

INVENT a CHIP

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

VDE

Wettbewerb für Schüler*innen zum Chipdesign – IaC-Quiz

Mikroelektronik und Mikrochips sind auf der Erde für Smartphones, Computer, Spielekonsolen und selbst Waschmaschinen unerlässlich. Mikroelektronik hilft beim Energiesparen, indem sie Solarpanels und Heizungen optimal steuert oder Akku-Ladezyklen optimiert. Im Rahmen des diesjährigen Wissenschaftsjahres „Unser Universum“ zeigen wir euch, welche wichtige Rolle Mikrochips auch im Weltraum haben.

INVENT a CHIP setzt als bundesweiter Wettbewerb des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit der Mikroelektronik auf diese wichtige Zukunftstechnologie. Mit INVENT a CHIP bekommst du spannendes Expertenwissen zu Mikrochips – für die Herausforderungen der Zukunft. Attraktive Preise warten auf dich.

IaC-Quiz

Das IaC-Quiz mit 20 spannenden Fragen ist dein erster Einstieg in die Welt der Chips. Beantworte die ersten 16 Fragen (das gilt für die Jahrgangsstufen 9 und 10) bzw. alle 20 Fragen (Jahrgangsstufen 11 bis 13) zur Elektronik und rund um Mikrochips im Weltall.

Join INVENT a CHIP

Teilnahmeberechtigt: Schüler*innen von allgemein- und berufsbildenden Schulen der Jahrgangsstufen 9 bis 13 aus ganz Deutschland.

Einmalige Online-Registrierung mit Namen, E-Mail und Schulangabe. Dann entscheidest du, ob du bei INVENT a CHIP am IaC-Quiz oder auch weiter an der IaC-Challenge (mit der Option des IaC-Camps) teilnehmen möchtest.

Timeline IaC-Quiz

Unter www.invent-a-chip.de ist das IaC-Quiz zum Online-Ausfüllen bis zum 31. Mai 2023 freigeschaltet. Ende Juni wird der Schulpreis bekannt gegeben und die Zertifikate und der Lösungsbogen per E-Mail versendet.

IaC-Quiz-Awards

- viele spannende Kenntnisse – und eine tolle Basis, um mit der IaC-Challenge direkt weiterzumachen
- die 50 besten Teilnehmer*innen bekommen je einen Mikrocontroller
- alle: Teilnahmezertifikat – für die Bewerbungsmappe
- alle: Lösungsbogen und Punktzahl
- Schulpreis für die höchste durchschnittliche Punktzahl aller Teilnehmenden:
 1. Platz: 1.000 Euro
 2. Platz: 750 Euro
 3. Platz: 500 Euro



Nähere Informationen im
INVENT a CHIP-Flyer oder unter
www.invent-a-chip.de



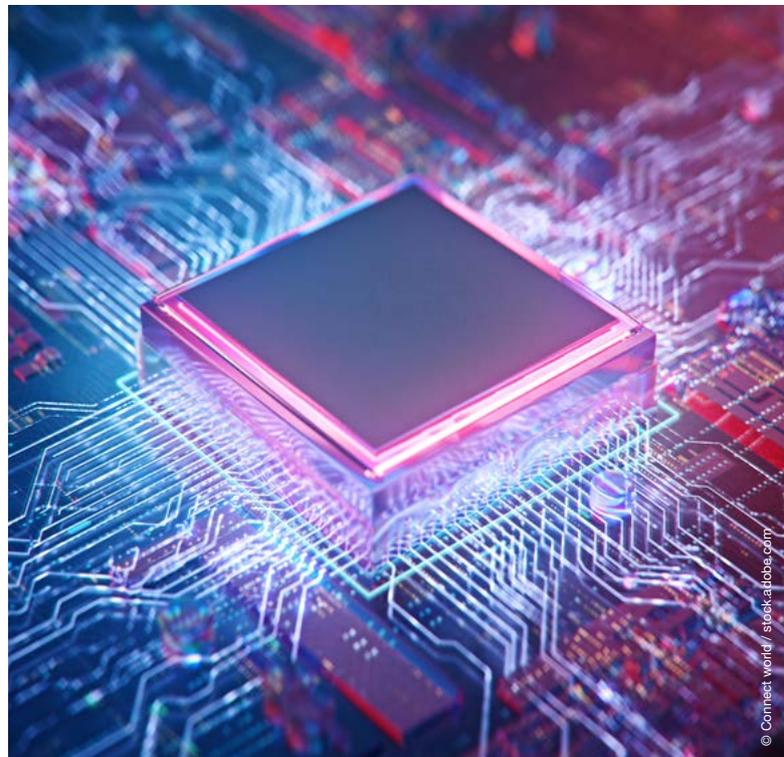
Rückfragen?
Bitte E-Mail an
iac@vde.com

Bedeutung von Mikrochips

Du nutzt täglich Geräte, in denen Mikrochips verbaut sind. Nachhaltig und ressourcenschonend, sicher und innovativ: diese Aspekte spielen bei vielen Produkten aus Alltag und Industrie eine immer stärkere Rolle. Und fast überall sind Mikrochips drin, im Handy oder Notebook, dem e-Bike oder der Fitness-Watch. Mikrochips helfen auch bei den drängenden Aufgaben der Energiewende, indem sie beispielsweise Solarpanels und Heizungen optimal steuern oder Akku-Ladezyklen optimieren – und dabei brauchen sie selbst immer weniger Energie bei mehr Leistung. Neben der Mikroelektronik, die unseren Alltag begleitet, gibt es natürlich die großen Zukunftsprojekte wie das autonome Fahren, ob auf Straße oder Schiene.

Mikroelektronik kreist auch über unseren Köpfen – und das nicht nur in Flugzeugen: Besonders im Weltall sind Mikrochips unverzichtbar. In der Raumfahrt könnte keine Rakete abheben, es gäbe keine Internationale Raumstation ISS mit all ihren Forschungseinrichtungen und Astronaut*innen könnten dort keine Außeneinsätze zu Wartungsarbeiten durchführen. Der spannendste Einsatz von Mikroelektronik wird nach fünfzig Jahren bald wieder den Flug von Menschen zum Mond ermöglichen: Ende 2022 fand der erste Testflug des Orion-Raumschiffs statt, das mit Shaun das Schaf und Snoopy prominente „Astronauten“ an Bord hatte. Die beiden waren dankbare Kandidaten, um das in Bremen gebaute Europäische Servicemodul zu testen, das für Antrieb, Klimatisierung sowie Strom, Wasser und Atemluft sorgt. Hier ist Mikroelektronik überlebenswichtig und es darf nichts schiefgehen!

Mikrochips stecken in den Satelliten für Internet und Fernsehen und in den Erdbeobachtungs-Satelliten, die aus der Ferne der Erdumlaufbahn mühelos den Zustand der Wälder und die Zusammensetzung der Erdatmosphäre erkennen. Und auch unsere Navigation auf der Erde wird vom Aussenden der exakten Zeitsignale durch die GPS- und Galileo-Satelliten bestimmt. Das Thema des Wissenschaftsjahres 2023 ist „Unser Universum“ – darum heben



auch manche Fragen des diesjährigen INVENT a CHIP-Fragebogens ab in den schwerelosen Welt-
raum!

Mikroelektronik bekommt man nicht so einfach zu fassen, selbst auf der Erde: Die hochintegrierten Schaltkreise auf den Mikrochips sind fast immer in schwarzen Kunststoffgehäusen verborgen, erkennbar an ihren äußeren „Anschlussbeinchen“. Diese Chips sehen von außen scheinbar gleich aus, denn das eigentliche Design verbirgt sich, für das bloße Auge unsichtbar, im Inneren. Dort sind winzige Strukturen aus Unmengen von Transistoren, die für ihre Aufgaben passend verschaltet werden müssen: Das ist Chipdesign und das Top-Thema von INVENT a CHIP! Neugierig geworden? Bei der IAC-Challenge kannst du übrigens auch selbst die ersten Schritte im Chipdesign machen.

Aufgabe 1

Mikrochips im Weltraum

Mit der Erforschung und Nutzung des Weltraums durch Satelliten sind für uns Erdlinge viele Innovationen im Alltag möglich geworden. Beispiele sind die genaue Positionsbestimmung, Fernsehen überall auf der Welt und die Sprach-Kommunikation in den entlegensten Gegenden der Erde. Sogar manche modernen Smartphones sind mittlerweile in der Lage, überall auf der Erde über Satelliten Notrufe abzusetzen und Nachrichten zu versenden.

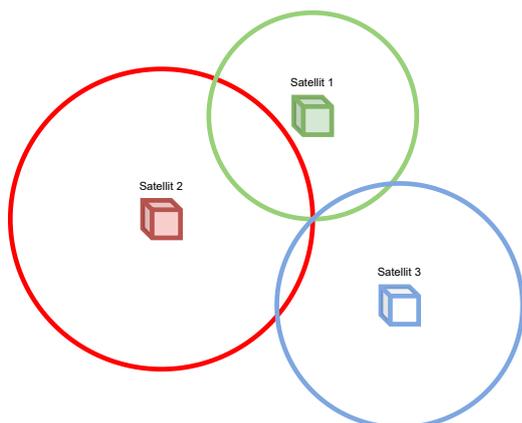
Auf der Internationalen Raumstation (ISS) wurden seit ihrer Inbetriebnahme im Jahr 2000 über 3.000 unterschiedliche wissenschaftliche Experimente unter fast vollständig fehlender Gravitation durch Bordingenieur*innen durchgeführt. Manche Entwicklungen, wie beispielsweise effiziente Wasserfilter, bringen auch in irdischen Anwendungen Vorteile.

Aufgabe 2

Globale Positionsbestimmung

Regelmäßig machen wir uns Satelliten im Weltraum bei der Verwendung globaler Positions-Systeme zunutze. Die Satelliten der Konstellationen GPS (USA), GLONASS (Russland), Beidou (China) oder Galileo (Europa) ermöglichen uns eine präzise Lokalisierung auf der Erdoberfläche, mittlerweile teilweise bis auf wenige 10 cm genau.

Die Satelliten senden zyklisch eine Uhrzeit zum Zeitpunkt des Sendevorgangs aus dem Weltall. Die Uhrzeit wird laufend mit Basisstationen auf der Erde und ihrer bekannten Position korrigiert und in der Zwischenzeit über hochpräzise Atomuhren im Satelliten vorgehalten. Aus der Laufzeit dieses Signals zum Empfänger kann dann die Entfernung berechnet werden. Theoretisch benötigt der Empfänger die Signale von drei unterschiedlichen Satelliten, um sich im dreidimensionalen Raum auf der Erde eindeutig zu lokalisieren.



Für diese Eroberung und Nutzung des Weltalls werden unterschiedlichste Mikrochips benötigt. Wähle alle der folgenden Anwendungen für Mikrochips aus.

Es ist mehr als eine Antwort richtig.

- A** Supercomputer zur Berechnung von Raketen- oder Satelliten-Flugbahnen
- B** Mikrocontroller in Satelliten oder Raketen zur Korrektur des Kurses
- C** Hitzeschilder zum Schutz vor Zerstörung beim Wiedereintritt in die Atmosphäre
- D** Übertragung digitaler Kamerabilder aus dem Weltall auf die Erde

In der Praxis sind jedoch vier Satelliten für die genaue, dreidimensionale Lokalisierung eines Smartphones oder Navigationsgeräts notwendig. Woran liegt das?

- A** Ein Satellit könnte falsche Signale senden. Durch den vierten Satelliten kann der Empfänger eventuell auftretende Fehler erkennen.
- B** Für die präzise Laufzeitberechnung müsste der Empfänger auch eine Atomuhr haben. Aus dem vierten Satelliten kann die exakte Zeit synchronisiert werden.
- C** Der vierte Satellit wird benötigt, weil zur Berechnung des Standortes zusätzlich die lokale Feldstärke des erdgebundenen Magnetfeldes bekannt sein muss.
- D** Mit nur drei Satelliten würde die Lokalisierung sehr lange dauern. Für die echtzeitfähige Positionsbestimmung in Navigationsgeräten sind deshalb vier Satelliten notwendig, um nicht die Ausfahrt zu verpassen.

Aufgabe 3

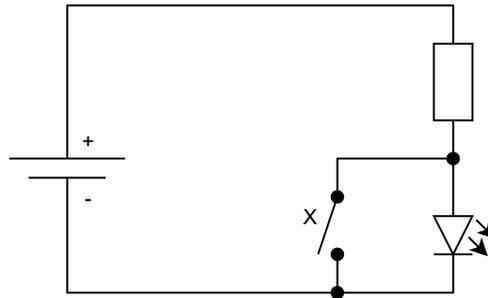
Schalter machen Logik

Schalter sind die Grundlage aller Digitallogik und Prozessoren. Sind sie geöffnet, kann kein Strom fließen; sind sie geschlossen, kann Strom durch sie fließen. Unten sind vier Schaltungen mit Schalterlogik, Batterie und einer LED mit Vorwiderstand dargestellt. Letzterer dient lediglich dazu, den maximalen Strom durch die LED zu begrenzen, falls du die Schaltungen nachbauen möchtest.

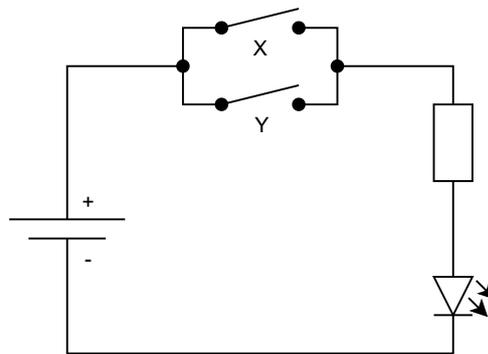
Ordne die Schalterschaltungen der jeweiligen folgend aufgelisteten Logikfunktion zu:

- UND: die LED soll leuchten, wenn Schalter X UND Y geschlossen sind.
- ODER: die LED soll leuchten, wenn Schalter X ODER Y geschlossen sind.
- NICHT: die LED soll leuchten, wenn der Schalter X NICHT gedrückt ist.

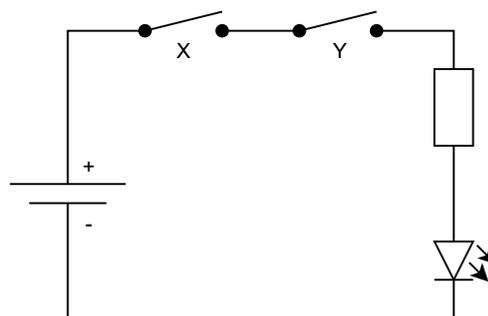
Schaltung 1



Schaltung 2



Schaltung 3



- A** Schaltung 1: NICHT; Schaltung 2: UND; Schaltung 3: ODER
- B** Schaltung 1: NICHT; Schaltung 2: ODER; Schaltung 3: UND
- C** Schaltung 1: UND; Schaltung 2: ODER; Schaltung 3: NICHT
- D** Schaltung 1: ODER; Schaltung 2: NICHT; Schaltung 3: UND

Aufgabe 4

Speichern von Daten

Das Speichern von Daten ist für fast alle Anwendungen notwendig. Dabei gibt es unterschiedliche Anforderungen an die Datenspeicher: Mikrocontroller müssen beispielsweise Sensordaten der vergangenen Sekunden oder die aktuelle Position der Raumsonde zwischenspeichern, auf welche mit hoher Geschwindigkeit und geringem Energieverbrauch regelmäßig zugegriffen werden muss.

Ein Foto von der Mond-Rückseite ist hingegen wesentlich größer im Speicherbedarf und muss bis zur Übertragung bei Sichtkontakt mit der Erde über längere Zeit sicher zwischengespeichert werden. Für diese Anwendung kommen beispielsweise sogenannte Flash-Speicher zum Einsatz. Strahlung im Weltall (beispielsweise geladene Alpha-Teilchen) können bei einem Treffer mit einer Speicherzelle die darin gespeicherte Ladung (Information) auslöschen und somit Daten verändern. Daher werden weltraumtaugliche Split-Gate-Flash-Speicherzellen im Vergleich zu auf der Erde eingesetztem Flash vergrößert, um mehr Ladungen speichern zu können.

Du bist als Entwickler des Speichers gefragt, wie groß der Flash-Speicher sein muss, damit die Speicherung der Bilder der Mondrückseite möglich ist. Es sollen 800 Bilder mit einer Auflösung von jeweils 1200 x 960 Pixeln gespeichert werden, um später auf der Erde zu einem Panorama zusammengesetzt zu werden. Jedes Pixel hat dabei drei Farbwerte mit einer Wortbreite von jeweils 14 Bit. Die Bilder werden um 95 % komprimiert. Aus deiner Erfahrung planst du zusätzlich 20 % Reserve für Speicherzellen, die eventuell bereits bei der Fertigung defekt sind.

Wie groß muss der beschriebene Flash-Speicher sein?

- A 774.144.000 Bit
- B 290.304.000 Bit
- C 46.448.640.000 Bit
- D 2.322.432.000 Bit

Aufgabe 5

Zahlen binär darstellen

Zur Verarbeitung von Zahlen in Mikrochips werden Binärzahlen verwendet. Diese bestehen aus mehreren Bits, welche jeweils einen der zwei (daher binär) Zustände „0“ oder „1“ annehmen können. Die Wertigkeit der Bits steigt, genauso wie in unserem gebräuchlichen Dezimalsystem, mit jeder Stelle. Die Wertigkeit eines Bits ist dabei 2^i , wobei i die Stelle im Binärwort ausgehend von der Wertigkeit 0 angibt.

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Der Dezimalwert kann durch die Summe aus den Multiplikationen des jeweiligen Bits mit seiner entsprechenden Wertigkeit erhalten werden. Bei dem gezeigten 8-Bit-Wort im Binärsystem (darum die tiefgestellte 2 an der Klammer) liegt der Wertebereich entsprechend zwischen 0 $(00000000)_2$ und 255 $(11111111)_2$.

In vielen Anwendungen ist es notwendig, auch nicht ganzzahlige Werte darstellen zu können – beispielsweise die Temperatur. Hierzu kann die Wertigkeit der Bits durch ein „virtuelles“ Komma verändert werden. Im Folgenden werden drei Bits des 8-Bit-Wortes für Nachkommastellen verwendet. Die entsprechenden Wertigkeiten sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}
-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------

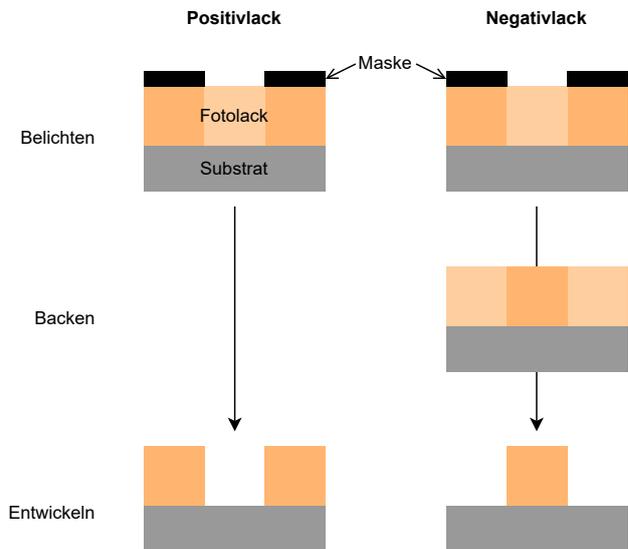
Berechne die dezimale Zahl, die bei der Verwendung von drei Nachkommabit durch die binäre Zahl $B = (01110011)_2$ dargestellt wird.

- A 3,1415
- B 115
- C 14,375
- D -5,46

Aufgabe 6

Herstellung von Mikrochips

Mikrochips integrieren Tausende bis Milliarden von Transistoren (Schalter) und Speichern auf einer Fläche von wenigen Quadratmillimetern bis Quadratzentimetern. In der Chipfabrik, meist kurz „Fab“ (von semiconductor fabrication plant) genannt, werden diese Mikrochips – ausgehend von einer dünnen Scheibe Silizium – durch Hunderte aufeinanderfolgende Prozessschritte hergestellt. Immer abwechselnd wird Material aufgebracht, werden die Bereiche der Leiterbahnen oder Transistorgebiete mittels einer Maske und kurzweiligem Licht belichtet und dadurch strukturiert und anschließend werden diese Bereiche geätzt. Für die Strukturierung wird Fotolack eingesetzt, der unter einer Schablone (der sogenannten Maske) entweder resistent gegenüber dem nachfolgenden Ätzschritt wird (Negativ-Ätzung) oder es wird nur der belichtete Teil des Fotolacks entfernt (Positiv-Ätzung). Nach einer Reinigung beginnt der Prozess erneut. Die Funktion des Mikrochips ist in diesen Masken kodiert. Die Baupläne mit der konkreten Verschaltung der internen Transistoren werden der Chipfabrik bereitgestellt.



In der Mikroelektronik werden die Abmessungen der Transistoren immer kleiner und somit die Strukturen in der Maske immer feiner. Das führte bereits ab den frühen 2000er Jahren bei Transistoren kleiner als 100 nm zu Problemen bei der Belichtung. Das Auflösungsvermögen dieser Abbildung (auch Lithographie genannt) ist nämlich maßgeblich von der Wellenlänge des verwendeten Lichts und der Optik abhängig. Mit der damals üblichen Wellenlänge von 193 nm konnten noch Transistoren mit einer Strukturgröße von 22 nm oder mit viel Aufwand von 10 nm auf dem Chip strukturiert werden, aber eine weitere Verkleinerung war aufgrund optischer Gesetze kaum noch möglich.

Den Durchbruch für weiter miniaturisierte Transistoren brachte die Entwicklung der EUV (Extrem-Ultra-Violetten)-Belichtung, maßgeblich durch Wissenschaftler und Ingenieure der deutschen Unternehmen Zeiss und Trumpf, die dafür mit dem Deutschen Zukunftspreis 2020 ausgezeichnet wurden.

Welche Wellenlänge hat die EUV-Strahlung (Energie von 91,82 eV)?

- A 13,5 nm
- B 6,75 nm
- C 248 nm
- D 442 nm

Aufgabe 7

Wertschöpfungsketten

In den vergangenen drei Jahren hatten Hersteller von Unterhaltungselektronik, Automobilen und weiterer Branchen Schwierigkeiten, ihre Produkte wegen des globalen Halbleiternmangels zu produzieren. Durch immer mehr Funktionen und Leistung steigt beispielsweise im Automobilbereich vor allem die Menge und Komplexität der Elektronik. Ein modernes Auto fährt ohne die dutzenden Chips zur Motorsteuerung oder Batterie-Management-Chips nicht mehr. Fehlt nur einer der Chips im Wert von nur wenigen Euro, kann kein Auto im Wert von mehreren 10.000 € produziert und verkauft werden. Solche Verkettungen von (Vor-)Produkten zu immer wertvolleren Produkten werden auch Wertschöpfungskette genannt.

Die Wertschöpfungskette für die Herstellung von Chips ist ebenfalls komplex. Wähle aus den folgenden Antwortmöglichkeiten die Lieferanten der Mikrochiphersteller aus. In all diesen Bereichen sind Fachkräfte zur Weiterentwicklung der Chipfertigung gefragt.

Es ist mehr als eine Antwort richtig.

- A** Chemiebranche, welche Säuren, Laugen, aber auch das Rohmaterial in Form von Siliziumscheiben liefert.
- B** Automatisierungsindustrie, die die Fabriken komplett automatisiert und damit Verunreinigungen durch menschliche Handhabung minimiert und die Genauigkeit erhöht.
- C** Lebensmittelindustrie, die für die Verpflegung der Mitarbeiter in der Chipentwicklung sorgt.
- D** Test- und Packagingindustrie, die die Siliziumchips vereinzelt, testet und in die bekannten schwarzen Plastikgehäuse gießt.

Aufgabe 8

Gehirnforschung mit ADDONISS

Bisherige Forschung auf der Internationalen Raumstation (ISS) hat gezeigt, dass unter Weltraumbedingungen in vielen Bereichen Alterungsprozesse deutlich schneller ablaufen. Das Team WARR Space Labs der TU München will sich dies für ihr Experiment ADDONISS (Ageing and Degenerative Diseases of Neurons on the ISS) zunutze machen, um mehr über degenerative Erkrankungen des Gehirns, wie etwa Alzheimer, zu lernen. Dazu erforschen die Studierenden zwei Kulturen von Gehirnzellen unter den Umgebungsbedingungen auf der ISS. Eine der Kulturen wird mit einem Mittel versetzt, welches ähnliche Störungen hervorruft wie die Alzheimer-Krankheit. Die Zellkulturen wachsen dabei direkt auf einem Mikrochip, welcher das unmittelbare Messen elektrischer Signale und damit der Aktivität der Zellen ermöglicht. Gleichzeitig wird das Wachstum der Zellen auch von einem miniaturisierten Kamera-Mikroskop beobachtet. Die Ergebnisse werden dann mit einem parallel ablaufenden Experiment auf dem Erdboden verglichen. Übrigens ist eine ehemalige Teilnehmerin von INVENT a CHIP Leiterin dieser Studierenden-Projektgruppe.

Neben dem Chip, auf dem die Gehirnzellen direkt wachsen, benötigt das ADDONISS-Experiment noch einige unterstützende Mikrochips, die vielfältige Funktionen zur Herstellung annähernd gleicher Umgebungsbedingungen zwischen der Erde und der ISS realisieren. Welche der folgenden Funktionen könnten das sein?

Es ist mehr als eine Antwort richtig.

- A** Messung und Protokollierung der Stärke der Gravitation im Experiment.
- B** Kommunikation des Experiments mit der ISS, um die Flugbahn an das Wachstum der Zellen anzupassen.
- C** Regelung der Temperatur im Experiment durch Temperatursensoren und Ansteuerung von Heiz- und Kühlelementen.
- D** Steuerung der Pumpe, welche eine Nährstofflösung zu den Gehirnzellen fördert.

Aufgabe 9

Demokratische Fehlerbeseitigung

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 um uns herumgeleitet. Denn treffen diese geladenen Teilchen auf einen Mikrochip oder Speicherbaustein, kann die Ladung der Teilchen die elektrisch gespeicherten Daten verändern und zu falschen Berechnungsergebnissen führen.

Elektronik, welche im Weltraum oder in strahlungsbelasteten Anwendungen wie etwa im Flugzeug in Computern des Autopiloten zum Einsatz kommt, muss daher fehlersicher entworfen werden. Eine weit verbreitete Methode hierbei ist die mehrfache Berechnung ein und desselben kritischen Algorithmus an unterschiedlichen Stellen im Chip. Durch den örtlichen Abstand sollte ein eventueller Ladungstreffer nur eine der Recheneinheiten stören und nicht den gesamten Mikrochip. Ein sogenannter „Voter“ entscheidet im Anschluss aus den Rechenergebnissen, welches am häufigsten vorkommt und leitet dieses weiter.

Wie viele unabhängige Recheneinheiten werden auf einem Chip *mindestens* benötigt, damit der „Voter“ bei einem Fehler einer Einheit noch das richtige Ergebnis bestimmen kann?

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

Aufgabe 10

Schnellere Kommunikation durch Nähe / Mooresches Gesetz

Mit der fortschreitenden technischen Entwicklung der Elektrotechnik hat sich auch die Realisierungsform der Schalter geändert. Der erste voll funktionsfähige und programmierbare Digital-Computer (Zuse Z3) bestand beispielweise aus Relais. Das sind elektro-magnetische Bauteile, die beim Anlegen eines elektrischen Stroms ein internes Magnetfeld erzeugen und darüber einen Schalter öffnen oder schließen können. Diese Relais haben im Vergleich zu heutigen Transistoren allerdings neben ihren lauten Geräuschen weitere Nachteile: der Energieverbrauch pro Schaltvorgang ist hoch, Relais können mechanisch kaputt gehen (z. B. „kleben“ bleiben). Vor allem aber lassen sich diese komplexen mechanischen Bauteile schlecht integrieren – darunter versteht man, die Anzahl der Schalter zu erhöhen, um kostengünstige, größere Schaltkreise zu produzieren.

Mittels der heutzutage verwendeten Halbleiter-basierten Transistoren können Schaltkreise mit über 80 Milliarden Transistoren auf einem Chip mit der Größe eines Fingernagels realisiert werden. Zum Vergleich: ein einzelnes, kleines Relais ist schon so groß wie eine Daumenkuppe. Durch die kurzen Drähte und schnellen Schaltzeiten auf den Chips sind die Taktfrequenzen heute um ein Vielfaches höher und die Leistungsaufnahme (der „Stromverbrauch“) im Verhältnis deutlich geringer.

Diesen Trend der Integration hat bereits im Jahr 1965 einer der Gründer des Prozessor-Herstellers Intel, Gordon Moore, in dem nach ihm benannten Mooreschen Gesetz vorhergesehen. In dem Jahr wurden lediglich 60 Transistoren in einem integrierten Schaltkreis (Chip) integriert.

Aus der damaligen Betrachtung der Anzahl der Transistoren pro Chip der vergangenen 6 Jahre konnte er ableiten, dass sich die Anzahl der Transistoren in einem bestimmten Zeitraum etwa verdoppelt. Wie groß ist dieser Zeitraum ungefähr?

- A 1,3 Jahrzehnte
- B 8-10 Jahre
- C 18-24 Monate
- D 30-36 Wochen

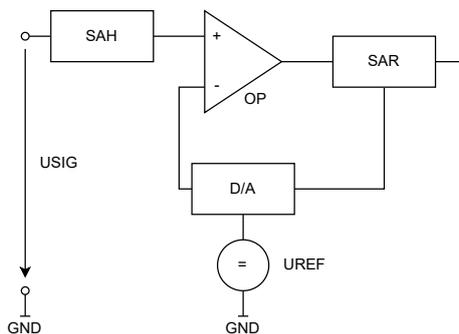
Aufgabe 11

Analoge Information digital verarbeiten

Signale in der Umwelt sind vorwiegend analog – das heißt zeitkontinuierlich und wertkontinuierlich. In der Digitaltechnik hingegen werden Signale zeit- und wertdiskret verarbeitet – also mit jeweils festgelegten Schrittweiten und Zeitfenster:

- wertdiskret: Die Darstellung von Zahlen im Binärsystem beispielsweise ist durch die Menge der verfügbaren Bits eines Wortes begrenzt. Ein Wert zwischen zwei diskreten aufeinander folgenden Zahlen ist bei fester Wortbreite nicht möglich.
- zeitdiskret: Mikrochips verarbeiten diese wertdiskreten Werte innerhalb eines festen Zeitrasters, beispielsweise 48 kHz bei Audiosignalen. Zwischen zwei Zeitschritten sind keine Werte vorhanden.

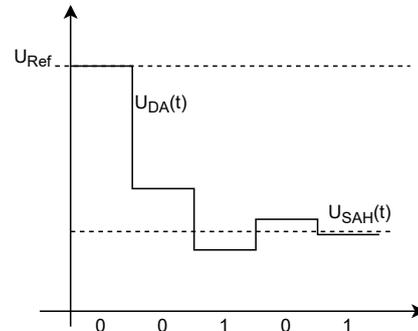
Analog-Digital-Wandler sind in der Lage, analoge Signale in ebensolche digitale, verarbeitbare Signale zu wandeln. Von den unterschiedlichen AD-Wandlern wird in dieser Aufgabe das sogenannte Wägeverfahren betrachtet, welches in der folgenden Abbildung dargestellt ist:



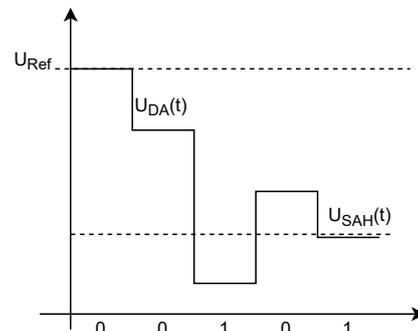
Am Eingang liegt eine analoge Spannung U_{SIG} an. Diese wird während der Dauer der AD-Wandlung in dem Abtast-Halte-Glied (SAH, Sample-and-Hold) konstant gespeichert, da die Abtastung sequenziell über mehrere Takte erfolgt. In jedem Takt wird über den Digital-Analog-Wandler (D/A) eine Referenzspannung erzeugt und mit dem gespeicherten analogen Wert in dem Komparator (OP) verglichen. Die Referenzspannung wird aus einem digitalen Wert erzeugt (gespeichert im Datenspeicher SAR, Successive Approximation Register), wobei vom höchstwertigen zum niederwertigsten Bit alle Bits getestet werden. Zum Beginn ist das Wort „0“ und anschließend wird das jeweils ausgewählte Bit testweise aktiviert. Ist die aus diesem Wort erzeugte Referenzspannung kleiner als der gespeicherte analoge Wert, bleibt das Bit gesetzt, anderenfalls wird das Bit auf 0 zurückgesetzt. Anschließend geht es mit dem nächstniederwertigeren Bit weiter. Wurden alle Bits getestet, ist die AD-Wandlung abgeschlossen und der Prozess beginnt von vorne.

Wähle aus den folgenden Zeitverläufen denjenigen aus, der das beschriebene Wägeverfahren zeigt:

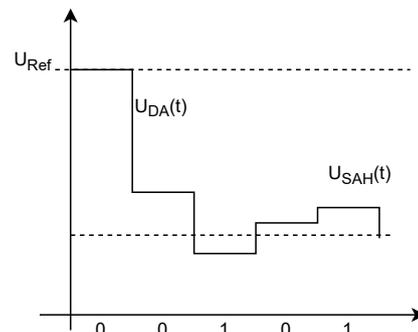
A



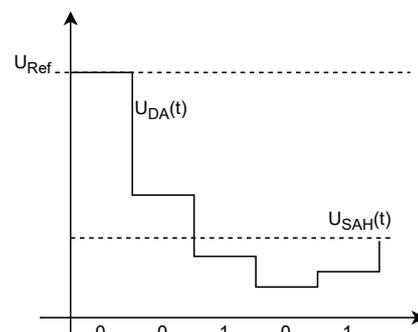
B



C



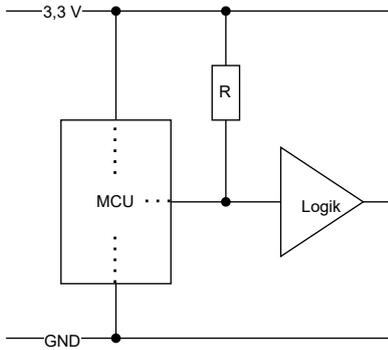
D



Aufgabe 12

Die Welt beeinflussen

Neben der Aufnahme von Daten muss ein Mikrochip in der Regel auch über seine Ausgänge auf die Umwelt Einfluss nehmen. In der folgenden Abbildung ist beispielhaft eine mögliche Ausgangsschaltung eines Mikrocontrollers (MCU) dargestellt. Der Ausgang (Output) kann entweder auf das Referenzpotential GND (0 V) oder auf eine Versorgungsspannung von 3,3 V geschaltet werden. An dem Ausgang ist dann ein Pull-Up-Widerstand R und eine weitere Logik (Dreieck-Symbol) angeschlossen.



Berechne die Verlustleistung über den Widerstand $R = 980 \text{ Ohm}$, wenn der Ausgang auf logisch "1" (Versorgungsspannung) schaltet. Die Logik kann durch einen Innenwiderstand von 50 Ohm zum Referenzpotential vereinfacht werden.

Verlustleistung $P =$ mW

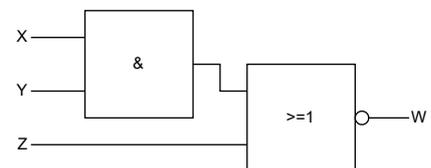
Aufgabe 13

Funktionen mit Logiktablelle beschreiben

Logisches NICHT	Logisches UND	Logisches ODER	Logisches XOR

Neben Schaltplänen kann die Funktion einer digitalen Schaltung auch durch eine Logiktablelle, manchmal auch als Wahrheitstabelle bezeichnet, beschrieben werden. In der Logiktablelle sind für alle möglichen Belegungen der Eingänge die Werte des oder der Ausgangssignale tabellarisch aufgelistet. Bei N Eingangssignalen weist eine vollständige Logiktablelle 2^N Zeilen mit jeweils innerhalb der Tabelle einzigartiger Eingangsbelegung auf. Der Schaltplan enthält zusätzliche Informationen zur technischen Realisierung der Funktion, die in einer Tabelle nicht dargestellt werden können. In vielen Fällen, beispielsweise beim Vergleich von zwei Schaltungen bezüglich ihrer Funktion, sind diese Informationen aber auch nicht notwendig.

Rechts ist eine Schaltung mit drei Eingangssignalen (X, Y und Z) und zwei Gattern dargestellt. Leite aus dem Schaltplan die Funktion für das Ausgangssignal (W) ab und fülle die gegebene Logiktablelle aus.



X	Y	Z	W
0	0	0	?
0	0	1	?
0	1	0	?
0	1	1	?
1	0	0	?
1	0	1	?
1	1	0	?
1	1	1	?

Hinweis: Ein UND-Gatter wird durch das Symbol "&", ein ODER-Gatter durch das Symbol ">=" und ein XOR-Gatter durch das Symbol "=1" gekennzeichnet. Ein Kreis an einem Ein- oder Ausgang eines Gatters negiert jeweils das dort eingehende oder ausgegebene Signal.

Aufgabe 14

Ein BUS zur Kommunikation

Oftmals ist die Kommunikation unter mehreren Mikrochips notwendig. Beispielweise kann der Mikrocontroller die Eingangsdaten von dem Analog-Digital-Wandler auslesen, intern verarbeiten und das Ergebnis an einen weiteren Chip zur Datenübertragung senden. Damit möglichst viele unterschiedliche Chips miteinander kommunizieren können, wurden mehrere jeweils für ihre Anwendung geeignete Kommunikationsprotokolle und -prinzipien standardisiert. Eine Vielzahl dieser Protokolle setzen einen sogenannten BUS (Binary Unit System) voraus. Das sind gemeinsame Leitungen, an die mehrere Chips angeschlossen sind. Vor dem Senden von Daten wird geprüft, ob der BUS frei ist. Anschließend können der oder die Empfänger adressiert und Daten übertragen werden.

Ein weit verbreitetes BUS-System ist der so genannte CAN (Controller Area Network)-BUS, der bereits 1983 vom deutschen Unternehmen Robert Bosch entwickelt wurde und nach wie vor in Fahrzeugen die Kommunikation zwischen Steuergeräten realisiert. Als „CAN in space“ setzt die Europäische Weltraumorganisation ESA den CAN-BUS auch in Satelliten ein, sogar bei einer geplanten Mars-Mission.

Für jede Nachricht in einer klassischen CAN-Nachricht werden zusätzlich zu den 0 bis 64 Bit an Nutzdaten 44 weitere Bits übertragen. Diese kodieren unter anderem die Art der Nachricht und eine Prüfsumme, um mögliche Fehler bei der Übertragung zu erkennen und teilweise korrigieren zu können.

Über einen CAN-BUS sollen drei Temperatursensoren ausgelesen werden. Diese übertragen jeweils alle 100 ms einen Temperaturwert mit 16 Bit in einer Nachricht.

Wie hoch ist die Datenrate des CAN-BUS, wenn keine weiteren Teilnehmer Nachrichten senden und keine Kollisionen auftreten?

Datenrate: Bit/s

Hinweis: Weitere Effekte werden in dieser Aufgabe nicht betrachtet, wie etwa das so genannte Bit-Stuffing, bei dem nach 5 aufeinander folgenden „0“ oder „1“ ein invertiertes Bit eingefügt wird.

Aufgabe 15

Signale erwärmen Mikrochips

Im Weltraum ist es sehr kalt: ungefähr -270 °C , also nur 3 K wärmer als der absolute physikalische Nullpunkt der Temperatur. Halbleiter funktionieren jedoch am besten bei irdischen Raumtemperaturen. Damit Mikrochips also im Weltraum funktionieren, müssen sie auf der richtigen Temperatur gehalten werden – entweder per Heizung oder durch Eigenerwärmung. Während in den meisten PCs und Laptops auf der Erde die von den Chips erzeugte Wärme abtransportiert wird, um sie zu kühlen, ist im Weltraum eine Mindest-Eigenerwärmung gewünscht.

Neben einer statischen (also dauernden) Verlustleistung (verursacht durch Leckströme) entstehen Verluste vor allem durch dynamische Vorgänge, beispielsweise bei Bitwechseln auf einer Signalleitung. Ein Bitwechsel verursacht bei dem untersuchten Chip eine Verlustleistung von 1 nW. Die statische Verlustleistung ist mit 17 mW durch die Größe des Chips und die verwendete Technologie vorgegeben und entsteht, sobald der Prozessor mit Energie versorgt wird.

Der Chip soll eine Temperatur von 25 °C erreichen. Führt der Prozessor keine Berechnungen durch, erwärmt sich dieser um 8 K. Der Chip muss sich somit um weitere $|-270\text{ °C} - 25\text{ °C}| = 295\text{ K}$ erwärmen. Davon entfallen bereits 8 K bei einer Leistung von 17 mW auf statische Verluste, woraus ein Temperaturanstieg von $8\text{ K} / 17\text{ mW} = 470\text{ K} / \text{W}$ folgt.

Wie viele Bitwechsel müssen mindestens pro Sekunde auf allen Signalleitungen zusammen durchgeführt werden, um den Chip auf eine Temperatur von mindestens 25 °C durch Eigenerwärmung zu heizen?

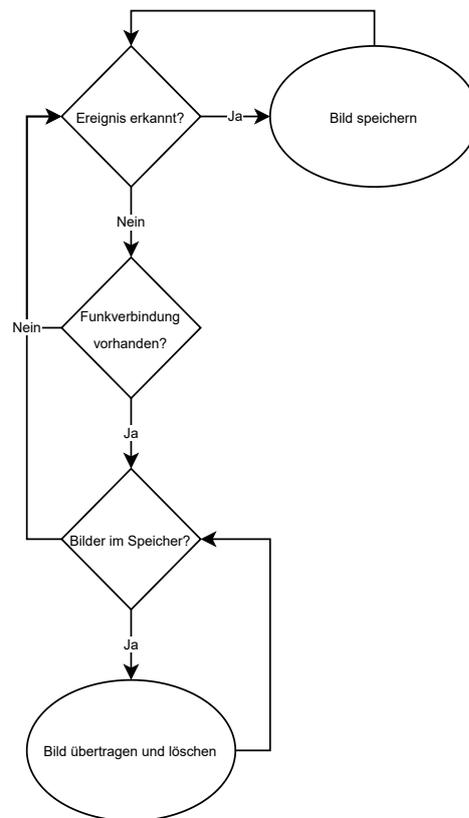
- A 610.000
- B 10.000
- C 364.192.192
- D 610.638.300

Aufgabe 16

Zustandsübergangsdiagramm

Bei einer Logikfunktion ist die Ausgabe ausschließlich über die Eingangswerte und die Funktion selbst definiert. Diverse Anwendungen machen aber die Berücksichtigung des aktuellen Zustands notwendig (Beispiel Taster eines Rollladens oder Steuerung der Waschmaschine). In solchen Fällen können Zustandsübergangsdiagramme bei der Entwicklung unterstützen.

Im Folgenden wird die Steuerung der Kamera einer Weltraumsonde betrachtet. Diese beobachtet den Weltraum und sucht nach auffälligen Ereignissen im Lichtspektrum, beispielsweise der Kollision zweier Sterne. Die Sonde hat nicht zu jedem Zeitpunkt eine freie Funkverbindung zur Erde, weshalb die Bilder dieser Ereignisse bei fehlender Funkverbindung lokal in einem Speicher abgelegt werden müssen.



Welches Problem weist das dargestellte Zustandsübergangsdiagramm auf?

- A** Der Weltraum wird nur dann beobachtet und Bilder gespeichert, wenn eine Funkverbindung vorhanden ist.
- B** Eine erfolgreiche Übertragung wird nicht geprüft. Bei Abbruch der Funkverbindung wird das Bild dennoch gelöscht.
- C** Befinden sich keine Bilder im Speicher, wird dennoch auf eine Funkverbindung gewartet.
- D** Es werden immer Bilder gespeichert – auch ohne Ereignis.

Aufgabe 17

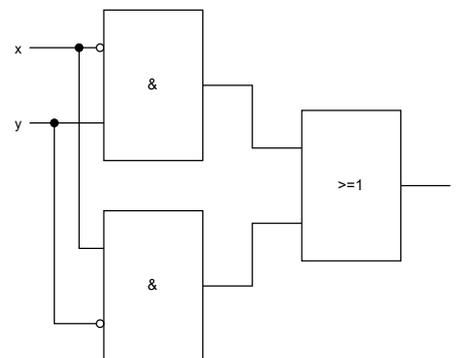
Frage für die Jahrgangsstufen 11-13

Beschreibungsformen von Mikrochips

Mit der unglaublich hohen Anzahl von Transistoren auf einem Chip ist es nicht praktikabel, die Schaltung als Schaltplan (Schematic) an die Chip-Fabrik zu übermitteln. Während bei kleinen Schaltungen die Funktion aus einem Schaltplan noch nachvollzogen werden kann, ist dieser bei hunderten Transistoren kaum noch und bei hunderten-tausenden Transistoren gar nicht mehr verständlich.

Unter anderem aufgrund der Verständlichkeit und maschinellen Verarbeitung werden die Schaltungen (Funktionen) eines digitalen Chips heutzutage fast ausschließlich textuell durch sogenannte Hardwarebeschreibungssprachen beschrieben. Eine in Europa verbreitete Hardwarebeschreibungssprache ist VHDL (Very High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language).

Zur Verdeutlichung dieses Vorteils ist rechts eine einfache Schaltung mit 3 Gattern, zwei Eingangssignalen (x, y) und einem Ausgangssignal (s) dargestellt.



Wähle aus den folgenden Ausschnitten aus VHDL-Code solche aus, die die gezeigte Schaltung beschreiben. Logische Operatoren werden textuell durch die englische Bezeichnung dargestellt (UND: and, ODER: or und so weiter). Mit der Schreibweise „A <= B“ wird dem Signal A das Signal B zugewiesen.

Es ist mehr als eine Antwort richtig.

- A** s <= x xor y;
- B** s <= (x and not y) or (not x and y);
- C** s <= x and y;
- D** s <= x or y;

Aufgabe 18

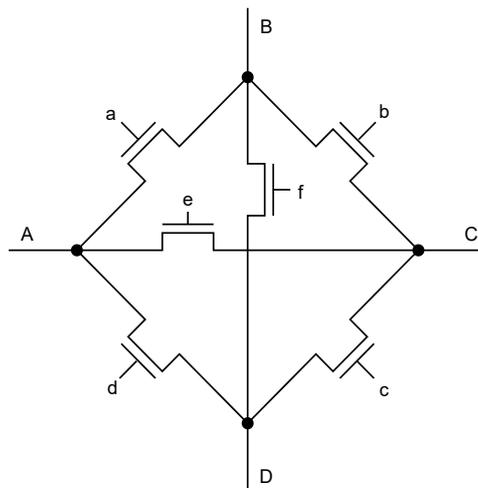
Frage für die Jahrgangsstufen 11-13

Verifikation mit FPGAs

Während Fehler in Softwareprodukten durch Updates schnell und günstig beseitigt werden können, ist es sehr teuer, einen Fehler in der Schaltung eines Mikrochips zu beheben. Im besten Fall muss lediglich die Verdrahtung in einer der oberen Lagen modifiziert und nur eine Maske geändert werden. Bei einem größeren Fehler kann unter Umständen die komplette Produktion von neuem beginnen, was eine Verzögerung der Auslieferung des Chips von bis zu einem Jahr und Kosten im dreistelligen Millionenbereich bedeuten kann.

Aus diesem Grund unterscheiden sich auch die Entwicklungsmethoden zwischen Software und Chipentwicklung erheblich. Keine Funktion kann ohne umfassende Überprüfung der korrekten Funktionalität in einen Chip integriert werden. Oftmals ist der Aufwand dieser sogenannten Verifikation um ein Vielfaches größer als die eigentliche Entwicklung der Funktion.

Eine häufig verwendete Form der Verifikation ist neben der zumeist langsamen Simulation die Emulation des Mikrochips. Hierbei wird die interne Schaltung auf einen rekonfigurierbaren Logikbaustein, das sogenannte FPGA (Field Programmable Gate Array) abgebildet und dort ausgeführt. Die Schaltung läuft auf dem FPGA mit einer deutlich geringeren Taktfrequenz als im finalen Chip – sollte aber ein Fehler gefunden werden, kann das FPGA einfach rekonfiguriert (umprogrammiert) werden. Damit jede mögliche Schaltung auf einem FPGA abgebildet werden kann, ist die Verbindung von so genannten Logikzellen (welche jeweils z. B. unterschiedliche Gatter darstellen) notwendig. In der folgenden Abbildung ist ein solcher Knotenpunkt exemplarisch dargestellt. Die vier Verbindungspunkte A bis D sind über die Transistoren miteinander verbunden. Die Transistoren werden über die Schaltsignale a bis f entweder schaltend („1“) oder sperrend („0“) konfiguriert.



Durch welche Konfiguration der Transistoren werden die Anschlüsse A mit C und D mit B verbunden?

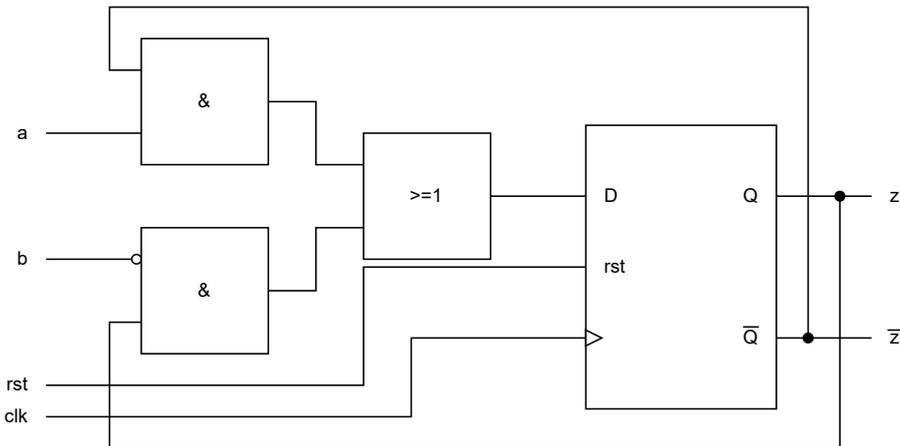
- A** a = 0, b = 0, c = 0, d = 0, e = 0, f = 0
- B** a = 0, b = 0, c = 0, d = 0, e = 1, f = 1
- C** a = 1, b = 0, c = 0, d = 1, e = 0, f = 0
- D** a = 1, b = 1, c = 1, d = 1, e = 0, f = 0

Aufgabe 19

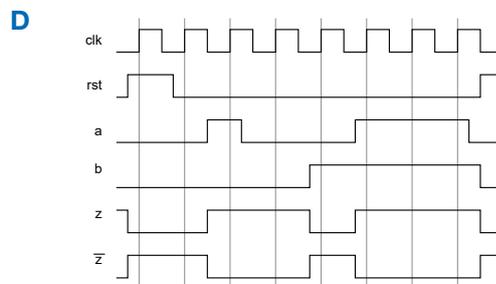
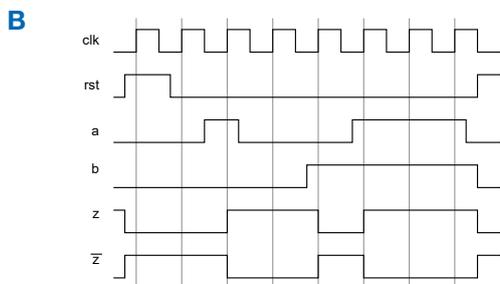
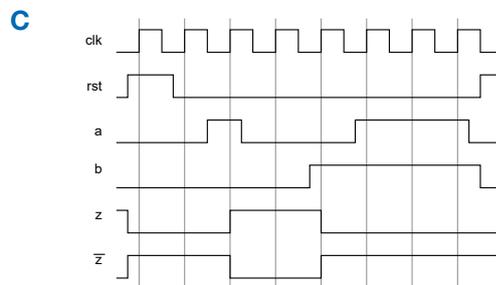
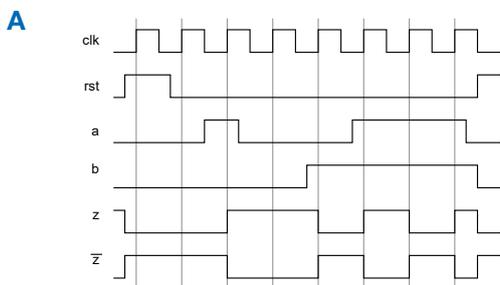
Frage für die Jahrgangsstufen 11-13

Flip-Flops in digitalen Schaltungen

Gegeben ist die folgende Schaltung, bestehend aus einem Speicherelement, dem sogenannten D-Flipflop, und mehreren Logikgattern. Das dargestellte Speicherelement übernimmt bei einer steigenden Taktflanke des Taktsignales clk den Eingang D und gibt ihn einmal normal als Q aus und einmal invertiert. Über das rst-Signal kann der Inhalt des Speicherelements zurückgesetzt werden. Dazu sind unten verschiedene Signalverläufe angegeben, die die Ein- und Ausgänge der gegebenen Schaltung darstellen sollen. Dabei sind die Verläufe von clk, rst, a und b immer gleich, nur die Ausgangssignale z und \bar{z} variieren.



Welcher der folgenden Signalverläufe entspricht der Schaltung?



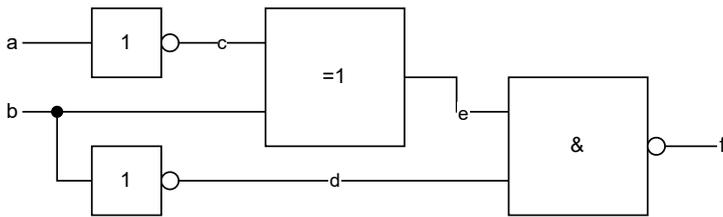
Aufgabe 20

Frage für die Jahrgangsstufen 11-13

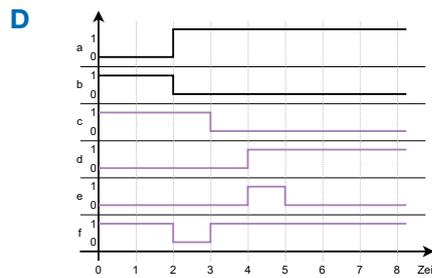
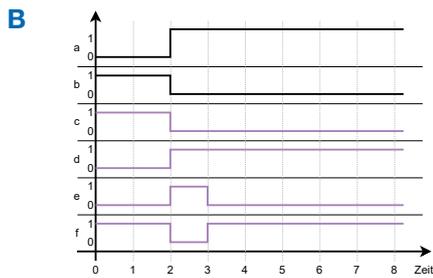
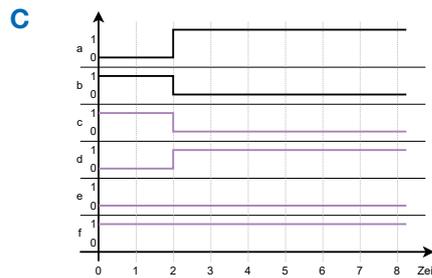
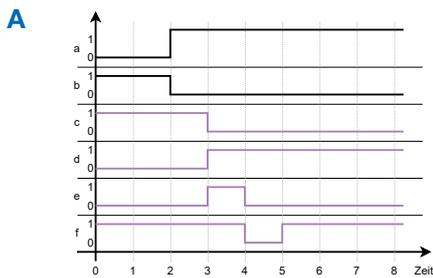
Langsame Logik verursacht Fehler

In den vorherigen Aufgabenteilen wurde die "Ausführungszeit" eines Gatters vernachlässigt. Die Gatterlaufzeit (propagation delay) kennzeichnet die Verzögerung von dem Zeitpunkt der Änderung eines Eingangssignals, bis der Effekt am Ausgang des Gatters beobachtet werden kann. Jedoch schalten die Transistoren innerhalb der Gatter nicht unendlich schnell (das würde einem unendlich hohen Strom für eine sehr kurze Zeit entsprechen), sondern benötigen hierfür eine kurze Zeit. Diese Propagation-Zeit wird maßgeblich durch den Maximalstrom des Gatters bestimmt.

In dieser Aufgabe wird vereinfacht angenommen, dass jedes Gatter eine Verzögerungszeit einer Zeiteinheit hat.



Wähle aus den folgenden Graphen denjenigen aus, der die Verzögerungszeit der dargestellten Schaltung korrekt abbildet.



www.invent-a-chip.de



Kontakt

Projektleitung
INVENT a CHIP
Anja Rottke
Tel. +49 171 4737350
iac@vde.com
www.invent-a-chip.de

Impressum

VDE
Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Merianstr. 28
63069 Offenbach am Main
service@vde.com
www.vde.com

Wissenschaftliche
Betreuung



Partner von INVENT a CHIP 2023

