2.2 Schaltungen entwerfen: vom Text zur Schaltung

Leitidee

Im letzten Abschnitt hast du Schaltungen untersucht, die schon fertig gezeichnet waren. Jetzt drehst du den Spieß um: Du bekommst eine Beschreibung in Worten, zum Beispiel „Die Alarmanlage soll losgehen, wenn …“, und entwirfst selbst die passende Schaltung. Genau so arbeiten Ingenieurinnen und Ingenieure, wenn sie die Steuerung für eine Alarmanlage, einen Fahrstuhl oder eine Waschmaschine bauen. Damit dabei nichts schiefgeht, gehst du immer in denselben Schritten vor: von der Beschreibung über die Belegungstabelle zum Term und zur Schaltung. Am Ende testest du die Schaltung im Simulator.

Lernziele

Nach diesem Abschnitt kannst du

- zu einer Beschreibung in Worten die Eingänge und Ausgänge einer Schaltung festlegen,
- die Belegungstabelle aufstellen, die die Beschreibung erfüllt,
- die Beschreibung in einen logischen Term übersetzen und daraus die Schaltung skizzieren,
- die Schaltung in CircuitVerse aufbauen und mit allen Belegungen testen,
- dein Ergebnis mit einem kurzen Python-Programm nachprüfen.

2.2.1 Das Vorgehen beim Schaltungsentwurf

Eine Anforderung in Worten ist oft ungenau. Bevor du Gatter zeichnest, übersetzt du sie deshalb Schritt für Schritt in eine genaue Form. Die Belegungstabelle ist dabei das Herzstück: Sie legt für **jeden** möglichen Fall fest, was die Schaltung tun soll.

Merke

Beim Schaltungsentwurf übersetzt man eine **Anforderung in Textform** zunächst in eine **Belegungstabelle**, danach in eine passende **Gatterkombination**. Vorgehen:

1. Eingangs- und Ausgangsgrößen benennen (und festlegen, was 0 und 1 jeweils bedeuten).
2. Belegungstabelle aufstellen: alle Fälle durchgehen und markieren, in welchen der Ausgang 1 sein soll.
3. Passende Gatter auswählen und verschalten. Dabei hilft ein logischer Term.
4. Schaltung testen: alle Belegungen durchprobieren und mit der Tabelle vergleichen.

Bei Schritt 3 hilft dir die Sprache der Aufgabe. Die Wörter „und“, „oder“ und „nicht“ in der Beschreibung passen oft direkt zu den Gattern UND, ODER und NICHT. Ob das wirklich stimmt, prüfst du immer an der Belegungstabelle.

2.2.2 Beispiel: eine Alarmanlage

Eine Alarmanlage soll auslösen, wenn die **Tür geöffnet** ist **und** die Anlage **scharfgeschaltet** ist, **oder** wenn der **Rauchmelder** anschlägt. Bei Rauch soll der Alarm also immer losgehen, egal ob die Anlage scharfgeschaltet ist oder nicht.

Schritt 1: Eingänge und Ausgang benennen

Lies den Text und frage dich: Welche Informationen bekommt die Anlage? Das sind die Eingänge. Was soll sie tun? Das ist der Ausgang. Für jede Größe legst du fest, was 0 und was 1 bedeutet.

Größe	Art	Bedeutung von 1	Bedeutung von 0
Tür	Eingang	Tür ist geöffnet	Tür ist geschlossen
Scharf	Eingang	Anlage ist scharfgeschaltet	Anlage ist aus
Rauch	Eingang	Rauchmelder schlägt an	kein Rauch
Alarm	Ausgang	Alarm wird ausgelöst	kein Alarm

Die Schaltung hat also drei Eingänge und einen Ausgang.

Schritt 2: Belegungstabelle aufstellen

Drei Eingänge bedeuten $2^3 = 8$ Zeilen. Schreibe die Eingangsspalten in der gewohnten Reihenfolge auf. Gehe dann jede Zeile durch und frage: Soll hier Alarm sein? Die Hilfsspalte für „Tür offen und scharf“ macht das leichter.

Tür	Scharf	Rauch	Tür $\wedge$ Scharf	Alarm
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

Lies einige Zeilen in Worten, um die Tabelle zu prüfen:

- **Zeile 2** (0, 0, 1): Die Tür ist zu, die Anlage ist aus, aber es brennt. Es muss Alarm geben.
- **Zeile 5** (1, 0, 0): Die Tür ist offen, aber die Anlage ist nicht scharf. Das ist der normale Fall, wenn jemand zu Hause ist und das Haus betritt. Kein Alarm.
- **Zeile 7** (1, 1, 0): Die Tür wird geöffnet, während die Anlage scharf ist. Das könnte ein Einbruch sein. Alarm.

Schritt 3: Term und Schaltung

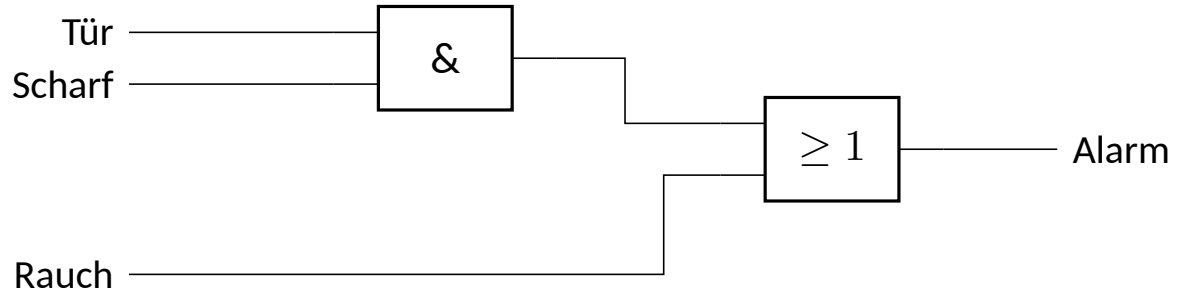
Jetzt übersetzt du die Beschreibung in einen logischen Term. Der Satz hat zwei Teile, die durch „oder“ verbunden sind:

- „die Tür ist geöffnet **und** die Anlage ist scharfgeschaltet“ wird zu Tür $\wedge$ Scharf,
- „der Rauchmelder schlägt an“ ist einfach Rauch.

Beide Teile werden mit ODER verknüpft. Weil das UND zuerst ausgewertet werden soll, kommt es in Klammern:

$$\text{Alarm} = (\text{Tür} \wedge \text{Scharf}) \vee \text{Rauch}$$

Der Term sagt dir direkt, welche Gatter du brauchst: ein UND-Gatter für die Klammer und ein ODER-Gatter, das den Ausgang des UND-Gatters mit dem Rauchmelder verknüpft. Was in der Klammer steht, liegt in der Schaltung weiter links, denn es wird zuerst berechnet.



Schaltung der Alarmanlage: Alarm $=$ (Tür $\wedge$ Scharf) $\vee$ Rauch

Vergleiche die Schaltung mit der Tabelle: Die Leitung zwischen den beiden Gattern führt genau die Werte der Hilfsspalte Tür $\wedge$ Scharf.

Schritt 4: Testen

Eine Schaltung ist erst fertig, wenn sie getestet ist. Dazu baust du sie in CircuitVerse nach und probierst **alle acht** Belegungen aus.

Arbeitsauftrag 15: Alarmanlage in CircuitVerse

Baue die Schaltung der Alarmanlage in CircuitVerse nach. Verwende drei Input-Schalter für Tür, Scharf und Rauch, ein AND-Gatter, ein OR-Gatter und einen Output für Alarm. Teste alle acht Belegungen und vergleiche mit der Belegungstabelle oben. Notiere, welche Zeilen du getestet hast.

Getestete Zeilen und Auffälligkeiten:

Gymnasium Ottweiler

Tipp

In CircuitVerse kannst du jedem Input und Output einen Namen geben (Feld *Label* in den Eigenschaften des Bausteins). Mit beschrifteten Schaltern verwechselst du beim Testen keine Eingänge.

Auch Python kann die Belegungstabelle zur Kontrolle ausgeben. Für drei Eingänge brauchst du drei ineinander geschachtelte Schleifen:

```
1 def alarm(tuer, scharf, rauch):
2     return int((tuer and scharf) or rauch)
3
4 print("Tür Scharf Rauch -> Alarm")
5 for tuer in [0, 1]:
6     for scharf in [0, 1]:
7         for rauch in [0, 1]:
8             ergebnis = alarm(tuer, scharf, rauch)
9             print(f" {tuer}    {scharf}      {rauch}    -> {ergebnis}")
```

AUSGABE

```
 Tür Scharf Rauch -> Alarm
  0    0      0   -> 0
  0    0      1   -> 1
  0    1      0   -> 0
  0    1      1   -> 1
  1    0      0   -> 0
  1    0      1   -> 1
  1    1      0   -> 1
  1    1      1   -> 1
```

- **Zeilen 1–2:** Die Funktion `alarm` enthält den Term der Schaltung. Die Klammern stehen genau wie im Term. `int(...)` sorgt dafür, dass das Ergebnis 0 oder 1 ist.
- **Zeile 4:** Die Kopfzeile der Tabelle.
- **Zeilen 5–7:** Drei Schleifen erzeugen alle acht Belegungen in der üblichen Reihenfolge. Die innerste Schleife (`rauch`) wechselt am schnellsten.
- **Zeilen 8–9:** Für jede Belegung wird der Ausgang berechnet und zusammen mit den Eingängen ausgegeben. Die Leerzeichen im f-String sorgen dafür, dass die Werte unter den Überschriften stehen.

Die Ausgabe stimmt Zeile für Zeile mit der Belegungstabelle überein. Die Schaltung erfüllt also die Anforderung.

Stolperstein

Achte auf die **Klammern**. Der Term Tür $\wedge$ (Scharf $\vee$ Rauch) sieht ähnlich aus, beschreibt aber eine andere Schaltung. Vergleiche die beiden Terme in der Belegungstabelle (hier abgekürzt: T = Tür, S = Scharf, R = Rauch):

T	S	R	$(T \wedge S) \vee R$	$T \wedge (S \vee R)$
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

In der zweiten und vierten Zeile unterscheiden sie sich: Es brennt, aber die Tür ist geschlossen. Mit dem falschen Term bliebe die Anlage stumm. Ein Test mit **allen** Belegungen deckt solche Fehler auf.

So kannst du es sagen

So beschreibst du eine Schaltung in Fachsprache – vom einfachen zum genauen Satz:

- *„Links gehen drei Leitungen rein, rechts eine raus."* → *„Die Schaltung hat drei Eingänge und einen Ausgang."*
- *„Bei 0, 0, 1 kommt 1 raus."* → *„Zu der Kombination der Eingangswerte Tür = 0, Scharf = 0, Rauch = 1 gehört der Ausgangswert Alarm = 1."*
- *„Die Formel ist die Schaltung."* → *„Der logische Term* $(\text{Tür} \wedge \text{Scharf}) \vee \text{Rauch}$ *repräsentiert die Schaltung der Alarmanlage."*

2.2.3 Typische Fehler beim Entwurf

- **Bedeutung von 0 und 1 nicht festgelegt.** Schreibe in Schritt 1 immer auf, was 1 bedeutet. Bei der Fahrstuhltür in den Übungen unten bedeutet 1 bei den Lichtschranken „frei", nicht „blockiert".
- **Alltags-Oder mit XOR verwechseln.** Prüfe beim Wort „oder", ob „beides gleichzeitig" erlaubt ist. Dann ist es ODER, sonst XOR.
- **Klammern vergessen.** Was in der Beschreibung zusammengehört, gehört im Term in eine Klammer und in der Schaltung zu einem eigenen Gatter.
- **Nicht alle Fälle getestet.** Eine Schaltung, die in drei Fällen funktioniert, kann im vierten falsch sein. Teste immer alle 2^n Belegungen.

2.2.4 Übungen

Arbeitsauftrag 16: Fahrstuhltür

Eine Fahrstuhltür darf sich nur schließen (Ausgang Schließen = 1), wenn **beide** Lichtschranken LS1 und LS2 frei sind **und** der Zeitgeber Zeit abgelaufen ist. Bei den Lichtschranken bedeutet 0 „blockiert" und 1 „frei". Beim Zeitgeber bedeutet 1 „abgelaufen".

1. Stelle die Belegungstabelle auf.
2. Gib einen logischen Term an und skizziere die Schaltung.
3. Baue die Schaltung in CircuitVerse und teste sie.

4. Kontrolliere dein Ergebnis mit Python. Ergänze dazu die Funktion `schliessen` im folgenden Programm:

```
def schliessen(ls1, ls2, zeit):
    return ...   # hier ergänzen

for ls1 in [0, 1]:
    for ls2 in [0, 1]:
        for zeit in [0, 1]:
            ergebnis = schliessen(ls1, ls2, zeit)
            print(ls1, ls2, zeit, "->", ergebnis)
```

LS1	LS2	Zeit	Schließen
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Term und Skizze:

Gymnasium Ottweiler

Arbeitsauftrag 17: Abstimmungsschaltung mit Vetorecht

Drei Personen A, B und C stimmen ab (0 = dagegen, 1 = dafür). Ein Antrag ist angenommen (Ausgang $Q = 1$), wenn die **Mehrheit** dafür ist. **Aber:** Stimmt Person A dagegen, ist der Antrag **in jedem Fall** abgelehnt (Vetorecht).

1. Überlege dir zunächst in Worten, wann der Ausgang 1 sein muss.
2. Stelle die Belegungstabelle auf. Die Hilfsspalte „Mehrheit“ gibt an, ob mindestens zwei Personen dafür sind.
3. Gib einen Term an, skizziere die Schaltung und baue sie in CircuitVerse.

4. Vergleiche mit einer Python-Kontrolle. Schreibe dazu eine Funktion `antrag_angenommen(a, b, c)`.

A	B	C	**Mehrheit**	Q
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

Tipp

Die Mehrheitsschaltung kennst du schon aus dem letzten Abschnitt: $(A \wedge B) \vee (B \wedge C) \vee (A \wedge C)$. Überlege, wie das Vetorecht von A mit diesem Ergebnis verknüpft werden muss.

In Worten, Term, Skizze und Python-Funktion:

Arbeitsauftrag 18: Gartenbewässerung

Eine Pumpe bewässert einen Garten. Sie soll laufen (Pumpe = 1), wenn der Boden **trocken** ist und es **nicht regnet**. Außerdem gibt es einen **Handschalter**: Ist er eingeschaltet, läuft die Pumpe immer.

1. Benenne die Eingänge und den Ausgang und lege fest, was 0 und 1 bedeuten.
2. Stelle die Belegungstabelle auf (mit Hilfsspalten).

3. Gib einen Term an und skizziere die Schaltung.

Deine Lösung:

2.2.5 Weitere Übungen

Hier kannst du das Gelernte weiter üben. Die Punkte im Titel zeigen, wie schwer eine Aufgabe ist: ●○○ leicht, ●●○ mittel, ●●● knifflig. Fang mit den leichten an.

Arbeitsauftrag 19: Eingänge und Ausgang benennen ●○○

Ein Ventilator im Zimmer soll laufen, wenn es im Zimmer **warm** ist **und** eine **Person** im Zimmer ist. Ein Temperaturfühler und ein Bewegungsmelder liefern die Eingangswerte.

Ergänze die Tabelle: Ist die Größe ein Eingang oder ein Ausgang? Was bedeuten 1 und 0?

Größe	Art	Bedeutung von 1	Bedeutung von 0
Warm			
Person			
Ventilator			

Arbeitsauftrag 20: Schaltung für den Ventilator ●○○

Setze den Auftrag *Eingänge und Ausgang benennen* fort.

1. Stelle die Belegungstabelle auf.
2. Gib einen logischen Term an und skizziere die Schaltung mit IEC-Symbolen.

Warm	Person	Ventilator
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Term und Skizze:

Arbeitsauftrag 21: Sätze in Terme übersetzen ●○○

Übersetze jeden Satz in einen logischen Term. Nenne die Gatter, die du für die Schaltung brauchst.

a) Das Tablet lädt (L), wenn das Kabel steckt (K) und die Steckdose Strom hat (S).
b) Die Klingel tönt (T), wenn an der Haustür (H) oder an der Gartentür (G) jemand drückt.
c) Der Bildschirm des Laptops ist an (D), wenn der Deckel nicht zugeklappt ist. ($Z = 1$ bedeutet: Der Deckel ist zugeklappt.)
d) Die Handykamera blitzt (B), wenn es dunkel ist (N) und der Blitz nicht ausgeschaltet ist. ($X = 1$ bedeutet: Der Blitz ist ausgeschaltet.)

Deine Terme:

Arbeitsauftrag 22: Welcher Term passt? ●○○

Das Licht auf dem Pausenhof geht an ($L = 1$), wenn es dunkel ist ($D = 1$) und der Bewegungsmelder etwas meldet ($B = 1$), oder wenn der Hausmeister den Schalter einschaltet ($H = 1$).

Welcher der drei Terme beschreibt die Anlage richtig? Begründe deine Wahl.

① $(D \wedge B) \vee H$ ② $D \wedge (B \vee H)$ ③ $(D \vee B) \wedge H$

Deine Antwort:

Gymnasium Ottweiler

Arbeitsauftrag 23: Einlass ins Kino ●●○

Am Eingang eines Kinosaals öffnet sich eine Schranke (Auf $= 1$), wenn ein gültiges Ticket gescannt wurde ($T = 1$) **und außerdem** die Person mindestens 16 Jahre alt ist ($S = 1$) **oder** von einer erwachsenen Person begleitet wird ($E = 1$).

1. Stelle die Belegungstabelle auf. Die Hilfsspalte gibt an, ob die Altersregel erfüllt ist.
2. Gib einen logischen Term an.
3. Skizziere die Schaltung mit IEC-Symbolen.

T	S	E	$S \vee E$	**Auf**
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

Term und Skizze:

Arbeitsauftrag 24: Kinoeinlass mit Python prüfen ●●○

Schreibe eine Funktion `schranke(t, s, e)`, die den Term aus dem Auftrag *Einlass ins Kino* berechnet und 0 oder 1 zurückgibt. Gib mit drei geschachtelten `for`-Schleifen die Belegungstabelle aus und vergleiche sie mit deiner Tabelle.

Arbeitsauftrag 25: Wasserspiel mit Sturmabschaltung ●●●

Ein Wasserspiel im Freizeitpark spritzt ($W = 1$), wenn Musik läuft ($M = 1$) oder ein Kind auf die Bodenplatte tritt ($K = 1$). Bei Sturm ($S = 1$) bleibt es aber **in jedem Fall** aus.

1. Stelle die Belegungstabelle auf (mit Hilfsspalten).
2. Gib einen Term an und skizziere die Schaltung.
3. Jonas schlägt den Term $M \vee K \vee \neg S$ vor. Gib eine Belegung an, bei der sein Term das Falsche liefert, und erkläre seinen Fehler.

Tabelle, Term, Skizze und Antwort zu Jonas:

2.2.6 Das Wichtigste in Kürze

- Beim Schaltungsentwurf geht man in festen Schritten vor: Eingänge und Ausgänge benennen, Belegungstabelle aufstellen, Term und Schaltung entwickeln, Schaltung testen.
- Für jeden Eingang und Ausgang legt man fest, was 0 und 1 bedeuten.
- Die Wörter „und“, „oder“, „nicht“ einer Beschreibung führen oft zu den Gattern UND, ODER, NICHT. Klammern im Term zeigen, was zuerst berechnet wird.
- Das Beispiel Alarmanlage: Alarm $=$ (Tür $\wedge$ Scharf) $\vee$ Rauch.
- Verschiedene Schaltungen können dieselbe Belegungstabelle haben. Dann erfüllen beide die Anforderung; die mit weniger Gattern ist billiger.
- Getestet wird mit allen Belegungen, zum Beispiel in CircuitVerse oder mit einem Python-Programm mit geschachtelten Schleifen.

Selbstcheck

- ☐ Ich kann zu einer Beschreibung die Eingänge und Ausgänge benennen und festlegen, was 0 und 1 bedeuten.
- ☐ Ich kann zu einer Beschreibung die Belegungstabelle aufstellen.
- ☐ Ich kann eine Beschreibung in einen logischen Term mit Klammern übersetzen.
- ☐ Ich kann aus dem Term die Schaltung skizzieren.
- ☐ Ich kann eine Schaltung in CircuitVerse aufbauen und mit allen Belegungen testen.
- ☐ Ich kann die Alarmanlage als Beispiel erklären.