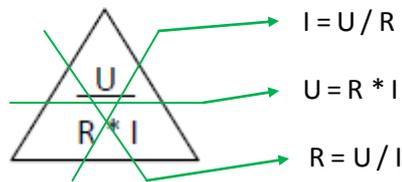


- Wir haben die Wirkung unterschiedlicher Widerstandswerte als Vorwiderstand einer LED ausprobiert:

Seite 5: Versuch 1 und Versuch 2

Ergebnis: mit einem Widerstand von 1800 Ohm (1,8 kOhm) leuchtet die LED weniger hell als mit dem 150 Ohm-Widerstand. Das zeigt uns, dass dann weniger Strom durch die LED fließt, denn die Helligkeit der LED ist proportional zum Strom durch die LED. Das konnten wir auch mit dem Vielfachmessgerät nachprüfen.

Ohmsches Gesetz (Seite H, rechts oben):



Formel  $I = U / R$  bedeutet Strom (I) = Spannung (U) / Widerstand (R); [Ampere = Volt / Ohm]

x Ampere = 4,5 Volt / **150** Ohm = 0,030 Ampere = **30** mA (milliAmpere)

x Ampere = 4,5 Volt / **1800** Ohm = 0,0025 Ampere = **2,5** mA

Seite 5: Versuch 3, kennen wir bereits, denn wir wissen schon, dass eine LED (Light Emitting Diode) wie eine **Diode** funktioniert und den Strom nur in einer Richtung durchfließen lässt (Seite F, G und Seite 6)

- Wir haben zu der Schaltung aus Versuch 1 (siehe oben) zu der LED noch eine zweite LED umgekehrt zu der vorhandenen LED dazu gelötet (Seite 8: 1. Vorschlag).

Damit haben wir einen **Polaritätsprüfer** gebaut. Je nachdem wie herum wir eine Spannungsquelle (4,5V-Batterie) anschließen, brennt entweder die eine LED oder die andere LED. Diese Schaltung kann man z.B. zur Kontrolle bei der Modelleisenbahn verwenden. Solche Polaritätsprüfer kann man auch kaufen.

- Mit dem **Durchgangsprüfer** (Seite 8: 2. Vorschlag) haben wir ja bereits gearbeitet als wir verschiedene Stoff auf ihrer Leitfähigkeit geprüft hatten.

- Wir haben die Schaltung Seite 7: Versuch 1, aufgebaut.

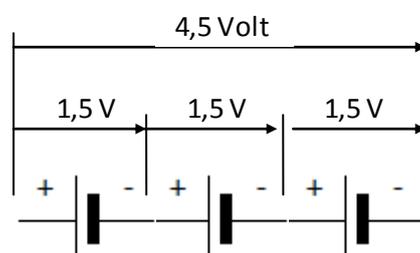
Wird der jeweilige „Schalter“ geschlossen leuchtet die entsprechende LED. Schiebt man zwischen die beiden „Schaltkontakte“ einen Streifen aus Papier oder Plastik erlischt die LED. Wird dieser Streifen z.B. an eine Schublade geheftet, kann man die Schublade damit überwachen ob sie geöffnet wurde. Da es zwei getrennte LED-Schaltungen sind hat man zwei **Überwachungskreise**.

- Wir haben die Schaltung Seite 7: Versuch 2, aufgebaut.

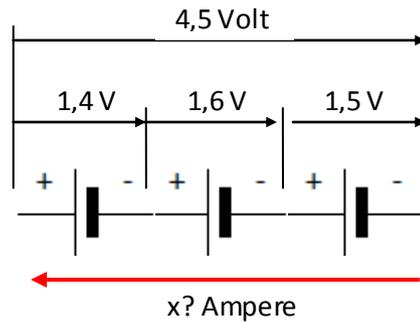
Die Diode bewirkt, wenn Schalter 1 (T1) geschlossen wird, leuchtet nur die eine LED, wenn Schalter 2 (T2) geschlossen wird, leuchten beide LEDs. Siehe dazu auch „Versuche mit der Diode“: Seite 6: 1. Versuch, und Seite 7: 2. Versuch (oben!).

In einer Serienschaltung (Reihenschaltung) ist es egal in welcher Reihenfolge die Bauteile zusammengeschaltet werden. Es fließt durch alle Bauteile der eine, gleiche Strom.

- Wir haben folgendes wiederholt und vertieft: Serienschaltung von Zellen.

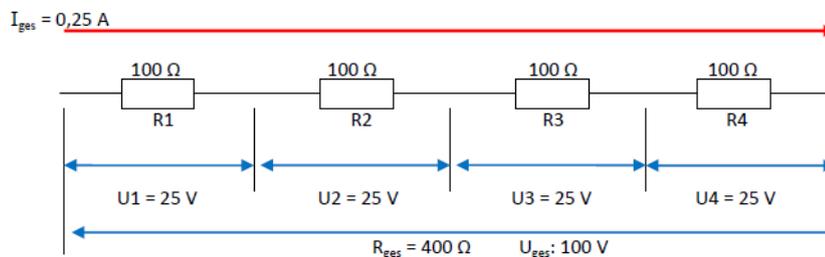


In Wirklichkeit ist es aber so, dass kein Teil in unserer Welt genau gleich ist. Zwillinge sind z. B. beim ersten anschauen gleich, wenn man sie aber länger kennt, sieht man doch kleine Unterschiede. Das kann bei der Serienschaltung von Batteriezellen dann so aussehen:



Man sieht, dass es immer noch 4,5 Volt sind, denn in einer Serienschaltung werden die Teilspannungen einfach zusammengezählt. Es fließt ein gemeinsamer Strom durch alle Zellen wenn ein Verbraucher angeschlossen ist. Wenn man mehr Spannung braucht schaltet man einfach noch einige Zellen in Serie. Das wird so in allen mit Batterien oder Akkus betriebenen Geräten gemacht. Es werden immer so viele Zellen mit z.B. je 1,5 Volt hintereinander (in Serie, bedeutet dasselbe wie, in Reihe) geschaltet wie das Gerät Spannung braucht.

Ähnlich verhält es sich bei einer Serienschaltung von Widerständen, siehe Seite H, unten:



Die einzelnen Spannungen an den Widerständen R1 bis R4 werden zusammengezählt und ergeben die Gesamtspannung:  $U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = U_{ges}$   $25 + 25 + 25 + 25 = 100 \text{ Volt}$

Die einzelnen Widerstandswerte R1 bis R4 werden zusammengezählt und ergeben den Gesamtwiderstand:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = R_{ges} \quad 100 + 100 + 100 + 100 = 400 \text{ Ohm}$$

Damit kann man den gemeinsamen Strom mit dem „Ohmschen Gesetz“ (siehe oben) berechnen:

$$I_{ges} [\text{Ampere}] = U [\text{Volt}] / R [\text{Ohm}] \quad 100 / 400 = 0,25 \text{ Ampere}$$

Das geht natürlich auch mit anderen Werten:

Gegeben:  $U_{ges} = 100 \text{ V}$   $R_1: 100 \text{ Ohm}; R_2: 400 \text{ Ohm}; R_3: 200 \text{ Ohm}; R_4: 600 \text{ Ohm}$  , siehe unten.

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \quad 100 + 400 + 200 + 600 = 1300 \text{ Ohm}$$

$$I_{ges} = U / R_{ges} \quad 100 / 1300 = 0,077 \text{ Ampere} = 77 \text{ mA}$$

$$U_{R1} = I_{ges} * R_1 \quad 0,077 * 100 = 7,7 \text{ Volt} \text{ „Ohmsches Gesetz“, siehe oben.}$$

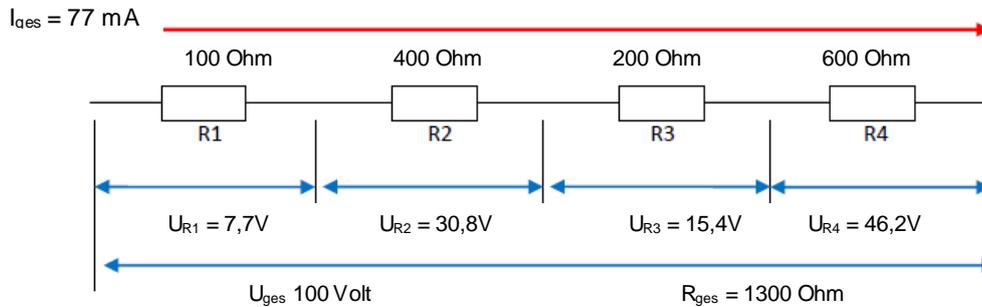
$$U_{R2} = I_{ges} * R_2 \quad 0,077 * 400 = 30,8 \text{ Volt}$$

$$U_{R3} = I_{ges} * R_3 \quad 0,077 * 200 = 15,4 \text{ Volt}$$

$$U_{R4} = I_{ges} * R_4 \quad 0,077 * 600 = 46,2 \text{ Volt}$$

$$\text{Probe: } U_{ges} = U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} + U_{R4} \quad 7,7 + 30,8 + 15,4 + 46,2 = 100,1 \text{ Volt}$$

Die 0,1 Volt Unterschied zu den Vorgegebenen 100 Volt liegt daran, dass bei der Berechnung vom Strom auf 0,077 Ampere aufgerundet wurde. Das ist weniger als 1%. Toleranzen von bis zu 20% sind in der Elektrotechnik aber normal.



**Die einzelnen Spannungen sind proportional zu den Widerstandswerten.**

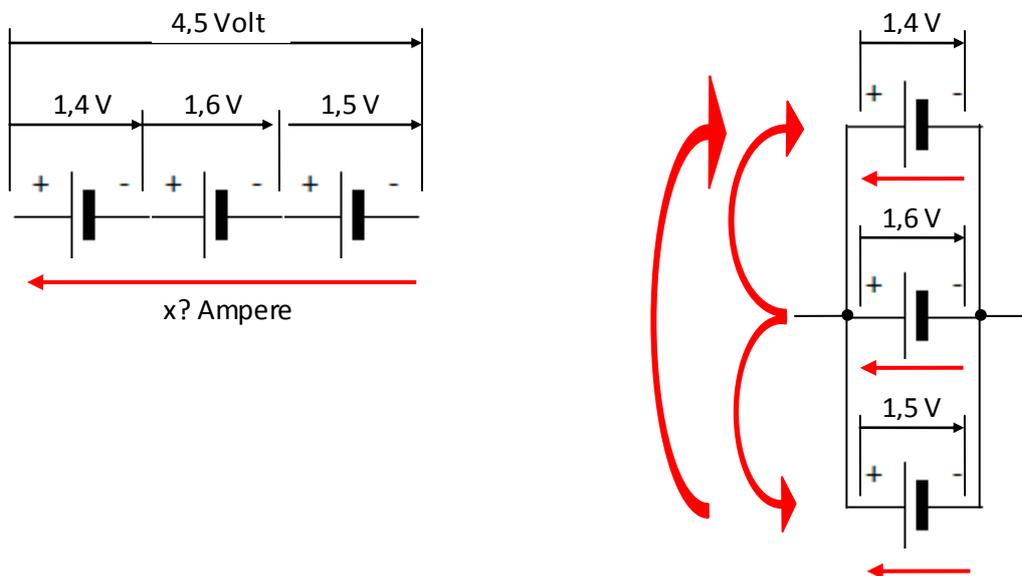
$$\text{z. B.: } \frac{U_{ges}}{U_{R1}} = \frac{R_{ges}}{R1} \quad \frac{100 \text{ Volt}}{7,7 \text{ Volt}} = \frac{1300 \text{ Ohm}}{100 \text{ Ohm}}$$

Damit wäre man auch auf die Teilspannungen gekommen:

$$\frac{U_{ges}}{U_{R1}} = \frac{R_{ges}}{R1} \quad \rightarrow \quad U_{R1} = \frac{U_{ges} * R1}{R_{ges}} \quad \frac{100 \text{ Volt} * 100 \text{ Ohm}}{1300 \text{ Ohm}} = 7,7 \text{ Volt}$$

Was macht man, wenn man mehr Strom braucht als eine Zelle liefern kann?

Oben habe ich schon darauf hingewiesen, dass es nichts gibt das absolut gleich ist.



Würden wir die Zellen einfach parallel schalten, dann würden **Ausgleichsströme** von den Zellen mit höherer Spannung zu den Zellen mit niedriger Spannung fließen. Dadurch würden die Zellen mit höherer Spannung entleert werden, die Zellen mit weniger Spannung würden aber nur aufgeheizt. Weil man Batterien nicht aufladen kann, sind diese dann nur wie ein Widerstand der sich erwärmt, wenn Strom durchfließt. Da in den Batterien ein Elektrolyt ist, kann dies kochen und **die Batterie platzt**.

Deshalb gibt es verschieden große Batterien, die alle nur 1,5 Volt haben:

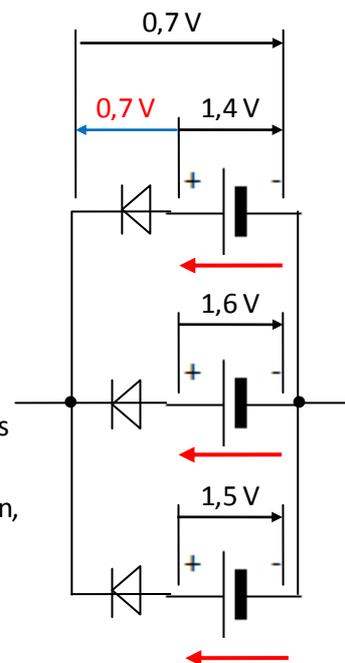
Lady-Zelle, Mignon-Zelle, Baby-Zelle, Mono-Zelle.

Diese Zellen können bei gleicher Spannung (1,5 Volt) verschieden viel Strom liefern.

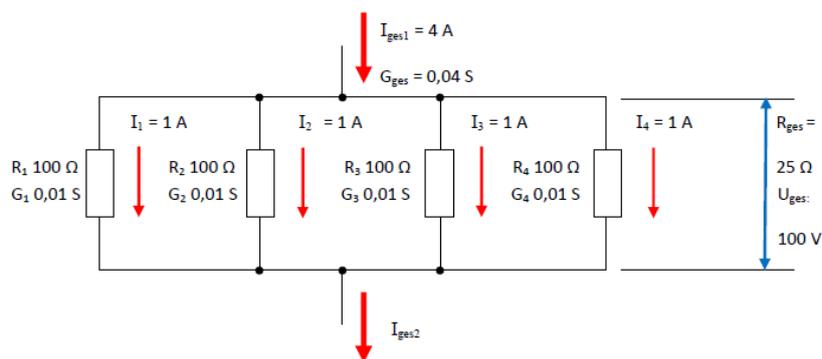
Je dicker die Zelle ist umso mehr Strom kann sie liefern.

Will man trotzdem mehrere Zellen parallel schalten, dann muss man sie über Dioden zusammenschalten:

Wie wir von Seite G, oben, wissen, hat eine Silizium-Diode eine Fluss-Spannung in Durchlassrichtung von 0,7 Volt. Diese Spannung muss man von der Batteriespannung abziehen. Bei einer Zellenspannung von durchschnittlich 1,5 Volt bleibt dann nur noch 0,8 Volt übrig! Außerdem wird die Zelle mit der höchsten Zellenspannung am ehesten leer sein. Wenn man aber Spannungsquellen mit höherer Spannung hat, wie z.B. in der Solartechnik, da sind viel Module in Reihe geschaltet bis man 700 Volt hat und diese Stränge werden dann über Dioden parallel geschaltet. Bei 700 Volt machen 0,7 Volt an den Dioden nichts mehr aus, es sind dann immer noch 699,3 Volt. Mit der Parallelschaltung kann soviel mehr Strom entnommen werden, wie die einzelnen Zellen liefern können. **Bei der Parallelschaltung werden die Ströme addiert.** Man hat eine gemeinsame Spannung.



Bei der Parallelschaltung von Widerständen werden auch die Ströme addiert.

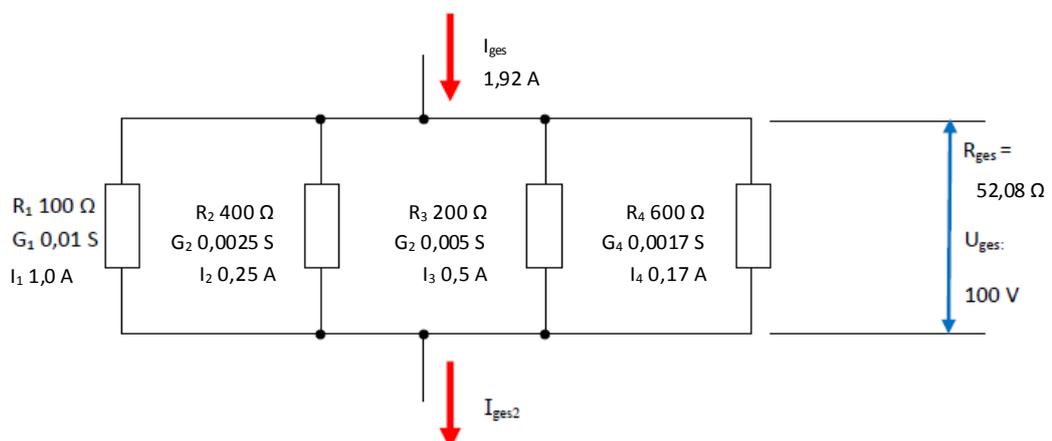


Bei der Serienschaltung von Widerständen gilt:

**Die einzelnen Spannungen sind proportional zu den Widerstandswerten.** (siehe oben)

Bei der Parallelschaltung von Widerständen gilt:

**Die einzelnen Ströme sind proportional zu den Leitwerten.**



Bei der Parallelschaltung von Widerständen werden deren Leitwerte addiert.

Gegeben:  $U_{ges}$ : 100 V      R1: 100 Ohm; R2: 400 Ohm; R3: 200 Ohm; R4: 600 Ohm

$G = 1 / R$       Leitwert = 1 / Widerstandswert; [Siemens = 1 / Ohm]

$G_1 = 1 / R_1$       1 / 100 Ohm = 0,01      Siemens

$G_2 = 1 / R_2$       1 / 400 Ohm = 0,0025 Siemens

$G_3 = 1 / R_3$       1 / 200 Ohm = 0,005      Siemens

$G_4 = 1 / R_4$       1 / 600 Ohm = 0,0017 Siemens

$G_{ges} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$       0,01 + 0,0025 + 0,005 + 0,0017 = **0,0192** Siemens

$I_{ges} = U * G_{ges} = 100 * 0,0192 = \mathbf{1,92}$  Ampere       $I = U / R; R = 1 / G \rightarrow I = U * G$

$I_{R1} = U * G_1 = 100 * 0,01 = 1,00$  Ampere

$I_{R2} = U * G_2 = 100 * 0,0025 = 0,25$  Ampere

$I_{R3} = U * G_3 = 100 * 0,005 = 0,50$  Ampere

$I_{R4} = U * G_4 = 100 * 0,0017 = 0,17$  Ampere

$I_{ges} = I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} + I_{R4}$       1,0 + 0,25 + 0,5 + 0,17 = 1,92 Ampere

Probe:

$R_{ges} = \frac{1}{G_{ges}} = \frac{1}{0,0192} = \mathbf{52,08}$  Ohm       $I_{ges} = U / R_{ges} = 100 / 52,08 = \mathbf{1,92}$  Ampere

Wir hatten die Leit(-ungs)fähigkeit von Stoffen geprüft. Ähnlich wie die spezifische Spannungsreihe der Metalle, die wir beim Bau der Zitronen-Batterie kennengelernt hatten, gibt es bei Metallen auch eine spezifische (stoffeigene) Leitfähigkeit, denn es sind ja elektrische Leiter.

Silber      = 67,1 m/Ωmm<sup>2</sup>

Kupfer      = **57,8**

Gold      = 47,6

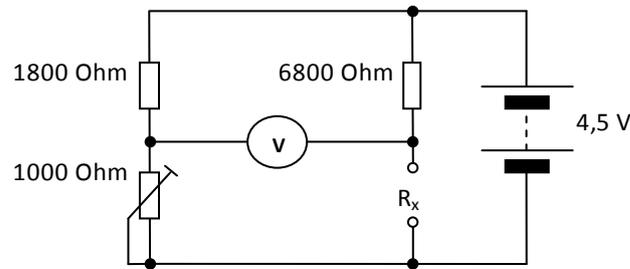
Aluminium = 37,8

Man sieht, dass Kupfer der zweitbeste Leiter nach Silber ist. Deshalb sind fast alle unsere Leitungen aus Kupfer.

Wir rechnen normalerweise immer mit Widerständen und nur selten mit Leitwerten, denn es kommen in der Elektrotechnik eher Serienschaltungen von Widerständen vor.

7. Wir haben ein 1 kOhm-Trimm-Potenziometer bekommen. Das ist ein Kohleschicht-Widerstand auf dessen offener Kohleschicht ein Schleifer von einem Anschluss bis zum andern Anschluss vom Widerstand gedreht werden kann. Damit kann man verschiedene Widerstandswerte entsprechend der Schleiferstellung zwischen dem Schleifer und einem der Anschlüsse einstellen. Die Winkelstellung vom Schleifer kann man direkt in Widerstandswerte angeben. Wenn es ein Potenziometer ist das im Gerät eingebaut ist und man kommt von außen nicht dran, dann ist es ein Trimmer. Mit einem Drehknopf, der von außen bedient werden kann, ist es ein normales Potenziometer (z.B. Lautstärkereger im Radio).

Damit können wir eine **Widerstands-Messbrücke** bauen:



Bei  $R_x$  schließen wir den gesuchten Widerstand an. Das Trimm-Potentiometer drehen wir bis das Messgerät keine Spannung mehr anzeigt. Dann ist das Widerstandsverhältnis der beiden linken Widerstände (1800 + Trimm-Poti-Wert) gleich dem Widerstandsverhältnis der beiden rechten Widerstände (6800 +  $R_x$ ). Wenn wir zuvor das Trimm-Poti geeicht hatten, also welchen Widerstand es hat bei welcher Gradeinstellung vom Schleifer (eine Skala am Poti anbringen!), dann können wir über die Widerstandsverhältnisse den  $R_x$  berechnen oder die Skala vom Poti gleich in entsprechende Widerstandswerte einteilen.

$$\frac{1800 \text{ Ohm}}{\text{Poti-Wert}} = \frac{6800 \text{ Ohm}}{R_x} \rightarrow R_x = \frac{6800 * \text{Poti-Wert}}{1800}$$

8. Wir haben **Transistoren** besprochen, siehe Seite 9 und Seite J.

Transistoren haben drei Anschlüsse: **Emitter, Basis, Kollektor**. Die Reihenfolge der Anschlüsse ist unterschiedlich und typenabhängig. Heutzutage sind die meisten Transistoren aus Silizium, früher gab es auch viele aus Germanium. Es gibt PNP- und NPN-Transistoren. Beim NPN-Transistor ist der Emitter in Richtung Minuspol und der Kollektor in Richtung Pluspol geschaltet. Die Basis hat immer die gleiche Polarität wie der Kollektor aber mit sehr viel weniger Spannung (ca. +0,7 V gegen Emitter). Beim PNP-Transistor ist die Polarität umgekehrt. Will man einen NPN-Transistor prüfen, so kann man ihn wie zwei Dioden betrachten die mit ihren Anoden an der Basis vom Transistor zusammenschaltet sind. So kann man herausfinden welcher Anschluss die Basis ist. Ob es ein PNP- oder NPN-Typ ist findet man dadurch, dass man zuerst prüft welche Polarität das Ohm-Meter an seinen Anschlüssen hat. Das kann man mit einer normalen Diode ermitteln.

Es ist aber wichtig, dass Emitter und Kollektor nicht vertauscht werden sonst verstärkt der Transistor nicht. Mit etwas Geschick kann man das Ohmmeter zwischen Emitter und Kollektor schalten (Plus am Kollektor) und mit einem Finger zwischen Kollektor und Basis tippen. Wenn sich die Ohmanzeige dabei etwas verringert hat man den Kollektor gefunden. Wenn das nicht klappt, schaut man im Internet nach (In Google z.B. BC 548 eingeben). Wenn man zu viel Spannung anlegt oder zu viel Strom durch den Transistor fließen lässt wird er zerstört ohne dass man es merkt.

Wird an einen Transistor eine sehr kleine Spannung zwischen Basis und Emitter angelegt und zwischen Kollektor und Emitter liegt eine etwas größere Spannung (Seite 10, oben) dann fließt ein Strom durch den Transistor zwischen Kollektor und Emitter. Der 150 Ohm Widerstand und die LED begrenzen den Kollektorstrom damit nicht zu viel Strom fließen kann. Der 6,8 kOhm Widerstand begrenzt den Strom in der Basis-Emitter-Diode (!), an der Basis stehen nur die 0,7V und der Transistor ist durchgeschaltet.

Helle Köpfe müssten hier bemerken, dass die Kollektor-Basis-Diode ja in Sperrrichtung liegt weil die Basis viel weniger Spannung als der Kollektor hat. Das ist aber der Trick beim Transistor. Durch die wenigen Ladungsträger die über die Basis in den Transistor kommen, bekommt diese Diode auf ihrer Sperrseite doch Ladungsträger und kann deshalb nicht mehr sperren und die vielen Ladungsträger im Kollektor drücken dann durch bis zum Emitter. Wie wenn der Hausmeister die Schultüre aufsperrt und alle Schüler drücken hinaus. Nur der schmale Korridor (150 Ohm Widerstand) begrenzt den Schwall, siehe auch die Bilder mit der Schleuse.

Bei unseren Versuchen mit Transistoren geht es immer von einem Extrem ins andere, von keinem Strom zu maximalen Strom, das ist wie bei einem Schalter also der Transistor als Schalter.

Man kann einen Transistor aber auch so beschalten, dass er fast zwischen diesen Extremen hin und her

schwankt (siehe Seite J, unten links). Das ist dann die Funktion eines Verstärkers für Wechsellspannungen wie sie z.B. durch ein Mikrofon erzeugt werden.

9. Wir haben die Schaltung, Seite 9: unten, aufgebaut. Die LED leuchtet nicht, weil der Transistor gesperrt ist, da er keine Ansteuerung an seiner Basis hat. Das ist wie „Schalter offen“.

10. Wir haben die Schaltung, Seite 10: oben, aufgebaut. Die LED leuchtet, weil der Transistor durchgesteuert ist, da er jetzt eine Ansteuerung (die 0,7V) an seiner Basis hat. Das ist wie „Schalter geschlossen“.

11. Wir haben die Schaltung, Seite 10: unten, aufgebaut. Die LED leuchtet nicht, weil der Transistor gesperrt ist, da er keine Ansteuerung an seiner Basis hat. Basis und Emitter sind kurzgeschlossen. Wird der dünne Kurzschlussdraht unterbrochen, leuchtet die LED. Das kann als stille **Alarmanlage** eingesetzt werden. Man kann anstelle vom Kurzschlussdraht auch den 1 kOHM-Trimpoti nehmen. Mit etwas Fingerspitzengefühl findet man eine Schleiferstellung bei der der Transistor gerade durchschalten will.

12. Die Schaltung auf Seite 11, oben kennen wir bereits, das ist der Durchgangsprüfer von Seite 8. Wir haben aber die Schaltung von Seite 11: unten, aufgebaut. Das ist die gleiche Schaltung wie von Seite 10: unten, nur der Basis-Widerstand ist kleiner (1800 statt 6800 Ohm). Als **Feuchtesensor** hat die feuchte Erde, in welche die beiden Drähte gesteckt werden sollen, bereits einen Widerstand. Der 1,8 kOhm ist nur zum Schutz drin damit nicht zu viel Strom in die Basis fließen kann.

13. Wir haben die Schaltung auf Seite 12: oben, aufgebaut. Die beiden Transistoren sind hintereinander geschaltet, eine sogenannte „**Darlington-Schaltung**“. Der Grund ist, dass nun die beiden „Verstärkungsfaktoren“ von jedem Transistor miteinander multipliziert werden. So ein Kleinleistungs-Transistor hat eine Verstärkung von ca. 200, d. h. ein Signal an seiner Basis ist an seinem Kollektor 200-mal größer, das ergibt  $200 * 200 = 40000$ . Die Kollektor-Spannung kann von 0 Volt bis 4,5 Volt gehen bei einem Kollektor-Strom von  $I = U / R = 4,5V / 150 \text{ Ohm} = 30 \text{ mA}$  (Transistor durchgesteuert bis gesperrt),  $30 \text{ mA} / 40000 = 0,7 \text{ uA}$  (mikroAmpere). Die bringen wir locker auf, wenn wir mit dem Finger an die Basis vom 1. Transistor fassen (Punkt B). Das liegt daran, dass wir immer von irgendwelchen elektrischen Feldern umgeben sind (Wetterlage etc.). Diese **Verstärkerschaltung** ist also sehr empfindlich und funktioniert vielleicht besser als Feuchtesensor als die von Seite 11.

So, das war's bis jetzt. Geschafft.....73 de DB6UV, Ronald