

Wenn es nur zwei Werte sind, kann man jedem Wert einen großzügig bemessenen Pegelbereich zuordnen und auch noch genügend Luft zwischen den beiden Bereichen lassen.

Es kommt nicht so genau darauf an.
Man braucht keine Präzisionsschaltungen.

Im Grunde genügen zwei Zustände:
Null = ausgeschaltet
Eins = eingeschaltet.

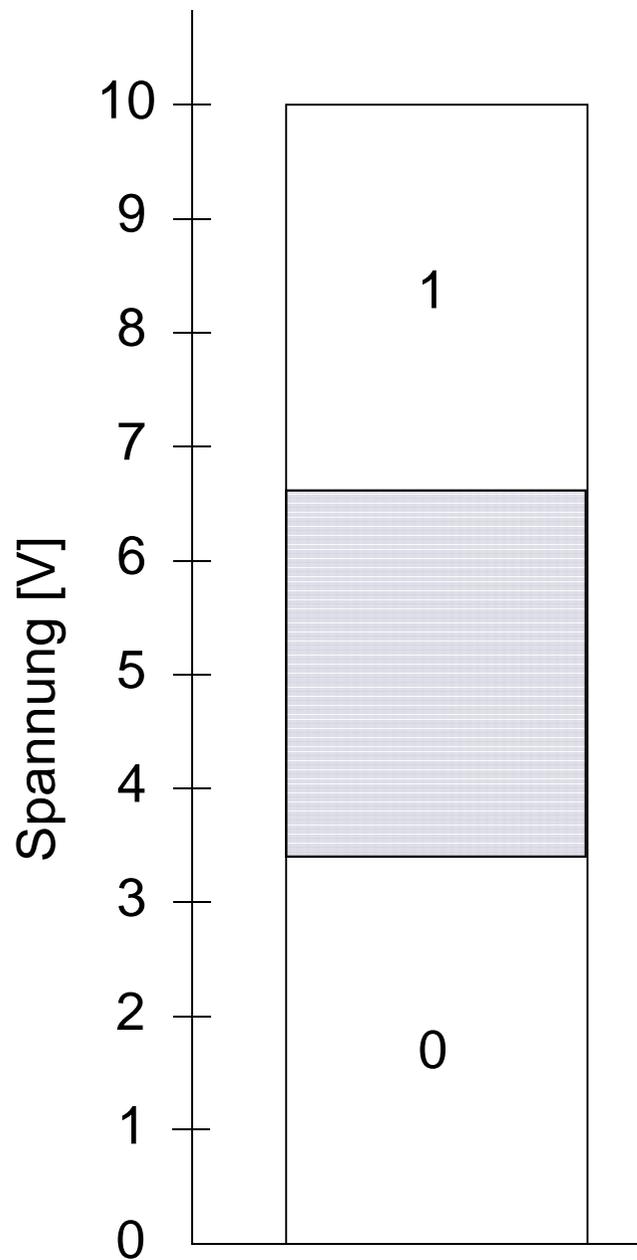
Man kann physikalische Effekte ausnutzen und Bauelemente und Schaltungen einsetzen, die zwei gut unterscheidbare Betriebszustände aufweisen.

Das einfachste dieser Bauelemente ist der Kontakt. Er ist entweder geöffnet



oder geschlossen.





Bauelemente, die einfach sind und bei denen es nicht so genau darauf ankommt, kann man in großen Stückzahlen kostengünstig fertigen (Schaltungsintegration).

Wenn es nur zwei Zustände sind und wenn genügend Luft dazwischen ist, kann man sie immer wieder auffrischen. Ein Pegel in der Nähe des verbotenen Bereichs ist leicht in einen Pegel am unteren oder oberen Ende gewandelt. Zweiwertige Daten können also ewig halten; sie sind keiner Abschwächung unterworfen (wenn man es richtig anstellt...)

Wenn doch Fehler vorkommen, kann man sie beseitigen (Fehlerkorrektur). Die Voraussetzung dafür ist nur, daß man etwas mehr speichert oder überträgt als unbedingt nötig (Redundanz).

Bauelemente mit zwei Zuständen passen saugend zu zwei Einsatzfällen:

1. Zur Steuerungstechnik mit ihren Schaltzuständen Ein und Aus.
2. Zum Rechnen mit Binärzahlen, deren Stellen nur die Werte 0 oder 1 annehmen können.

Binärzahlen

Dezimalzahlen bestehen aus den Ziffern 0 bis 9.

Jede Dezimalstelle hat den Wert einer Zehnerpotenz (1, 10, 100, 1000 usw.)

Binärzahlen bestehen aus Nullen und Einsen.

Jede Binärstelle hat den Wert einer Zweierpotenz (1, 2, 4, 8, 16, 32 usw.)

Eine achtstellige Binärzahl:

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

Der kleinste Wert:

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

Der größte Wert:

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

Im Binären wird im Grunde genauso gerechnet wie im Dezimalen.

Im Binären addieren

a)

$0 + 0 = 0$	$0 + 1 = 1$	$1 + 0 = 1$	$1 + 1 = 11$
0	0	1	1
+ 0	+ 1	+ 0	+ 1
<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>
0	1	1	1 0
			↙
			Übertrag (1 + 1 = 2)

b)

0	0	1	1
+ 0 ₊₁	+ 1 ₊₁	+ 0 ₊₁	+ 1 ₊₁
<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>
1	1 0	1 0	1 1
	↙	↙	↙

c)

3	0 0 1 1
+ 6	+ 0 ₁ 1 ₁ 1 0
<hr style="width: 100%;"/>	<hr style="width: 100%;"/>
9	1 0 0 1

Im Binären subtrahieren

a)

$0 - 0 = 0$	$0 - 1 = -1$	$1 - 0 = 1$	$1 - 1 = 0$
0	0	1	1
-0	-1	-0	-1
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>			
0	1 1	1	0

↙
geborgt

b)

0	0	1	1
-0 ₊₁	-1 ₊₁	-0 ₊₁	-1 ₊₁
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>			
1 1	1 0	0	1 1

↙ ↘ ↘ ↘

c)

9	1 0 0 1
-3	- 0 ₁ 0 ₁ 1 1
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
6	0 1 1 0

Im Binären multiplizieren

Das kleine Einmaleins:

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

Multiplikand	Multiplikator	
1 1 0 0	• 1 0 0 1	(12 • 9)
	1 1 0 0	(• 1)
	0 0 0 0	(• 0)
	0 0 0 0	(• 0)
	1 1 0 0	(• 1)
<hr/>		
0 1 1 0 1 1 0 0		(108)

Infolge der Einfachheit des Einmaleins kann jedes Teilprodukt nur einen von zwei möglichen Werten annehmen:

- Ist das zugehörige Multiplikatorbit = 0, so ist auch das Teilprodukt = 0.
- Ist das zugehörige Multiplikatorbit = 1, so entspricht das Teilprodukt dem gemäß der Position des Multiplikatorbits nach links verschobenen Multiplikanden.

Im Binären dividieren

Dividend	Divisor
1 1 0 1 0 1	1 0 1 0 (53 : 10)
$1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1 : 1\ 0\ 1\ 0 = 1\ 0\ 1$ Rest 11	
a) $\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 1\ 0 \end{array}$	
b) $\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 1\ 1\ 0\ 1 \end{array}$	
c) $\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0 \\ \hline 0\ 0\ 1\ 1 \end{array}$	
d) $\begin{array}{r} 0\ 0\ 1\ 1 \\ \hline \end{array}$	(5 Rest 3)

- a) Erster Divisionsschritt. Der Divisor ist offensichtlich kleiner. Quotientenbit = 1, Rest = Differenz.
- b) Zweiter Divisionsschritt. Das nächste Dividendenbit wird an den Rest angehängt; der Divisor daruntergesetzt. Er ist offensichtlich kleiner. Quotientenbit = 0; der Rest bleibt, wie er ist.
- c) Dritter Divisionsschritt. Das letzte Dividendenbit wird an den Rest angehängt; der Divisor daruntergesetzt. Er ist offensichtlich größer. Quotientenbit = 1.
- d) Die Differenz ergibt den verbleibenden Rest.

Wir erfinden eine Rechenmaschine -- mit Relais binär addieren

Wir beginnen mit zwei Binärziffern und lassen den Eingangsübertrag weg.

Belegung	Summand A	Summand B	Summe S	Übertrag C
1	0	0	0	0
2	0	1	1	0
3	1	0	1	0
4	1	1	0	1

Die technische Darstellung der Null und der Eins ist naheliegend:

Null = nicht erregtes Relais = keine Spannung = unterbrochener Stromweg.

Eins = erregtes Relais = anliegende Spannung = geschalteter Stromweg.

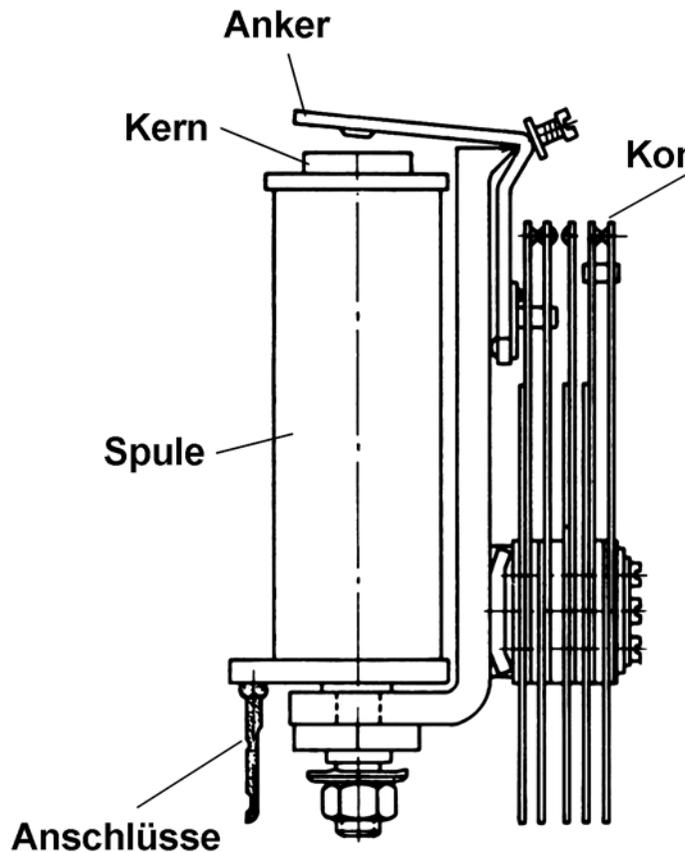
Jetzt gehen wir alle vier Belegungen nacheinander durch.

Belegung 1: alles Null, also passiert gar nichts. Trivial.

Belegungen 2 und 3: ist $A = 1$, so ist das A-Relais erregt. Dies muß einen Stromweg zum Summenausgang S schaffen. Also ist ein Arbeitskontakt vorzusehen. Die gleiche Überlegung gilt für $B = 1$. Es ergeben sich also zwei parallelgeschaltete Arbeitskontakte.

Was ist eigentlich ein Relais?

Ein Einschub für Bäcker, Fleischer, Friseure* und Vollabiturienten...



Das einfachste Relais ist ein Kontakt, der elektromagnetisch betätigt wird.

Es besteht aus einer Spule, einem beweglichen Anker und dem besagten Kontakt. Der Anker betätigt den Kontakt.

Wenn kein Strom durch die Spule fließt (nicht erregt) ist der Anker abgefallen und der Kontakt geöffnet.

Wenn Strom durch die Spule fließt (erregt), wird der Anker angezogen. Dadurch wird der Kontakt geschlossen.

Damit sich der Aufwand lohnt, haben die meisten Relais mehrere Kontakte (Kontaktsatz).

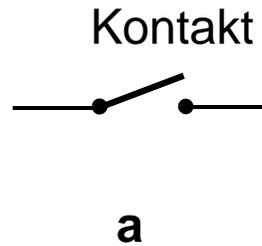
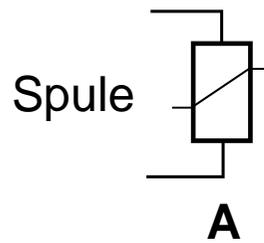
Der Arbeitskontakt ist bei nicht erregter Spule geöffnet und bei erregter Spule geschlossen.

Der Ruhekontakt ist bei nicht erregter Spule geschlossen und bei erregter Spule geöffnet.

Der Wechselkontakt wirkt als Umschalter.

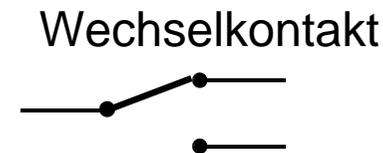
Nichts gegen diese Berufe...
Es ist einfach eine Frage
der Spezialisierung...

Das Relais im Schaltbild



Spulenbezeichnung
mit Großbuchstaben

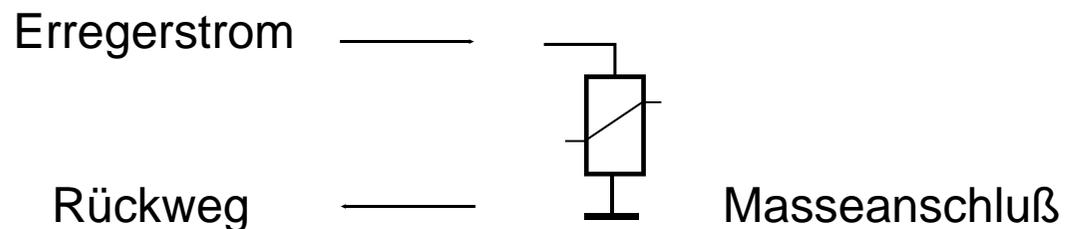
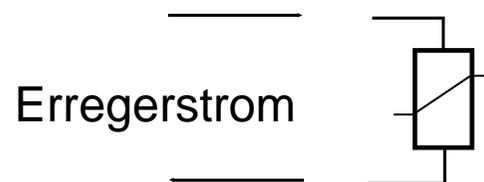
Kontaktbezeichnung
mit Kleinbuchstaben



-- Kontakte werden immer in Ruhelage (Relais nicht erregt) dargestellt. --

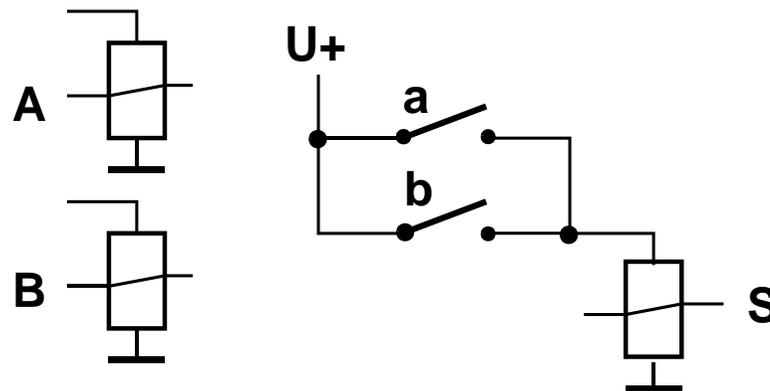
Die Erregung:

In vielen Schaltungen verwendet man einen gemeinsamen Rückweg, die sog. Masse (engl. Ground). Vgl. die Karosserie des Autos...



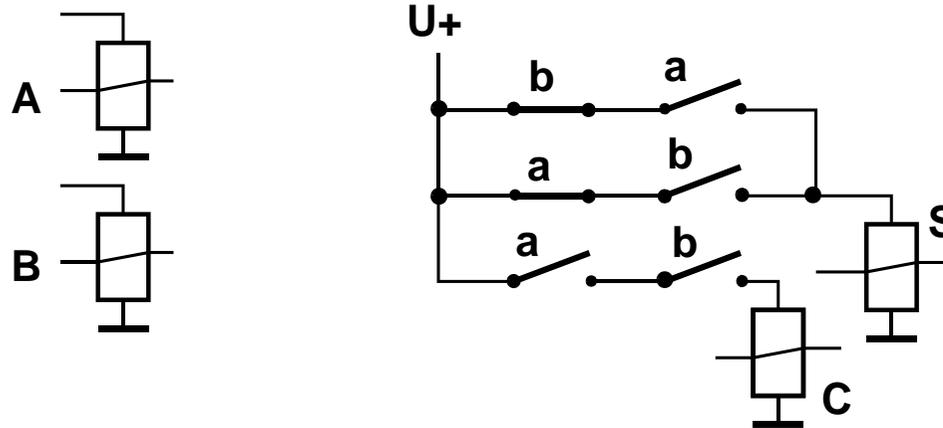
Belegung	Summand A	Summand B	Summe S	Übertrag C
1	0	0	0	0
2	0	1	1	0
3	1	0	1	0
4	1	1	0	1

Belegungen 2 und 3: ist $A = 1$, so ist das A-Relais erregt. Dies muß einen Stromweg zum Summenausgang S schaffen. Also ist ein Arbeitskontakt vorzusehen. Die gleiche Überlegung gilt für $B = 1$. Es ergeben sich also zwei parallelgeschaltete Arbeitskontakte.

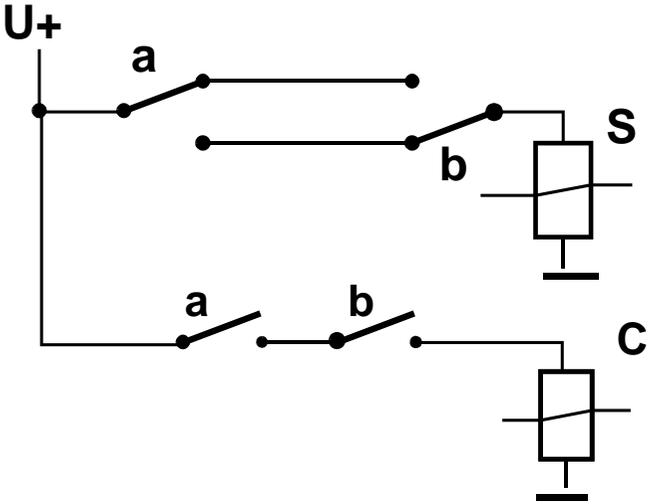
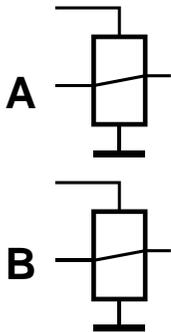
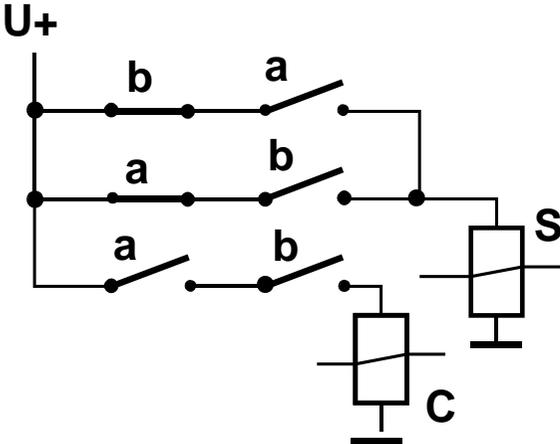
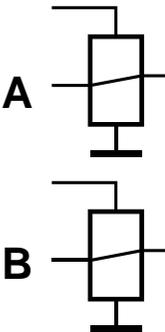


Belegung	Summand A	Summand B	Summe S	Übertrag C
1	0	0	0	0
2	0	1	1	0
3	1	0	1	0
4	1	1	0	1

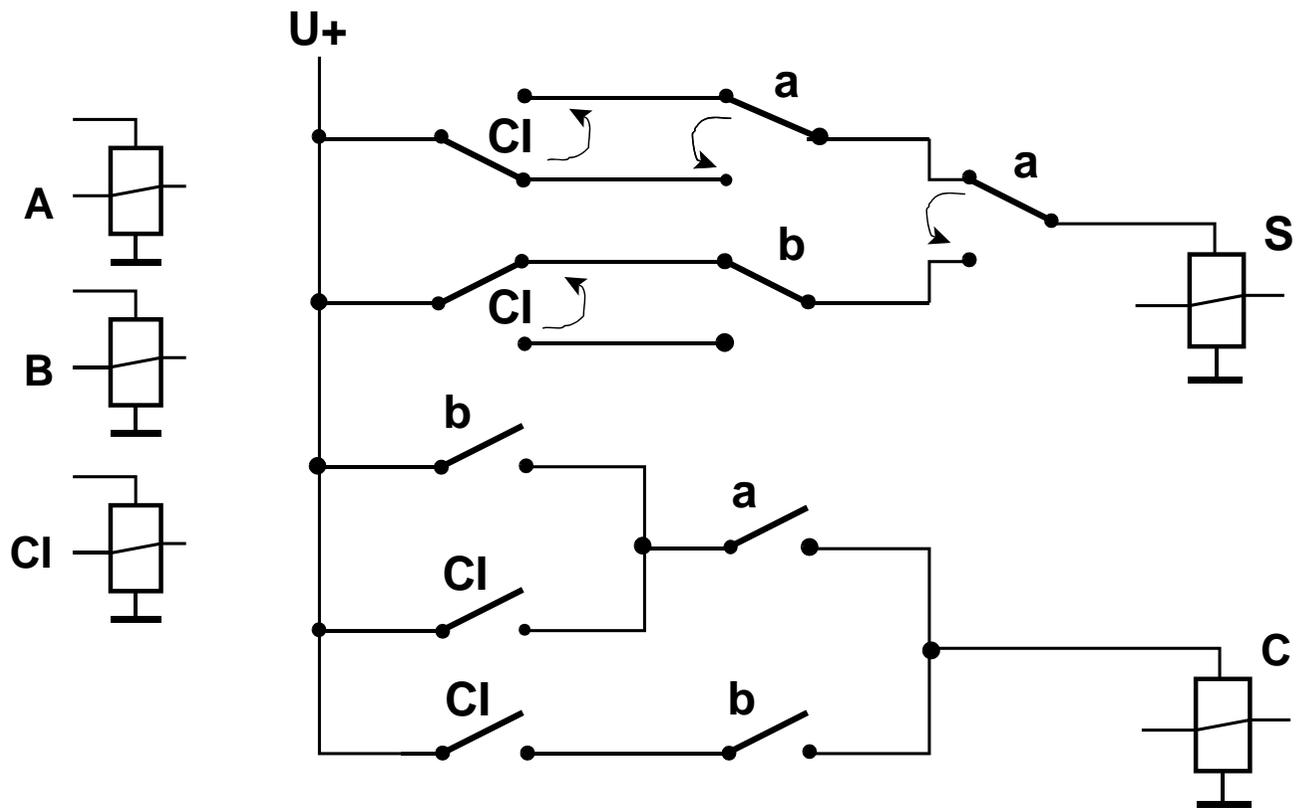
Belegung 4: sind beide Relais A, B erregt, so muß die Summe Null werden, also muß der Stromweg zum Summenausgang S unterbrochen werden. Naheliegender: einen vom jeweils anderen Relais betätigten Ruhekontakt in die Stromwege einfügen. Zudem ist ein Stromweg zum Übertragsausgang C zu schalten. Die Lösung: zwei in Reihe geschaltete Arbeitskontakte.

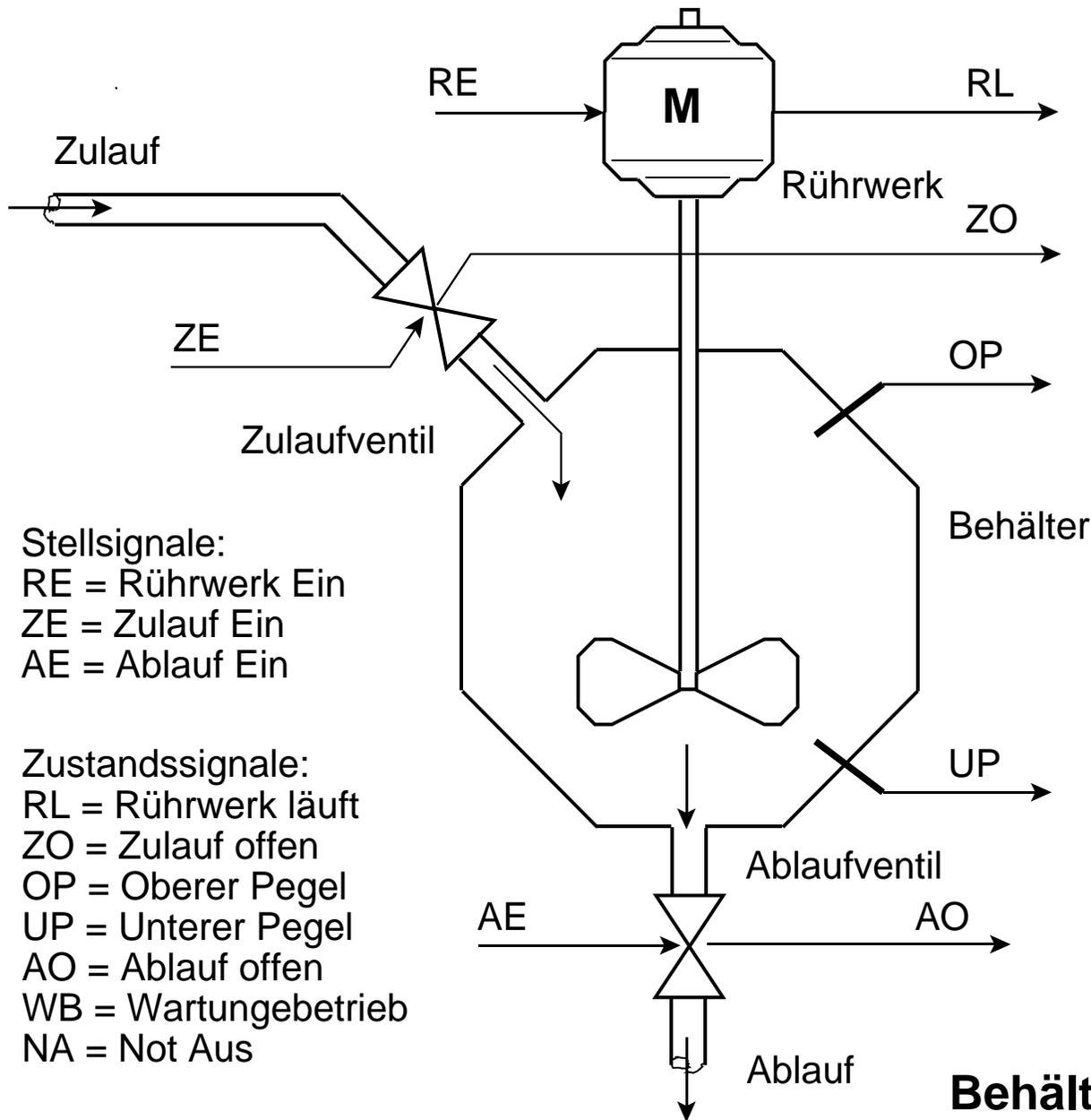


Eine geniale Eingebung lässt uns darauf verfallen, die in Reihe geschalteten Kontakte a, b der Summenbildung durch Wechselkontakte zu ersetzen.

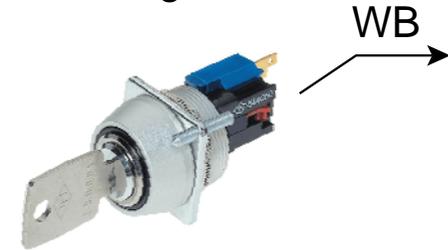


Ein weiterentwickeltes Addierwerk, das auch den einlaufenden Übertrag (CI) berücksichtigt.
Das ist schon nicht mehr ganz so naheliegend...





Schlüsselschalter für
Wartungsbetrieb



Notschalter



Behälter mit Rührwerk

Der Behälter mit Rührwerk (1)

Wie soll so ein Apparat funktionieren?

Beginnen wir mit dem Offensichtlichen.

Das Zulaufventil darf nur dann geöffnet werden, wenn das Ablaufventil geschlossen ist, denn sonst läuft es einfach durch. Es muß dann geschlossen werden, wenn die Flüssigkeit den oberen Pegelstand erreicht hat, denn sonst gibt es Ärger.

Das Ablaufventil darf nur dann geöffnet werden, wenn das Zulaufventil geschlossen ist, denn sonst läuft es von oben nach. Es darf erst dann geschlossen werden, wenn der Behälter leer ist, denn sonst bleibt noch ein Rest drin.

Das Rührwerk darf nur dann laufen, wenn beide Ventile geschlossen sind und wenn der Behälter voll ist. Um eine Steuerung zu entwerfen, müssen wir das aber ganz genau formulieren:

Das Rührwerk darf nur dann laufen, wenn das Zulaufventil geschlossen ist UND wenn das Ablaufventil geschlossen UND wenn der obere Pegelstand erreicht ist.

Ein geschlossenes Ventil ist nicht geöffnet. Das Rührwerk darf also nur dann laufen, wenn das Zulaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn das Ablaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn der obere Pegelstand erreicht ist.

Die beiden anderen Bedingungen kann man sinngemäß formulieren:

Das Zulaufventil darf nur dann geöffnet werden, wenn das Ablaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn die Flüssigkeit den oberen Pegelstand NICHT erreicht hat.

Das Ablaufventil darf nur dann geöffnet werden, wenn das Zulaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn der Behälter NICHT leer ist.

Stellsignale:
RE = Rührwerk Ein
ZE = Zulauf Ein
AE = Ablauf Ein

Zustandssignale:
RL = Rührwerk läuft
ZO = Zulauf offen
OP = Oberer Pegel
UP = Unterer Pegel
AO = Ablauf offen
WB = Wartungsbetrieb
NA = Not Aus

Der Behälter mit Rührwerk (2)

Nun nehmen wir noch die beiden Schalter hinzu.

Im Wartungsbetrieb soll das Rührwerk laufen, wenn das Zulaufventil geschlossen ist, und wenn der Behälter leer ist. Damit der Behälter leerläuft, wird das Ablaufventil geöffnet.

Der Behälter ist dann leer, wenn der untere Pegelstand NICHT erreicht ist.

Ist der Notschalter betätigt, so soll das Zulaufventil geschlossen werden, das Ablaufventil geöffnet werden, und das Rührwerk soll nicht laufen.

ALSO:

Das Rührwerk läuft nur dann, wenn das Zulaufventil NICHT offen ist UND wenn das Ablaufventil NICHT offen ist UND wenn der obere Pegelstand erreicht ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist ODER wenn der Wartungsschalter betätigt ist UND wenn das Zulaufventil NICHT offen ist UND wenn der untere Pegelstand NICHT erreicht ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist .

Das Zulaufventil wird nur dann geöffnet, wenn das Ablaufventil NICHT offen ist UND wenn die Flüssigkeit den oberen Pegelstand NICHT erreicht hat UND wenn der Wartungsschalter NICHT betätigt ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist

Das Ablaufventil wird nur dann geöffnet, wenn das Zulaufventil NICHT offen ist UND wenn der untere Pegelstand erreicht ist ODER wenn der Wartungsschalter betätigt ist ODER wenn der Notschalter betätigt ist.

Stellsignale:

RE = Rührwerk Ein

ZE = Zulauf Ein

AE = Ablauf Ein

Zustandssignale:

RL = Rührwerk läuft

ZO = Zulauf offen

OP = Oberer Pegel

UP = Unterer Pegel

AO = Ablauf offen

WB = Wartungsbetrieb

NA = Not Aus

Der Behälter mit Rührwerk (3)

Wir können also die Funktionsweise des Apparates genau beschreiben, wenn wir die Signalbezeichnungen mit den Ausdrücken UND, ODER und NICHT miteinander verbinden.

Das schreit geradezu nach einer Darstellung in Kurzform:

Das Rührwerk läuft nur dann, wenn das Zulaufventil NICHT offen ist UND wenn das Ablaufventil NICHT offen ist UND wenn der obere Pegelstand erreicht ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist ODER wenn der Wartungsschalter betätigt ist UND wenn das Zulaufventil NICHT offen ist UND wenn der untere Pegelstand NICHT erreicht ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist .

RL = NICHT ZO UND NICHT AO UND OP UND NICHT NA
ODER
WB UND NICHT ZO UND NICHT UP UND NICHT NA

Das Zulaufventil wird nur dann geöffnet, wenn das Ablaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn die Flüssigkeit den oberen Pegelstand NICHT erreicht hat UND wenn der Wartungsschalter NICHT betätigt ist UND wenn der Notschalter NICHT betätigt ist

ZE = NICHT AO UND NICHT OP UND NICHT WB UND NICHT NA

Das Ablaufventil wird nur dann geöffnet, wenn das Zulaufventil NICHT geöffnet ist UND wenn der Behälter NICHT leer ist ODER wenn der Wartungsschalter betätigt ist ODER wenn der Notschalter betätigt ist.

AE = NICHT ZO UND UP ODER WB ODER NA

Stellsignale:

RE = Rührwerk Ein

ZE = Zulauf Ein

AE = Ablauf Ein

Zustandssignale:

RL = Rührwerk läuft

ZO = Zulauf offen

OP = Oberer Pegel

UP = Unterer Pegel

AO = Ablauf offen

WB = Wartungsbetrieb

NA = Not Aus

Der Behälter mit Rührwerk (4)

Wir können die Funktionsweise des Apparates genau beschreiben, wenn wir die Signalbezeichnungen mit den Ausdrücken UND, ODER und NICHT miteinander verbinden.

Die Praktiker der Steuerungstechnik haben vor vielen Jahrzehnten schon so entworfen:

UND ist eine Reihenschaltung von Kontakten.

ODER ist eine Parallelschaltung von Kontakten.

NICHT ist ein Ruhekontakt.

Es geht aber auch mit Ausdrücken, die wie Gleichungen aussehen:

**RL = NICHT ZO UND NICHT AO UND OP UND NICHT NA
ODER
WB UND NICHT ZO UND NICHT UP UND NICHT NA**

ZE = NICHT AO UND NICHT OP UND NICHT WB UND NICHT NA

AE = NICHT ZO UND UP ODER WB ODER NA

Für solche Ausdrücke und Gleichungen gibt es einen fertigen Kalkül, der sozusagen saugend paßt:

Die formale Aussagenlogik bzw. Boolesche Algebra.

Es ist ein System von Regeln und eine Formelsprache. Dieser Kalkül befaßt sich mit Aussagen, denen nur zwei Wahrheitswerte (wahr und falsch) zugeordnet werden. Diese beiden Wahrheitswerte kann man 1:1 den Schaltzuständen (Ein, Aus) und den Binärzahlen (1, 0) zuordnen. Dann kann man die Ausdrucksmittel, Umformungsregeln und Rechenverfahren dieses Kalküls ausnutzen, um Schaltungslösungen der Digitaltechnik zu entwickeln, zu beschreiben und zu optimieren.