wearable Devices, also tragbaren elektronischen Geräten wie Smartwatches, Fitnessarmbändern oder -ringen, ist ein wichtiges Produktmerkmal und kann sogar darüber entscheiden, ob sich jemand ein solches Gerät kauft und welches. Daher muss bei der Entwicklung solcher Systeme besonders darauf geachtet werden, wie viel Energie sie verbrauchen. Eine besondere Rolle spielt dabei die sogenannte Verlustleistung der verwendeten Mikrochips. Das ist die Energie, die ein Chip bei seiner Arbeit in Wärme umwandelt und somit "verliert".

Für ein solches Wearable soll ein Chip verwendet werden, der mit einer maximalen Taktfrequenz von 1 GHz betrieben werden kann. Der Chip besitzt eine dynamische Verlustleistung von 0,5 mW/MHz. Das heißt, je schneller der Chip arbeitet, desto mehr Energie verbraucht er durch das ständige Laden und Entladen seiner Schaltungen. Zusätzlich entsteht eine statische Verlustleistung von 20 mW, die auch dann anfällt, wenn der Chip gar nichts berechnet.

Das Wearable Device soll mit einem Akkumulator betrieben werden. Dieser Akku hat eine Nennspannung von 3,7 V und eine Kapazität von 1440 mAh. Die Kapazität gibt an, wie lange der Akku Strom liefern kann.

Berechne die maximale durchschnittliche Taktfrequenz, bei der der Chip betrieben werden kann, damit das Gerät mindestens 24 Stunden funktionsfähig bleibt.

- A 101 MHz
- B 202 MHz
- C 404 MHz
- D 808 MHz



Aufgabe 10

Parallele Berechnung Neuronaler Netze

Künstliche Neuronale Netze bestehen aus vielen miteinander verbundenen künstlichen Neuronen, nach dem Vorbild des Gehirns. Jedes dieser Neuronen hat zahlreiche Parameter oder Gewichte, die bestimmen, wie stark Signale weitergegeben werden. Da moderne Netze oft Milliarden solcher Gewichte besitzen, brauchen sie extrem viel Rechenleistung und Speicherplatz.

Eine typische CPU, also der herkömmliche Prozessor in einem Computer, benötigt für die Verarbeitung eines einzigen Parameters etwa 5 Taktzyklen. Ein Neuronales Netz mit 7.200.000.000 Gewichten bräuchte damit insgesamt etwas $3,6 \cdot 10^{10}$ Takte. Bei einer mittleren Taktfrequenz von 3 GHz ergäbe das eine Verarbeitungszeit von über 12 Sekunden. Das ist für viele Anwendungen, die auf Echtzeit-Reaktionen angewiesen sind, viel zu langsam.

Ein großer Vorteil Neuronaler Netze ist, dass sie sich gut parallelisieren lassen. Das bedeutet, dass viele Berechnungen gleichzeitig durchgeführt werden können. Zum Beispiel können alle Neuronen innerhalb einer Schicht unabhängig voneinander rechnen, sie müssen also nicht warten, bis ein anderes Neuron fertig ist. Moderne applikationsspezifische Schaltungen, also speziell entwickelte Hardware wie KI-Beschleuniger, nutzen genau diesen Vorteil aus. Hier kann die Verarbeitung eines Gewichtes in nur einem Taktzyklus erfolgen. Zusätzlich arbeiten viele dieser Recheneinheiten parallel und erreichen damit eine durchschnittliche Auslastung von 75%.

Berechne die Anzahl paralleler Verarbeitungseinheiten, die erforderlich ist, damit das gegebene Netz innerhalb von 30 ms berechnet werden kann, wenn jede Einheit mit einer Taktfrequenz von 200 MHz arbeitet.

- A 900
 B 48
 C 1.600
 D 27



Aufgabe 11

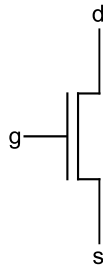
Von Schaltern zu Logik

Die Transistoren, also winzige elektrische Schalter mit vereinfacht zwei Zuständen (sperrend und leitend), sind die Grundlage für die digitale Mikroelektronik. Sie realisieren Prozessoren, mit denen du im Web surfen, Videos dekodieren oder Spiele spielen kannst. Sogar unterschiedliche Speicher, wie z.B. Flashspeicher in einer Festplatte oder RAM in einem Arbeitsspeicher, werden durch spezielle Transistoren realisiert. Aber wie wird aus einem einfachen Schalter Logik oder gar „Intelligenz“?

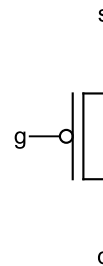
Heutzutage werden fast alle Logikchips in der sogenannten CMOS (Complementary MOS)-Technologie hergestellt. MOS bezeichnet dabei, wie der Transistor hergestellt wird. Der Begriff „komplementär“ bedeutet, dass ein Ausgangssignal immer einen definierten Spannungspegel hat, indem entweder Transistoren den Ausgang auf das Spannungsniveau der Versorgungsspannung V_{cc} (z.B. 1,8 V) ziehen oder auf das Referenzpotential 0 V ziehen. Der Spannungspegel V_{cc} wird dann gleichgesetzt mit der logischen „1“, logisch „wahr“ und „ein(geschaltet)“ und das Referenzpotential 0 V als logische „0“, logisch „falsch“ und „aus(geschaltet)“.

Für CMOS werden zwei unterschiedliche Transistoren eingesetzt. Der sogenannte n-MOS schaltet bei einer logischen „1“ an seinem Steueranschluss (Gate) den Kanal zwischen den beiden anderen Pins (Source und Drain) leitend. Bei einer „0“ am Steuereingang sperrt dieser Schalter (offener Schalter). Der p-MOS arbeitet genau invers (leitend bei „0“ am Steuereingang und sperrt bei „1“). Auch in den Symbolen ist diese Beziehung dargestellt, indem beim p-MOS am Steuereingang ein kleiner Kreis zur Inversion des Eingangssignals dargestellt ist.

n-MOS:



p-MOS:



Gate	d-s-Kanal
0	Sperrend (offener Schalter)
1	Leitend (geschlossener Schalter)

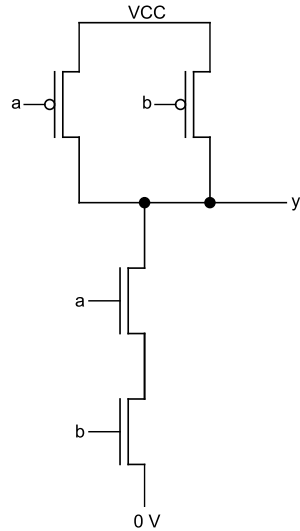
Gate	d-s-Kanal
0	Leitend (geschlossener Schalter)
1	Sperrend (offener Schalter)

(Fortsetzung auf der nächsten Seite)



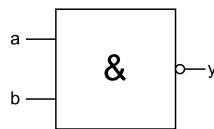
Fortsetzung Aufgabe 11

Im Folgenden ist nun eine Schaltung mit vier dieser Transistoren dargestellt (2 n-MOS und 2 p-MOS), die durch zwei Steuersignale „a“ und „b“ angesteuert werden, um einen Ausgang „y“ zu erzeugen. Die gezeigte Schaltung bildet eine negierte UND-Funktion ab, zu erkennen an der Inversion des Ausgangs in der Wahrheitstabelle im Vergleich zu einer UND-Funktion, die genau dann „1“ wäre, wenn alle Eingänge „1“ sind (sonst immer „0“).

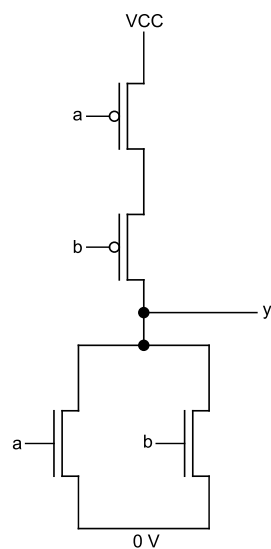


a	b	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Diese Schaltung lässt sich übrigens auch vereinfacht als sogenanntes „Gatter“ durch Weglassen der Versorgungsspannung darstellen und zeigt dann lediglich die Steuersignale. Ein Kreis signalisiert weiterhin eine Inversion (des Ein- bzw. Ausgangs):



Vervollständige die Wahrheitstabelle für die im Folgenden gezeigte Schaltung.



a	b	y
0	0	<input type="checkbox"/>
0	1	<input type="checkbox"/>
1	0	<input type="checkbox"/>
1	1	<input type="checkbox"/>

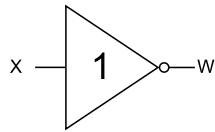
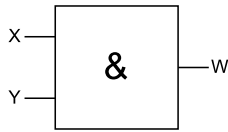
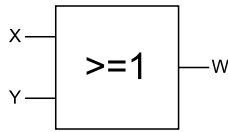
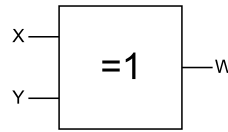
Hinweis: = „0“, = „1“



Aufgabe 12

Wahrheitstabelle

Aus einfachen Bauteilen wie Transistoren kann man Schaltungen bauen, die jede beliebige logische Funktion berechnen können. Es gibt dabei drei Grundgatter, aus denen Logikfunktionen erstellt werden können: NICHT (NOT), UND (AND) sowie ODER (OR). NICHT kehrt den Wert der Eingabe um. Wenn die Eingabe wahr ist, wird falsch zurückgegeben und umgekehrt. UND gibt wahr zurück, wenn alle Eingaben wahr sind. ODER gibt wahr zurück, wenn mindestens eine der Eingaben wahr ist. Die dazugehörigen Symbole und Wahrheitstabellen findest du unten, wobei „x“ beziehungsweise „x“ und „y“ die Eingangsseite (linke Seite) und „w“ der Ausgang (rechte Seite) ist. Kreise am Ein- oder Ausgang eines Gatters negieren jeweils den entsprechenden Ein- oder Ausgang, d. h. sie ändern also eine „1“ in eine „0“ und umgekehrt. Zusätzlich ist das Exklusiv-ODER-(XOR-) Gatter dargestellt, welches immer dann wahr zurückgibt, wenn genau einer der Eingänge 1 ist. Das XOR zählt offiziell nicht zu den Grundgattern, da dieses wiederum aus solchen gebildet werden kann.

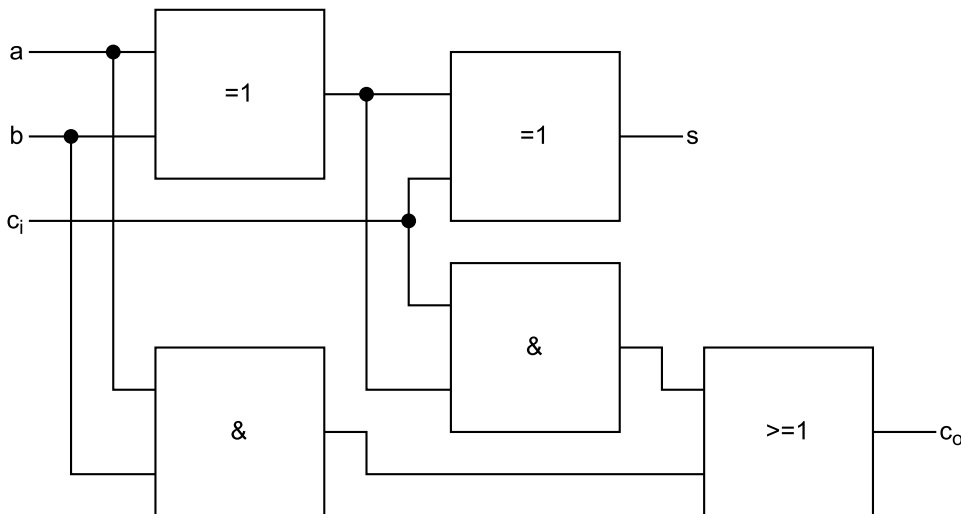
<p>Gatter: NICHT (NOT) Symbol:</p>  <p>Wahrheitstabelle:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr><th>X</th><th>W</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X	W	0	1	1	0	<p>Gatter: UND (AND) Symbol:</p>  <p>Wahrheitstabelle:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th><th>W</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	W	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<p>Gatter: ODER (OR) Symbol:</p>  <p>Wahrheitstabelle:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th><th>W</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	W	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<p>Gatter: Exklusiv-ODER (XOR) Symbol:</p>  <p>Wahrheitstabelle:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th><th>W</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	W	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
X	W																																																					
0	1																																																					
1	0																																																					
X	Y	W																																																				
0	0	0																																																				
0	1	0																																																				
1	0	0																																																				
1	1	1																																																				
X	Y	W																																																				
0	0	0																																																				
0	1	1																																																				
1	0	1																																																				
1	1	1																																																				
X	Y	W																																																				
0	0	0																																																				
0	1	1																																																				
1	0	1																																																				
1	1	0																																																				

(Fortsetzung auf der nächsten Seite)



Fortsetzung Aufgabe 12

Nachfolgend siehst du eine Gatter-Schaltung mit den drei Eingängen „a“, „b“ und „c_i“ sowie den zwei Ausgängen „s“ und „c_o“. Diese Schaltung realisiert die Addition von zwei Bits („a“ und „b“) mit einem zusätzlichen Übertrag „c_i“ zu dem Summenbit „s“ und dem Übertrag ins nächsthöhere Bit „c_o“. Diese Schaltung heißt übrigens 1-Bit-Volladdierer. Mehrere dieser Schaltungen bzw. Addierer hintereinander sind in der Lage, binäre Zahlen mit mehreren Bits zu addieren.



Vervollständige die Wahrheitstabelle für den ausgehenden Übertrag „c_o“. Die Werte für das Summenbit „s“ sind bereits gegeben.

a	b	c _i	s	c _o
0	0	0	0	<input type="checkbox"/>
0	0	1	1	<input type="checkbox"/>
0	1	0	1	<input type="checkbox"/>
0	1	1	0	<input type="checkbox"/>
1	0	0	1	<input type="checkbox"/>
1	0	1	0	<input type="checkbox"/>
1	1	0	0	<input type="checkbox"/>
1	1	1	1	<input type="checkbox"/>

Hinweis: = „0“, = „1“



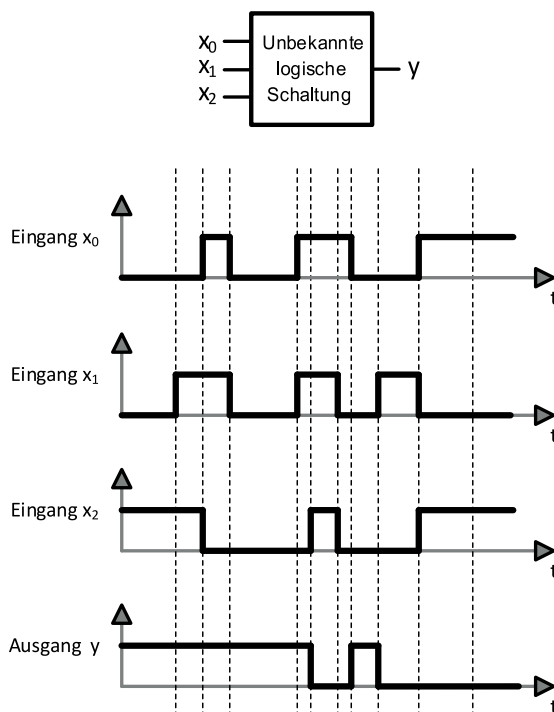
Aufgabe 13

Analyse von Timingdiagrammen

Moderne Computerchips bestehen heute aus Milliarden winziger Transistoren. Ein Transistor funktioniert wie ein sehr kleiner elektronischer Schalter. Wenn viele dieser Schalter geschickt miteinander verbunden werden, können sie logische Funktionen erzeugen. Zum Beispiel ein logisches AND, bei dem der Ausgang nur 1 wird, wenn alle Eingänge 1 sind. Solche Kombinationen von logischen Operationen nennt man Boolesche Algebra. Sie ist damit die Grundlage für alles, was digitale Geräte können.

Um zu verstehen, wie eine solche Schaltung über die Zeit reagiert, nutzt man Timingdiagramme. Dort sieht man genau, wann ein Eingangssignal wie x_1 , x_2 oder x_3 auf 1 oder 0 springt und wie sich dadurch das Ausgangssignal y verändert. Wenn die Eingangssignale und das Ausgangssignal bekannt sind, lässt sich daraus die unbekannte logische Funktion ableiten. Dafür vergleicht man systematisch alle möglichen Kombinationen der Eingänge in einer Wahrheitstabelle, bis klar wird, welche logische Funktion dahintersteckt.

Wähle die logische Funktion, die im folgenden Timingdiagramm dargestellt ist.



- A $(x_2 \text{ XOR } x_1) \text{ NAND } x_0$
- B $(\overline{x_2} \text{ OR } x_2) \text{ OR } (x_1 \text{ NOR } x_0)$
- C $x_2 \text{ NAND } \overline{x_0}$
- D $(\overline{x_2} \text{ AND } x_1) \text{ XOR } \overline{x_0}$



Aufgabe 14

Binärdarstellung von Dezimalzahlen: Fließkomma

Fließkommazahlen sind eine Methode, um Dezimalzahlen (also Zahlen mit Komma wie 3,14) im Binärsystem darzustellen. Dabei werden die zur Verfügung stehenden Bits nicht, wie bei Festkommazahlen, fest in Vor- und Nachkommastellen aufgeteilt, sondern in zwei Bereiche eingeteilt: Exponent e und Mantisse m . Der Zahlenwert ergibt sich aus der Formel: $2^e \cdot m$.

Damit kann man entweder einen sehr großen Zahlenbereich abdecken (aber dann mit weniger Genauigkeit), oder umgekehrt sehr genaue Zahlen darstellen bei kleinem Wertebereich. Zusätzlich gibt es ein Vorzeichenbit, um auch negative Zahlen darstellen zu können.

Der Standard IEEE 754 legt genau fest, wie solche Fließkommazahlen aufgebaut sind. Ein häufig genutztes Format ist die Halbgenauigkeit (Half Precision) mit 16 Bit Gesamtbreite. Die Bits in diesem Format sind wie folgt aufgeteilt:

s	e ₄	e ₃	e ₂	e ₁	e ₀	m ₉	m ₈	m ₇	m ₆	m ₅	m ₄	m ₃	m ₂	m ₁	m ₀
---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Das **Vorzeichenbit s** ist 0 für positive Zahlen und 1 für negative.

Die Bits $e_4e_3e_2e_1e_0$ bilden die Charakteristik E , aus der sich der **Exponent e** nach der Formel $e = E - 15$ berechnen lässt. Da die Werte $E = 0$ und $E = 31$ Sonderfunktionen haben, bleiben somit Exponenten im Bereich von -14 bis $+15$ übrig.

Die **Mantisse m** ist dann die Binärzahl $1, m_9m_8m_7m_6m_5m_4m_3m_2m_1m_0$, wobei jedes Bit m_i über die Wertigkeit 2^{i-10} verfügt.

Diese Art der Darstellung sorgt dafür, dass Computer sehr große und sehr kleine Zahlen effizient verarbeiten können, was zum Beispiel in Spielen, Simulationen oder bei grafischen Effekten enorm wichtig ist.

Bestimme, welche der folgenden binär dargestellten Fließkommazahlen in ihrer Dezimaldarstellung alle Ziffern von 0 bis 9 enthält!

A

0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

B

1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

C

1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

D

0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Aufgabe 15

Blockschaltbilder

Ein FPGA (Field Programmable Gate Array) ist eine rekonfigurierbare elektronische Schaltung. Das bedeutet, seine Funktion ist nicht fest verbaut, sondern kann nachträglich vom Anwender festgelegt werden. Dafür nutzt man Hardware-Beschreibungssprachen wie z. B. VHDL. Mit solchen Sprachen beschreibt man, welche Logikgatter genutzt werden und wie sie miteinander verschaltet sind.

Damit Ingenieurinnen und Ingenieure bei diesen komplexen Schaltungen den Überblick behalten, verwenden sie oft Blockschaltbilder: Diese zeigen nur die wichtigsten Funktionsblöcke und wie sie miteinander verbunden sind, ohne alle technischen Details abzubilden.

Das abgebildete Blockschaltbild stellt eine Verschaltung von mehreren identischen Funktionsblöcken mit jeweils zwei Ein- und Ausgängen dar. Die Funktion eines Blockes wird durch den VHDL-Code beschrieben. Bestimme, welche Aufgabe die im Blockschaltbild dargestellte Schaltung erfüllt!

```

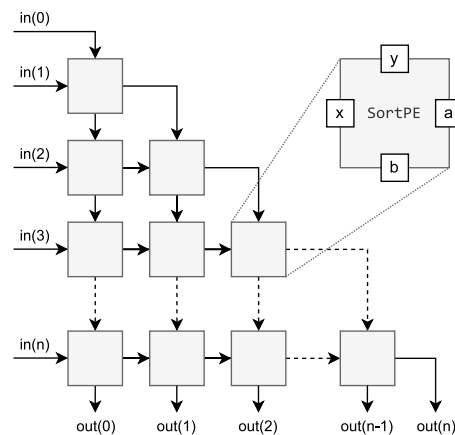
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity SortPE is
  port (
    x, y : in unsigned (7 downto 0);
    a, b : out unsigned (7 downto 0)
  );
end SortPE;

```

```

architecture behavioral of SortPE is
begin
  process (x, y)
  begin
    if (x > y) then
      a <= x;
      b <= y;
    else
      a <= y;
      b <= x;
    end if;
  end process;
end architecture;

```



- A von links nach rechts absteigende Sortierung von 7-bit großen Zahlen
- B von links nach rechts aufsteigende Sortierung von 8-bit großen Zahlen
- C von links nach rechts absteigende Sortierung von 8-bit großen Zahlen
- D von links nach rechts aufsteigende Sortierung von 7-bit großen Zahlen



Aufgabe 16

Endliche Zustandsautomaten

Die Steuerung und Überwachung bestimmter technischer Systeme wird oft mit sogenannten endlichen Zustandsautomaten umgesetzt. Das sind Modelle, die nur eine begrenzte Anzahl von Zuständen kennen und je nach Eingangssignal entscheiden, in welchen Zustand sie als nächstes wechseln. Es gibt zwei grundsätzliche Typen von Zustandsautomaten, die Mealy-Automaten und die Moore-Automaten. Bei einem Moore-Automaten hängt das Ausgangssignal y immer nur vom aktuellen Zustand Z ab. Eingangssignale x können einen Wechsel dieses Zustandes hervorrufen. Bei einem Mealy-Automaten hängt das Ausgangssignal y neben dem Zustand Z auch von den Eingangssignalen ab. Auch bei einem Mealy-Automaten verursachen die Eingangssignale x einen Wechsel des Zustands.

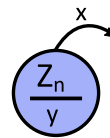
Damit man sich besser vorstellen kann, wie solche Automaten arbeiten, nutzt man Zustandsübergangdiagramme. Diese zeigen übersichtlich, welche Zustände existieren und welche Übergänge zwischen ihnen stattfinden, wenn bestimmte Eingänge auftreten. Die Kreise in Zustandsübergangdiagrammen stellen die Zustände dar und enthalten immer den zugehörigen Zustandsnamen Z_n . Die Pfeile zwischen den Zuständen stellen die Übergänge von einem in den nächsten Zustand da. An diesen Pfeilen sind immer die Eingangssignale x vermerkt, welche den entsprechenden Zustandsübergang verursachen. Bei Mealy-Automaten werden neben den Eingangssignalen x auch das Ausgangssignal y an den Pfeilen vermerkt. Bei Moore-Automaten wird das Ausgangssignal y mit im Zustand (also im Kreis) vermerkt.

Ein endlicher Zustandsautomat soll für die Überwachung einer digitalen Signalleitung eingesetzt werden. Die Leitung wird zur Übertragung eines Bitstroms verwendet. Dem Automaten steht im Eingangssignal x der aktuelle Wert der Signalleitung zur Verfügung. Immer dann, wenn der Automat auf der Signalleitung die Bitfolge 101 erkannt hat, soll über das Ausgangssignal y eine 1 ausgegeben werden, andernfalls eine 0.

Beispiel Signalverlauf:

Signal	Zeitverlauf
x	00011011001...
y	00000001000...

Legende Moore-Automat:



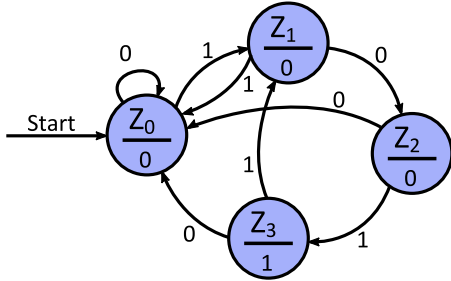
(Fortsetzung auf der nächsten Seite)



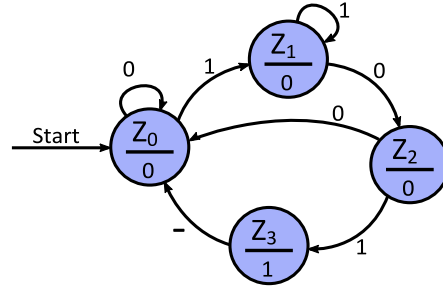
Fortsetzung Aufgabe 12

Entscheide, welches Zustandsübergangsdiagramm der abgebildeten Moore-Automaten die beschriebenen Anforderungen erfüllt.

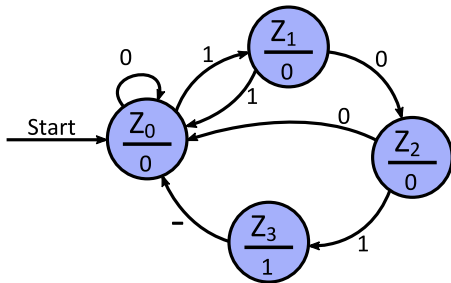
A



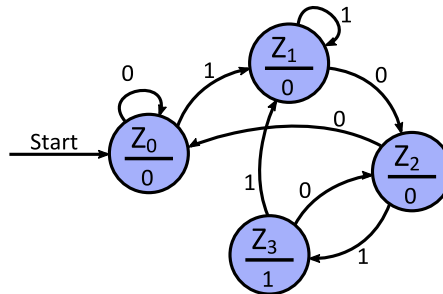
B



C



D



- A Grafik A
- B Grafik B
- C Grafik C
- D Grafik D



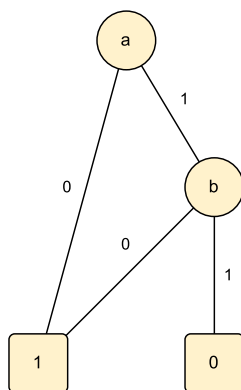
Aufgabe 17

Formale Verifikation

Während es für uns Menschen noch recht einfach ist, eine digitale Schaltung zu entwickeln, die z. B. von 0 bis 9 hochzählt, und diese Schaltung auch selbst zu überprüfen, wird es bei modernen Mikrochips schnell extrem kompliziert. In diesen Chips stecken Millionen bis Milliarden Bauteile und schon kleine Fehler können später große Probleme verursachen. Aus diesem Grund werden die Mikrochips bereits während des Entwurfs verifiziert, d. h. sie werden beinahe bei jedem Schritt auf Fehler überprüft.

In diesem Bereich der Elektrotechnik werden auch mathematische Methoden genutzt, mit denen man beweisen kann, dass eine Schaltung wirklich das tut, was sie soll. Für diesen Zweck nutzt man häufig sogenannte binäre Entscheidungsgraphen. Sie zeigen dabei grafisch, wie Eingangssignale zu einem bestimmten Ausgang führen. Bei den Graphen werden die einzelnen Eingangssignale in Kreisen dargestellt. Die Zahlen an den Kanten stellen den Wert des Eingangssignals dar. Der Ausgangswert des Gatters wird in einem Rechteck angegeben. Um festzustellen, welche logische Operation im binären Entscheidungsgraphen dargestellt ist, empfiehlt es sich, alle möglichen Wege von oben nach unten durchzugehen und sie mit einer Wahrheitstabelle der einzelnen logischen Verknüpfungen zu vergleichen.

Bestimme, welche logische Verknüpfung der Eingangssignale a und b durch den abgebildeten binären Entscheidungsgraphen beschrieben wird.



- A AND
- B OR
- C XOR
- D NAND



Aufgabe 18

Chiplayout

Bevor ein Chip überhaupt gebaut werden kann, wird er zunächst als Idee beschrieben. In dieser Phase geht es darum, was die Schaltung tun soll und nicht darum, wie sie später konkret auf dem Silizium angeordnet wird. Entwicklerinnen und Entwickler nutzen dafür Hardwarebeschreibungssprachen wie VHDL oder Verilog, um festzulegen, welche Rechenoperationen, Datenflüsse und Steuermechanismen der Chip besitzen soll. Diese Beschreibung wird anschließend simuliert und getestet, damit man früh merkt, ob alles funktioniert und keine logischen Fehler auftreten.

Wenn klar ist, dass die Schaltung funktional korrekt ist, folgt das sogenannte Backend. Jetzt wird festgelegt, wo die einzelnen Bauteile später auf dem Siliziumchip liegen und wie sie miteinander verbunden werden. Erst diese geometrische Beschreibung macht die Schaltung zu einem realen, herstellbaren Produkt: Jede Einzelkomponente erhält einen konkreten Ort, Leitungen werden verlegt und es müssen alle wichtigen Entwurfsregeln beachtet werden, damit der Chip später auch wirklich herstellbar ist. Erst wenn dieses Layout vollständig ist, kann die Halbleiterproduktion starten und der Chip wird in der Fabrik gefertigt.

Die Abbildung zeigt ein stark vereinfachtes Beispiel für ein Platzierungsproblem. Berechne, wie viele Möglichkeiten es gibt, um die 5 Elemente a, b, c, d, e auf die sechzehn zur Verfügung stehenden Plätze zu verteilen.

a		b	
		c	
			d
	e		

- A 36
 B 256
 C 524.160
 D 1.048.576



Aufgabe 19

Timinganalyse

Ein wichtiger Schritt beim Entwurf eines Chips ist die Timing-Analyse. Sie untersucht, wie schnell sich elektrische Signale tatsächlich durch die auf einem Chip platzierten und verdrahteten Bauteile bewegen können. Dabei wird sichtbar, dass reale Schaltungen nicht sofort auf elektrische Signale reagieren. Denn aufgrund von unvermeidbaren elektrischen Widerständen und Kapazitäten benötigen Signale immer eine gewisse Zeit, um von einem Gatter (Schaltungsteil) zum nächsten zu gelangen.

Bei der im Bild dargestellten Schaltung ist über jedem Gatter die Zeit angegeben, die ein Signal benötigt, um von einem der Eingänge des Gatters zum Eingang des nächsten Gatters bzw. zu den Ausgängen der Schaltung zu gelangen. Weitere Verzögerungen an den Eingängen der Schaltung sind hier nicht anzunehmen.

Lies aus dem Bild die Verzögerungszeiten ab und berechne, nach welcher Zeit bei einer Änderung eines beliebigen Eingangssignals (a, b, c, d) alle Signalwechsel an den Ausgängen (x, y) abgeschlossen sind.

A 2,5 ns
 B 6,4 ns
 C 7,0 ns
 D 7,4 ns



Aufgabe 20

Sicherheit in mikroelektronischen Schaltungen

Das Magnetfeld der Erde schützt uns Menschen und unsere Elektronik zuverlässig vor schädlichen Einflüssen aus dem Weltraum. Geladene Teilchen mit Kurs auf die Erde, beispielsweise aus Eruptionen auf der Sonne, werden in einem Abstand von ungefähr 70.000 km zur Erdoberfläche fast vollständig um uns herumgeleitet. Wenn solche geladenen Teilchen jedoch auf einen Mikrochip oder Speicherbaustein treffen, kann ihre elektrische Ladung die dort gespeicherten Daten verändern, was zu Fehlfunktionen oder zu falschen Berechnungsergebnissen führt.

Elektronik, die im Weltraum oder in anderen Bereichen mit erhöhter Strahlung wie etwa im Flugzeug in Computern des Autopiloten zum Einsatz kommt, muss daher fehlersicher entworfen werden. Eine bekannte Lösung dafür ist die Redundanz. Dabei werden kritische Berechnungen mehrmals parallel auf verschiedenen Bereichen des Chips durchgeführt. Wenn ein einzelner Bereich durch ein Teilchen gestört wird, liefern die anderen weiterhin korrekte Werte. Ein spezielles Bauteil, der sogenannte „Voter“, vergleicht anschließend alle Ergebnisse und entscheidet sich für dasjenige, das am häufigsten vorkommt. Dieses wird dann weiterverwendet.

Bestimme die minimale Anzahl unabhängiger Recheneinheiten, die erforderlich ist, damit der „Voter“ auch bei Ausfall einer Einheit weiterhin das korrekte Ergebnis bestimmen kann.

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4

