

# INVENT a CHIP

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# VDE

## Antwortbogen

### Aufgabe 1

#### Nachhaltigkeit in der Elektro-Industrie

##### **Lösung A: Restriction of (the use of certain) Hazardous Substances in electrical and electronic Equipment**

Fast alle in der europäischen Union verkauften Elektronikprodukte müssen die Anforderungen der so genannten RoHS-Richtlinie erfüllen. Diese Vorgaben zur „Restriction of (the use of certain) Hazardous Substances in electrical and electronic Equipment“ verbieten beispielweise die Verwendung von Blei, Quecksilber, Cadmium und weiteren für Umwelt und Menschen gefährlichen Stoffen. Die Hersteller müssen dies vor dem Verkauf nachweisen können. Der VDE prüft übrigens auch Produkte und Herstellerdokumentationen und kann das VDE-RoHS-Siegel ausstellen. Eine Recherche zum Begriff RoHS im Internet oder in der Bibliothek führt schnell zur richtigen Lösung.

### Aufgabe 2

#### Wirkungsgrad

##### **Lösung B: 9.125 Wh**

Diese Aufgabe lässt sich mit Hilfe des Dreisatzes und etwas Knobeln leicht lösen. Der Leistungsbedarf des PCs ist ohne die Wandlungsverluste des Netzteils unverändert bei 219 kWh pro Jahr, denn er wird immer noch genauso viel genutzt. Dank des deutlich höheren Wirkungsgrads werden nun aber nur noch  $219 \text{ kWh} / 0,96 = 228,125 \text{ kWh}$  (bei 96 % Wirkungsgrad) anstatt von  $219 \text{ kWh} / 0,80 = 273,75 \text{ kWh}$  (80% Wirkungsgrad) aus dem Netz bezogen. Die Wandlungsverluste am Netzteil, welche in Abwärme resultieren, berechnen sich somit aus der Differenz zwischen aus dem Netz bezogener Leistung und beim Betrieb des PCs verbrauchter Leistung:  $228,125 \text{ kWh} - 219 \text{ kWh} = 9,125 \text{ kWh}$ . Die Wandlungsverluste haben sich also auf ein Sechstel reduziert.

Übrigens: Neben der reinen Reduktion dieser Verluste durch immer effizientere Schaltnetzteile gibt es mittlerweile Start-Ups, die die Abwärme von großen Serverfarmen in Rechenzentren nutzen, um Wohnräume zu heizen.

## Aufgabe 3

### Exponentielles Wachstum

**Lösung D: 9.223.372.036.854.775.808 Reiskörner**

Da hat der Schöpfer des Schachspiels aber einen guten Deal mit König Sher Khan ausgehandelt und könnte die ganze Welt satt bekommen! Das exponentielle Wachstum ist für den Menschen oft nicht zu begreifen. Diese große Zahl berechnet sich aber korrekt entsprechend der  $(8 \times 8 =) 64$  Schachbrettfelder zu  $2^{63} = 9.223.372.036.854.775.808$  mit dem Faktor 2 durch die Verdopplung der Reiskörner pro Feld. Der Legende nach musste der pfiffige Erfinder diese List übrigens leider mit seinem Leben bezahlen.

## Aufgabe 4

### Speichergröße

**Lösung B: 512 GB**

Diese Aufgabe lässt sich mathematisch anhand der Häufigkeit der Auslösung, der Laufzeit bis zum Auslesen der Daten, der Videosequenzlänge, -frequenz und Auflösung nach Komprimierung lösen:

Auslösungen pro Tag:		50 1 / Tag
Intervall Speicherkartenwechsel:	*	30 Tage
Länge jeder Videosequenz:	*	20 Sekunden
Bildrate der Videosequenzen:	*	10 Bilder / Sekunde
Auflösung des Bildsensors:	*	3840 * 2160 Pixel / Bild
Quantisierung der Helligkeit auf 8 Bit:	*	1 Byte / Pixel
Kompression auf ein Fünftel:	/	5
<hr/>		
GESAMT:		497,664 GB

Eine größere Speicherkarte würde eine längere Aufnahme oder mehr Auslösungen ermöglichen. Ingenieure suchen aber auch oft eine kosteneffiziente Lösung, weshalb in diesem Fall 512 GB ausreichend sind.

## Aufgabe 5

### Minimale Wortbreite

**Lösung D: 8 Bit**

Zur Berechnung der minimalen Wortbreite ist als Erstes der Wertebereich der darzustellenden Zahlen interessant: dieser liegt im Bereich von -48 und 123. Da der Nullpunkt weiterhin bei 000 ... liegen soll, ist das absolute Maximum des möglichen Wertebereichs relevant: 123. Außerdem sollen nur Ganzzahlen dargestellt werden, weshalb keine weiteren Bits benötigt werden. Für die Darstellung von Zahlen von 0 bis mindestens einschließlich 123 werden  $\log_2(123) = 6,9425 \approx 7$  Bit benötigt. Da es nur ganze Bit gibt, runden wir auf die nächste Ganzzahl auf. Der Logarithmus kommt hier aus der Umkehrung der Formel, dass mit M Bit  $2^M$  unterschiedliche Zahlen im Bereich von 0 bis  $(2^M)-1$  dargestellt werden können. Zusätzlich wird noch ein Bit für das Vorzeichen benötigt, weshalb in Summe  $7 \text{ Bit} + 1 \text{ Bit} = 8 \text{ Bit}$  für die entsprechende Darstellung benötigt werden.

## Aufgabe 6

### Parallele Datenverarbeitung

#### Lösung A: 900 MAC-Einheiten

Die parallele Verarbeitung von Daten ist der Schlüssel für die echtzeitfähige Berechnung von Algorithmen.

Die Anzahl der MAC-Einheiten lässt sich aus den gegebenen Werten wie folgt berechnen:

12 Giga Operationen für Neuronales Netz:		12 * 10 <sup>9</sup> Operationen
Bildwiederholrate des Videostroms:	*	60 1 / Sekunde
MAC-Faktor (1 MAC = 2 Operationen)	/	2 Operation / MAC
Taktfrequenz des Chips:	/	400 * 10 <sup>6</sup> 1 / Sekunde
<hr/>		
GESAMT		900 MAC

Es müssen entsprechend 900 MAC-Operationen pro Takt ausgeführt werden. In der Realität ist meistens die maximale Auslastung der MAC-Einheiten durch langsamen Speicher und Datenabhängigkeiten nicht 100 % – dies wurde in dieser Aufgabe aber vernachlässigt.

**HINWEIS** ▶ Im gedruckten Fragebogen wurde die Abkürzung von Ops fehlerhaft eingeführt. Diese sind die Anzahl der Operationen (Operations, Ops) pro Bild und nicht pro Sekunde.

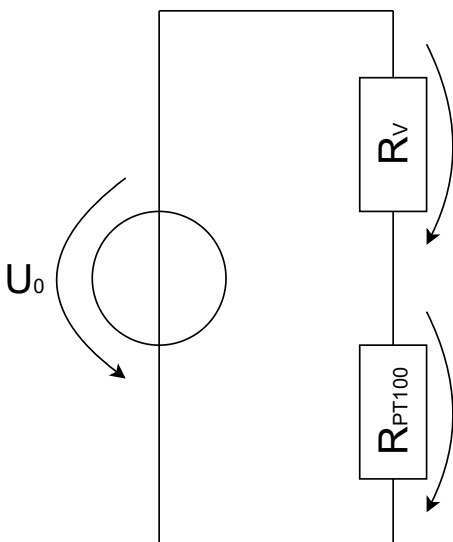
## Aufgabe 7

### Analoge Temperaturmessung

#### Lösung D: 2,77 V

Diese Spannung über dem temperaturabhängigen PT100-Widerstand lässt sich mit mehreren unterschiedlichen Methoden berechnen. In der Schaltung befindet sich eine Spannungsquelle mit  $U_0 = 5\text{V}$  in Reihenschaltung mit dem Vorwiderstand  $R_V = 100\ \Omega$  und dem PT100-Widerstand. Somit lässt sich ein Spannungsteiler über die beiden Widerstände anwenden, um die Spannung  $U_{PT100}$  zu berechnen:

$$U_{PT100}(T) = U_0 \cdot \frac{R_{PT100}(T)}{R_V + R_{PT100}(T)} = 5\text{V} \cdot \frac{100\ \Omega + 0,4 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \cdot 60^\circ\text{C}}{100\ \Omega + 100\ \Omega + 0,4 \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \cdot 60^\circ\text{C}} = 2,77\text{V}$$



## Aufgabe 8

### Materialien der Halbleiter-Herstellung

#### Lösung A: Neutral

Nach dem Einbringen von Atomen der V. Hauptgruppe in ein monokristallines Silizium-Kristallgitter (IV. Hauptgruppe) stehen „freie“ Elektronen ohne Bindungspartner für Stromtransporte zur Verfügung. Das folgt daraus, weil nur vier der fünf Valenzelektronen (Elektronen auf der äußersten Schale) einen Bindungspartner bei den benachbarten Siliziumatomen mit jeweils vier Valenzelektronen finden. Die elektrische Ladung des Kristalls beim Messen von außen verändert sich aber nicht. Das liegt daran, dass die Atome der V. Hauptgruppe genauso viele positive Protonen im Kern wie Elektronen auf den Schalen haben und somit ladungsneutral sind.

## Aufgabe 9

### Halbleiter-Herstellung

#### Lösung A: 13,5 nm

Die gegebene Energie des Lichts von 91,82 eV (Elektronenvolt) lässt sich wie folgt über das Planck'sche Wirkungsquantum  $h$  und Lichtgeschwindigkeit  $c_0$  in eine Wellenlänge  $\lambda$  umrechnen. Hierzu muss außerdem über die Elementarladung die Energie eines Teilchens der EUV-Strahlung umgerechnet werden.

$$E = h \cdot f = \frac{c_0}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{h \cdot c_0}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 299792458 \text{ m/s}}{91,82 \text{ eV} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 13,5 \text{ nm}$$

Alternativ lässt sich die korrekte Lösung auch über eine Literaturrecherche in Erfahrung bringen.

## Aufgabe 10

### Mooresches Gesetz

#### Lösung D: Skalierungsfaktor $2^{-0,5}$

Nach dem Mooreschen Gesetz verdoppelt sich die Anzahl der Transistoren bei gleicher Fläche alle 18 bis 24 Monate. Durch mehr Transistoren auf gleicher Fläche scheidet die Lösungsmöglichkeit B (Kantenlänge bleibt gleich) und C (Kantenlänge skaliert mit  $\sqrt{2}=1,414$ ) aus – die Kantenlänge muss kleiner werden. Würde sich die Kantenlänge halbieren, könnten vier Mal so viele Transistoren auf der gleichen Fläche untergebracht werden, da die Kantenlänge quadratisch in die Fläche eingeht. Die richtige Lösung ist folglich D) Skalierungsfaktor  $2^{-0,5}$ , was anders notiert  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  entspricht.

## Aufgabe 11

### Monostabile Kippstufe

#### Lösung A

Eine monostabile Kippstufe findet in zahlreichen Anwendungen Einsatz – beispielsweise in Situationen, in denen nach einem kurzen Tastendruck (Trigger) ein Signal, zum Beispiel eine Lampe, für eine definierte Zeit eingeschaltet sein soll.

Das Ausgangssignal bei der gezeigten Schaltung ist so lange aktiv, wie der Kondensator lädt. Sobald die Spannung über den Kondensator den Schwellenwert von ungefähr zwei Drittel der Versorgungsspannung überschreitet, stoppt der Ladevorgang und das Ausgangssignal wird deaktiviert. Lösungsmöglichkeit D) scheidet entsprechend aus, da das Ausgangssignal erst nach dem Laden eingeschaltet wird.

Monostabile Kippstufen sind außerdem robust gegen erneutes Triggern während des Aufladens des Kondensators. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise auch mechanische Taster entprellen. Lösung C) ist somit nicht richtig.

Bleiben nur noch Antwortmöglichkeit A) und B) übrig, die sich im Pegel des Trigger-Signals unterscheiden. Die gezeigte Schaltung verwendet einen invertierten Trigger-Eingang – auch gekennzeichnet durch den Querstrich über dem Trigger-Signal. Eine negativer Signalwechsel startet den Ladevorgang: Lösung A) ist korrekt.

## Aufgabe 12

### Wahrheitstabelle

#### Lösung B: XNOR

Die gezeigte Wahrheitstabelle ist dann logisch „1“, wenn beide Eingangssignale gleich, also entweder „0“ oder „1“, sind. Sie ist folglich das invertierte Ergebnis eines XOR-Gatters (Exklusiv-Oder), welches am Ausgang „1“ ist, wenn genau eines von den Eingangssignalen „1“ ist. Dieses Gatter wird folglich „not XOR“ (NXOR) oder auch XNOR genannt.

## Aufgabe 13

### Logikfunktion

#### Lösung A: $y = (b \wedge s) \vee (a \wedge \bar{b})$

Die gesuchte logische Funktion lässt sich durch Gatter-weises Zusammensetzen der jeweiligen Schaltfunktion bestimmen. An dem unteren UND-Gatter werden die Signale  $b$  und  $s$  verschaltet. Dieser Teil findet sich nur in den Antwortmöglichkeiten A) und B). Bei dem oberen UND-Gatter werden die Signale  $a$  und  $\bar{b}$  verwendet. Die Invertierung des Signals  $b$  ist durch den Kreis am Eingang gekennzeichnet. Der Ausgang  $y$  ergibt sich schließlich durch eine ODER-Verknüpfung dieser beiden Teilterme zu  $y = (b \wedge s) \vee (a \wedge \bar{b})$

Übrigens: Diese Schaltung findet häufig Verwendung und heißt auch Multiplexer (kurz MUX). Anhand des Signals  $b$  kann entweder das Signal  $a$  oder  $s$  „ausgewählt“ werden.

## Aufgabe 14

### Zustandsautomat

#### Lösung C: SENSOR\_OBEN = 1

Der Rollladen soll sich nur so lange in dem Zustand „ÖFFNEN“ befinden, bis er sich vollständig aufgerollt hat. Dies wird erkannt, sobald der „SENSOR\_OBEN“ eine „1“ meldet. Anschließend stoppt das Aufrollen durch Ausschalten des Motors im Zustand „GEÖFFNET“. Erst wenn der Schalter zum Schließen des Rollladens betätigt wird, setzt er sich in entgegengesetzter Richtung wieder in Bewegung.

## Aufgabe 15

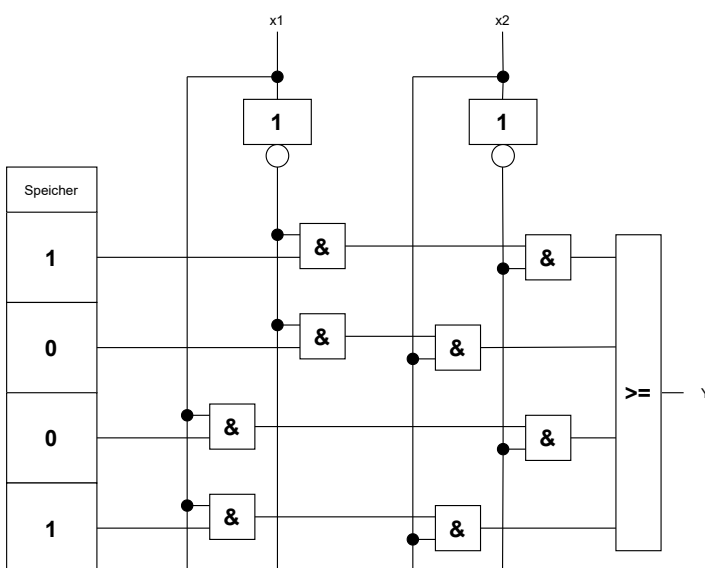
### LUT-Programmierung (FPGA)

#### Lösung A: XNOR

Diese Aufgabe lässt sich durch Nachverfolgung der Signale von den Speicherzellen zum Ausgang Y für die vier unterschiedlichen Eingangsbelegungen lösen. Für die unterschiedlichen Eingangsbelegungen ergibt sich die Wahrheitstabelle aus Aufgabe 12: ein XNOR.

Hierbei ist es wichtig den Hinweis zu beachten, dass sich eine logische „1“ am Ausgang durchsetzt. Es wird davon ausgegangen, dass die UND-Gatter vereinfacht durch einen Pass-Transistor realisiert sind. Dessen Eingang wird jeweils vom (invertierten) Steuersignal  $x$  angesteuert und leitet im Falle einer logischen „1“ den Inhalt der Speicherzelle an den Ausgang weiter. Bei einer logischen „0“ am Steuereingang dieses Pass-Transistors hat der Ausgang des UND-Gatters einen hochohmigen Zustand, was vergleichbar mit einer offenen Leitung ist.

Sollten UND-Gatter eingesetzt werden, die sowohl eine logische „0“ als auch eine logische „1“ durchleiten (beispielsweise CMOS-Gatter), müssten am Ausgang Y die Signale der vier Eingangspfade durch ein ODER-Gatter mit vier Eingängen kombiniert werden, um Kurzschlüsse in der Schaltung auszuschließen.



## Aufgabe 16

### Fehlersuche

#### Lösung C: JTAG – Joint Test Action Group

Im Entwurfsprozess einer integrierten Schaltung werden viele Validierungen, beispielsweise der Funktionalität, vor der Fertigung ausgeführt. Das macht man, weil die Fertigung eines Mikrochips mehrere Millionen Euro kosten kann. Ein „Update“, wie bei Software, ist nicht möglich oder an den Belichtungs-Masken nur sehr teuer und komplex umzusetzen. Diese Überprüfungen vor der Fertigung nennt man auch Verifikation.

Gesucht ist aber ein Test-Verfahren, das nach der Fertigung mit dem vorhandenen Chip genutzt wird. Dieses ist aus der Liste der möglichen Antworten nur C) JTAG – Joint Test Action Group, IEEE 1149.1. Dies ist ein standardisiertes Verfahren, um auf Komponenten des Chips zuzugreifen, Register zu lesen und zu beschreiben und weitere Testmethoden durchzuführen.

Antwort A) UVM (universal verification methodology) wird, wie der Name Verifikation schon sagt, vor der eigentlichen Fertigung zur Überprüfung der Funktionalität der Beschreibung des Chips genutzt. Zur Beschreibung wird beispielsweise die Hardwarebeschreibungssprache VHDL (very high speed integrated circuits hardware description language) aus Antwortmöglichkeit B) genutzt. Antwort D) bezieht sich ebenfalls auf die Verifikation vor der Fertigung. Hierbei werden logische und mathematische Prinzipien angewendet, um die korrekte Funktionalität nachzuweisen oder zu überprüfen.

## Aufgabe 17

### Bus-Systeme

#### Lösung D: DDR-RAM-Interface

Diese Aufgabe lässt sich durch Recherche der unterschiedlichen Abkürzungen lösen. USB (Universal Serial Bus) und SPI (Serial Peripheral Interface) führen bereits die serielle Implementierung in ihrem Namen. Auch I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit) arbeitet seriell und benötigt daher nur wenige physikalische Leitungen. All diese Antworten scheiden somit aus.

Lediglich das DDR-RAM-Interface arbeitet nach wie vor parallel, indem zahlreiche parallele Verbindungen zum Einsatz kommen. Grafikkarten mit sehr hohen Anforderungen an große, schnelle, externe Speicher nutzen teilweise bis zu 1000 solcher Verbindungen bei High Bandwidth Memory (HBM).

## Aufgabe 18

### Wirtschaft / Halbleiterknappheit

#### Lösung D: 2 Monate

Chips werden auf so genannten Wafern produziert. Dies sind dünne, runde Siliziumscheiben, welche heutzutage einen Durchmesser von 200 mm oder 300 mm haben. Auf solch einer Scheibe werden viele Chips nebeneinander hergestellt.

Vom Start der Produktion (Wafer-in) bis zum Abschluss (Chip-Out), bei dem ausgesägte, vereinzelte Chips die Halbleiterfabrik (Fab) verlassen, vergehen in der Regel wenige Monate. Die individuelle Laufzeit ist hierbei vor allem von der Technologie und der Auslastung der Fabrik abhängig. Für die Herstellung eines Wafers werden teilweise mehrere hundert unterschiedliche Fertigungsschritte durchlaufen, die jeweils ihre Zeit benötigen. So ein Wafer besteht in der Regel aus einer Transistorschicht und mehreren Verbindungslagen (Metall-Layer) zur Verbindung der Transistoren darüber. Für jede dieser Lagen muss mehrmals strukturiert, gewaschen und wieder aufgefüllt werden. Auch natürliche Prozesse, beispielsweise die Oxidierung des Siliziums, kosten Zeit.

## Aufgabe 19

### Strukturgröße

#### Lösung D: 0,1x (10x kleiner)

Bereits in Aufgabe 9 haben wir einen Hinweis auf heutige Strukturgrößen von Transistoren gegeben. Diese liegen für modernste Chips, beispielsweise in Smartphones, bei 5 nm. Der Großteil von modernen Mikrochips wird aber in etwas älteren und günstigeren Technologien von ungefähr 12 nm Strukturgröße gefertigt. Diese sind somit 10x kleiner (0,1x so groß) als der Durchmesser des Corona-Virus von 0,12  $\mu\text{m}$  (120 nm).

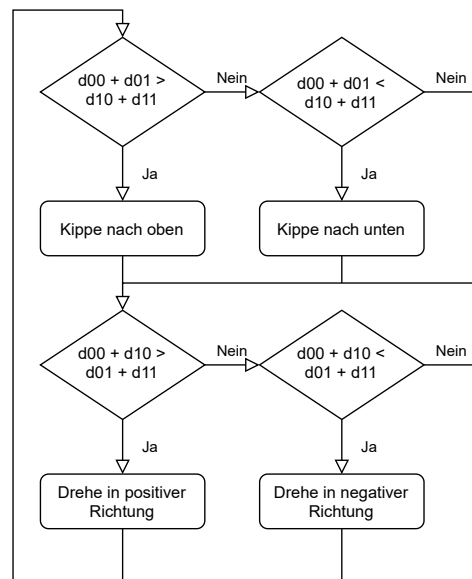
## Aufgabe 20

### Solartracker

#### Lösung B

Die Leistung der Solarzelle wird durch die Ausrichtung zur Sonne anhand der vier Fotodioden oberhalb der Zelle erreicht. Im oberen Teil des Flussdiagramms wird die Kippbewegung ausgeführt, im unteren Teil die Drehbewegung. Die Drehrichtung ist auf den eingezeichneten Pfeil bezogen. Wenn die obere Reihe der Fotodioden mehr Licht auffängt als die untere Reihe ( $d_{00} + d_{01} > d_{10} + d_{11}$ ), dann sollte die Solarzelle nach oben gekippt werden. Im Anschluss werden die beiden Spalten der Fotodioden miteinander verglichen. Wenn in Richtung der positiven Drehrichtung mehr Licht einfällt als auf der anderen Seite, ist eine positive Drehung zur Maximierung der Leistung sinnvoll. ( $d_{00} + d_{10} > d_{01} + d_{11}$ ). Die richtige Lösung ist entsprechend Antwortmöglichkeit B).

In der Praxis würde dieses einfache Entscheidungsdiagramm noch um weitere Komponenten zur Erkennung von partieller Verschattung durch Wolken oder eine Uhrzeit und eine Schätzung des Sonnenstandes ergänzt werden.



#### Kontakt

Projektleitung  
INVENT a CHIP  
Anja Rottke

Tel. +49 171 4737350  
iac@vde.com  
www.invent-a-chip.de

#### Impressum



Verband der Elektrotechnik  
Elektronik Informationstechnik e.V.  
Stresemannallee 15  
60596 Frankfurt am Main

service@vde.com  
www.vde.com

#### Wissenschaftliche Betreuung & Autoren



Prof. Dr.-Ing.  
Holger Blume  
und das Team der  
Wissenschaftlichen  
Mitarbeiter

#### Partner von INVENT a CHIP 2021

