

## 4. Mikrocontroller

Der Entwicklung des ersten Mikrocontrollers ist die Entwicklung der Mikroprozessoren vorausgegangen. Mikroprozessoren, die auch als Prozessoren und CPUs bezeichnet werden, vereinen eine Vielzahl von Funktionen auf einem Chip. Das Wesentliche ist dabei, dass die meisten Funktionen per Software steuerbar sind und sämtliche für die Funktionalität des Mikroprozessors erforderlichen Baugruppen in diesem integriert wurden. Der erste Mikroprozessor wurde 1971 von Texas Instruments patentiert. Im gleichen Jahr hat Intel den 4004 Mikroprozessor eingeführt. Er bestand aus ca. 2300 Transistoren, arbeitete mit einer Taktfrequenz von einigen Hundert Kilohertz und wurde bis in das Jahr 1986 vertrieben. Abbildung 1 zeigt eine bei Sammlern begehrte Version des 4004 im weißen Keramikgehäuse und mit vergoldender Kappe.

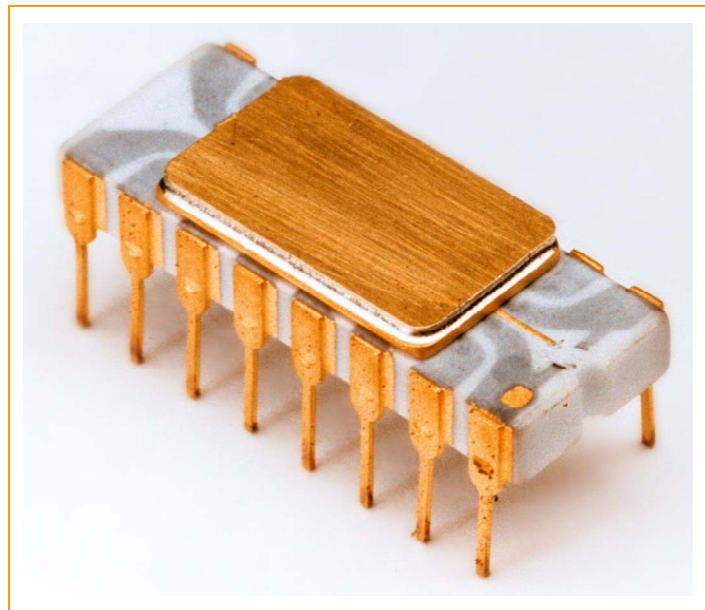


Abbildung 1 Mikroprozessor 4004

Während die Mikroprozessoren unterschiedliche Peripheriebaugruppen, wie beispielsweise Speicher oder eine Netzwerkschnittstelle benötigen, können Mikrocontroller selbstständig die benötigten Daten verwalten und mit der Umgebung kommunizieren. Dies liegt an der Tatsache, dass die einzelnen Schnittstellenmodule und Peripherien in den Mikrocontroller integriert sind. Damit handelt es sich bei den Mikrocontrollern um kleine Ein-Chip-Computersysteme, die zum Teil ähnliche Fähigkeiten wie PCs haben.

Wie unterscheiden sich nun die Mikrocontroller von einem PC, der in beinahe jedem Haushalt steht? Selbstverständlich haben die Mikrocontroller viel kleinere Abmessungen, da sie in einem gewöhnlichen Gehäuse für Mikrochips untergebracht sind. Außerdem benötigen sie viel weniger Energie als ein PC, sodass sie sich sehr gut für mobile Anwendungen eignen. Diesen Vorteilen steht ein Nachteil entgegen: Sie sind viel langsamer als PCs. Während aktuelle Mikroprozessoren, die in PCs eingesetzt werden, mit Taktfrequenzen im GHz-Bereich betrieben werden, begnügen sich Mikrocontroller oft mit Taktfrequenzen von einigen MHz. Dieser offensichtliche Nachteil spielt aber für viele Mikrocontrolleranwendungen keine Rolle, sodass sie die Steuerung von CD-, DVD- und MP3-Spielern, Druckern, Waschmaschinen und Fahrzeugbaugruppen etc. übernehmen können und deshalb aus unseren modernen elektronischen Geräten nicht mehr wegzudenken sind.

Neben der industriellen Nutzung sind die Mikrocontroller auch in den Bildungs- und Hobbybereich stark verbreitet hat. Im Internet sind Entwicklungswerkzeuge und Beispielanwendungen frei verfügbar, die den Einsatz der „kleinen Rechenwunder“ vereinfachen. Eine stark verbreitete Mikrocontrollerserie stellen die ATmega-Mikrocontroller dar, die bereits seit Jahren von der Firma Atmel vertrieben werden. Es gibt verschiedene ATmega-Mikrocontroller, die sich beispielsweise in der Größe des internen Speichers und der Anzahl der integrierten Module unterscheiden. In dieser Aufgabe verwenden wir den ATmega8, der uns die Realisierung eines elektronischen Thermometers ermöglicht.

## 4.1 Grundlagen

Bevor wir uns dem Aufbau des gesamten Thermometers zuwenden, werden wir die einzelnen Komponenten der Schaltung betrachten. Die Hauptaufgabe eines Thermometers ist selbstverständlich die Messung der Temperatur, sodass hier ein Temperatursensor benötigt wird, der die Umgebungstemperatur in elektrische Spannung wandelt. In dieser Aufgabe wird ein Präzisionsensor LM335 verwendet, den ihr im Bausatz findet. Die wahrscheinlich wichtigste Frage, die bei einem Temperatursensor gestellt werden muss, ist die Frage nach der Genauigkeit der Messung. Diese Eigenschaft und weitere Details können dem Datenblatt des Sensors entnommen werden, den ihr unter <http://www.national.com/ds/LM/LM135.pdf> findet und für die Beantwortung der folgenden Fragen verwenden solltet:

Bei der Fertigung von elektronischen Bauelementen gibt es gewisse Toleranzen, sodass die einzelnen Temperatursensoren sich ein wenig unterschiedlich verhalten. Um diese Schwankungen, die die Messung leicht verfälschen, abzufangen, werden für Präzisionsmessungen die einzelnen Schaltungen auf das verwendete Exemplar des Temperatursensors abgestimmt. Dieser Vorgang wird als Kalibrieren bezeichnet. Betrachten wir zunächst einen unkalibrierten Temperatursensor:

- 1) Wie groß ist der maximale Temperaturmessfehler, der durch den unkalibrierten Temperatursensor verursacht wird, bei einer Temperatur von 25 °C?
- 2) Wie groß ist der maximale Temperaturmessfehler, der in dem gesamten Messbereich von  $T_{\min}$  bis  $T_{\max}$  gemacht wird?

Nun betrachten wir den kalibrierten Temperatursensor:

- 3) Wie groß ist der maximale Temperaturmessfehler, der durch den kalibrierten Temperatursensor verursacht wird, bei einer Temperatur von 25 °C?
- 4) Wie groß ist der maximale Temperaturmessfehler, der in dem gesamten Messbereich von  $T_{\min}$  bis  $T_{\max}$  gemacht wird?
- 5) Der Temperaturmessbereich ist vom Hersteller zwischen -40 °C und 100 °C angegeben. Was passiert, wenn der Temperatursensor in einem Temperaturbereich von 100 °C bis 125 °C betrieben wird?

Hinweis: Beachtet den Hinweis des Herstellers bei der Lösung der Aufgabe 5!

Die gemessenen Werte werden nun von einem Mikrocontroller für die Anzeige aufgearbeitet. Wie die euch bereits bekannten logischen Gatter arbeitet der Mikrocontroller digital. Aus diesem Grund muss die elektrische Spannung des Temperatursensors in Zahlen umgesetzt werden. Für diesen Zweck beinhaltet der Mikrocontroller einen Analog/Digital-Wandler (A/D-Wandler), der die analogen Signale in digitale Zahlen übersetzt. Weiterhin wird ein Programm benötigt, das diese gewandelten Zahlen so umsetzt, dass sie die Ziffern der Anzeige ansteuern können. Wir haben den Controller bereits mit diesem Programm versehen. Ihr habt aber die Möglichkeit - z.B. wenn Ihr Euch ein einfaches Programmiergerät selbst baut - dieses Programm zu ändern oder den Mikrocontroller für andere Zwecke einzusetzen. Er kann neben den LED-Anzeigen auch Motoren oder Relais steuern und es gibt viele mögliche Anwendungen in Haushalt oder Robotik. Am Besten startet ihr die eigenen Versuche aber erst, wenn Ihr die Aufgaben der Intel Leibniz Challenge fertig beantwortet habt.

Die Genauigkeit der Übersetzung (Auflösung) wird einerseits durch die Anzahl der Bits angegeben, die für die von dem A/D-Wandler gelieferten Zahlen verwendet werden. Die Anzahl der Bits bestimmt somit, in wie viele gleiche Spannungsstufen die maximale Spannung unterteilt wird. Aus diesem Grund wird auch die Größe einer Spannungsstufe als Auflösung bzw. Genauigkeit des A/D-Wandlers bezeichnet.

Bevor wir uns näher mit diesem Aspekt befassen, beantwortet folgende Fragen anhand des Datenblattes für den Mikrocontroller ATmega8, den ihr unter [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/2486S.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2486S.pdf) findet.

## 4.1 Grundlagen - Fortsetzung

- 6) Wie viele A/D-Wandler-Kanäle hat der mitgelieferte ATmega8 und an welchem Port befinden sich diese?
- 7) Wie viele Bits werden für die Zahlen vorgesehen, die von dem A/D-Wandler des ATmega8 geliefert werden?

Wie bereits erwähnt, liefert der A/D-Wandler eine spannungsabhängige Zahl, die der Spannung des Temperatursensors entspricht. Diese ist hier 10 mV/K. Der A/D-Wandler unterteilt den gesamten möglichen Spannungsbereich in gleichgroße Spannungsstufen und ordnet anschließend jeder Stufe eine Zahl zu. Beantwortet folgende Fragen:

- 8) Wie groß ist die zu erwartende Spannung bei einer Temperatur von 0°C?
- 9) Ein 4-Bit-A/D-Wandler würde die Eingangsspannung mit einer Auflösung von 1/16 des Maximalwertes umsetzen. Wie hoch ist die Auflösung des A/D-Wandlers des ATmega8?
- 10) Der Mikrocontroller und somit auch der A/D-Wandler arbeiten mit einer Versorgungsspannung von 5V. Wie groß ist eine Spannungsstufe des im ATmega8 integrierten A/D-Wandlers, wenn sie bei einem 4-Bit-A/D-Wandler 312,5 mV betragen würde?
- 11) Welche dezimale Zahl liefert der A/D-Wandler des ATmega8, wenn eine Spannung von 2761,5 mV durch den Temperatursensor angelegt wird?

Ein Thermometer ist nichts wert, wenn es die gemessene Temperatur dem Benutzer nicht mitteilen kann. Die vom A/D-Wandler übersetzten Spannungswerte werden im elektronischen Thermometer durch vier 7-Segment-Anzeigen dargestellt. Eine 7-Segment-Anzeige besteht prinzipiell aus 8 Leuchtdioden (LEDs), die die jeweiligen sieben Segmente der dargestellten Zahlen und den Dezimalpunkt repräsentieren. Ihr werdet euch mit der 7-Segment-Anzeige in der Aufgabe 4.2 beschäftigen. Vorweg kann bereits gesagt werden, dass die Anzeige der größte Energieverbraucher in unserem Thermometer ist, der von einer Batterie versorgt wird. Lasst uns untersuchen, welche Kosten das Thermometer verursachen würde, wenn es die benötigte Energie aus dem Stromnetz beziehen würde.

- 12) Angenommen die Schaltung benötigt im Durchschnitt 70mA an Strom bei einer Versorgungsspannung von 5 V. Wie hoch ist die Stromrechnung pro Jahr in Euro, wenn ein Strompreis von 21,05 Cent/kWh angenommen wird?
- 13) Wie viel Stromkosten (in Cent) fallen somit pro Jahr auf den LM335, wenn dieser 1 mA Strom benötigt und das komplette Jahr Daten liefert?  
Hinweis: Bei den Berechnungen soll kein Schaltjahr betrachtet werden!

### Form der Lösung

Teil 4.1: Antworten auf Fragen 1-13

## 4.2 Die 7-Segment-Anzeige

Wie bereits in Aufgabe 4.1 erwähnt, verwendet unser Thermometer eine 7-Segment-Anzeige, die aus einzelnen Leuchtdioden besteht. Wenn eine Leuchtdiode in Vorwärtsrichtung betrieben wird, fließt durch sie ein Strom und sie gibt Licht ab. In der Sperrichtung findet – wie bei gewöhnlichen Dioden auch – kein nennenswerter Stromfluss statt. Um einen stabilen Betriebszustand einer Leuchtdiode zu erreichen, muss ein sogenannter Vorwiderstand verwendet werden, der die Größe des Stroms durch die Leuchtdiode begrenzt (vgl. Abbildung 2).

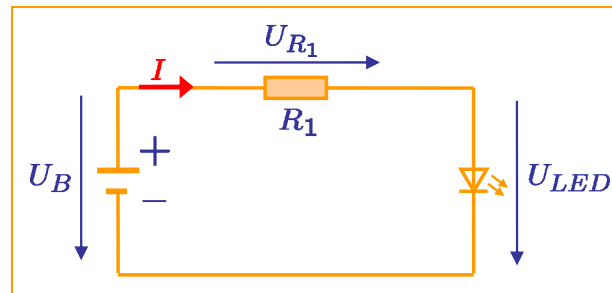


Abbildung 2 Einfache Schaltung mit einer Leuchtdiode

- 1) Nehmt an, dass die Batteriespannung  $U_B$  9 V beträgt. Wie groß ist die Spannung  $U_{R_1}$  am Widerstand, wenn an der Diode eine Spannung  $U_{LED1}$  von 2 V abfällt?
- 2) Berechnet nach dem Ohmschen Gesetz den Strom  $I$  durch den Widerstand  $R_1=470 \Omega$ !
- 3) Wie groß ist der Strom, der durch die Diode fließt? Begründet eure Antwort!
- 4) Die elektrische Leistung, die durch ein Bauteil (hier: Widerstand und Diode) aufgenommen wird, hängt von der Größe der Spannung an dem Bauteil und der Größe des Stromes ab, der durch dieses Bauteil fließt. Wie groß ist die Leistung  $P_{R_1}$  und  $P_{LED1}$ , die durch den Vorwiderstand und die Leuchtdiode aufgenommen wird?

Innerhalb der 7-Segment-Anzeige sind die einzelnen Leuchtdioden parallel geschaltet. Aus diesem Grund muss für jede Leuchtdiode ein einzelner Vorwiderstand verwendet werden (vgl. Abbildung 3).

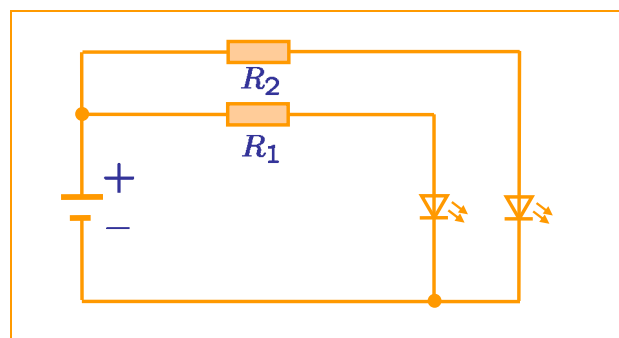


Abbildung 3 Parallelschaltung von Leuchtdioden

- 5) Berechnet die Gesamtleistungsaufnahme der Schaltung, wenn  $R_1=R_2=470 \Omega$  gilt!  
Hinweis: Ihr könnt die Leistungswerte aus der vorausgegangenen Berechnung verwenden.

## 4.2 Die 7-Segment-Anzeige - Fortsetzung

Falls die 7-Segment-Anzeigen besonders groß sein sollten, werden oft die einzelnen Segmente durch mehrere Leuchtdioden realisiert. Diese Leuchtdioden werden in den meisten Fällen in Reihe geschaltet und sorgen für eine ausreichende Leuchtstärke der einzelnen Segmente.

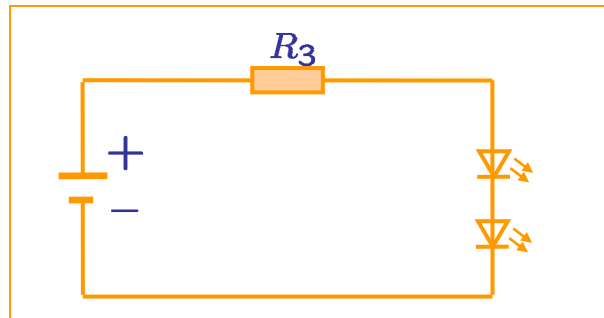


Abbildung 4 Reihenschaltung von Leuchtdioden

- 6) Nehmt wieder eine Spannung von 2 V an, die an jeder Leuchtdiode anliegt. Welche Spannung liegt an dem Vorwiderstand  $R_3$  an?
- 7) Wie groß muss der Widerstand gewählt werden, damit ein Strom von 15 mA fließt?
- 8) Wie groß ist der Unterschied zwischen der Leistungsaufnahme einer Reihen- und Parallelschaltung mit jeweils zwei Leuchtdioden? Begründet eure Antwort mit einer Rechnung!
- 9) Berechnet einen bzw. mehrere Vorwiderstände für den Fall, dass drei Leuchtdioden parallel geschaltet werden sollen. Wie groß müssen der Vorwiderstand bzw. die Vorwiderstände sein?
- 10) Baut eine Schaltung so auf, dass in einer der 7-Segment-Anzeigen die Ziffer 7 erscheint. Schickt uns ein Foto von eurem Aufbau!

Hinweis: Verwendet für die berechneten Vorwiderstände, falls diese nicht im Bausatz vorhanden sind, größere Widerstände (560  $\Omega$ , 680  $\Omega$ , ...)!

Die Leuchtdiode ist eine der effizientesten Methoden um Licht zu erzeugen. Deshalb werden Leuchtdioden nicht nur als Anzeigeelement wie bei unserem Thermometer eingesetzt, sondern auch als Beleuchtung in Fahrzeugen und im Haushalt. Hier wird die Leuchtdiode nicht nur wegen ihrer Energieeffizienz, sondern auch wegen Ihrer langen Lebensdauer immer beliebter. Die Leuchtdiode verdrängt hierbei immer mehr die Glühlampe sowie sogar die Energiesparlampen.

Wie ihr gesehen habt, kann bei schlechter Auslegung (Dimensionierung) der Vorwiderstand leicht ein Vielfaches der Lichtleistung in Wärme umsetzen. Die Gesamteffizienz wäre dann wieder gering, obwohl die einzelne Leuchtdiode eine effektive Lichtquelle ist.

### Form der Lösung

Teil 4.2: Antworten auf Fragen 1-9

Foto der Schaltung als Antwort auf die Frage 10

## 4.3 Elektronisches Thermometer

Das elektronische Thermometer werdet ihr in zwei Schritten aufbauen. Im ersten Schritt baut ihr das Anzeigeteil nach Abbildung 5 auf. Dieses Schaltungsteil besteht aus zwei 7-Segment-Doppelanzeigen, Vorwiderständen und Transistoren, wobei die Transistoren für die Auswahl der 7-Segment-Anzeige benötigt werden. Dies wird in der Aufgabe 4.3.2) deutlich.

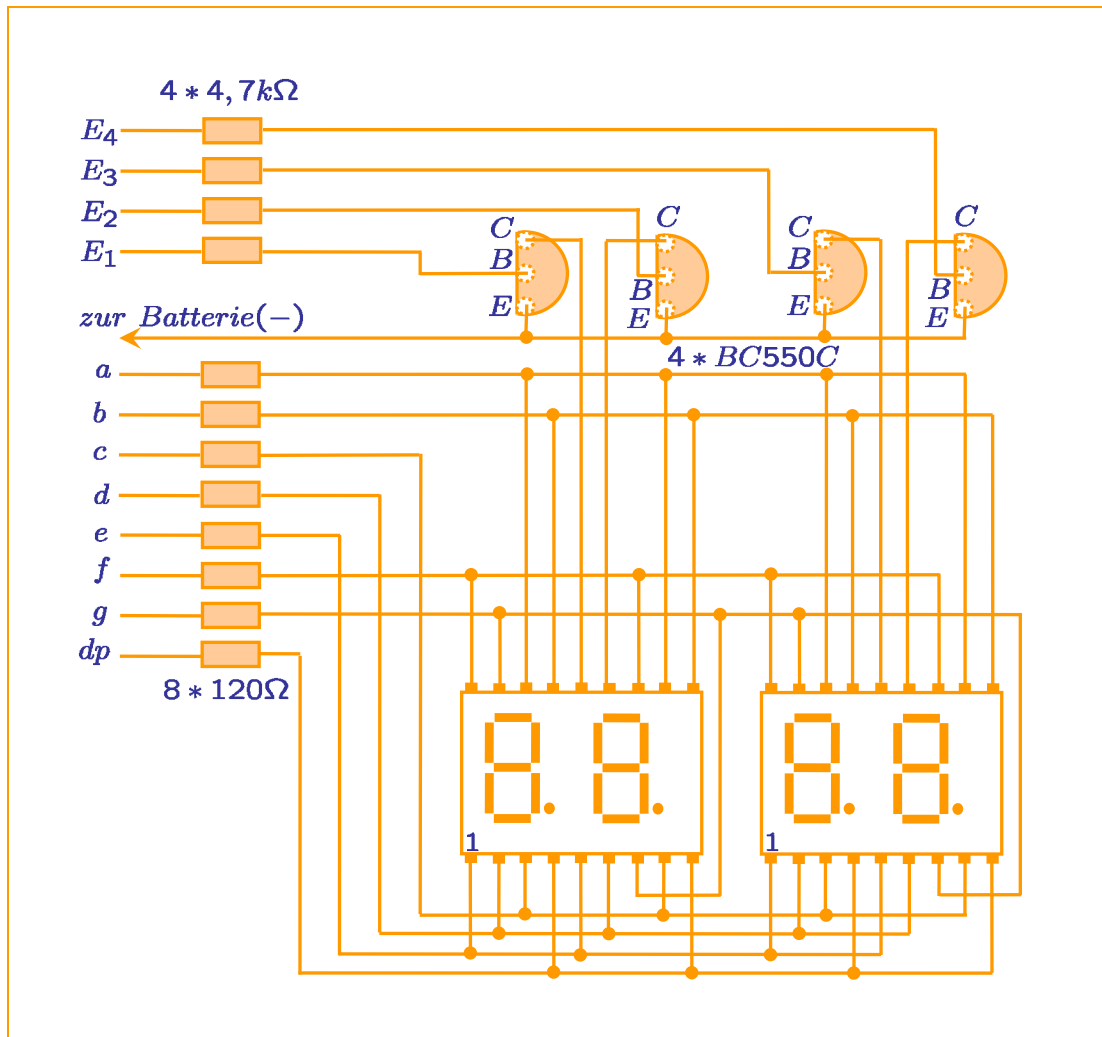


Abbildung 5 Anzeigeteil des elektronischen Thermometers

- 1) Verbindet nun die Eingänge a – g, dp sowie E<sub>4</sub> - E<sub>1</sub> mit dem Pluspol der Batterie. Nun sollen alle Segmente leuchten. Schickt uns ein Foto, auf dem die gesamte Schaltung sichtbar und die Anzeige gut erkennbar ist!
- 2) Verbindet nun lediglich die Eingänge a, b, c, d, e, f und E<sub>2</sub> mit dem Pluspol der Batterie! Was könnt ihr sehen?

Bei der Wahl der Vorwiderstände muss darauf geachtet werden, dass diese für die richtige Verlustleistung ausgelegt sind. Dies haben wir in der Aufgabe 4.2 vernachlässigt und wollen es kurz an dieser Stelle betrachten. Informationen über die Verlustleistung können dem Datenblatt eines Widerstandes entnommen werden. Gehen wir im Folgenden von den von uns verwendeten Vorwiderständen aus, für die der Hersteller eine maximale Verlustleistung von 250 mW angibt.



## 4.3 Elektronisches Thermometer - Fortsetzung

- 4) Baut die Schaltung nach Abbildung 6 auf! Verbindet diese Schaltung mit der Anzeige nach Abbildung 5 und sendet uns ein Foto von der gesamten Schaltung, die die Umgebungstemperatur misst!
- 5) Führt folgende Messungen mit dem elektronischen Thermometer durch und sendet uns jeweils ein Foto der Anzeige:
  - Messung der Körpertemperatur (Fasst mit euren Finger den Sensor für ca. 10 sec.)
  - Messung der Umgebungstemperatur, die durch Anpusten des Sensors verändert wird.
- 6) Vergleicht die Messungen aus der Aufgabe 4 und 5 mit Messungen mit einem (nicht-selbstgebauten) Thermometer! Wie groß sind die Unterschiede?

Auf dem Schaltplan ist zu erkennen, dass der Ausgang (V+) des Temperatursensors LM335 direkt an den Eingang des internen A/D-Wandlers vom ATmega8 angeschlossen ist. Ändert sich aufgrund einer Temperaturänderung die Ausgangsspannung des LM335, so ist auch am A/D-Wandler-Eingang des Mikrocontrollers eine Veränderung der Spannung feststellbar. Der Vorwiderstand  $R_1$  des LM335 dient dazu, den Strom durch den Temperatursensor einzustellen und zu begrenzen. Ein Wert von 2 k $\Omega$  ergibt einen Strom durch den LM335 von 1 mA. Aufgrund des relativ geringen Eingangsstroms des Mikrocontrollers kann angenommen werden, dass der gesamte Strom durch den Widerstand  $R_1$  auch durch den LM335 fließt.

- 7) Wie hoch ist der Strom durch den LM335 unter Berücksichtigung des Wertes für  $R_1$  im Schaltplan? Ihr könnt auch hier davon ausgehen, dass in Pin 23 (ADC0) kein nennenswerter Eingangsstrom fließt.

Dieser Strom durch den LM335 wird übrigens bewusst sehr niedrig ausgelegt, um einer Erwärmung zu verhindern und somit eine Verfälschung des Messwertes zu minimieren. Andererseits muss allerdings der Wert des Stromes groß genug ausgelegt werden, damit die zu messende Ausgangsspannung am Mikrocontroller von dem AD-Wandler des Mikrocontrollers noch erfasst werden kann und der LM335 somit innerhalb des Zielbereiches arbeitet.

### Form der Lösung

- Teil 4.3: Foto als Antwort auf Fragen 1  
Antworten auf Fragen 2 und 3  
Fotos als Antworten auf Frage 4 und 5  
Antworten auf Fragen 6 und 7

## 4.4 Codierung von digitalen Zahlen

Der im Rahmen dieser Aufgabe verwendete Mikrocontroller hat viel umfangreichere Funktionalität als wir für unsere Schaltung benötigen. Ein solcher „Luxus“ ist jedoch in den meisten Fällen nicht gegeben, da die Entwickler sich oft an die Grenzen der verwendeten Bauteile herantasten. Angenommen, wir hätten den umgekehrten Fall und müssten aus Kostengründen etc. einen Mikrocontroller verwenden, der weniger komplex ist und genau ein 8-Bit-Port hat (also 8 Input/Output Pins). Wir stünden also vor dem Problem, mit nur 8 Pins die gleiche Funktionalität zu implementieren, die wir in unserer bestehenden Schaltung mit mehr Pins implementiert haben.

- 1) Wie viele externe Pins verwendet unsere Schaltung insgesamt für A/D-Wandler und Anzeigeansteuerung?  
Hinweis: Die Pins für die Versorgungsspannung und Takterzeugung werden hier nicht betrachtet!
- 2) Wie viele Pins davon werden jeweils von dem A/D-Wandler und den 7-Segment-Anzeigen benötigt?

Ihr werdet festgestellt haben, dass wir mehr als nur 8 Pins benötigen, sodass eine andere Vorgehensweise als das gewöhnliche Verbinden der Pins mit den 7-Segment-Anzeigen und dem Temperatursensor notwendig ist. Eine gängige Möglichkeit ist, die einzelnen Signale zusammenzufassen und zu codieren, um so die Anzahl der Pins zu reduzieren. Eine solche Codierung stellt die BCD-Codierung dar. Hier wäre es möglich, beispielsweise mit vier Pins 16 unterschiedliche Zahlen zu codieren. Diese 16 unterschiedlichen Zahlen können mit dem Hexadezimalcode beschrieben werden. Lasst uns zunächst einen Decoder entwerfen, der anhand von vier Eingängen die Zahlen im BCD- und Hexadezimalcode ausgibt:

Tabelle 1 BCD- und Hexadezimalcodierung<sup>2</sup>

Eingänge				Code	
E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>0</sub>	BCD-	Hexadez.-
				0	0
				1	1
				2	2
				3	3
				4	4
				5	5
				6	6
				7	7
				8	8
				9	9
				n.d.	A
				n.d.	B
				n.d.	C
				n.d.	D
				n.d.	E
				n.d.	F

<sup>2</sup> n.d. = nicht definiert

## 4.4 Codierung von digitalen Zahlen - Fortsetzung

3) Vervollständigt Tabelle 1!

Es gibt Decoder, die direkt den BCD-Code und den Hexadezimalcode auf einer 7-Segment-Anzeige darstellen.

4) Wäre es möglich mit einem BCD-Decoder und einem Hexadezimaldecoder die Temperatur auf der 7-Segment-Anzeige darzustellen? Begründet eure Antwort!

Überlegt, wie die Wahrheitstabelle eines Hexadezimaldecoders aussehen müsste.

5) Vervollständigt Tabelle 2!

Tabelle 2 Wahrheitstabelle eines Hexadezimaldecoders

Eingang Hexadez.-Code	Ausgänge						
	a	b	c	d	e	f	g
0							
1							
2							
3	1	1	1	1	0	0	1
4							
5							
6							
7							
8							
9							
A							
B							
C							
D							
E							
F							

Der Hexadezimalcode kann offensichtlich zusätzlich zu den einzelnen Ziffern noch die Buchstaben „A“ bis „F“ darstellen. Je nach Land wird ja die Temperatur in Grad Celsius „C“ oder in Grad Fahrenheit „F“ angegeben.

6) Macht einen Vorschlag wie die Darstellbarkeit der Buchstaben durch die 7-Segmentanzeige ausgenutzt werden kann, um unter Benutzung des Hexadezimalcodes ein Thermometer für den „internationalen Markt“ zu bauen! Dieses Thermometer soll sowohl Temperaturen in Celsius und in Fahrenheit anzeigen, der Nutzer soll aber erkennen können um welche Temperaturskala es sich gerade handelt.

Hinweis: Es gibt mehrere mögliche richtige Vorschläge, ein Vorschlag reicht aus!

## 4.4 Codierung von digitalen Zahlen - Fortsetzung

Nach dem kleinen Ausflug zu den „internationalen Märkten“ kehren wir zu unserem Ausgangsproblem zurück.

- 7) Wie müssen die acht Pins des Mikrocontrollers verwendet werden, um die Funktionalität der Schaltung nicht zu beeinträchtigen. Ergänzt das Schaltbild in Abbildung 7!

Hinweise: - Verwendet den Hexadezimaldecoder!

- Überlegt, ob ein Multiplexer Euch für die Ansteuerung der Eingänge  $E_4 - E_1$  hilfreich sein könnte!

- Verzichtet zunächst auf die Ansteuerung des Eingangs „dp“!

- 8) Wie könnte der Eingang „dp“ angesteuert werden, damit nur der mittlere Punkt dauerhaft leuchtet und die anderen Punkte dauerhaft dunkel sind?

Hinweise: Die Schaltung aus Abbildung 5 darf nicht verändert werden!

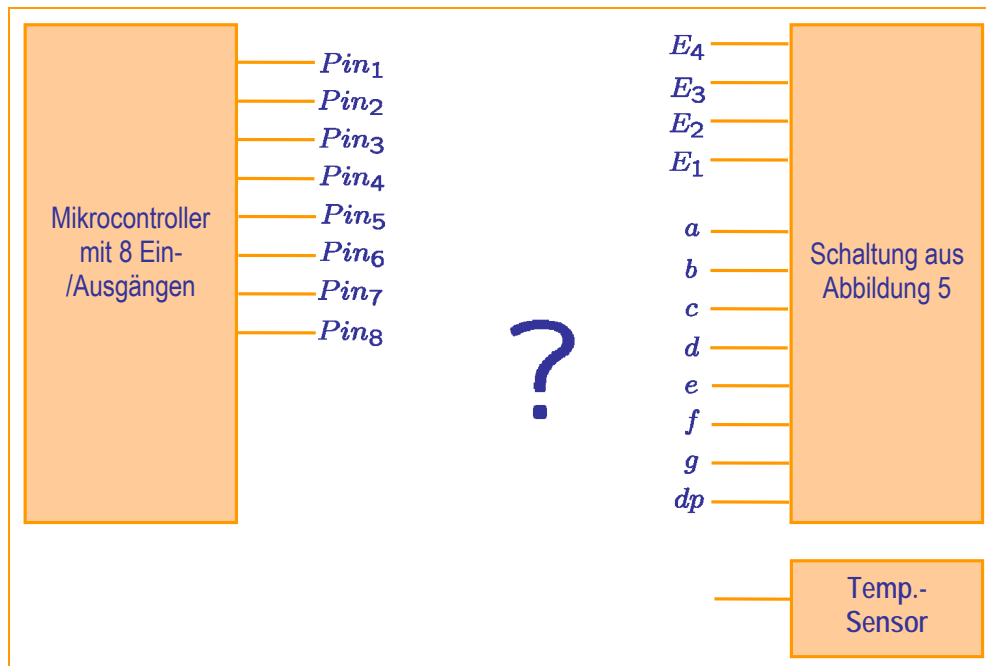


Abbildung 7 Elektronisches Thermometer mit einem 8-Bit-Mikrocontroller

### Form der Lösung

Teil 4.4: Antworten auf Fragen 1 und 2

Vervollständigte Tabelle 1 als Antwort auf Frage 3

Antwort auf Frage 4

Vervollständigte Tabelle 2 als Antwort auf Frage 5

Antwort auf Frage 6

Ergänzte Abbildung 7 als Antwort auf Frage 7

Antwort auf Frage 8 (ggf. ein Schaltbild)

## Wichtige Informationen

Falls ihr Fragen zu den Aufgaben habt oder eine Hilfestellung benötigt, so schaut doch einfach in unser Forum:  
<http://www.intel-leibniz-challenge.de/forum/>

Abgabe der Lösungen

**Wo:** [www.intel-leibniz-challenge.de/portal](http://www.intel-leibniz-challenge.de/portal)

**Wie:** Zulässige Dateiformate:

Textformate: PDF mit eingebetteten Bildern, txt

Bildformate: jpg, bmp, png, wmf

Videoformate: flv, avi, mpg

Audioformate: mp3, wma, wav

Spezielle Formate: asc, raw, gds

### Dateigrößen und Dateibenennung

Die Dateien sollten nicht größer als 7,5 MB sein! (Die Dateien können gezippt sein.)  
Bitte gebt in der Datei (nicht im Dateinamen) auch euren Teamnamen, die Namen der Gruppenmitglieder sowie deren Schulen an.

Bitte benennt eure Dateien mit dem Teamnamen und dem Aufgabenteil.

**Wann:** Bis zum 30.05.2010 um 23:59 Uhr

**Hinweis:** Um sicher zu gehen, dass eure Dateien wirklich fehlerfrei und für die Korrektoren zu öffnen sind, solltet ihr eure Zip-Dateien etc. nochmals von eurem Account runterladen und öffnen. Dateien, die sich nicht öffnen lassen, können nicht bewertet werden!

Die AGB und weitere Informationen: [www.intel-leibniz-challenge.de](http://www.intel-leibniz-challenge.de)  
Der Rechtsweg ist ausgeschlossen!