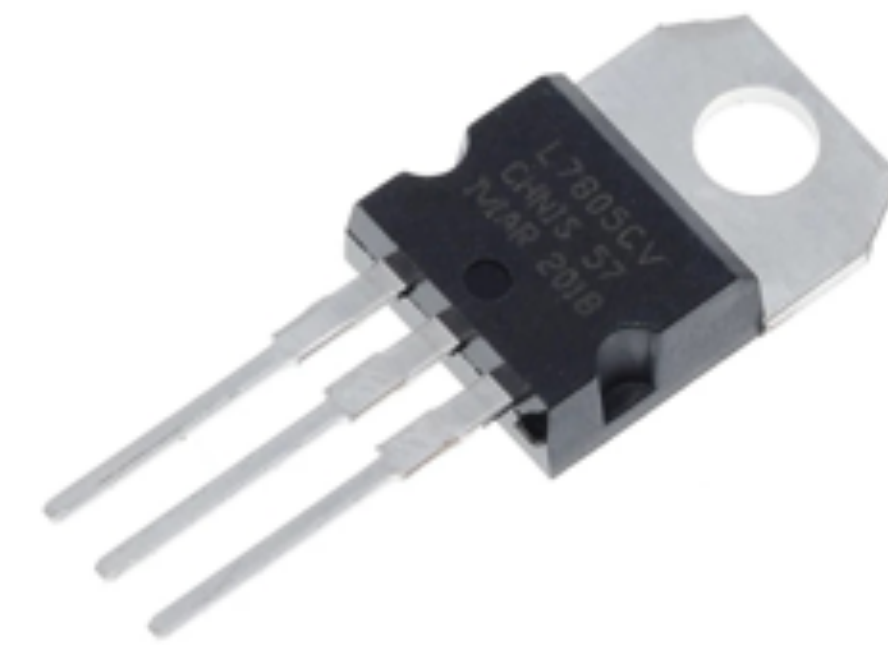
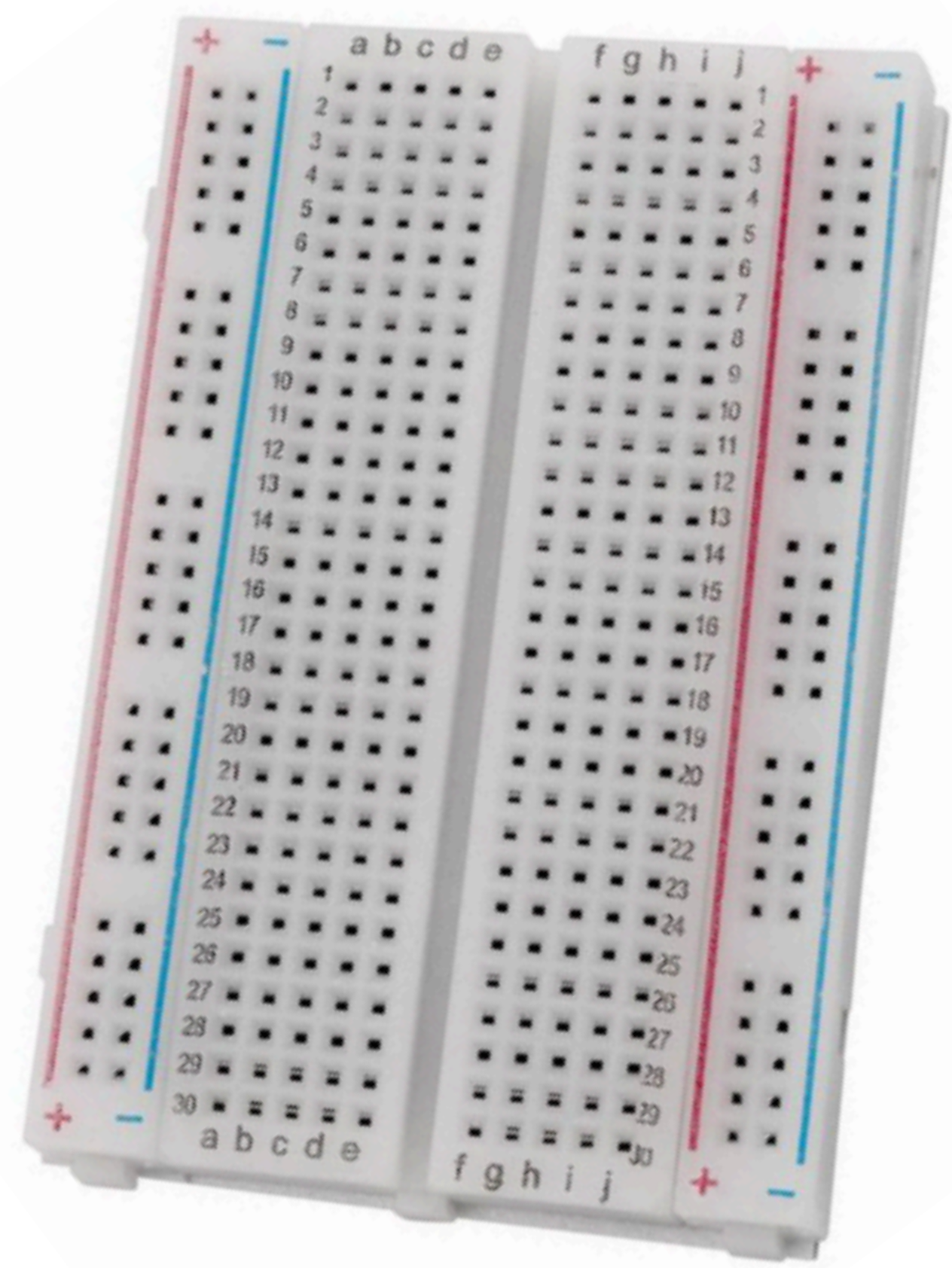


# Spannungen messen



Elektronik-Guide Advanced Edition

# Impressum

## Elektronik-Guide Advanced Edition

Version: 2023-02-28

Herausgeber:

Patrick Schnabel

Droste-Hülshoff-Str. 22/4

71642 Ludwigsburg

Deutschland

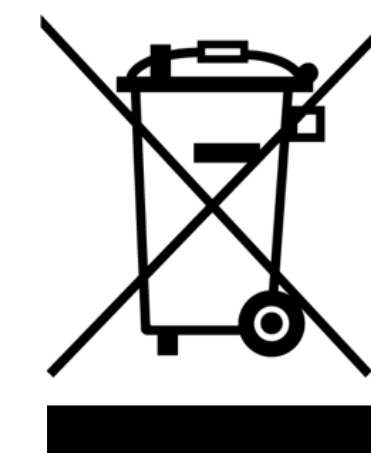
USt-ID-Nr.: DE207734730

WEEE-Reg.-Nr.: DE80632679

<https://www.elektronik-kompendium.de/>



Dieses Elektronik-Set wurde nach den geltenden europäischen Richtlinien entwickelt und hergestellt. Der bestimmungsgemäße Gebrauch aller Bauteile ist in dieser Anleitung beschrieben. Der Nutzer ist für den bestimmungsgemäßen Gebrauch und Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich. Bauen Sie die Schaltungen deshalb nur so auf, wie es in dieser Anleitung beschrieben ist. Das Elektronik-Set darf nur zusammen mit dieser Anleitung weitergegeben werden.



Das Symbol mit der durchkreuzten Mülltonne bedeutet, dass dieses Produkt nicht mit dem Hausmüll entsorgt, sondern als Elektroschrott dem Recycling zugeführt werden muss. Mit dem Kauf dieses Produkts wurden die Gebühren für die Entsorgung entrichtet. Die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle für Elektroschrott erfahren Sie von Ihrer regional zuständigen Abfallwirtschaft.

# Vorwort (1)

Messen ist die Königsdisziplin in der Elektronik. Wer mit einem Messgerät umgehen kann, der ist wahrlich ein König. Alle anderen sind nur Bauern, Laien und Gaukler. Aber es ist leider auch so, Messen ist eine der Disziplinen, die Du nicht nur aus einem Lehrbuch lernen kannst. Messen lernen bedeutet, viel Arbeit und viele Fehler machen.

Die Funktionsweise von elektronischen Bauelementen und Schaltungen kannst Du auswendig lernen. Für mehr Verständnis musst Du die Schaltungen selber aufbauen und dann damit experimentieren. Nur durch Ausprobieren kannst Du herausfinden, wie sich elektronische Bauteile verhalten und wie Schaltungen funktionieren.

Beispielsweise mit dem Elektronik-Set Starter Edition, mit dem Du viele Bauteile und Schaltungen ausprobieren kannst. Aber, es werden hauptsächlich Leuchtdioden verwendet, um Funktionsweisen sichtbar zu machen. Zum Beispiel durch ein, aus, heller und dunkler. Das reicht in der Regel aus. Aber für ein vollumfänglich Verständnis für elektronische Bauteile und Schaltungen ist das nicht genug. Dafür musst Du elektrische Größen in Schaltungen und an Bauteilen messen (können).

Der große Vorteil beim Messen ist, dass Du die Vorgänge in einer Schaltung besser verstehen kannst, als wenn nur eine Leuchtdiode leuchtet. Erst mit einem Messgerät werden auch kleine Veränderungen in einer Schaltung zahlenmäßig sichtbar und dadurch das Wirken von Bauteilen erklärbar.

Aber, ein typisches Messgerät in der Elektronik hat bestimmt so viele Funktionen wie die Fernbedienung eines Fernsehers. Und die Bedienung einer Fernbedienung hast Du Dir bestimmt nicht selber aus der Bedienungsanleitung beigebracht. Die wichtigsten Funktionen hat Dir eine wissende Person gezeigt.

In der Lehre, Schule oder Ausbildung macht das ein Lehrer, Kursleiter oder Dozent. Zuerst lernst Du etwas über die Bauteile und die Schaltungen. Und wenn dann noch Zeit für die praktische Elektronik bleibt, dann lernst Du auch den Umgang mit einem Messgerät und das Messen.

Was aber, wenn Lehre, Schule und Ausbildung längst hinter Dir liegen? Oder, einfach keine Zeit war, um Elektronik praktisch zu erfahren? Von wem bekommst Du

# Vorwort (2)

dann den Umgang mit einem Messgerät gezeigt? Oder erneut gezeigt?

Also muss ein Messtechnik-Buch her. Aber, aus meiner Sicht macht es keinen Sinn das Messen aus einem Buch zu lernen. Beim Messen sind viele Aspekte zu beachten. Denn wenn Du die Schaltung richtig aufgebaut und auch das Messgerät richtig eingestellt und angeschlossen hast, dann musst Du das angezeigte Messergebnis auch noch richtig interpretieren. Und gerade da kannst Du viel falsch machen.

Also muss ein Elektronik-Set zum Thema Messen her. Das gab es bisher noch nicht.

Warum das so ist? Dafür gibt es mehrere Gründe. Einer davon ist sicherlich der vermutlich fehlende Bedarf im privaten Bereich. Eine weitere Schwierigkeit ist die Zusammenstellung und die Wahl des Messgeräts. Aus meiner Sicht musst Du sofort loslegen können. Insbesondere dann, wenn Du kein Messgerät hast, oder eines hast, aber noch nicht damit umgehen kannst.

Die Lösung ist genial einfach: Mini-Voltmeter.

Ein Mini-Voltmeter ist ein drei- oder vierstelliges Display, welches auf der Rückseite eine Platine mit der Messschaltung hat. Es ist tatsächlich kein vollwertiges Messgerät. Aber das wollen wir auch nicht. Es geht darum, am Anfang die Komplexität zu vermeiden und den Einstieg möglichst niederschwellig zu gestalten. Der nächste logische Schritt ist der Besitz eines eigenen Messgerätes, dass Du Dir für Deine Anforderungen eigenständig auswählen kannst.

Bis dahin kannst Du mit den Mini-Voltmetern zumindest bei der Bedienung nicht viel falsch machen. Drei Leitungen, zwei für die Betriebsspannung und eine, um eine Gleichspannung in der selben Schaltung gegen Ground bzw. 0 Volt zu messen. Und mehr kann das kleine Ding nicht.

Und weil diese Voltmeter sehr viel günstiger sind als vernünftige Messgeräte, nehmen wir gleich drei davon. Dann kannst Du mehrere Messwerte gleichzeitig anzeigen lassen und miteinander vergleichen. Und genau das ist Messen, vergleichen von Größen.

# Vorwort (3)

Für einen maximalen Erkenntnisgewinn sind nur ganz einfache Schaltungen mit wenigen Bauteilen nötig. Beim Aufbau kannst Du nicht viel falsch machen. Die meisten Schaltungen haben nicht zwingend eine sinnvolle Funktion. Sie sind so gewählt, dass Du durch das Messen verstehst, was an einem Bauteil oder in einer Schaltung passiert. Und mit den Mini-Voltmetern werden dann die Vorgänge, bezogen auf das Spannungsverhalten, in einer Schaltung zahlenmäßig sichtbar. Nur wenn Du die Messwerte genauer haben willst, dann musst Du Dir ein Messgerät beschaffen.

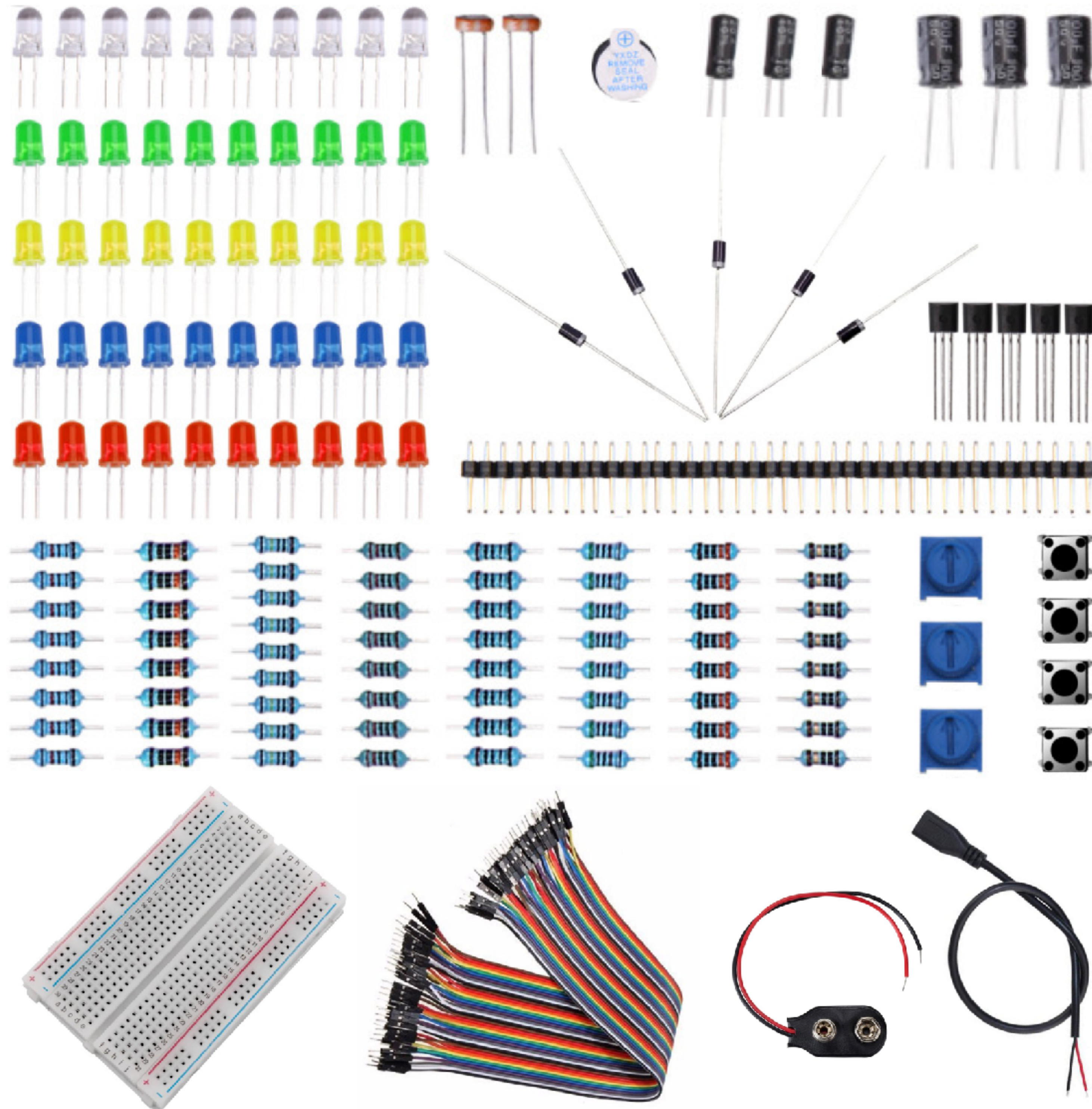
Sinnvollerweise dokumentierst Du Deine Messergebnisse. Dafür gibt auf den folgenden Seiten einige Tabellen zum Ausfüllen. Das Ausfüllen ist nicht zwingend notwendig. Du kannst die Messwerte auch auf den Displays direkt miteinander vergleichen. Das Dokumentieren dieser Werte ist aber dann sinnvoll, wenn Du später die Messwerte erneut vergleichen möchtest, ohne die Schaltung noch einmal aufbauen zu müssen.

Aus meiner Sicht bekommt Experimentieren mit Elektronik eine neue Qualität und macht noch mehr Spaß.

Viele neue Erkenntnisse beim Messen wünscht Dir  
Patrick Schnabel

Tipp: Weitere Schaltungen, neue Ideen, Verbesserungen und Hinweise findest Du auf der Webseite [www.elektronik-kompendium.de](http://www.elektronik-kompendium.de) unter Elektronik Praxis.

# Elektronik-Set Starter Edition



## Mit Elektronik ohne Löten experimentieren

Das Elektronik-Set Starter Edition ist die optimale Ergänzung zum Elektronik-Guide. Das Elektronik-Set enthält alle und noch viel mehr Bauteile, um alle Schaltungen und Experimente nachzubauen.

Zusätzlich enthält das Elektronik-Set:

- 1 Steckbrett mit 400 Pins
- 40 Verbindungskabel
- 1 Batterie-Clip für einen 9-Volt-Block
- 1 Micro-USB-Adapter für ein USB-Ladegerät

Nicht im Lieferumfang enthalten und zusätzlich empfohlen:

- 9-Volt-Block-Batterie, USB-Netzteil oder USB-Ladegerät

<https://www.elektronik-kompendium.de/shop/elektronik-set/starter-edition>

# Elektronik-Set Advanced Edition



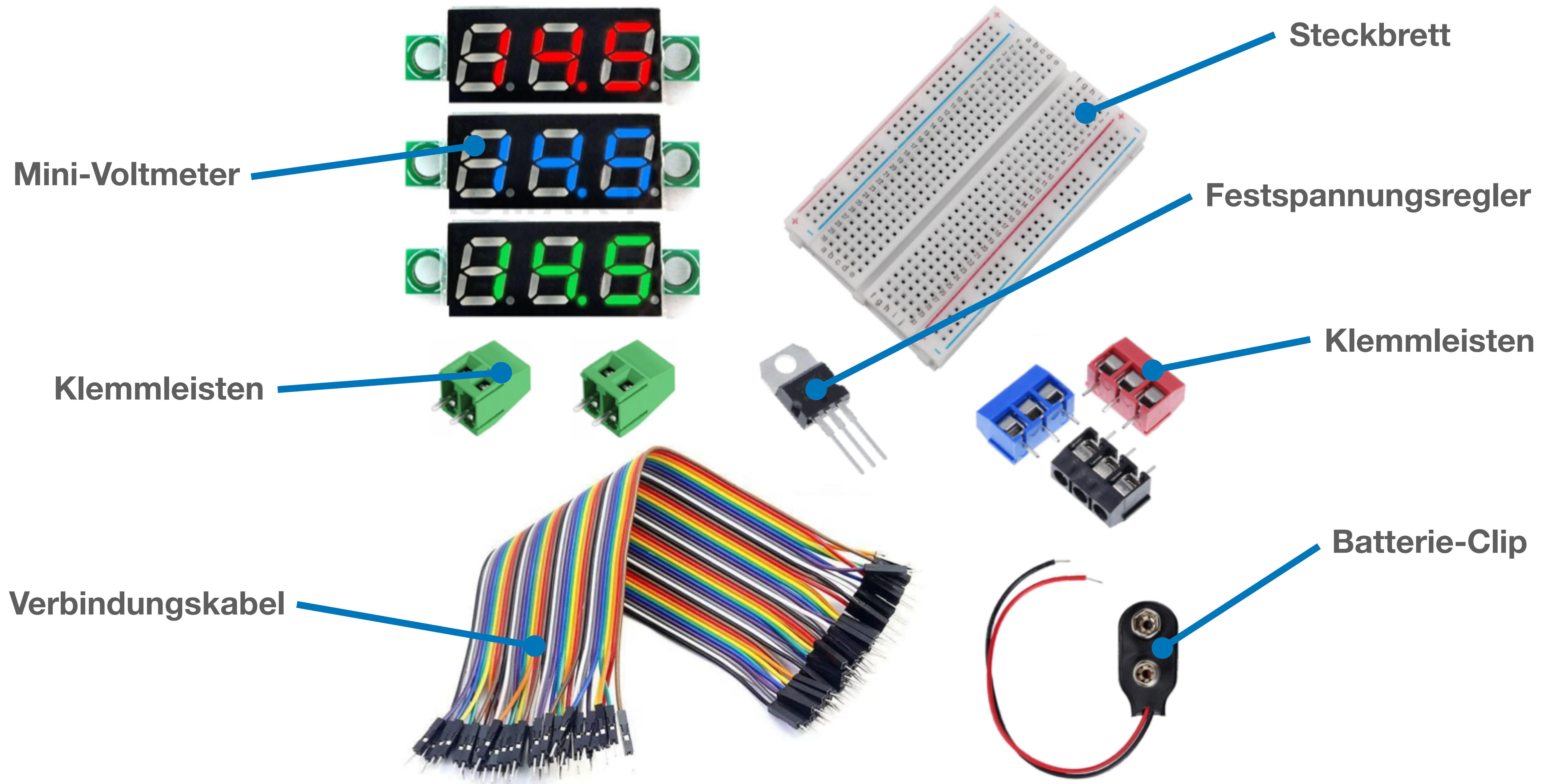
Das Elektronik-Set Advanced Edition ist ein Upgrade-Set für das Elektronik-Set Starter Edition. Mit dem Elektronik-Set Advanced Edition erweiterst Du Dein Elektronik-Set Starter Edition mit weiteren Bauteilen, um Messen zu lernen.

Was kannst Du mit Elektronik-Set Advanced Edition machen?

- In bekannten und beliebten Grundschaltungen an den Bauteilen die Spannung messen.
- Spannungsänderungen in einer Schaltung sichtbar machen und die Vorgänge durch Vergleichen besser verstehen.

<https://www.elektronik-kompendium.de/shop/elektronik-set/advanced-edition>

# Inhalt: Elektronik-Set Advanced Edition





# Inhaltsverzeichnis



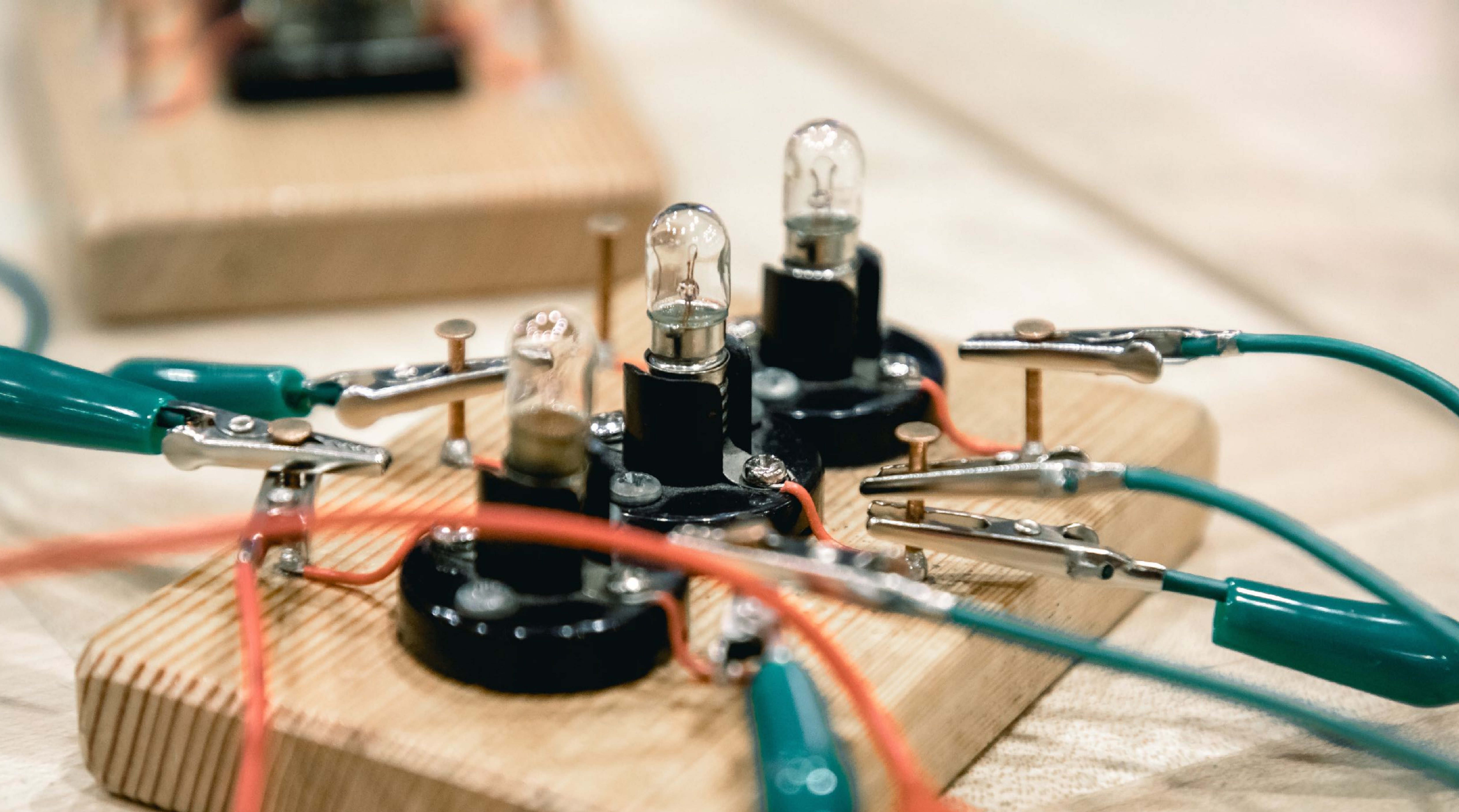
Grundlagen



Bauelemente



Schaltungen und Experimente



**Grundlagen**

# Messen in der Elektronik

## ***Messen ist das Vergleichen von Größen.***

Messen ist das Vergleichen einer bekannten mit einer unbekanntem Größe. Mit einem Messgerät ermittelst Du die unbekanntem Größe. Woher kommt dann die bekannte Größe? Sie kann berechnet, angenommen oder erwartet werden. Es muss nicht immer ein eindeutiger Wert sein. Meist reicht es aus, wenn Du eine Vorstellung davon hast, in welchem Wertebereich sich der Messwert zahlenmäßig befinden wird.

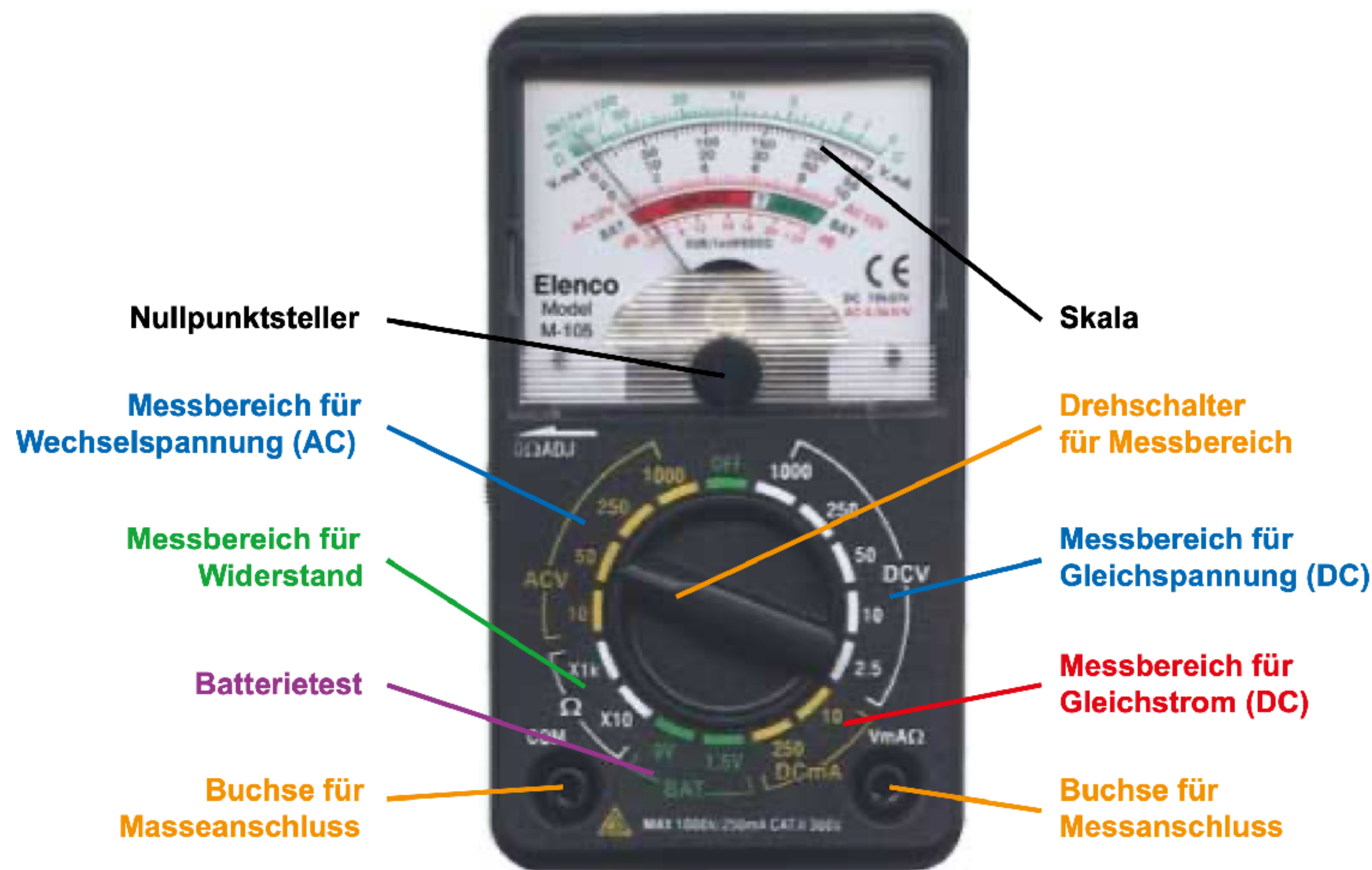
Bevor Du zum Messgerät greifst, sollte Dir klar sein, was Du messen willst. Zumindest mal Spannung, Strom oder etwas anderes. Danach ist das Messgerät auszuwählen, der Messbereich einzustellen und die richtige Messart anzuwenden.

## ***Wer misst, der misst Mist.***

Bevor Du dann die Messleitungen mit der Schaltung oder dem Bauteil verbindest, solltest Du eine Vorstellung davon haben, welchen Messwert Du erwartest. Nur dann kannst Du das angezeigte Messergebnis richtig interpretieren.

Egal was gemessen wird, das Messergebnis musst Du immer kritisch betrachten. Bei einer falsch durchgeführten Messung können allerlei Werte gemessen werden. Dein Messergebnis musst Du immer richtig interpretieren.

# Messgeräte (1)



## Analoge Messgeräte

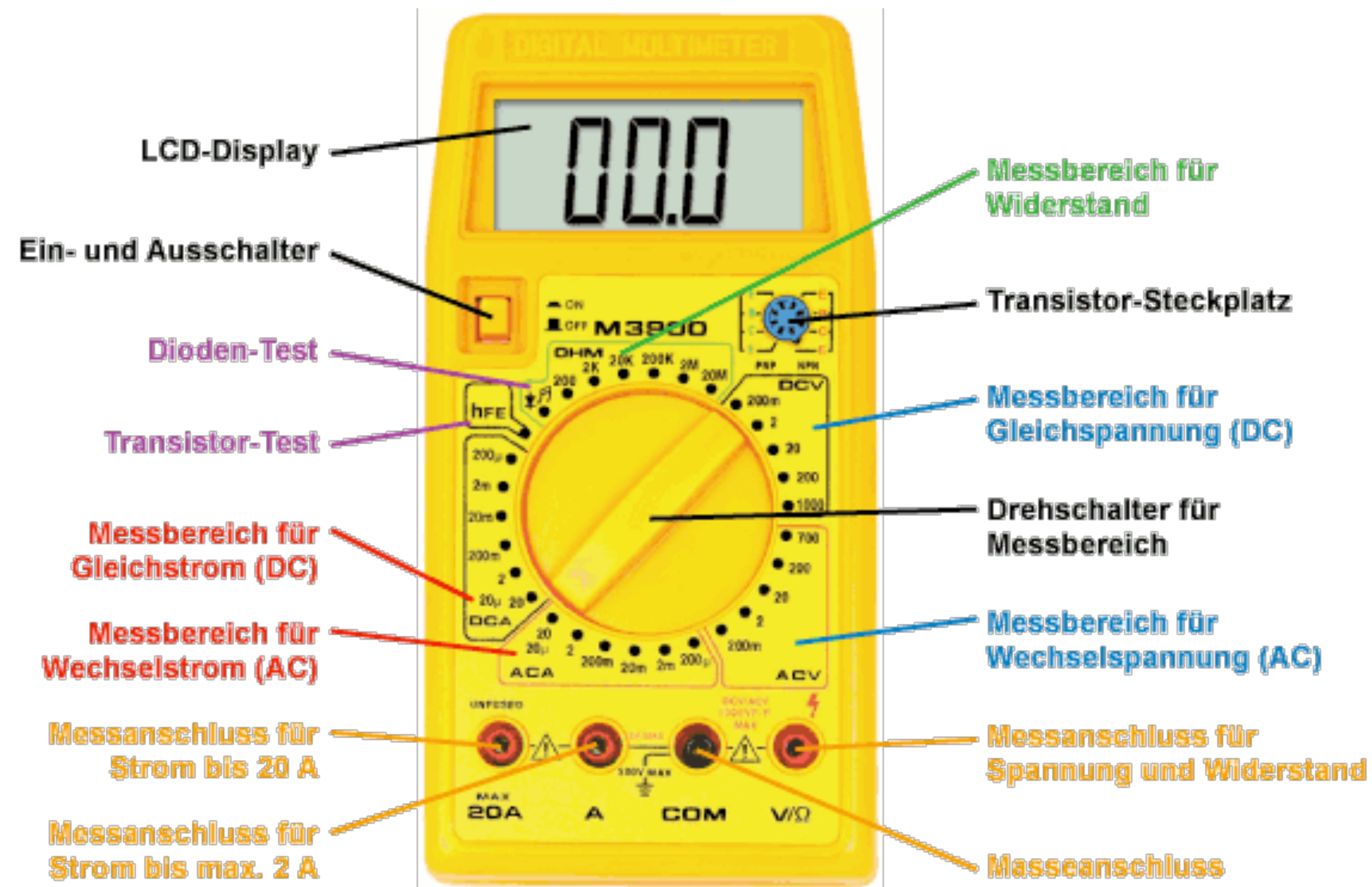
Analoge Messgeräte wandeln den Messwert in einen Zeigerausschlag um. Mit Hilfe einer Skala kann der Messwert abgelesen werden.

Die Messung ist analog, weil der Zeigerausschlag sich kontinuierlich zu der zu messenden Größe ändert.

Vorteilhaft sind analoge Messgeräte, wenn der Messwert schwankt, oder eine Messwertänderung im laufenden Betrieb einer Schaltung beobachtet werden soll. Die Position eines Zeigers lässt sich leichter erfassen.

Nachteilig sind eine geringe Messgenauigkeit, Ablesefehler durch den Bediener und die Empfindlichkeit der Geräte.

# Messgeräte (2)



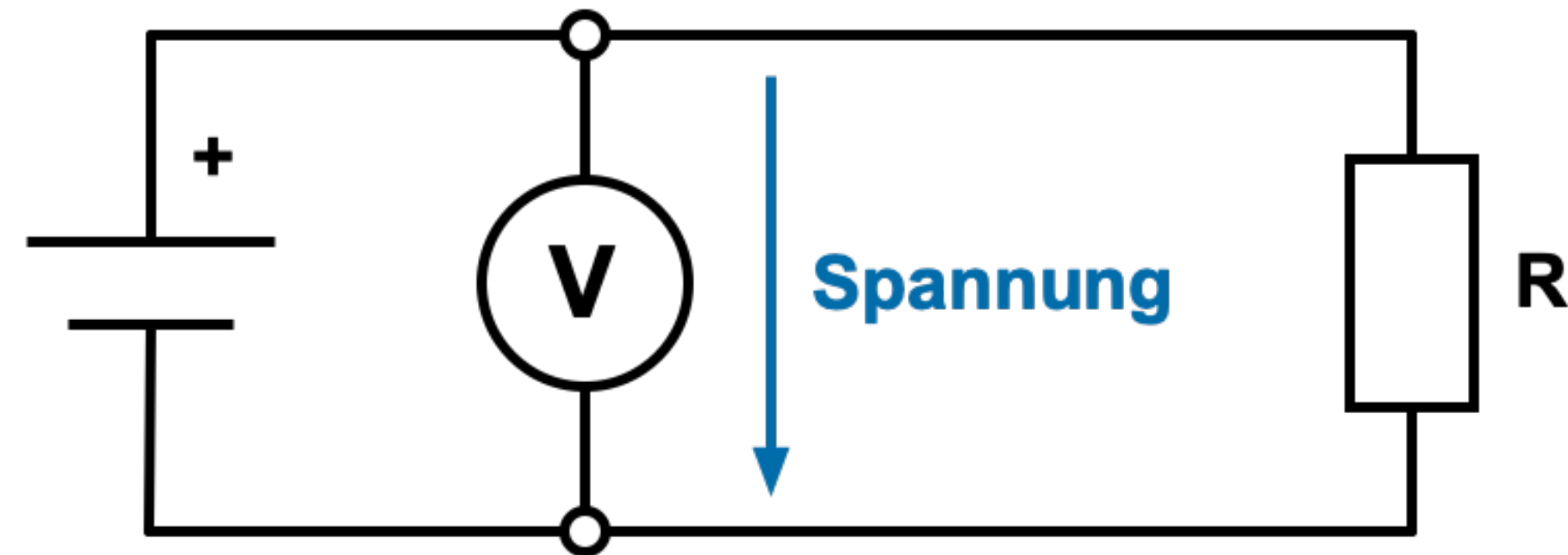
## Digitale Messgeräte

Digitale Messgeräte bestehen aus digitalen Schaltungen. Die analoge Größe wird digitalisiert und der Messwert auf einer Sieben-Segment-Anzeige oder einem LCD angezeigt.

Bei digitalen Messgeräten sind Ablesefehler fast ausgeschlossen. Auf die Polarität und den Messbereich muss in der Regel nicht geachtet werden.

Nachteilig ist, dass diese Geräte wegen dem Display immer eine Betriebsspannung brauchen. Die leichtere Bedienbarkeit suggeriert dem Bediener das seine Messung richtig war. Der angezeigte Messwert kann trotzdem falsch sein.

# Spannung messen



Generell gilt, dass jede Messung die Schaltung mal mehr, mal weniger stark beeinflusst und damit den Messwert verfälscht.

Um den Einfluss in der zu messenden Schaltung gering zu halten, sollte der Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts möglichst hochohmig sein. Ideal wäre ein unendlich hoher Innenwiderstand. In der Praxis muss man mit wenigen Megaohm klarkommen, was für die meisten Messungen in Ordnung ist.

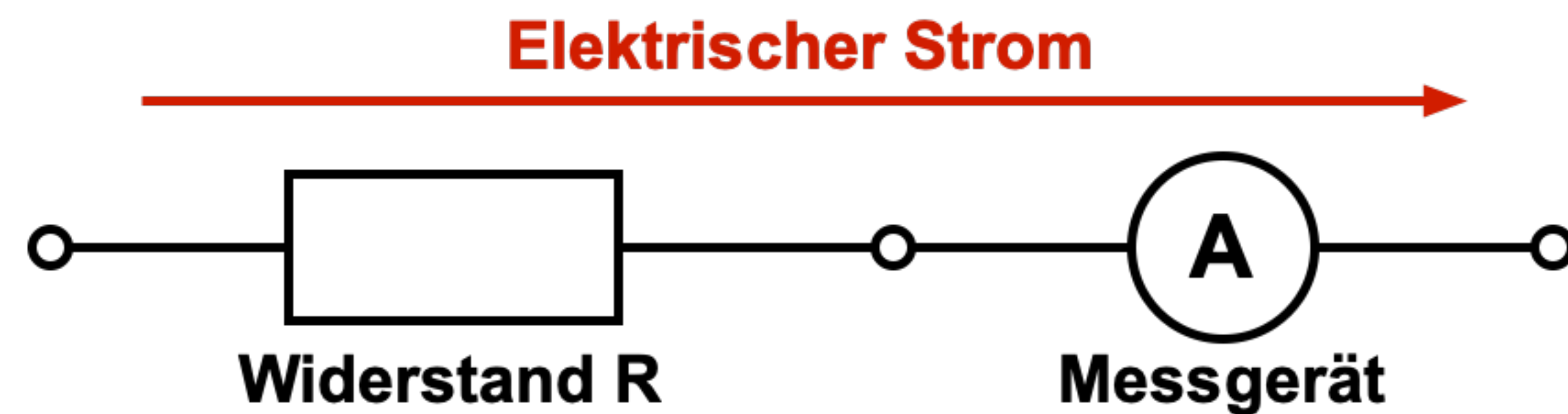
Eine Spannung liegt immer zwischen zwei Punkten in einer Schaltung. Man spricht davon, dass eine Spannung „anliegt“. Diese Spannung kannst Du messen, indem Du die zwei Messleitungen eines Messgeräts zwischen diese Punkte anlegst. Diese Punkte können sich an zwei Anschlüssen eines Bauteils befinden oder im einfachsten Fall an einer Spannungsquelle. Also der positive und der negative Pol einer Batterie.

An einem Verbraucher wird der Spannungsabfall gemessen. Das ist eine Teilspannung, die kleiner ist, als die Gesamtspannung der Spannungsquelle.

Beispielhafte Messwerte:

- 9V-Batterie: 9,0 Volt (Gesamtspannung der Spannungsquelle)
- LED, rot: 2,0 Volt (Teilspannung am Bauteil)

# Strom messen



$$I = \frac{U}{R}$$

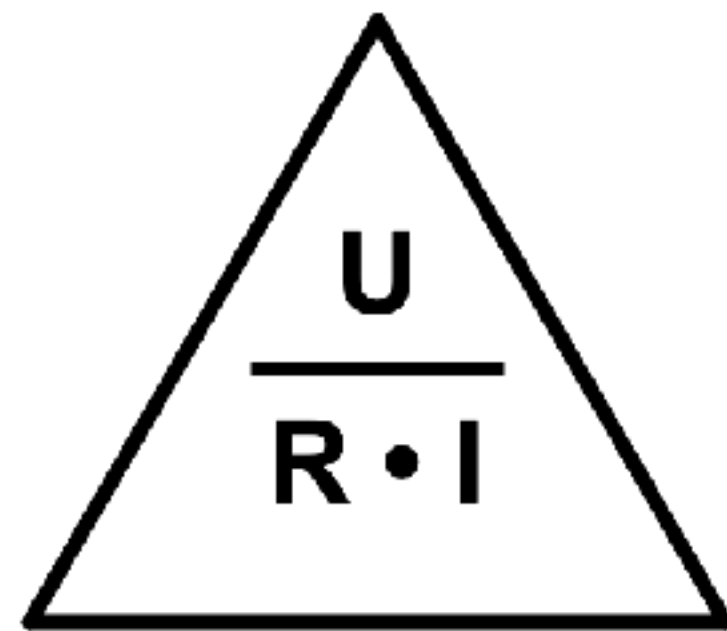
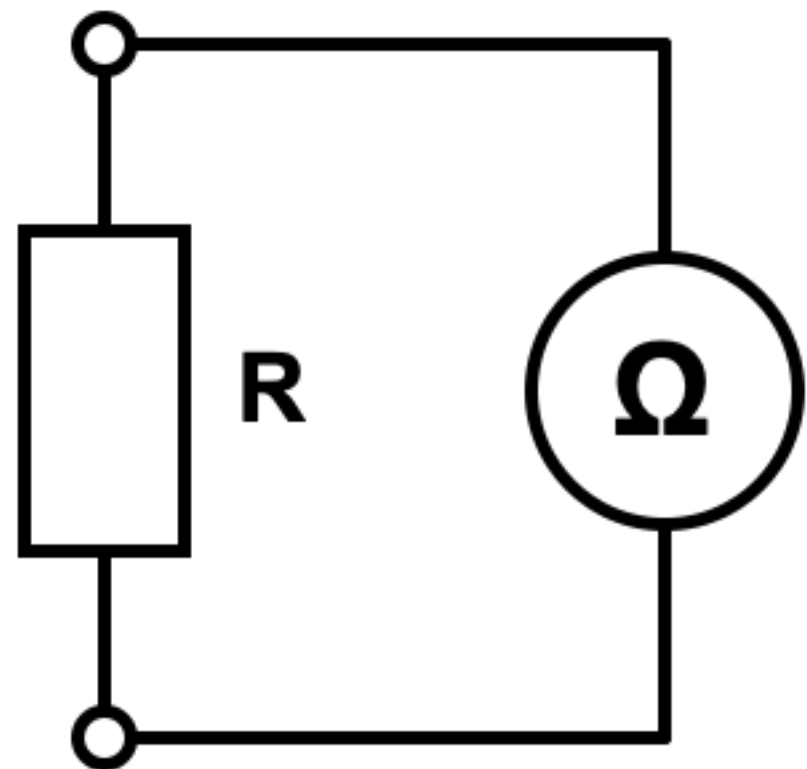
Generell gilt, dass jede Messung die Schaltung mal mehr, mal weniger stark beeinflusst und damit den Messwert verfälscht.

Um den Einfluss in der zu messenden Schaltung gering zu halten, sollte der Innenwiderstand des Strommessgeräts möglichst niederohmig sein. Ideal wäre ein Innenwiderstand von 0 Ohm. In der Praxis liegt er darüber.

Zum Messen des Stroms muss das Strommessgerät immer in Reihe zum Verbraucher angeschlossen werden. Dazu muss der Stromkreis aufgetrennt werden, damit das Messgerät eingefügt werden kann. Das ist nicht immer möglich. Bei einer gesteckten Schaltung geht das noch. Was aber, wenn die Schaltung gelötet ist oder es sich um eine Platine handelt? In jedem Fall ist es umständlicher, eine Strommessung durchzuführen.

Möchtest Du das Auftrennen der Leitungen oder Leiterbahnen vermeiden, dann kannst Du den Strom auch indirekt messen. Dazu musst Du nur die Spannung über einen bekannten Festwiderstand messen und die Spannung durch den Wert des Widerstands teilen. Die Spannung in Volt, geteilt durch den Widerstandswert in Ohm, ergibt den Strom in Ampere.

# Widerstand messen



$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Den Widerstandswert eines Bauteils zu messen macht nur bei einem Festwiderstand oder einstellbaren Widerstand Sinn. Bei vielen Bauteilen, dazu gehören Halbleiter und Lampen, ist der Widerstandswert dynamisch und abhängig von Strom und Spannung, weshalb hier ein gemessener Widerstandswert keine Aussagekraft besitzt. Das heißt, der Messwert ist nicht falsch, sondern Messung und Messwert ergeben keinen Sinn.

Es gibt mehrere Methoden, um einen Widerstandswert zu ermitteln. Bei Widerständen, die mit Farbringen gekennzeichnet sind, würde man mit Hilfe einer Farbtabelle den Widerstandswert ablesen. Anfänger und Ungeübte nehmen gerne auch ein Messgerät, um den Widerstandswert zu messen. Dabei spart man sich das fehlerhafte Ablesen.

Man unterscheidet zwischen der indirekten und direkten Widerstandsmessung. Die indirekte Widerstandsmessung ist eine Messung von Spannung und Strom mit anschließender Berechnung.

Die direkte Widerstandsmessung ist die übliche Messmethode in einem Messgerät, bei der der Widerstandswert angezeigt wird und abgelesen werden kann.

Der Wert eines Ohmschen Widerstands wird am besten mit einem digitalen Vielfachmessgerät (Multimeter) ermittelt, um Ablesefehler und Ungenauigkeiten zu vermeiden.



# Vorsicht Messfehler (1)

## Wer misst, der misst Mist

Grundsätzlich ist jede Messung ein Eingriff in die Schaltung, die den Messwert mal mehr, mal weniger stark beeinflusst. Die Frage bei jeder Messung ist deshalb immer, wie verändert das Messgerät die Schaltung und wie viel beträgt die Abweichung des angezeigten Messwerts vom tatsächlichen Wert.

Der Hintergrund ist, dass ein Messgerät in einer Schaltung wie ein Widerstand wirkt. Man spricht vom Innenwiderstand des Messgeräts. Bei der Interpretation eines Messwerts muss immer die Frage im Raum stehen, wie sich dieser Innenwiderstand des Messgeräts auf die Schaltung auswirkt und Einfluss auf den Messwert hat.

Bei den folgenden Messungen werden wir uns immer wieder die Frage stellen müssen, warum der angezeigte Messwert nicht unseren Erwartungen entspricht. Das kann dann an der Messung liegen, oder das Messgerät stellt sich als ungeeignet heraus oder die Messung macht eigentlich keinen Sinn.

## Ablesefehler vermeiden

Vor allem bei analogen Messgeräten kann es zu Ablesefehlern durch den Anwender kommen. Deshalb werden gerne digitale Multimeter verwendet. Da kann man Ablesefehler fast ausschließen.

Analoge Messgeräte sind deshalb nicht schlechter. Sie haben ihre Berechtigung, wenn Messwerte schwanken oder wenn nur der Wertebereich (niedrig, mittel, hoch) schnell erfasst werden soll.

# Vorsicht Messfehler (2)

## Abweichungen von Messergebnissen

Damit die folgenden Messergebnisse mit Deinen Messergebnissen übereinstimmen, müssten Deine Bauteile, die Spannungsquelle und das Messgerät mit den hier verwendeten Teilen exakt übereinstimmen. Aufgrund von Exemplarstreuung und Toleranzen von Bauteilen und Messgeräten ist das aber nicht möglich, weshalb es zwangsläufig zu Abweichungen bei den Messergebnissen kommt. Geringe Abweichungen sind in Ordnung. Bei größeren Abweichungen musst Du etwas genauer hinschauen, wo der Fehler liegt.

## Jede Messung ergibt ein anderes Ergebnis

Besonders am Anfang, wenn man noch keine Erfahrung hat, dann neigt man dazu, eine Messung mehrmals durchzuführen. Dummerweise kommt es dann oft vor, dass sich die Messergebnisse, wenn auch nur geringfügig, unterscheiden können. Und dann ist natürlich unklar, welcher Wert das richtige Messergebnis ist. Jede weitere Messung, die Du aus Unsicherheit durchführst, macht das Ergebnis aber nicht besser. Beim Messen in der Elektronik gilt normalerweise die Regel, eine Messung nur einmal und nicht mehrmals hintereinander durchzuführen. Mehrere Ergebnisse führen nur zu Irritationen.

Nur wenn Du Dir unsicher bist, ob Du am richtigen Bauteil oder Punkt in der Schaltung gemessen hast, dann kann es sinnvoll sein, einfach noch mal nachzumessen. Aber eben nur unter der Berücksichtigung, dass die Messergebnisse unterschiedlich sein werden. Bei einer kleinen Abweichung bleibt das erste Messergebnis richtig. Es sei denn, diese erste Messung war offensichtlich falsch.



**Bauelemente**

# Klemmleiste



- Schraubverbindung für Adern und Drähte
- Stiftbasierte Steckverbindung zu Platine oder Steckbrett

In der Elektrotechnik und Elektronik dient eine Klemmleiste zum Anschluss von Kabeln und Leitungen. Sie sind die Schnittstelle zwischen unterschiedlichen System und dem Leitungsnetz. Sie dienen zum Verteilen von Signalen und Spannungen und Verbinden von Bauteilen und Schaltungen.

Klemmleisten gibt es in unterschiedlichen Bauformen mit unterschiedlichen Befestigungen, um eine mechanisch und elektrisch stabile Verbindung zu ermöglichen. Dazu werden Kabel zwischen zwei metallische Kontaktflächen geklemmt und dieser Kontakt durch eine Schraube fixiert. Damit vermeidet man den berühmten Wackelkontakt, der von einer mechanisch instabilen Verbindung herrührt.

# Mini-Voltmeter (1)



Da es verschiedene Typen gibt, unterscheiden sie sich auch in ihrer Leistungsfähigkeit. Generell muss man den vergleichsweise kleinen Innenwiderstand und die geringe Genauigkeit und Geschwindigkeit berücksichtigen.

- Gleichspannung messen
- Messwert anzeigen

Ein Mini-Voltmeter ist eine kleine Digitalanzeige, auf deren Rückseite sich eine Platine mit der Schaltung eines elektronischen Messgeräts befindet. Oft fehlt ein Gehäuse und die Platine und Bauteile sind sichtbar. Zwei oder drei Leitungen sind an der Platine verlötet. Der messbare Spannungsbereich liegt zwischen 0 und 100 Volt Gleichspannung. Zum Betrieb ist eine eigene Spannungsquelle empfehlenswert.

Diese Mini-Voltmeter sind zum Betrieb an Spannungsquellen, wie Netzteile und Ladeschaltungen gedacht. Als typische Messgeräte sind sie nicht konzipiert. Aufgrund der beschränkenden, technischen Parameter sind manche Messungen mit einem Mini-Voltmeter wenig sinnvoll und das Ergebnis sogar unbrauchbar. Doch diese Probleme hat man mit jedem billigen Messgerät. Nur sieht man sie nicht.

Zum „Messen lernen“ sind dieses Mini-Voltmeter sehr gut geeignet, weil man es dann zu schätzen weiß, wenn man mit einem besseren und genaueren Messgerät arbeiten kann.

# Mini-Voltmeter (2)

## Technischen Parameter

Für das Elektronik-Set Advanced Edition haben wir Mini-Voltmeter vorgesehen, die folgende technische Parameter aufweisen:

- Betriebsspannung: 4,0 bis 30,0 bzw. 100,0 V
- Stromverbrauch: < 20 mA
- Messbereich: 0,0 bis 30,0 V (DC)
- Genauigkeit: 1 bis 3 %
- Innenwiderstand: unbekannt

## Betriebsspannung und Stromverbrauch

Das Messinstrument (Schaltung mit Anzeige) braucht eine eigene Energieversorgung. Die Betriebsspannung darf zwischen 4,0 und 30,0 bzw. 100,0 Volt liegen. Wir haben also eine breite Auswahl an möglichen Stromquellen, wie Netzteile und Batterien. Allerdings wird eine Betriebsspannung zwischen 5 und 12 Volt empfohlen.

## Messbereich

Typische Digitalmultimeter können neben anderen elektrischen Größen auch Gleichspannungen (DC) und Wechselspannungen (AC) bis über 1.000 Volt messen. Ein Mini-Voltmeter kann dagegen nur Gleichspannungen (DC) bis 30 oder vielleicht 100 Volt messen. Für einfache experimentelle Schaltung reicht das vollkommen aus. Die Schaltungen in diesem Elektronik-Guide arbeiten mit einer Gleichspannung von maximal 9 Volt. Im Gegensatz zu anderen Digitalmultimetern müssen wir am Mini-Voltmeter nichts einstellen (Spannungsart, Messbereich und Polarität).

# Mini-Voltmeter (3)

## Genauigkeit

Die Angabe zur Genauigkeit, Unsicherheit oder Abweichung durch das Messgerät selber, im englischen Accuracy genannt, legt die maximal zu erwartende Abweichung eines Messwerts vom wahren Wert der zu messenden physikalischen Größe fest.

Ein Digitalmultimeter im oberen zweistelligen Preisbereich hat bei Gleichspannungsmessungen eine Genauigkeit von 0,5 % (beispielhaft), was für fast alle Messungen mehr als ausreichend ist. Die Genauigkeit eines Mini-Voltmeters im Elektronik-Set Advanced Edition ist mit 1 bis 3 % vergleichsweise hoch. Professionelle Messungen sind damit definitiv ausgeschlossen.

Manche Messwerte lassen sich mit diesen Mini-Voltmeter nicht sinnvoll messen. Die Verwendung eines Digitalmultimeters mit höherer Genauigkeit ist für mehr Mess-Anwendungen geeignet. Für die meisten Messungen ist die Genauigkeit von 1 bis 3 % ausreichend. Sollte das ein Problem darstellen, wird darauf hingewiesen.

## Innenwiderstand

Ein Messgerät ist vom Prinzip her eine elektronische Schaltung, die Strom verbraucht. Stark vereinfacht kann man ein Messgerät als Widerstand sehen, an dem eine Spannung abfällt und durch den ein Strom fließt. Jedes Messgerät hat einen Widerstand, den man als Innenwiderstand bezeichnet. Bei einem Spannungsmesser sollte er möglichst hochohmig sein, damit der Einfluss auf die Schaltung oder das zu messende Bauteil möglichst gering ist. Manche einfachen Messgeräte haben einen Innenwiderstand der für manche Messungen zu klein ist.

Ob der Innenwiderstand eines Messgeräts ein Problem darstellt, dazu muss immer das Umfeld in der Schaltung bei der Messung betrachtet werden. Beim Messen an großen Widerständen oder in Schaltungen mit großen Widerstandswerten kann ein zu kleiner Innenwiderstand des Messgeräts ein Problem sein. Er beeinflusst nicht nur den Messwert, sondern auch die Funktionsweise der Schaltung, wodurch Fehlfunktionen ausgelöst werden können. Hier ist Vorsicht geboten.

# Mini-Voltmeter (4)

## Messen lernen

Richtig „Messen lernen“ bedeutet, auch zu wissen, was ein gutes Messgerät ausmacht. Die Stichworte sind Innenwiderstand und Genauigkeit. Ja, aber warum? Es ist nicht verkehrt, das am eigenen Leib erfahren zu haben. Für den praktischen Einsatz gilt, sich ein gutes Messgerät zu beschaffen.

Ein billiges Digitalmultimeter kostet nur wenige Euro. Aber, die Genauigkeit eines billigen Multimeters ist auch begrenzt. Wer irgendwann mal ein vernünftiges Messgerät haben möchte, der sollte auch wissen, welche Parameter in seine Entscheidungsfindung einfließen sollten.

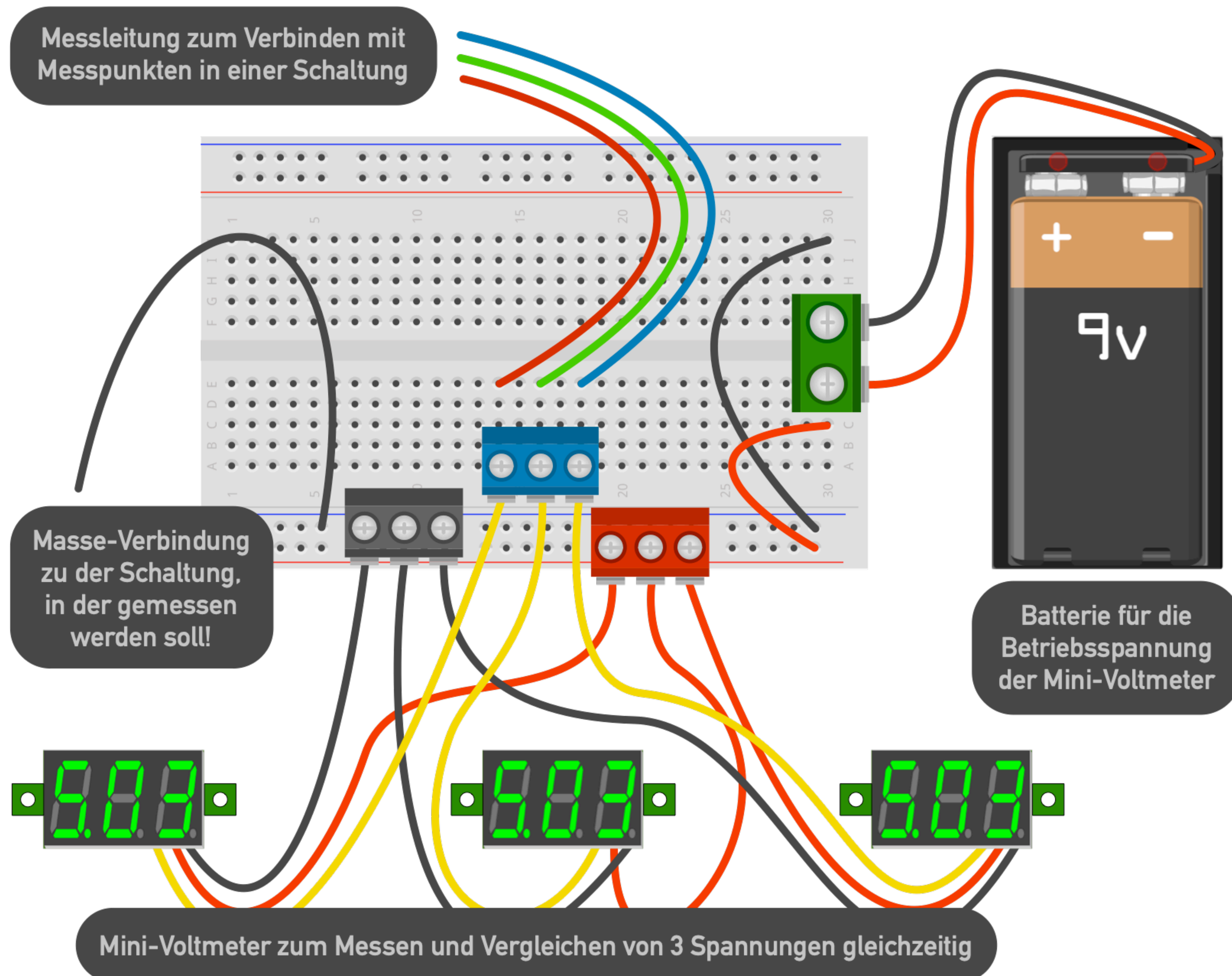
***Aber, woher will man wissen, was gut ist, wenn man das Schlechte nicht kennt?***

Typische Messungen in der Elektronik bestehen in der Regel in mehreren aufeinanderfolgenden Einzelmessungen mit Messwertaufnahme, Dokumentation und anschließender Analyse. Diese Vorgehensweise ist zu empfehlen. Allerdings ist das eher etwas für präzise und diszipliniert arbeitende Menschen. Für den Elektronik-Einsteiger und die meisten Hobby-Elektroniker ist der direkte Vergleich von mehreren Messwerten besser für einen maximalen Erkenntnisgewinn. Dazu sind mehrere Messgeräte nötig, was für ein paar Messungen aber viel zu teuer wäre.

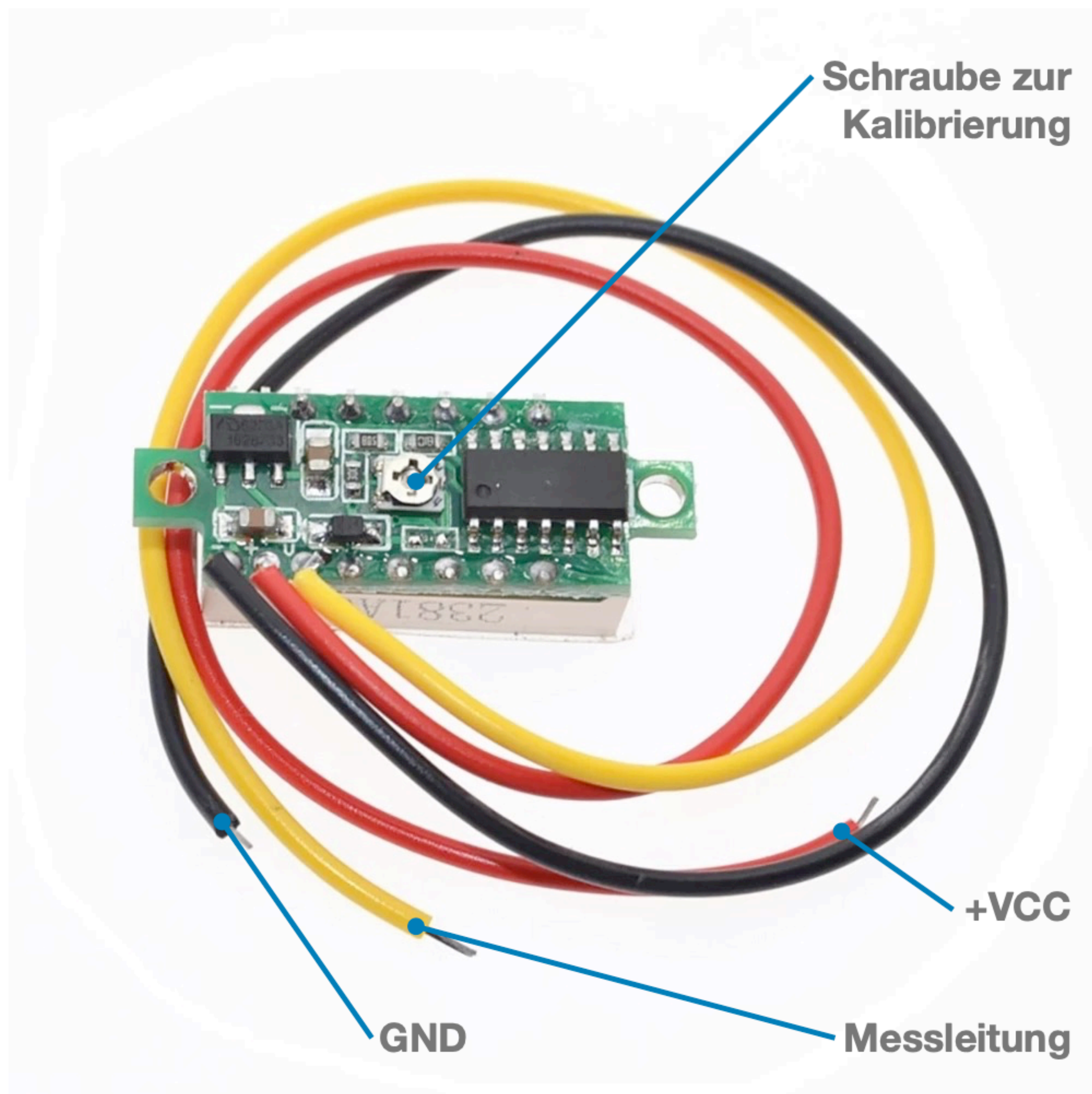
Schon die einfachsten Digitalmultimeter sind mit Funktionen und Einstellmöglichkeiten überfrachtet. Viele Funktionen werden von den meisten Hobby-Elektronikern nie gebraucht. Ein universelles Digitalmultimeter zu haben ist sicherlich sinnvoll, allerdings muss man das dann auch bedienen können. Bei einem Mini-Voltmeter ist man natürlich eingeschränkt, man kann aber auch nicht so viel falsch machen. Es hat zwei Leitungen für die Betriebsspannung, und eine Leitung, um die Spannung an einem beliebigen Punkt in einer Schaltung gegen Ground (GND, 0 Volt) zu messen. Einfacher geht es nicht.



# Messaufbau (1)



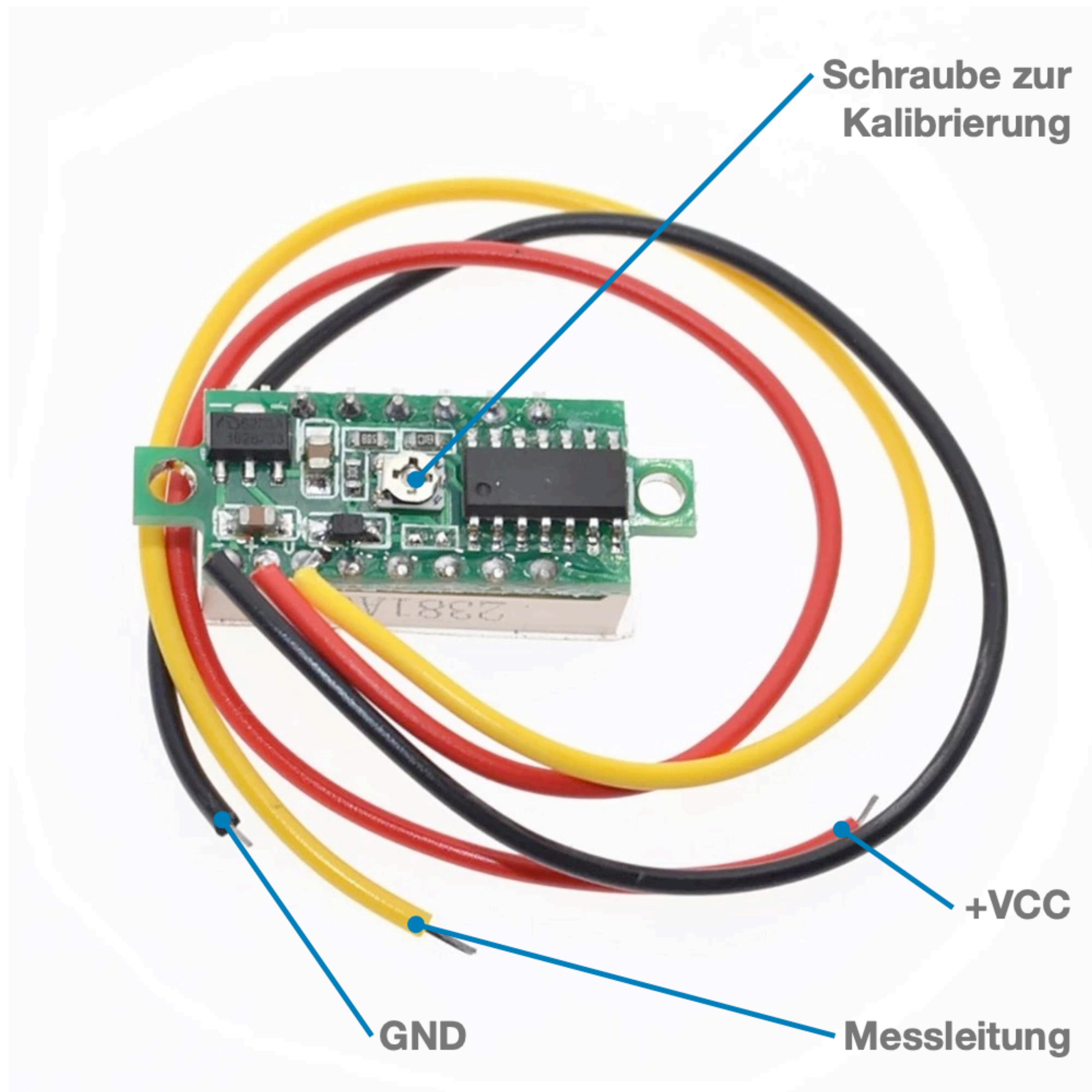
## Messaufbau (2)



1. Stecke die Klemmleisten wie auf dem Bild gekennzeichnet auf das Steckbrett.
2. Nimm die Mini-Voltmeter und schraube die roten und schwarzen Adern für die Stromversorgung in den farblich dazu passenden Klemmleisten fest. Der Aufbau sieht vor, dass jeweils alle roten und alle schwarzen Adern Kontakt haben.
3. Schraube die 3. Ader (blau, weiß oder gelb) in der blauen Klemmleiste fest. Das sind die Messleitungen. Der Aufbau sieht vor, dass die Adern in der blauen Klemmleiste keinen Kontakt zusammen haben.
4. Klemme die Adern der Batterie- oder Netzteil-Adapter in die grünen Klemmleisten.
5. Verbinde die rechte grüne Klemmleiste mit je einem roten und schwarzen Verbindungskabel auf dem Steckbrett mit der Steckreihe, in der die rote bzw. schwarze Klemmleiste eingesteckt ist.
6. Wichtig: Verbinde die GND-Reihe der Steckbretter bzw. Schaltungen miteinander.

Empfehlung: Kleiner Kreuzschlitz- oder mittlerer Flachschritz-Schraubendreher für die Klemmleisten.

# Mini-Voltmeter kalibrieren (1)



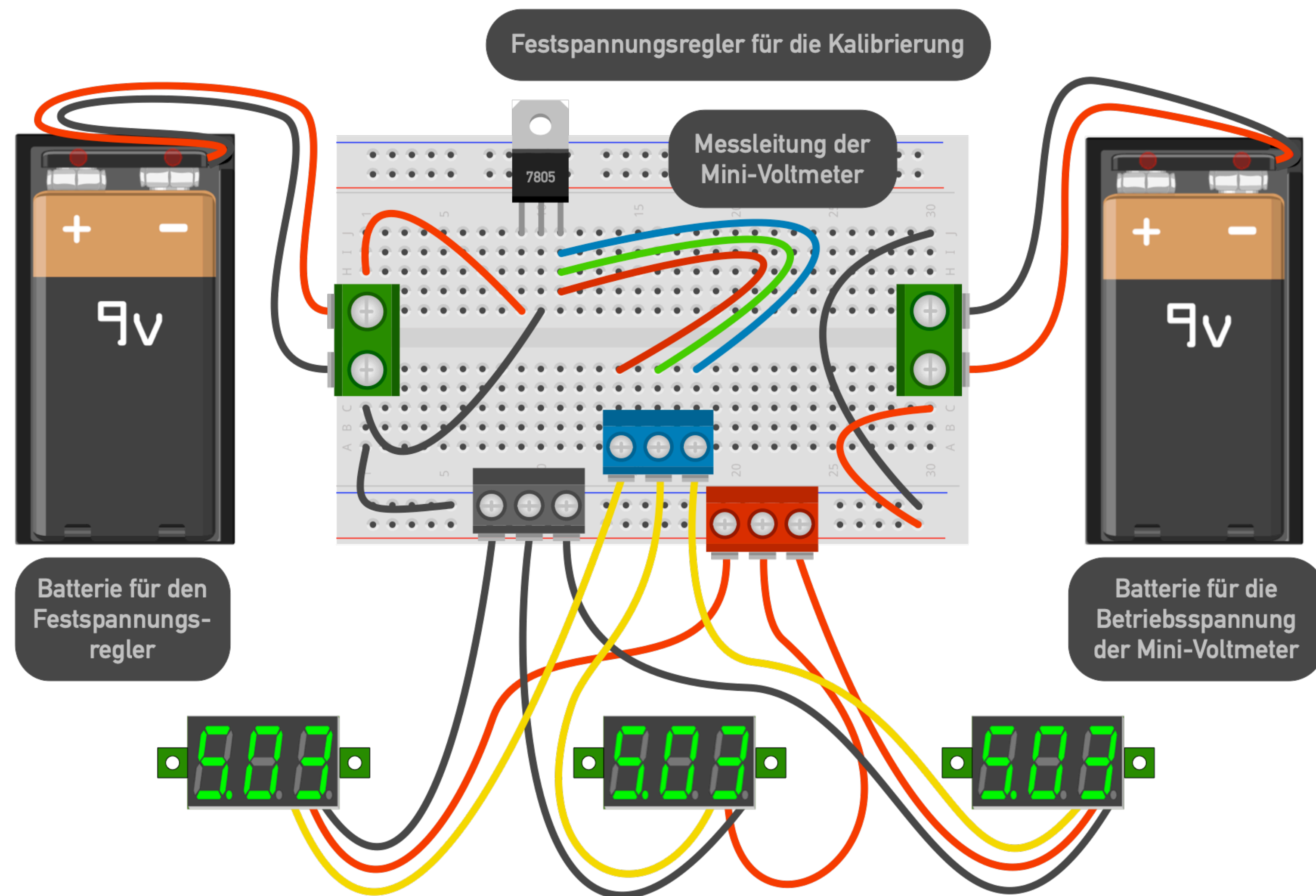
Mini-Voltmeter gibt es in unterschiedlichen Bauweisen, die sich auf den ersten Blick nicht groß unterscheiden. Bei genauerer Betrachtung bemerkt man einen wichtigen Unterschied. Beispielsweise gibt es welche, die auf der Platinenunterseite eine Möglichkeit der Kalibrierung mittels einer Schraube vorsehen.

Im Prinzip muss jedes Messgerät kalibriert werden. In der Regel erfolgt das anhand einer vergleichenden Messung mit einem Referenzgerät.

Da man ein kalibriertes Messgerät als Referenz nicht voraussetzen kann, bedarf es einer anderen Lösung. Für die Kalibrierung können wir auch eine Schaltung oder ein Bauteil verwenden, das eine Referenzgröße erzeugen kann. Dafür eignet sich ein Festspannungsregler vom Typ 7805, der eine feste Gleichspannung von 5 Volt erzeugt, die uns als Referenzwert dient.



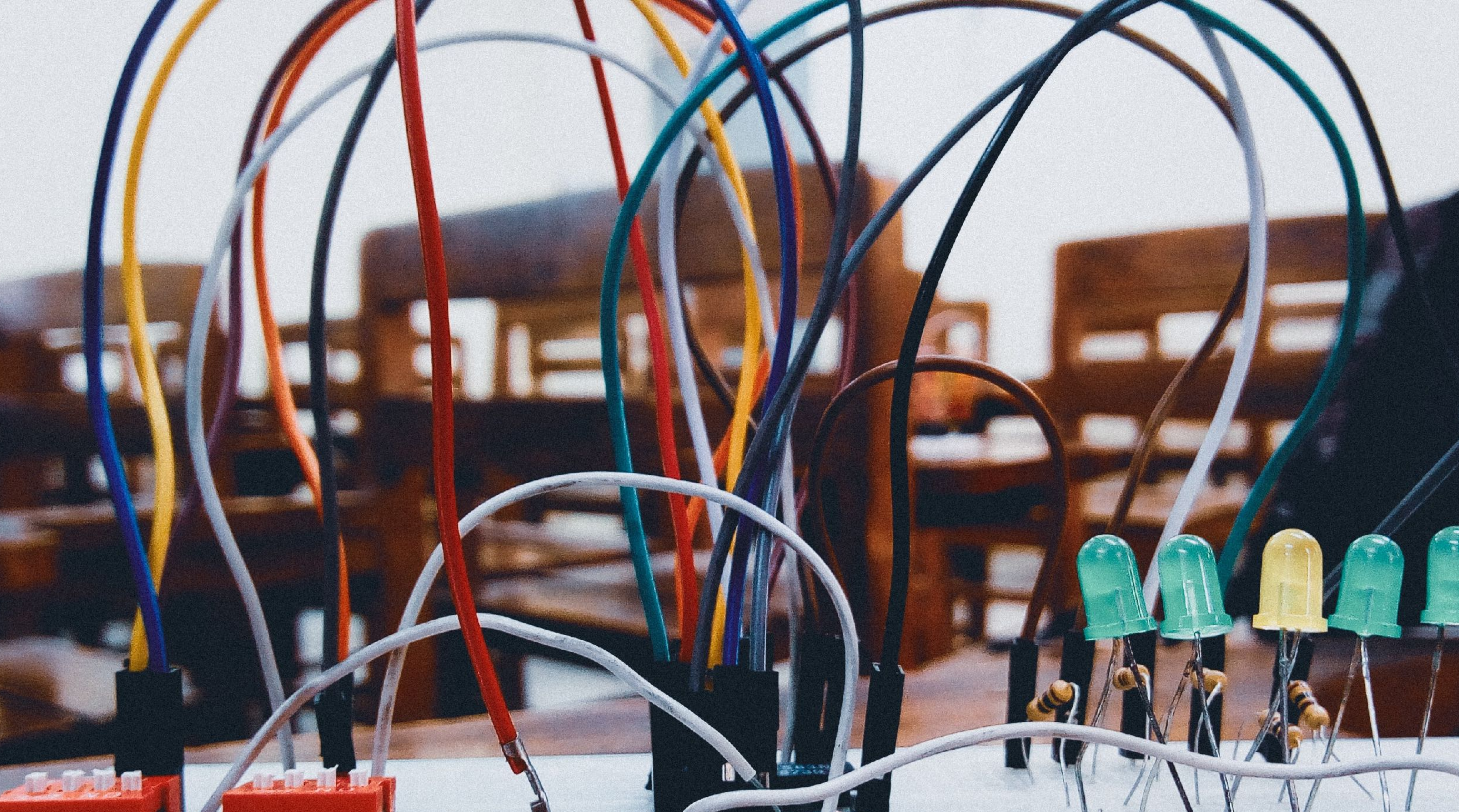
# Mini-Voltmeter kalibrieren (3)



Hinweis: Die Grundschaltung eines Festspannungsreglers vom Typ 7805 sieht auf der Eingangs- und Ausgangsseite jeweils einen Kondensator vor. In diesem Fall können wir darauf verzichten, weil der Regler durch das Voltmeter kaum belastet wird. Der Regler wird auch ohne diese Kondensatoren stabil 5,00 Volt liefern.

1. Verbinde das Mini-Voltmeter mit einer 9-Volt-Batterie.
2. Verbinde die Eingangsseite des Spannungsregler IN (links) und GND (mitte) mit Plus (+) und Minus (-) der 9-Volt-Batterie.
3. Verbinde die Messleitung des Voltmeters mit der Ausgangsseite des Spannungsreglers OUT (rechts).
4. Das Voltmeter sollte „5.00“ anzeigen. Wenn nicht, dann drehe die Kalibrierungsschraube mit einem kleinen Schraubendreher hin und her, bis „5.00“ angezeigt wird.

Bleibt der angezeigte Wert stabil auf „5.00“ stehen, dann ist das Mini-Voltmeter ganz genau kalibriert. Wenn sich das Mini-Voltmeter nicht ganz exakt einstellen lässt, dann kann man mit einer geringen Abweichung von 0,01 oder 0,02 nach oben, wie auch nach unten leben. Ein Wert von „5.02“ ist hinreichend genau.



# Schaltungen und Experimente

# Schaltungen und Experimente

- Unterschiedliche Spannungsquellen
- Leerlaufspannung und Klemmenspannung einer Spannungsquelle
- Belastete Spannungsquelle
- Reihenschaltung mit unterschiedlichen Widerständen
- Reihenschaltung mit gleichen Widerständen
- Indirekte Strommessung an einem Widerstand
- Unbelasteter und belasteter Spannungsteiler
- Spannungsteiler mit Fotowiderstand
- Diode in Durchlassrichtung
- Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung
- Diode in Sperrrichtung
- Kennlinie einer Diode in Sperrrichtung
- LED mit Vorwiderstand in Durchlassrichtung
- Unterschiedliche LEDs in Durchlassrichtung
- LED mit unterschiedlichen Vorwiderständen in Durchlassrichtung
- Kondensator laden
- Kondensator entladen
- Transistor als Schalter mit Basis-Vorwiderstand

# Tipps & Tricks (1)

Bevor Du mit Deinem ersten Schaltungsaufbau loslegst, möchte ich Dir noch ein paar Tipps und Tricks für ein erfolgreiches Gelingen geben:

- Ich meine, es ist überflüssig zu erwähnen, dass manche Bauteile gepolt sind und es nicht egal ist, wie herum sie in eine Schaltung eingebaut werden müssen.
- Bei gesteckten Verbindungen musst Du immer mit Kontaktschwierigkeiten im Steckbrett rechnen. Wackelkontakte können schnell für Frust sorgen. Behalte das im Hinterkopf, wenn eine Schaltung mal nicht gleich funktioniert.
- Oftmals haben die erhältlichen Steckbretter nicht die beste Qualität. Das äußert sich durch schwergängige Kontaktfedern im Steckbrett. Dadurch verbiegen sich die Anschlussdrähte von LEDs, Transistoren, Drucktastern und ICs. Bei den steckbaren Verbindungskabeln empfiehlt es sich, diese beim Einstecken leicht zu drehen. Dann flutscht es besser.



# Unterschiedliche Spannungsquellen (1)

9 V ○ ————— ○ MP3

5 V ○ ————— ○ MP2

1,5 V ○ ————— ○ MP1

0 V ○ ————— ○

Batterie mit 1,5 Volt (Typ AAA oder AA)  
Akku mit 1,2 Volt (Typ AAA oder AA)  
Block-Batterie mit 9 Volt (neu)  
Block-Batterie mit 9 Volt (gebraucht)  
USB-Netzteil mit 5 Volt

Spannungen kann man in Schaltungen an Bauteilen messen oder direkt an einer Spannungsquelle. An Bauteilen spricht man manchmal von einem Spannungsabfall. An Spannungsquellen von der Gesamtspannung, Betriebsspannung oder auch Leerlaufspannung.

Wir interessieren uns für die Leerlaufspannung von Spannungsquellen. Gemeint ist die Spannungsquelle im unbelasteten Zustand, also ohne Verbraucher. Hierzu wählst Du einfach die für Dich verfügbaren Spannungsquellen aus. Hier ein paar Ideen für Spannungsquellen, die in jedem Haushalt zu finden sind und bei sachgerechter Handhabung ungefährlich sind.

Bei den folgenden Messungen ist es wichtig, dass das Messgerät eine eigene Stromversorgung (Batterie oder Netzteil) hat. Wenn nicht, dann misst Du die Spannungsquelle im belasteten Zustand. Das wäre auch Ok, aber nicht sinnvoll. Wir wollen eine Spannungsquelle im unbelasteten Zustand messen.

Ein Digitalmultimeter (DMM) hat eine Batterie und somit eine eigene Stromversorgung. Ein Mini-Multimeter nicht. Dieses muss an eine eigene Batterie angeschlossen werden. Der negative Pol bzw. GND oder 0 Volt beider Spannungsquellen müssen miteinander verbunden werden.

# Messungen: Unterschiedliche Spannungsquellen (2)

## Messung

Spannungsquelle	MP1: AA-Batterie (neu)	MP2: USB-Netzteil	MP3: 9V-Batterie (neu)	MP4: 9V-Batterie (gebraucht)
Nennspannung	1,5 V	5 V	9 V	9 V
Spannung (gemessen)				

Was messen wir? Wir messen die Spannung direkt an einer unbelasteten und damit unbeschalteten Spannungsquelle.

Welches Messergebnis erwarten wir? Wir erwarten die Nennspannung, die für diese Spannungsquelle angegeben ist.

## Lösung zur Messung

Spannungsquelle	MP1: AA-Batterie (neu)	MP2: USB-Netzteil	MP3: 9V-Batterie (neu)	MP4: 9V-Batterie (gebraucht)
Nennspannung (V)	1,5 V	5 V	9 V	9 V
Spannung (V) mit MVM	1,5 V	5 V	8,8 V	3,2 V
Spannung (V) mit DMM	1,51 V	5,07 V	9,47 V	2,99 V

- Messung mit Mini-Voltmeter (MVM)
- Messung mit Digitalmultimeter (DMM)

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

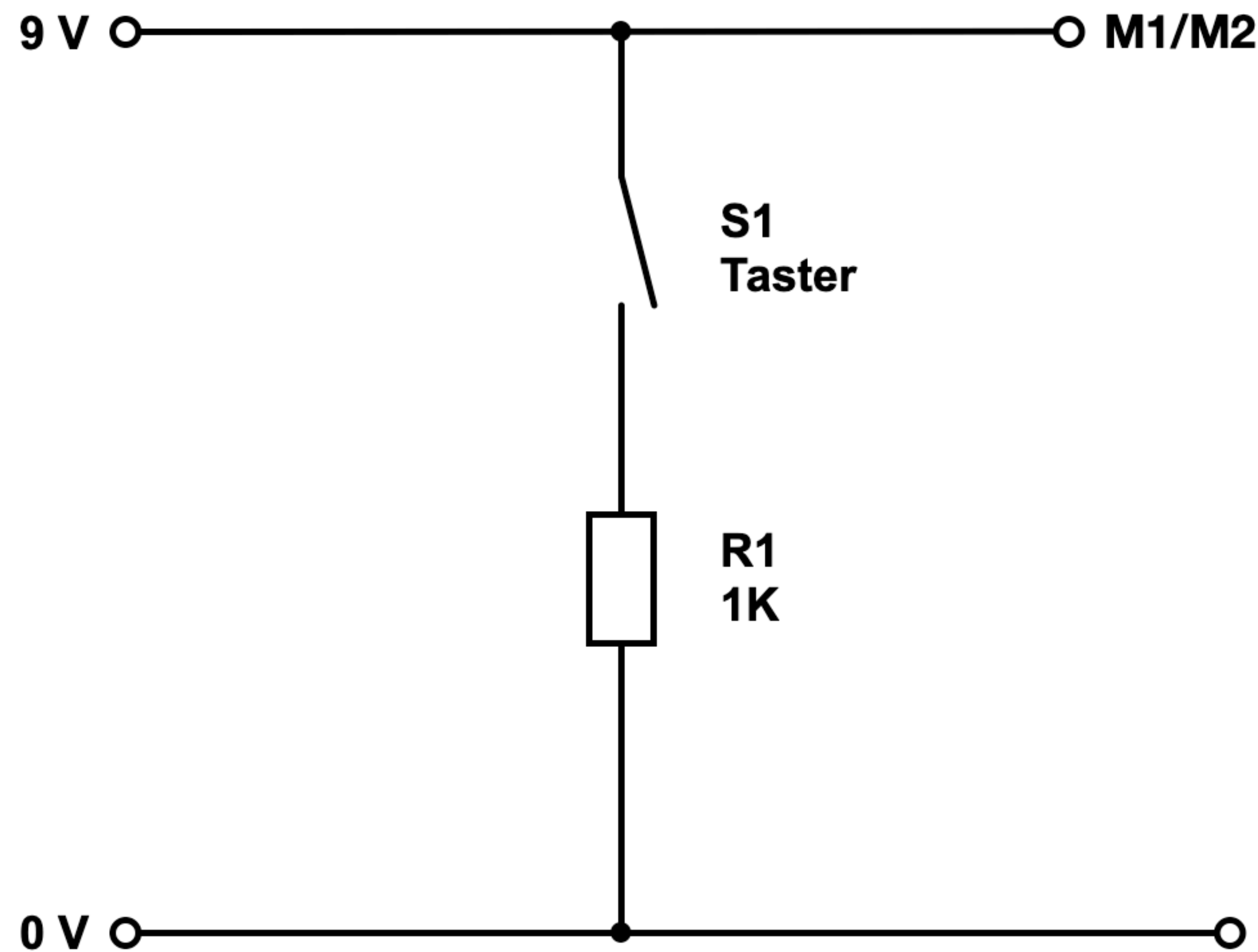
Die Messergebnisse können schon sehr stark von den angenommenen Werten, die Nennspannungen, abweichen. Unter anderem ist das Messergebnis vom Ladezustand einer Batterien bzw. von der Stabilisierung des Netzteils abhängig.

Hier muss man noch berücksichtigen, dass wir hier die Leerlaufspannung der Spannungsquellen gemessen haben. Unter Belastung sieht die sogenannte Klemmenspannung wieder ganz anders aus.

Das verwendete Mini-Voltmeter (MVM) scheint ziemlich oft daneben zu liegen, wenn man das Digitalmultimeter als Maßstab heranzieht. Das verwendete Digitalmultimeter ist sicherlich genauer, aber eignet sich auch nicht besonders gut als Referenz. Das ist insofern kein großes Problem, wenn man in einer Schaltung jede Messung mit dem selben Messgerät durchführt. Das ständige Wechseln des Messgeräts führt nur zu nicht nachvollziehbaren Messergebnissen.

Problematisch ist ein minderwertiges Messgerät nur dann, wenn wir wirklich exakte Messwerte haben müssen. Dann muss ein Messgerät mit einer möglichst hohen Genauigkeit bzw. geringen Abweichung verwendet werden.

# Leerlaufspannung und Klemmenspannung einer Spannungsquelle (1)



1 x Taster

1 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

Der geneigte Elektronik-Anfänger wird fast zwangsläufig mit den Begriffen Leerlaufspannung und Klemmenspannung konfrontiert. In der Regel, wenn es um Spannungsquellen geht.

- Vereinfacht gesagt, handelt es sich bei der Leerlaufspannung um die Spannung einer unbelasteten Spannungsquelle.
- Die Klemmenspannung ist die Spannung einer belasteten Spannungsquelle.

Typischerweise unterscheiden sich beide Werte voneinander. Bei einer Gleichspannungsquelle erwartet man typischerweise, dass sie ihre Spannung möglichst stabil halten kann. Also der Unterschied zwischen Leerlaufspannung und Klemmenspannung möglichst gering ist.

Je nach Art der Spannungsquelle und Belastung können beide Werte sehr unterschiedlich sein.

In der folgenden Messung geht es darum, den Unterschied zwischen einer unbelasteten und belasteten Spannungsquelle herauszufinden.

# Messungen: Unterschiedliche Spannungsquellen (2)

## Messung

Messung an	MP1: Taster offen	MP2: Taster geschlossen
Widerstand R1	ohne	1 kOhm
Spannung an R1		

Was messen wir? Wir messen die Spannung an einer Spannungsquelle. Einmal unbeschaltet bzw. unbelastet. Und ein zweites Mal parallel mit einem Widerstand, der vergleichsweise klein ist, also die Spannungsquelle signifikant belastet.

Welches Messergebnis erwarten wir? Grundsätzlich erwarten wir, dass die Leerlaufspannung (unbelastete Spannungsquelle) der festgelegten Spannung entspricht. Laut Definition müsste die Klemmenspannung etwas kleiner sein (belastete Spannungsquelle).

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1: Taster offen	MP2: Taster geschlossen
Widerstand R1	ohne	1 kOhm
Spannung an R1	8,80 V	8,64 V

- Messung an: 9-Volt-Batterie
- Messung mit Mini-Voltmeter

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Das Absinken der Leerlaufspannung (M1) auf die belastete Spannung (M2) scheint hier nicht sehr eindrucksvoll. Das liegt daran, dass der gewählte Widerstand vielleicht nicht klein genug ist, um die Spannungsquelle zu belasten. Aber, wir wollen nicht gleich am Anfang Bauteile zerstören und Finger verbrennen.

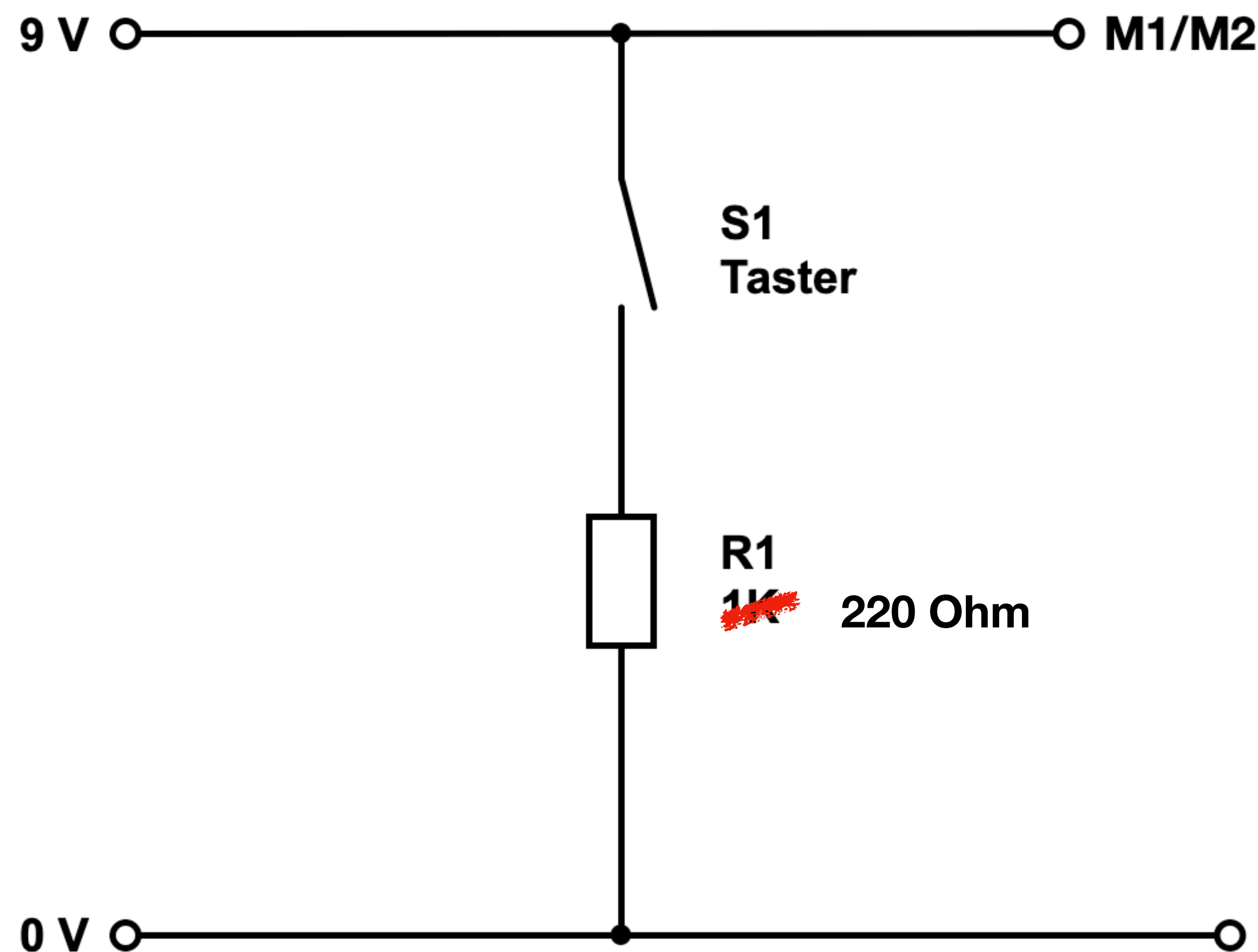
Allerdings kann ein Unterschied von nur wenigen Millivolt im Batteriebetrieb darüber entscheiden, ob ein Gerät noch läuft oder nicht. Batterien, die im unbelasteten Zustand gemessen werden, könnte man als funktionstüchtig ansehen. Sobald sie in einem Gerät benutzt werden, plötzlich nicht mehr. Es könnte sein, dass diese Batterien in anderen Geräten, die weniger belasten, wiederum noch einige Zeit funktionieren.

Diese Messung wurde beispielhaft an einer 9-Volt-Batterie durchgeführt. Entsprechend hätten wir als Leerlaufspannung (M1) auch 9 Volt erwartet. Vielleicht sogar ein wenig darüber. Nun kann man diesen Wert mit 8,8 Volt als verfehlt ansehen. Die Frage ist jetzt, warum? Nun, vielleicht war diese Batterie nicht mehr ganz frisch. Nein, diese Batterie war noch relativ frisch. Es gibt einen anderen Grund.

Wenn Du eine Leerlaufspannung misst, dann musst Du darauf achten, dass Dein Spannungsmessgerät einen möglichst hohen Innenwiderstand hat. Denn durch die Messung entsteht ein Spannungsteiler, also eine Reihenschaltung aus Innenwiderstand der Spannungsquelle und dem Innenwiderstand des Messgeräts. Das heißt, die eigentliche Leerlaufspannung teilt sich an den Widerständen in deren Verhältnis auf. In einer Reihenschaltung gilt die Regel, dass die größte Spannung am größten Widerstand abfällt. Der Nachteil einer Batterie ist, egal welche, dass sie einen hohen Innenwiderstand hat. Größer als bei einem Netzteil. Das heißt, Du wirst letztlich nie die tatsächliche Leerlaufspannung einer Batterie messen können.

Wenn Du eine möglichst stabile Spannung an einer Spannungsquelle erwartest, dann musst Du ein Netzteil für die Stromversorgung verwenden. Wichtig, ein richtiges Netzteil. Kein Ladegerät, das als Netzteil bezeichnet wird. Bei typischen Stecker-Netzteilen ist es oft so, dass im Leerlauf eine deutlich höhere Spannung anliegt. Erst bei Belastung regelt sich die Spannung auf die Nennspannung herunter und bleibt dann weitestgehend stabil.

# Lust auf eine Runde Fingerverbrennen? (4)



Wir waren mit einem Widerstand von 1 kOhm vergleichsweise konservativ. Wir wollen nicht gleich am Anfang kaputte Bauteile und verbrannte Finger produzieren. Aber, wenn jemand Lust darauf hat, kann er das gerne mal ausprobieren. Keine Sorge, da Du vorgewarnt bist, sollten Deine Sinne geschärft sein.

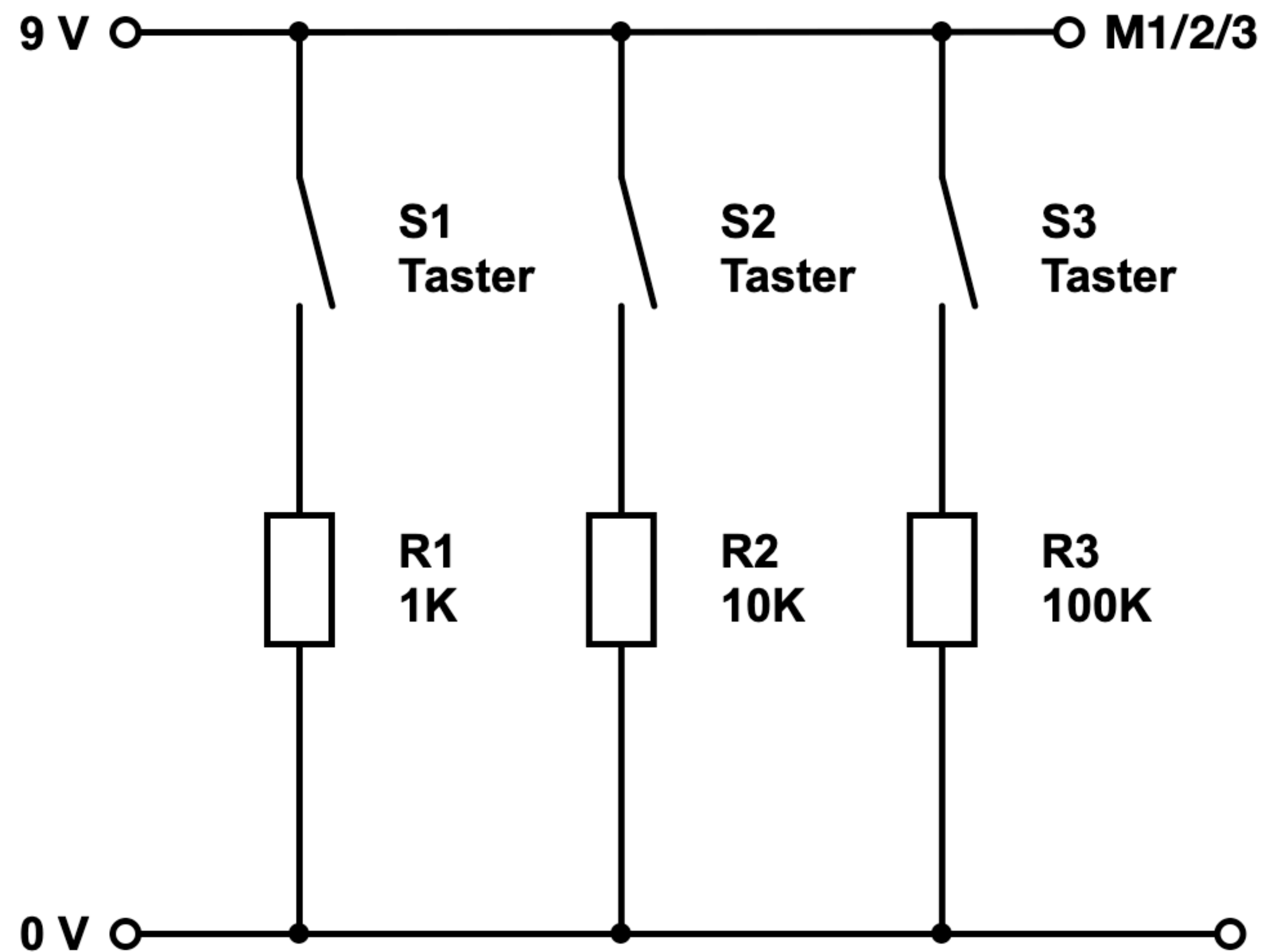
Ersetze den Widerstand von 1 kOhm in der Schaltung durch 220 Ohm. Warte ein wenig ab und befühle mit einem Finger den Widerstand. Aber bitte nicht die ganze Zeit den Finger draufhalten.

Sofern die Batterie (mit 9 Volt) noch genug geladen ist, wird der Widerstand nach kurzer Zeit warm werden. Das liegt daran, weil das Verhältnis von Spannung und Strom für den Widerstand zu groß ist. Der wird warm bis heiß und wird irgendwann verbrennen. Er wird dabei seine Farbe verändern. Das muss aber nicht sein. Trenne die Stromversorgungsleitungen auf, wenn der Widerstand heiß wird.

1 x Taster

1 x Widerstand, 220 Ohm (Rot-Rot-Schwarz-Schwarz)

# Belastete Spannungsquelle (1)



Eine belastete Spannungsquelle ist mit einem geschlossenen Stromkreis beschaltet. Das heißt, da fließt ein Strom, der von der Spannungsquelle geliefert wird. Doch wie genau wirken sich unterschiedliche Belastungen bzw. Ströme auf eine Spannungsquelle aus? Im Optimalfall ändert sich die Spannung einer Spannungsquelle nicht. Aber ist das in der Realität wirklich so?

In der folgenden Messung wollen wir herauszufinden, wie sich die Klemmenspannung bei unterschiedlichen Belastungen verhält.

Die unterschiedlichen Belastungen realisieren wir mit unterschiedlichen Widerständen. Dabei verhalten sich die Widerstände umgekehrt wie die Ströme. Ein kleiner Widerstand führt zu einem großen Strom (große Belastung) und ein großer Widerstand führt zu einem kleinen Strom (kleine Belastung).

3 x Taster

1 x 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

1 x 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)

1 x 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)



# Messungen: Belastete Spannungsquelle (2)

## Messung

Messung	M1 (S1)	M2 (S2)	M3 (S3)
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1			

Was messen wir? Wir messen die Klemmenspannung direkt an der Spannungsquelle (unter Belastung). Die Belastungen realisieren wir mit unterschiedlichen Widerständen.

Welches Messergebnis erwarten wir? Wir erwarten an jedem Messpunkt eine kleinere Spannung als die Leerlaufspannung. Vermutlich wird mit größerer Belastung (kleinerer Widerstand und damit größerer Strom) die Spannung kleiner sein.

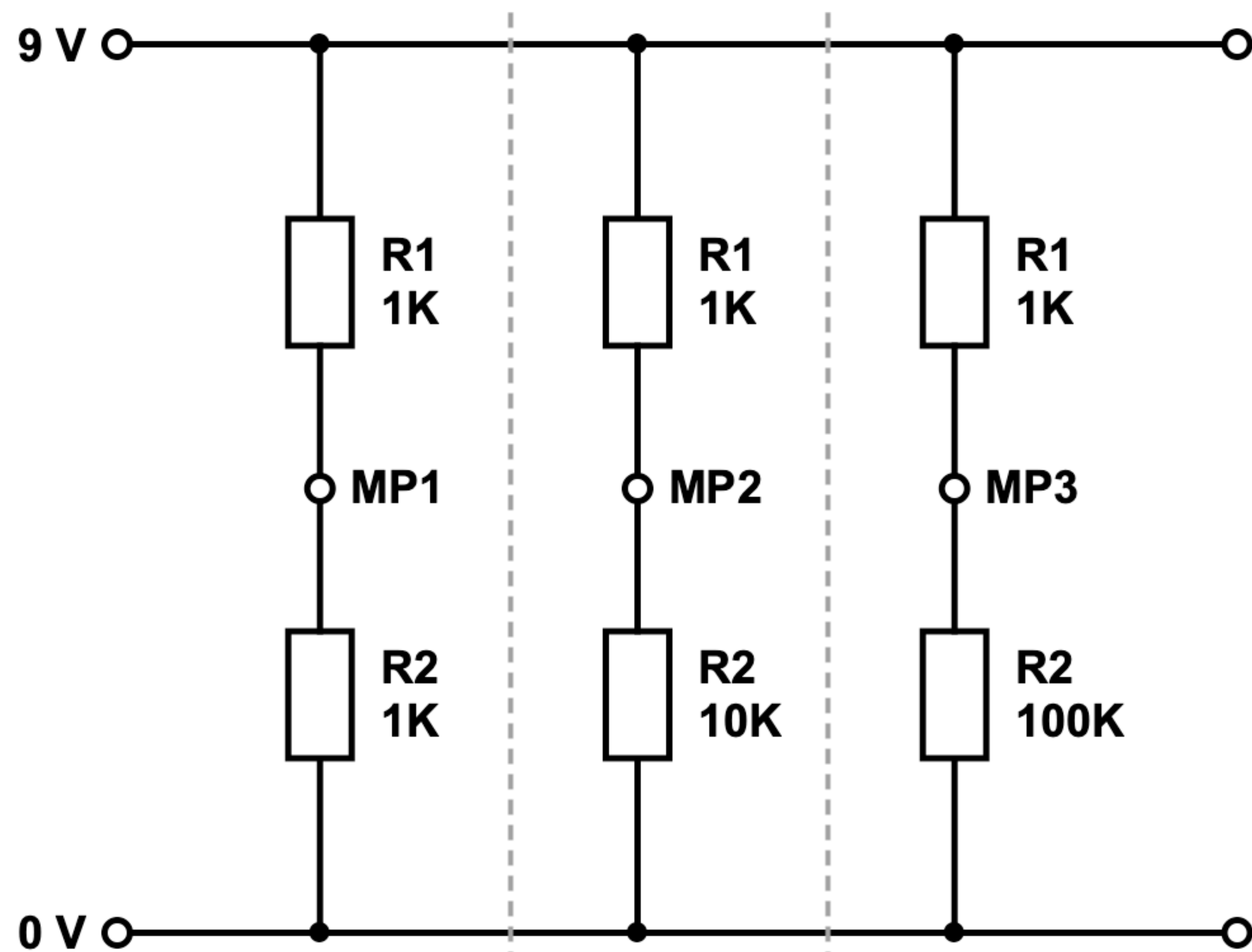
## Lösung zur Messung

Messung	M1 (S1)	M2 (S2)	M3 (S3)
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1	8,84 V	8,87 V	8,88 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Leerlaufspannung (9 Volt): 8,92 Volt

Tatsächlich lässt sich feststellen, dass je größer die Belastung, das bedeutet kleinerer Widerstand, desto kleiner wird die Klemmenspannung. Der Unterschied mag nur gering sein, aber er ist messbar.

# Reihenschaltung mit unterschiedlichen Widerständen (1)



- 4 x 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 1 x 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)

Bei den folgenden Messungen wird jeweils mit einer Reihenschaltung von zwei Widerständen gearbeitet. In einer Reihenschaltung sind zwei oder auch mehr Widerstände hintereinander geschaltet. Manchmal nennt man die Reihenschaltung auch Serienschaltung. Zusammen bilden die Widerstände einen Stromkreis. In der Reihenschaltung unterscheidet man zwischen der Spannung der Spannungsquelle und den Spannungsabfällen bzw. Teilspannungen an den Widerständen. Uns interessiert das Verhalten der Spannungen an den Widerständen.

Um die Vorgänge von Spannung und Widerstand in einer Reihenschaltung zu verdeutlichen, arbeiten wir mit jeweils 3 Reihenschaltungen und vergleichen die Messergebnisse miteinander.

Eine Regel der Reihenschaltung von Widerständen besagt, dass sich die Gesamtspannung an den Widerständen in der Reihenschaltung aufteilt. Oder anders ausgedrückt, die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung. Mit den folgenden Messungen wollen wir feststellen, ob das stimmt.

# Messungen: Reihenschaltung mit unterschiedlichen Widerständen (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1			

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung, Spannungsabfall) am Widerstand R2. Wir messen also Spannungen an unterschiedlichen Widerständen. Auf diese Weise ermitteln wir, wie sie sich verhalten.

Welches Messergebnis erwarten wir? In einer Reihenschaltung sind die Teilspannungen kleiner als die Gesamtspannung und größer als 0 Volt. Genauer können wir das noch nicht sagen.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1	4,44 V	8,08 V	8,82 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,88 V
- Messung an MP1: Die Spannung an R2 entspricht ziemlich genau der halben Gesamtspannung
- Messung an MP2: Die Spannung an R2 ist deutlich größer.
- Messung an MP3: Die Spannung an R2 entspricht fast der Gesamtspannung. Der kleinere Widerstand R1 hat kaum noch einen Einfluss auf die Spannungsverteilung.

# Messungen: Reihenschaltung mit unterschiedlichen Widerständen (3)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Spannung an R1			

Der ursprüngliche Gedanke ist, festzustellen, ob die Spannungen an den Teilwiderständen in Summe tatsächlich der Gesamtspannung entspricht. Dazu müssen wir noch die Spannung am zweiten Widerstand der Reihenschaltungen ermitteln.

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung, Spannungsabfall) am Widerstand R2.

Welches Messergebnis erwarten wir? Die Teilspannungen sind kleiner als die Gesamtspannung und größer als 0 Volt.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1	4,43 V	0,76 V	0,00 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,88 V
- Messung an MP1: Die Spannung an R2 entspricht ungefähr der halben Gesamtspannung.
- Messung an MP2: Die Spannung an R2 ist sehr klein.
- Messung an MP3: Die Spannung an R2 beträgt 0,00 Volt.

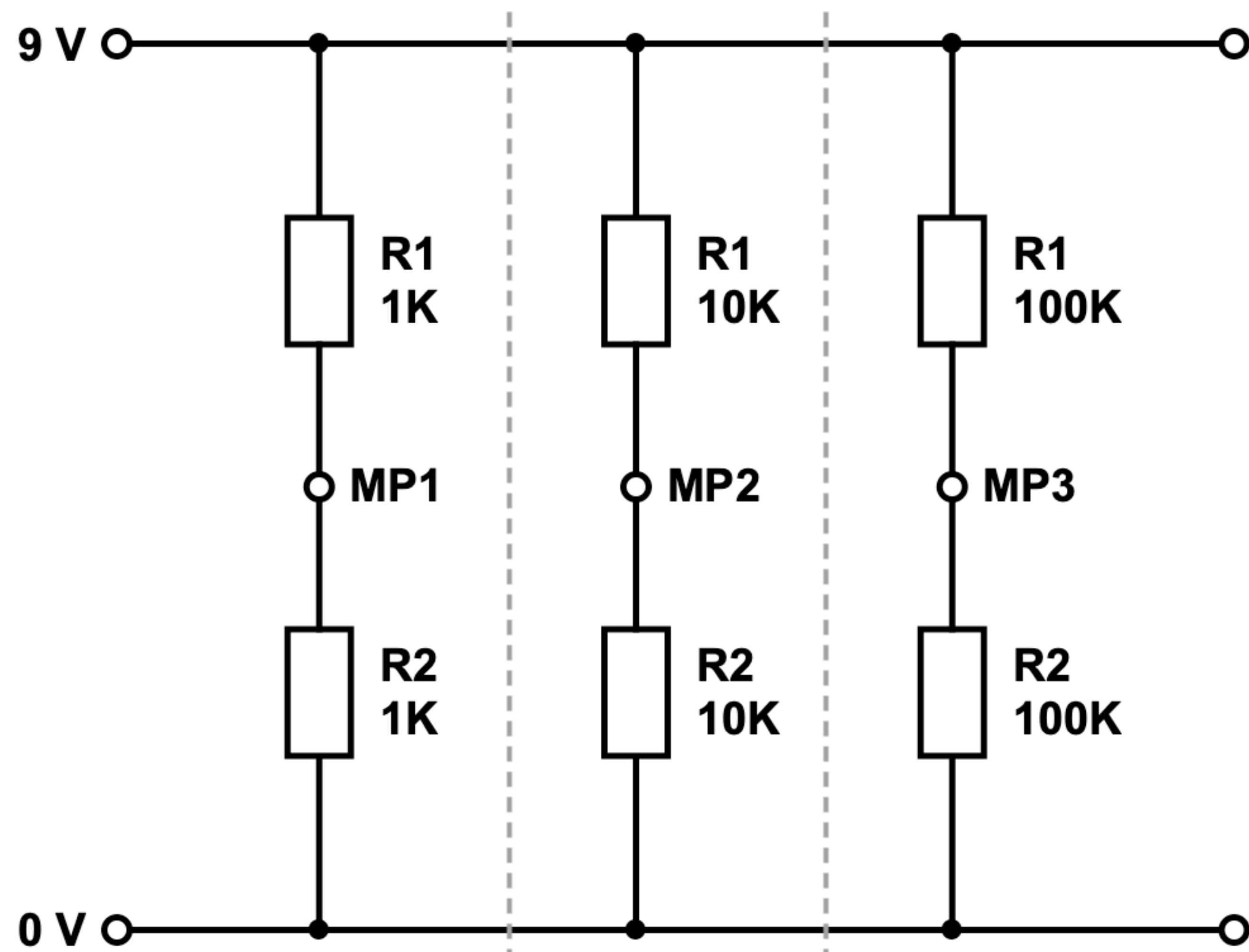
# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (4)

Addiert man jeweils die Teilspannung an den Messpunkten aus Messung 1 und 2 kommt man rechnerisch ungefähr auf die Gesamtspannung.

**Warum beträgt die Spannung bei der 2. Messung an Messpunkt 3 nur 0,00 Volt?**

Das ist ein typisches Beispiel, warum es sinnvoll ist, ein Messgerät zu verwenden, das auch die dritte Stelle nach dem Komma messen bzw. anzeigen kann. Also, „0,00“ heißt nicht „Null“, sondern, dass das Messgerät an der Stelle nicht genau genug ist, um etwas darzustellen.

# Reihenschaltung mit gleichen Widerständen (1)



2 x 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

2 x 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)

2 x 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)

In einer Reihenschaltung sind zwei oder auch mehr Widerstände hintereinander geschaltet. Manchmal nennt man die Reihenschaltung auch Serienschaltung. Zusammen bilden die Widerstände einen Stromkreis, wenn Sie mit einer Spannungsquelle verbunden werden.

In einer Reihenschaltung unterscheidet man zwischen der Spannung an der Spannungsquelle und den Spannungsabfällen bzw. Teilspannungen an den Widerständen.

Uns interessiert das Verhalten der Teilspannungen an den Widerständen in einer Reihenschaltung, wenn beide Widerstände den gleichen Wert haben.

Um die Vorgänge von Spannung und Widerstand in einer Reihenschaltung zu verdeutlichen, arbeiten wir mit jeweils 3 unterschiedlichen Reihenschaltungen und vergleichen die Messergebnisse miteinander.

Eine Regel der Reihenschaltung von Widerständen besagt, dass sich die Gesamtspannung an zwei gleichen Widerständen in der Reihenschaltung zu gleichen Teilen aufteilt. Mit den folgenden Messungen wollen wir feststellen, ob das stimmt.

# Messungen: Reihenschaltung mit gleichen Widerständen (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1			

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung, Spannungsabfall) am Widerstand R2.

Welches Messergebnis erwarten wir? Bei gleichen Widerständen erwarten wir die Hälfte der Gesamtspannung. Dazu müssen wir auch feststellen, wie hoch die Gesamtspannung ist. Nur dann können wir feststellen, ob die gemessenen Teilspannungen korrekt sind.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1	4,44 V	4,24 V	3,16 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,88 V

Ergänzung: Was erwarten wir? Wir erwarten an allen drei Messpunkten eine Spannung von ungefähr 4,44 Volt, was rechnerisch der Hälfte der gemessenen Gesamtspannung entspricht.

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Wenn wir die Messergebnisse an allen drei Messpunkten mit der zu erwartenden halben Gesamtspannung von 4,44 Volt vergleichen, dann stellen wir fest, dass das am MP1 ungefähr stimmt, am MP2 vielleicht gerade so und am MP3 gar nicht. Woran könnte das liegen?

1. Der Messende ist zu doof, „zwei gleiche Widerstände“ auszuwählen und in Reihe zu schalten. Nein, so doof ist er nicht.
2. Vielleicht liegt es an der Toleranz der Widerstände, was ein ungünstiges Teilungsverhältnis ergibt? Also flink die beiden Widerstände am MP3 getauscht, und trotzdem ist der Messwert der gleiche. Die Widerstände sind also in Ordnung.

## Was ist hier falsch gelaufen?

Bei JEDER Messung muss eines klar sein, dass das Messgerät in einem geschlossenen Stromkreis, immer auch Teil des Stromkreises wird und damit Einfluss auf die elektrischen Größen hat. Das heißt, das Messergebnis ist faktisch immer falsch. Die Frage ist, wie groß ist der Messfehler bzw. die Abweichung vom tatsächlichen Wert.

Klären wir das auf: Hier handelt es sich um eine Spannungsmessung an einem Widerstand. Welchen Einfluss hat nun das Spannungsmessgerät auf diesen Widerstand, den hindurchfließenden Strom und die daran abfallende Spannung?

Wie jeder elektrische Verbraucher hat ein Spannungsmessgerät oder Voltmeter einen Innenwiderstand. Bei einer Spannungsmessung an einem Widerstand schalten wir den Innenwiderstand des Messgeräts parallel zu dem Widerstand an dem wir die Spannung messen. Durch beide Widerstände fließt ein Strom. Und dieser Strom kann das Spannungsverhalten beeinflussen. Um den Einfluss so gering wie möglich zu halten, muss der Strom durch das Messgerät begrenzt werden. Dazu sollte ein Spannungsmesser einen möglichst hohen Innenwiderstand haben, damit nur ein ganz kleiner Strom durch das Messgerät fließt. Idealerweise sollte der Innenwiderstand unendlich groß sein, damit kein Strom durch das Messgerät fließen kann. Aber die Realität sieht anders aus. Der Innenwiderstand ist nie unendlich groß, sondern liegt zwischen 100 kOhm und 1 MOhm.



# Messungen: Reihenschaltung mit unterschiedlichen Widerständen (4)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP4
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1			

Wir messen ein zweites Mal mit einem anderen Messgerät (wenn verfügbar).

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung, Spannungsabfall) am Widerstand R2.

Welches Messergebnis erwarten wir? Bei gleichen Widerständen erwarten wir die Hälfte der Gesamtspannung. Damit wir die gemessenen Teilspannung richtig einordnen können, muss die Gesamtspannung auch gemessen werden.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP4
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an R1	4,34 V	4,34 V	4,31 V

- Messung mit Digitalmultimeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,68 V

Ergänzung: Was erwarten wir? Wir erwarten an allen drei Messpunkten eine Spannung von ungefähr 4,34 Volt, was der Hälfte der Gesamtspannung entspricht.

Puh, Glück gehabt. Tatsächlich misst das einfache Digitalmultimeter die Teilspannung mit 4,34 Volt genauer. Aber auch bei hohen Widerständen hat dieses Messgerät ein Problem. Wenn auch nicht ganz so schlimm. Generell führt das Messen einer Spannung in Stromkreisen mit hohen Widerständen immer zu falschen Ergebnissen.

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (5)

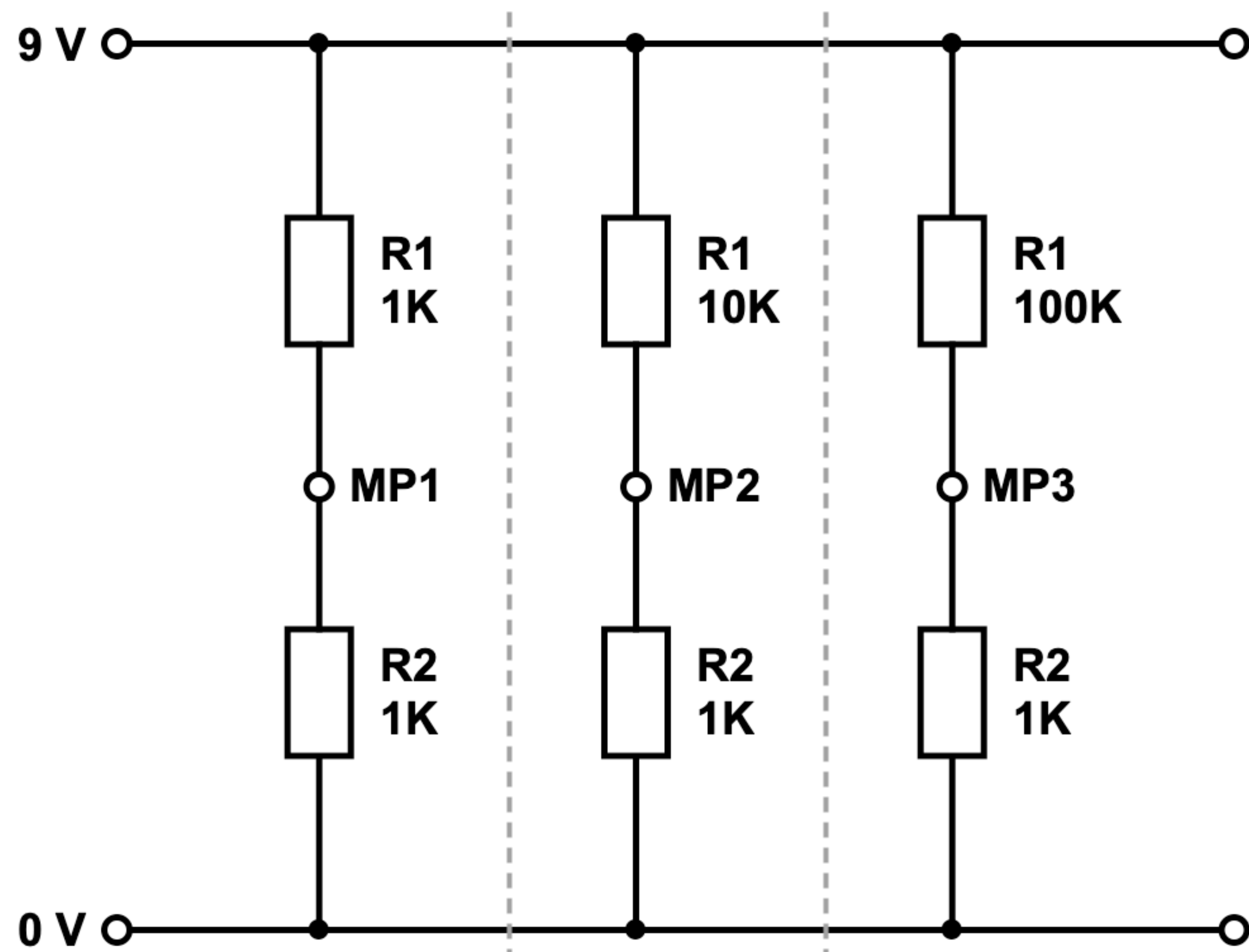
Wenn die Berechnung der Teilspannungen richtiger sind, als die Messungen, hätten wir uns diese Messungen nicht einfach schenken können? Nein, denn solche Messungen sind extrem wichtig. Wir können hieraus folgende Erkenntnisse ableiten:

1. Das Messen von Spannungen in einem Stromkreis mit hochohmigen Widerständen kann zu falschen Messergebnissen führen.
2. Das Berechnen elektrischer Größen kann zu einem Ergebnis führen, das näher am korrekten Wert liegt.
3. Man kann mit dieser Messung die Qualität eines Messgeräts bei Messungen an hochohmigen Widerständen ermitteln und vergleichen.

Welche Erkenntnis kannst Du aus dieser Messung gewinnen? Betrachte Deine Messergebnisse immer kritisch. Sie sind faktisch immer falsch. Manchmal ist das Messergebnis unbrauchbar. Und daran ist natürlich auch das Messgerät Schuld. Aber, Du als Messender musst Dir immer im Klaren darüber sein, was das Messgerät mit den elektrischen Größen macht. Der Einfluss geht sogar soweit, dass manche Messungen unsinnig sind, weil das Messergebnis durch die Messung nicht nur falsch, sondern auch unbrauchbar wird. Deshalb ist es wichtig, dass Du vor der Messung so ungefähr eine Vorstellung davon hast, welches Messergebnis Du erwarten kannst.

Was bedeutet das für die Messungen oben? Das Messen der Teilspannungen an zwei gleichen Widerständen ist meist völliger Unsinn. Hier gilt die Regel, dass sich die Gesamtspannung zu gleichen Teilen an gleichen Widerständen aufteilt. Diese Annahme führt zum Ergebnis, dass die Spannungsabfälle an den gleichen Widerständen ungefähr die Hälfte der Gesamtspannung beträgt. Diese „Berechnung“ ist in so einem Fall näher an der Realität, als das Messen mit einem Messgerät. Wichtig ist dabei nur, dass Du die Gesamtspannung richtig gemessen hast.

# Indirekte Strommessung an einem Widerstand (1)



- 4 x 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 1 x 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)

Einen Strom zu messen bedeutet in der Regel, dass der Stromkreis aufgetrennt werden muss, um das Messgerät in Reihe zu den anderen Bauteilen einzufügen. Das will man nicht immer. Und manchmal geht das auch nicht. Beispielsweise bei einer fertigen Platine, die man beschädigen würde, wenn man hier eine Leiterbahn auftrennt. Und hinterher muss man das irgendwie wieder flicken. Das ist einfach nicht praktikabel.

Deshalb führen wir hier die Messung einer Spannung an einem bekannten Widerstand durch und berechnen anschließend den durchfließenden Strom. Dieses Vorgehen entspricht einer indirekten Strommessung. Auf diese Weise muss eine Schaltung nicht kaputt gemacht werden.

Bei den folgenden Messungen wird jeweils mit einer Reihenschaltung von 2 Widerständen gearbeitet. Eine Regel in einer Reihenschaltung von Widerständen besagt, dass durch alle Widerstände der gleiche Strom fließt. Mit den folgenden Messungen wollen wir feststellen, ob das stimmt.

# Messungen: Indirekte Strommessung an einem Widerstand (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Spannung an R2			
Strom durch R2			

Was messen wir? Wir wollen hier indirekt den Strom messen. Das heißt, wir messen zuerst die Spannung an einem bekannten Widerstand. In diesem Fall ist das die Spannung am Widerstand R2. Anschließend teilen wir die gemessene Spannung durch den Wert von Widerstand R2. Das Ergebnis ist der Strom durch den Widerstand. Der selbe Strom fließt auch durch den Widerstand R1.

Welches Messergebnis erwarten wir? Die Teilspannungen an den beiden Widerständen verteilen sich im Verhältnis der Widerstandswerte. Am größeren Widerstand fällt demnach die größere Spannung ab. Am kleineren Widerstand fällt demnach eine kleinere Spannung ab.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Spannung an R2	4,40 V	0,72 V	0,00 V
Strom durch R2	4,40 mA	0,72 mA	0,00 mA
Strom berechnet	4,42 mA	0,804 mA	0,888 mA

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,84 V

Beim „Strom durch R2“ wurde die Spannung über den Widerstand mit 1 kOhm gemessen und in der Einheit Milliampere (mA) interpretiert.

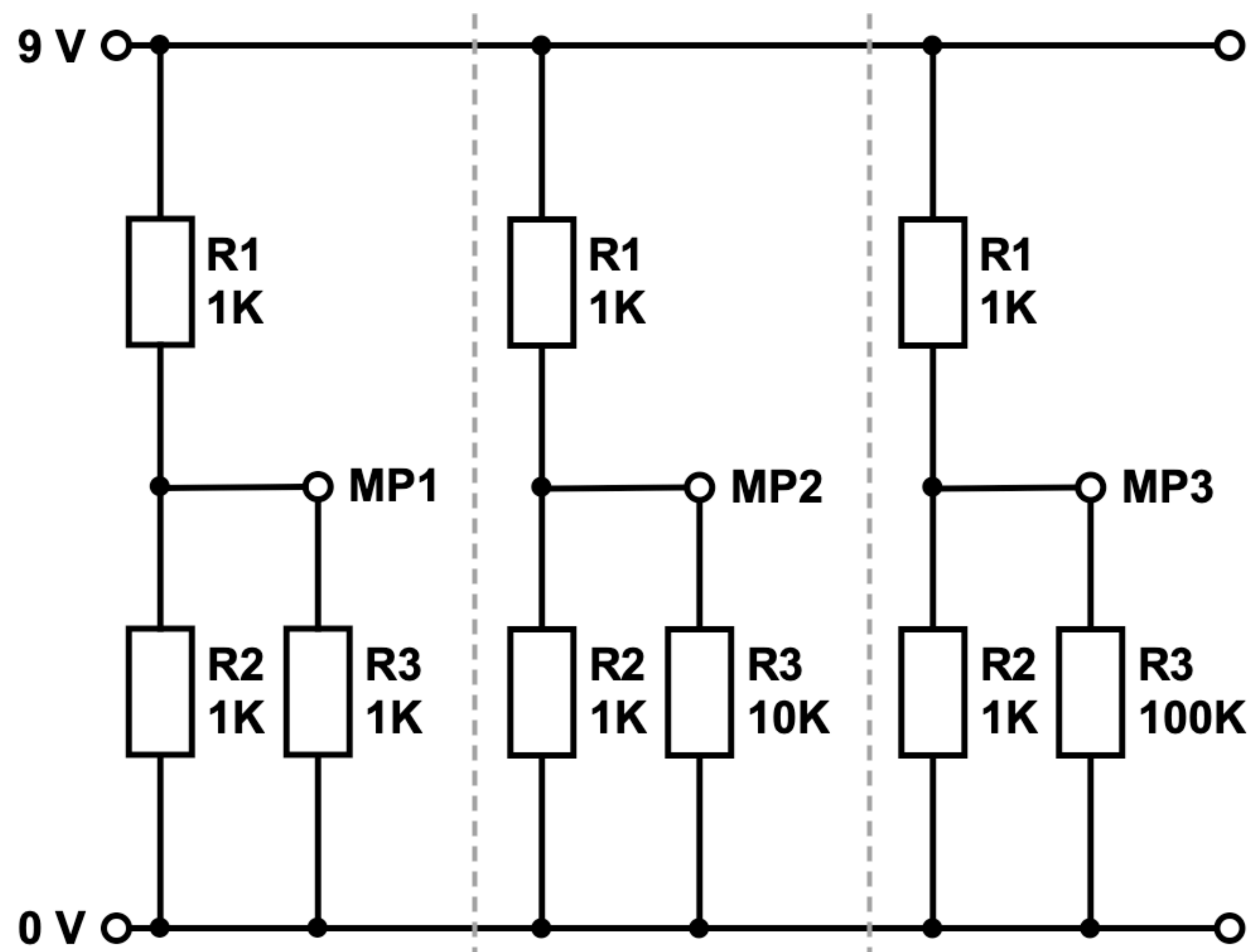
# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

- Der berechnete Strom ergibt sich aus der Gesamtspannung (gemessen) und der Summe aus Widerstand  $R_1$  und  $R_2$ .
- Wie zu erwarten sind die Spannungen an den Widerständen (MP1, MP2 und MP3) unterschiedlich, obwohl die Widerstände ( $R_2$ ) gleich sind. Das liegt an der unterschiedlichen Spannungsverteilung an den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$ .
- Die Berechnung der Ströme durch  $R_1+R_2$  ergeben vergleichbare Werte. Vermutlich ist das berechnete Ergebnis genauer als die Messung, weil das Messgerät Einfluss auf den Stromkreis hat.

Zur Bewertung der Messergebnisse des indirekt gemessenen Stroms und dem berechneten Strom sei noch folgendes gesagt: Im Bereich der Hobby-Elektronik muss ein Strom schon mindestens 1 mA bzw. 0,001 A betragen, dass man von einem signifikanten Stromfluss sprechen kann. Darunter, siehe MP2 und MP3, lohnt es sich nicht zu versuchen einen exakteren Wert zu messen. Dafür braucht man schon sehr hochwertige und damit teure Messgeräte. Das funktioniert also mit üblichen Digitalmultimetern nicht wirklich.

Tipp für die indirekte Strommessung: Am einfachsten ist die indirekte Strommessung an einem Widerstand mit 1 kOhm. Hier muss man nur den angezeigten Wert der Spannung in Volt als Strom mit der Einheit in Milliampere (mA) interpretieren. Natürlich kann man auch an Widerständen mit krummen Werten den Strom indirekt messen. Aber dann passieren auch leichter Umrechnungsfehler.

# Unbelasteter und belasteter Spannungsteiler (1)



9 x 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

1 x 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)

1 x 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)

Ein Spannungsteiler besteht typischerweise aus zwei Widerständen, die in Reihe geschaltet sind. Eine Reihenschaltung entspricht einem unbelasteten Spannungsteiler. Die Strom- und Spannungsverteilung im unbelasteten Spannungsteiler ist identisch mit der Reihenschaltung. Hier gelten dieselben Regeln für das Spannungs- und Stromverhalten und auch die Formeln zur Berechnung.

Um die Vorgänge von Spannung und Widerstand in parallel geschaltete Widerstände zu verdeutlichen, arbeiten wir mit jeweils 3 unterschiedlichen Schaltungsteilen und vergleichen die Messergebnisse miteinander.

Bei den folgenden Messung interessiert uns aber nur, wie sich die Spannung verhält, wenn an einem Widerstand (R2) ein weiterer Widerstand (R3) parallel geschaltet wird.

Eine Regel der Parallelschaltung von Widerständen besagt, dass der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Teilwiderstand ist.

Mit den folgenden Messungen wollen wir feststellen, wie sich die Widerstandsänderung auf die Spannungen im (belasteten) Spannungsteiler auswirken. Zum Vergleich messen wir auch die Spannung im unbelasteten Spannungsteiler.

# Messungen: Unbelasteter und belasteter Spannungsteiler (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Widerstand R3	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm	-
Spannung an R2+R3				

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung bzw. Spannungsabfall) an den Widerständen R2 und R3.

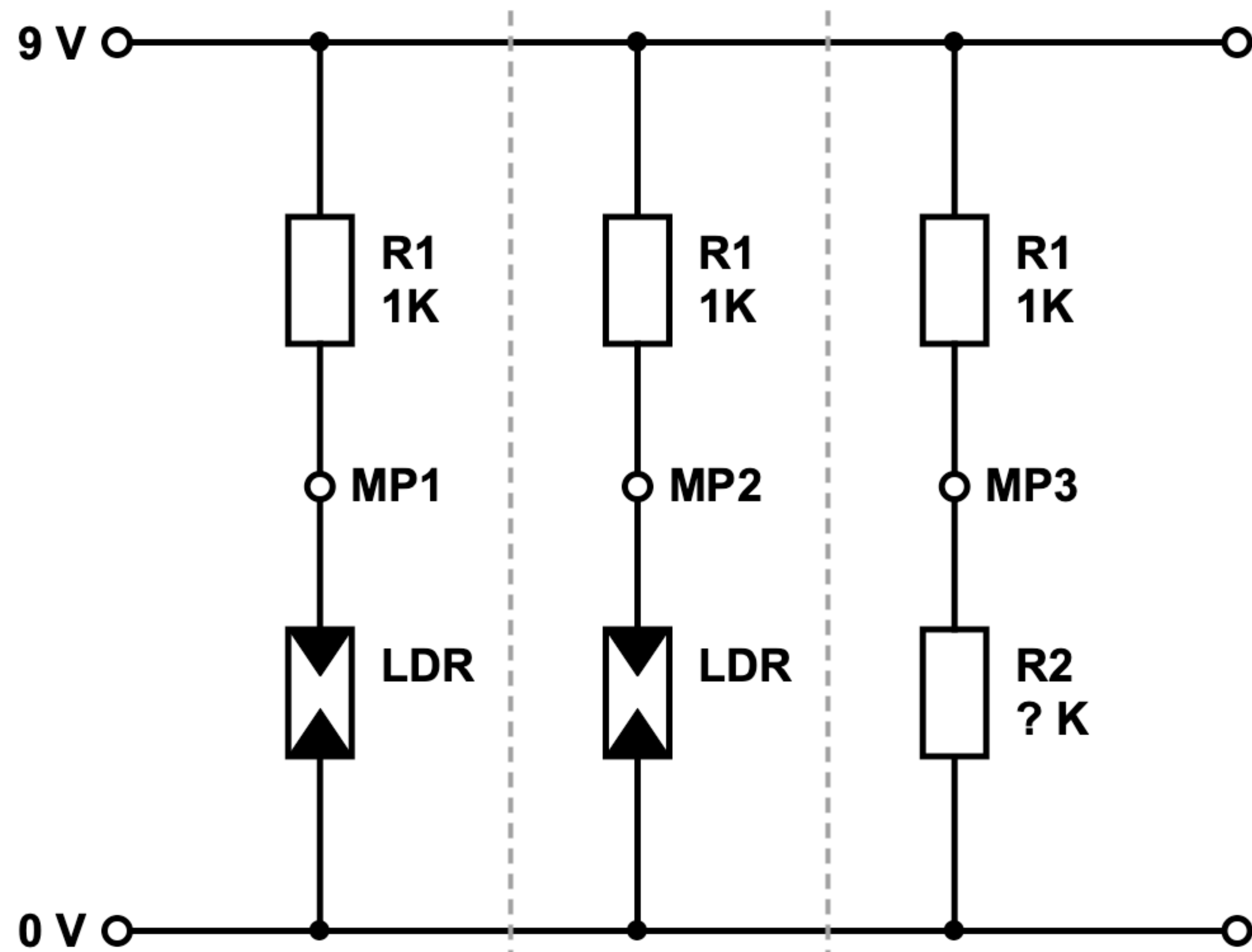
Welches Messergebnis erwarten wir? Wenn sich die Spannungen wie die Widerstände verhalten, dann sollte die Spannung an R2+R3 kleiner als die halbe Gesamtspannung sein.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Widerstand R2	1 kOhm	1 kOhm	1 kOhm
Spannung an R2	4,40 V	0,72 V	0,00 V
Strom durch R2	4,40 mA	0,72 mA	0,00 mA
Strom berechnet	4,42 mA	0,804 mA	0,888 mA

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,84 Volt
- Ein parallel geschalteter Widerstand führt dazu, dass sich die Spannung reduziert. Das liegt daran, dass sich der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung aus Widerstand R2 und R3 reduziert hat.
- Dieser Effekt scheint bei einem größeren Parallelwiderstand (R3) geringer zu werden.
- Je größer die Belastung durch den Parallelwiderstand, das heißt je kleiner der Parallelwiderstand, desto kleiner die abfallende Spannung.

# Spannungsteiler mit Fotowiderstand (1)



Spannungen kann man nicht nur an Festwiderständen messen, sondern auch an Fotowiderständen. Fotowiderstände sind lichtabhängig. Sie verändern ihren Widerstand mit der Stärke bzw. Intensität des einfallenden Lichts. Der sich verändernde Widerstand produziert natürlich einen sich verändernden Spannungsabfall, wenn ein Festwiderstand in Reihe geschaltet ist.

Wir wollen hier die Spannung am Fotowiderstand messen und feststellen, wie sich der Spannungsabfall bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen verhält. Wir beschäftigen uns hier also mit dem Zusammenhang zwischen Licht, Widerstand und Spannung.

Warum ist für einen Widerstand kein Wert angegeben? Ganz einfach, statt eines dritten LDRs sollst Du Dir einen Widerstandswert überlegen und aus den vorhandenen auswählen, der im Grundzustand Deiner Schaltung einen Spannungsabfall erzeugt, der ungefähr dem der Fotowiderstände entspricht. Welcher Widerstand das ist, hängt von den individuellen Lichtverhältnisse ab.

- 3 x Widerstände, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 2 x Fotowiderstand (LDR)
- 1 x Widerstand, ??? kOhm



# Messungen: Spannungsteiler mit Fotowiderstand (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Spannung am LDR/R?			

Was messen wir? Wir messen jeweils die Spannung (Teilspannung bzw. Spannungsabfall) am LDR bzw. bei MP3 an einem beliebigen Festwiderstand.

Welches Messergebnis erwarten wir? Das ist jetzt wirklich schwierig zu beurteilen, weil das sehr stark von den Lichtverhältnissen abhängig ist. Grob können wir erwarten, dass die Spannung bei mehr Licht am Fotowiderstand kleiner sein sollte.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Spannung am LDR/R?			

Wir verzichten hier auf die Angabe einer Lösung mit ausgefüllter Tabelle, weil die Spannung an den Fotowiderständen von den Lichtverhältnissen abhängig ist. Vermutlich wirst Du Werte zwischen 2 und 7 Volt messen.

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

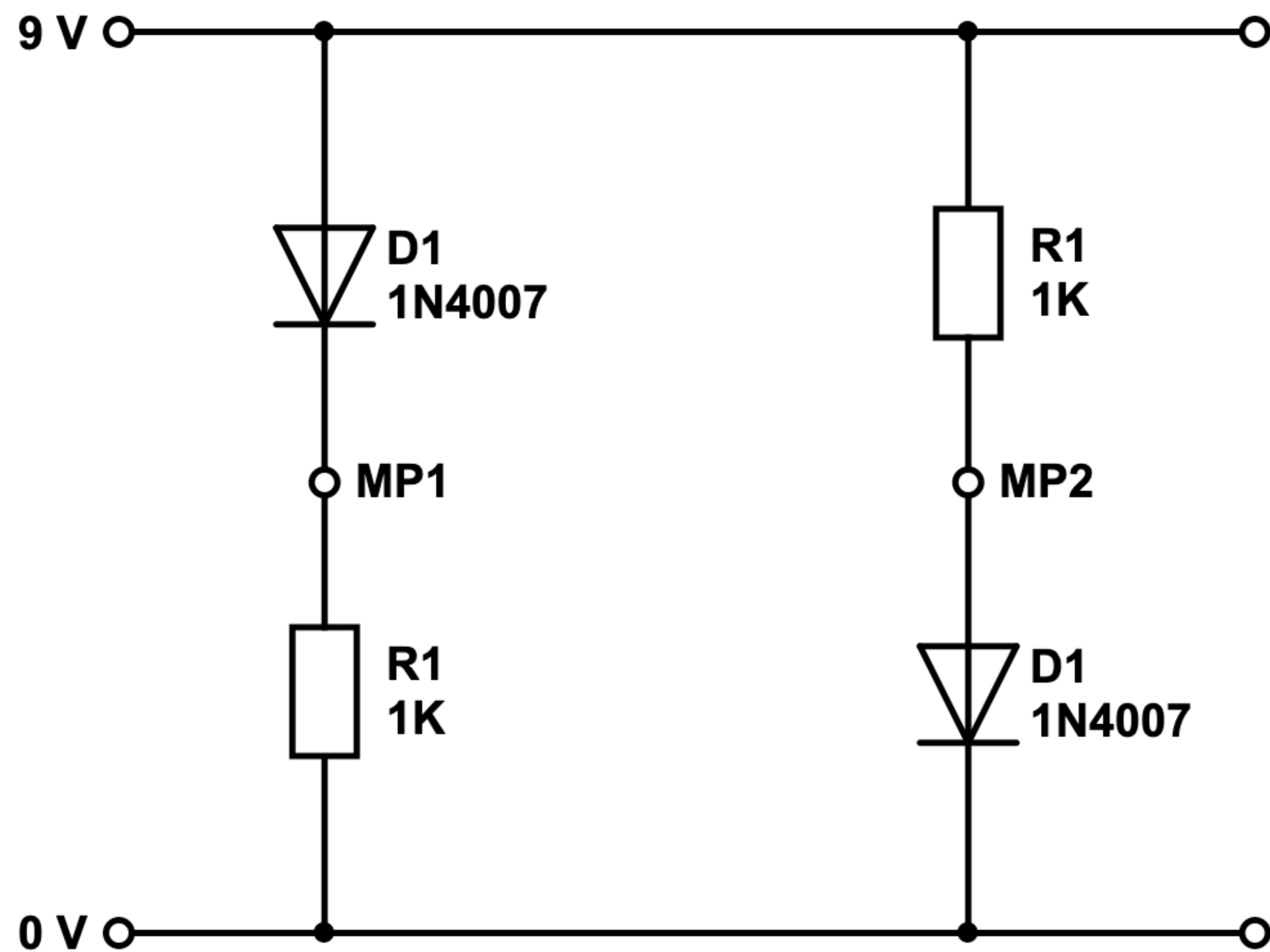
## Zum Fotowiderstand

- Grundsätzlich gilt, fällt mehr Licht auf einen Fotowiderstand leitet er besser, demnach wird sein Widerstand kleiner und es fällt eine kleinere Spannung ab.
- Umgekehrt gilt, fällt weniger Licht auf den Fotowiderstand, leitet er schlechter, demnach wird sein Widerstand größer und es fällt eine größere Spannung ab.

## Ergänzendes Experiment

Eine Idee wäre, in den Reihenschaltungen den Festwiderstand mit dem Fotowiderstand zu tauschen und die Messungen am Festwiderstand zu wiederholen. Dabei kann man den Effekt beobachten, dass sich der Spannungsabfall am Festwiderstand umgekehrt zum Fotowiderstand verhält. Das heißt, mehr Licht am Fotowiderstand erzeugt einen größeren Spannungsabfall am Festwiderstand. Weniger Licht am Fotowiderstand erzeugt einen kleineren Spannungsabfall am Festwiderstand.

# Diode in Durchlassrichtung (1)



Eine Halbleiterdiode kennt zwei Richtungen. Die Durchlassrichtung und die Sperrrichtung. Das besondere dabei ist die gefühlte „Einbahnstraßen“-Funktion, der den Strom nur in eine Richtung leitet bzw. durchlässt.

Die Frage ist, wie verhält sich die Spannung an einer Diode, wenn sie in Durchlassrichtung oder Sperrrichtung geschaltet ist. Hierzu wollen wir an einer Silizium-Diode in Durchlassrichtung die Spannung messen.

Eigentlich ist diese Messung völlig überflüssig. Denn es wird immer wieder behauptet, dass an einer Silizium-Diode in Durchlassrichtung eine Spannung von ca. 0,6 Volt anliegt. Warum sollten wir dieser Behauptung keinen Glauben schenken? Die Frage ist, wie kommt man auf diesen Wert und wie kann man ihn nachweisen. Mit der folgenden Messung wollen wir diese allgemeine Annahme einfach mal nachweisen.

2 x Silizium-Diode, 1N4007

2 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

# Messungen: Diode in Durchlassrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2
Spannung		

Was messen wir? Wir messen zuerst die Spannung an einem Widerstand und dann an der Diode.

Welches Messergebnis erwarten wir? An der Diode erwarten wir eine Spannung von ungefähr 0,6 Volt. Am Widerstand erwarten wir die Differenz zwischen der Gesamtspannung und den 0,6 Volt.

## Lösung zur Messung

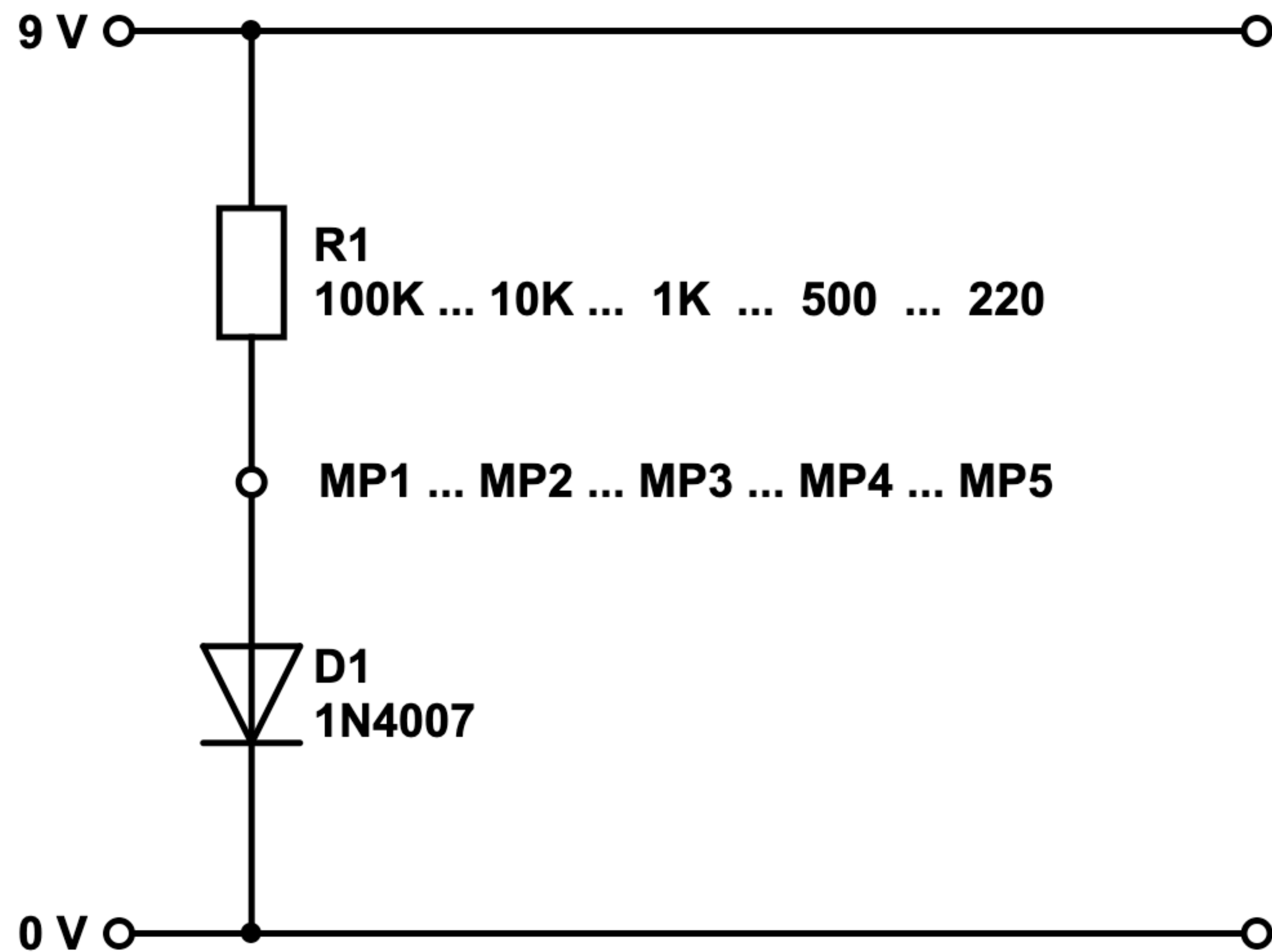
Messung an	MP1	MP2
Spannung	8,12 V	0,64 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,68 V

Es lässt sich mit Beruhigung feststellen, dass das mit den 0,6 Volt stimmt. Zumindest ungefähr. Und auch am Widerstand liegt ungefähr die Differenz der gemessenen Gesamtspannung an.

Aber, dass die Durchlassspannung einer Silizium-Diode bei 0,6 Volt liegt ist kein Gesetz. Diese Spannung ist abhängig vom Strom, der durch die Diode fließt. Mit einem Widerstand von 1 kOhm haben wir zufällig einen Widerstand gewählt, an dem sich Spannung und Strom so einstellen, dass sich an der Diode ungefähr 0,6 Volt eingestellt haben. Die Spannung an der Diode kann auch darüber oder darunter liegen.

# Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung (1)



- 1 x Widerstand, 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)
- 1 x Widerstand, 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 3 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x Widerstand, 220 Ohm (Rot-Rot-Schwarz-Schwarz)
- 5 x Silizium-Diode, 1N4007

Halbleiterbauelemente sind nicht-lineare Bauelemente. Damit ist gemeint, dass die anliegende Spannung und der fließende Strom in keinem linearen Zusammenhang stehen, wie es zum Beispiel bei einem Festwiderstand der Fall ist.

Von Kennlinie spricht man deshalb, weil das Verhältnis von Spannung und Strom an einer Diode oft als Kennlinie in einem Diagramm dargestellt wird.

Die Kennlinien einer Diode bekommt man normalerweise im dazugehörigen Datenblatt geliefert. Es gibt eigentlich keinen Grund, eine solche Kennlinie selber zu bestimmen. Das hat der Hersteller schon für uns gemacht. Doch wir wollen dem keinen Glauben schenken, sondern diese Kennlinie selber herausfinden. Dazu machen wir folgenden Messaufbau.

Wir messen an einer Diode die Spannung mit unterschiedlichen Vorwiderständen. Normalerweise würde man auch noch den Strom messen. Das ist an dieser Stelle nicht notwendig, weil wir nur wissen wollen, wie sich die Spannung an einer Silizium-Diode in Durchlassrichtung entwickelt, wenn der Strom steigt. Den Strom stellen wir mit unterschiedlichen Widerständen ein. Im Prinzip ermitteln wir so die Kennlinie einer Diode.

# Messungen: Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	100 kOhm	10 kOhm	1 kOhm	500 Ohm	220 Ohm
Spannung Diode (MVM)					
Spannung Diode (DMM)					

Was messen wir? Wir messen die Spannung an der Diode in Durchlassrichtung.

Was erwarten wir? Wir erwarten eine Spannung zwischen 0,6 und 0,7 Volt herum. Sie sollte mit jedem kleineren Widerstand nur wenig größer werden.

Hinweis zu den gewählten Widerständen: Mit den Widerständen stellen wir den Strom durch die Dioden ein. Ein großer Widerstand bedeutet, dass ein kleiner Strom fließt, den wir nicht messen, weil uns nur das Spannungsverhalten interessiert. Einen Widerstand von 500 Ohm bekommt man durch die Parallelschaltung von zwei 1-kOhm-Widerständen.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	100 kOhm	10 kOhm	1 kOhm	500 Ohm	220 Ohm
Spannung Diode (MVM)	0,52 V	0,60 V	0,72 V	0,76 V	0,80 V
Spannung Diode (DMM)	0,48 V	0,58 V	0,70 V	0,71 V	0,78 V

- Messung mit Mini-Voltmeter (MVM)
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,32 Volt
  
- Messung mit Digitalmultimeter (DMM)
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,32 Volt

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Schaut man sich die Messwerte an, dann stellt man fest, dass die Spannung gefühlt linear ansteigt. Allerdings muss man dabei berücksichtigen, dass die Widerstände bei jeder einzelnen Messung um den Faktor 10 kleiner werden. Außer bei MP4 und MP5. Da halbiert sich der Widerstand ungefähr.

Die Messung an MP4 dient als Zwischenschritt zwischen MP3 und MP5, um das Spannungsverhalten der Diode dazwischen einzufangen.

Interpretieren muss man die Messergebnisse so, dass man die Differenz zwischen den Widerständen und die Differenz der gemessenen Spannungen ins Verhältnis setzt.

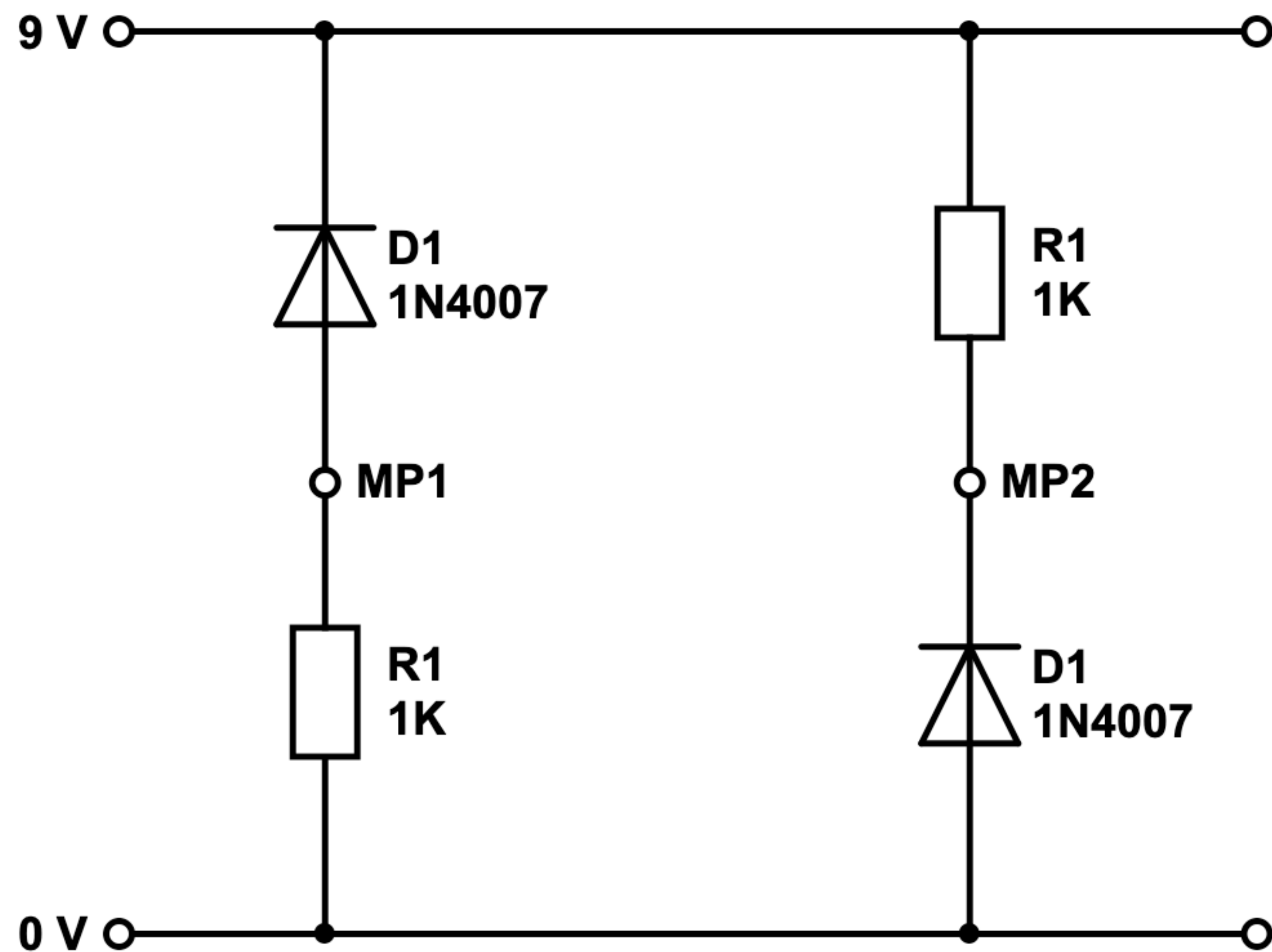
Dabei kann man folgende Beobachtung machen:

Tatsächlich ändert sich die Spannung ab 0,6 Volt nur noch wenig mit steigendem Strom. Ab 0,7 Volt gilt, dass der Strom erheblich steigen muss, damit die Spannung noch weiter steigt. Oder anders ausgedrückt, ein steigender Strom hat ab 0,7 Volt kaum noch einen Einfluss auf die Durchlassspannung. Aber, das gilt natürlich nur für Ströme im Bereich von Milliampere und kleinen Betriebsspannungen, wie in dieser Schaltung.

Nun stellt man sich die Frage nach dem fließenden Strom, den wir hier nicht gemessen haben. Hierzu sei gesagt, dass ein Blick ins Datenblatt der betreffenden Diode sinnvoller ist, als das im Detail nachzumessen. Ein Blick auf die gewählten Widerstände, mit denen der Strom eingestellt wurde, ist hier viel hilfreicher. In den typischen Grundschaltungen, bei einer Betriebsspannung von 9 Volt, verwenden wir Widerstandswerte zwischen 1 und 100 kOhm. Schaut man zu diesen Widerstandswerten in die Tabelle, dann bewegt sich die Durchlassspannung zwischen 0,6 und 0,7 Volt.

Es gilt, mit 0,6 und 0,7 Volt ist die Schwellspannung einer Silizium-Diode gemeint, ab der sie signifikant leitet. Darüberhinaus führt mehr Strom nur noch zu einer kleinen Spannungsänderung. Anders ausgedrückt, es muss an einer Silizium-Diode 0,7 Volt anliegen, damit sie voll leitend ist.

# Diode in Sperrrichtung (1)



Eine Halbleiterdiode kennt zwei Richtungen. Die Durchlassrichtung und die Sperrrichtung. Das besondere dabei ist die gefühlte „Einbahnstraßen“-Funktion, wegen der eine Diode den Strom nur in eine Richtung leitet bzw. durchlässt.

Die Frage ist, wie verhält sich die Spannung an einer Diode, wenn sie in Durchlassrichtung oder Sperrrichtung geschaltet ist. Hierzu wollen wir an einer Silizium-Diode in Sperrrichtung die Spannung messen.

Eigentlich ist diese Messung überflüssig. Denn wenn eine Diode in Sperrrichtung geschaltet ist, dann leitet sie nicht. Es fließt also kein Strom. Der Widerstand der Diode muss deshalb sehr groß sein und entsprechend fällt an der Diode eine große Spannung ab.

Mit der folgenden Messung wollen wir diese allgemeine Annahme nachweisen.

2 x Silizium-Diode, 1N4007

2 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)



# Messungen: Diode in Sperrrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2
Spannung		

Was messen wir? Wir messen zuerst die Spannung an einem Widerstand und dann an der Diode.

Welches Messergebnis erwarten wir? Die Diode ist in Sperrrichtung geschaltet. Ihr Innenwiderstand sollte nahezu unendlich sein. Im Verhältnis zum Widerstand in Reihe sollte an der Diode nahezu die volle Gesamtspannung abfallen. Am Widerstand sollte nahezu 0 Volt abfallen.

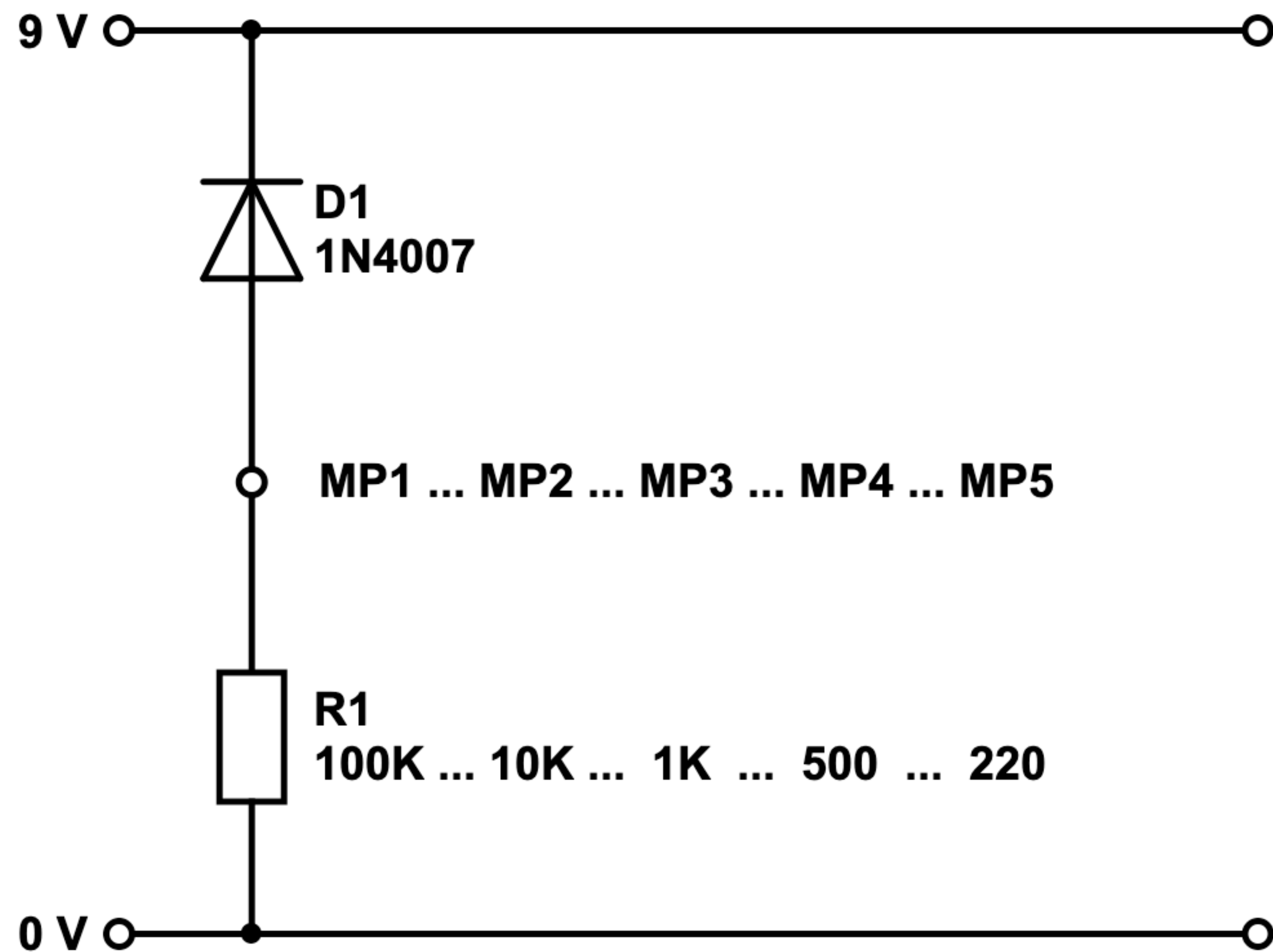
## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2
Spannung	0,00 V	8,80 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,87 Volt

Wie erwartet, fällt an der Diode fast vollständig die Gesamtspannung ab und am Widerstand 0 Volt. Somit hätten wir diese allgemeine Annahme bestätigt.

# Kennlinie einer Diode in Sperrrichtung (1)



- 1 x Widerstand, 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)
- 1 x Widerstand, 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 3 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x Widerstand, 220 Ohm (Rot-Rot-Schwarz-Schwarz)
- 5 x Silizium-Diode, 1N4007

Halbleiterbauelemente sind nicht-lineare Bauelemente. Damit ist gemeint, dass die anliegende Spannung und der fließende Strom in keinem linearen Zusammenhang stehen, wie es zum Beispiel bei einem Festwiderstand der Fall ist.

Von Kennlinie spricht man deshalb, weil das Verhältnis von Spannung und Strom an einer Diode oft als Kennlinie in einem Diagramm dargestellt wird. Darin sieht man, wie der Strom bei steigender Spannung steigt.

Die Kennlinien einer Diode bekommt man normalerweise im dazugehörigen Datenblatt geliefert. Wir wollen dem allerdings keinen Glauben schenken, sondern diese Kennlinie selber herausfinden. Dazu machen wir folgenden Messaufbau.

Wir messen an einer Diode die Spannung mit unterschiedlichen Vorwiderständen. Normalerweise würde man auch noch den Strom messen. Das ist an dieser Stelle nicht notwendig, weil wir nur wissen wollen, wie sich die Spannung an einer Silizium-Diode in Sperrrichtung entwickelt, wenn der Strom steigt. Den Strom stellen wir mit unterschiedlichen Widerständen ein. Im Prinzip ermitteln wir so die Kennlinie einer Diode.

# Messungen: Kennlinie einer Diode in Sperrrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	100 kOhm	10 kOhm	1 kOhm	500 Ohm	220 Ohm
Spannung an R1					

Was messen wir? Wir messen die Spannung am Widerstand. Die Diode ist in Sperrrichtung geschaltet.

Was erwarten wir? Wir erwarten eine Spannung, die bei 0 Volt liegt.

Einen Widerstand von 500 Ohm bekommt man durch die Parallelschaltung von zwei 1-kOhm-Widerständen.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	100 kOhm	10 kOhm	1 kOhm	500 Ohm	220 Ohm
Spannung an R1	0,00 V	0,00 V	0,00 V	0,00 V	0,00 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,88 Volt

Wie erwartet, liegt am Widerstand praktisch keine Spannung an. Das heißt, die Gesamtspannung liegt vollständig an der Diode an.

Was hätte anderes herauskommen sollen? Wenn eine Diode den Strom sperrt, dann fließt auch kein Strom durch den Widerstand und findet auch kein Spannungsabfall statt.

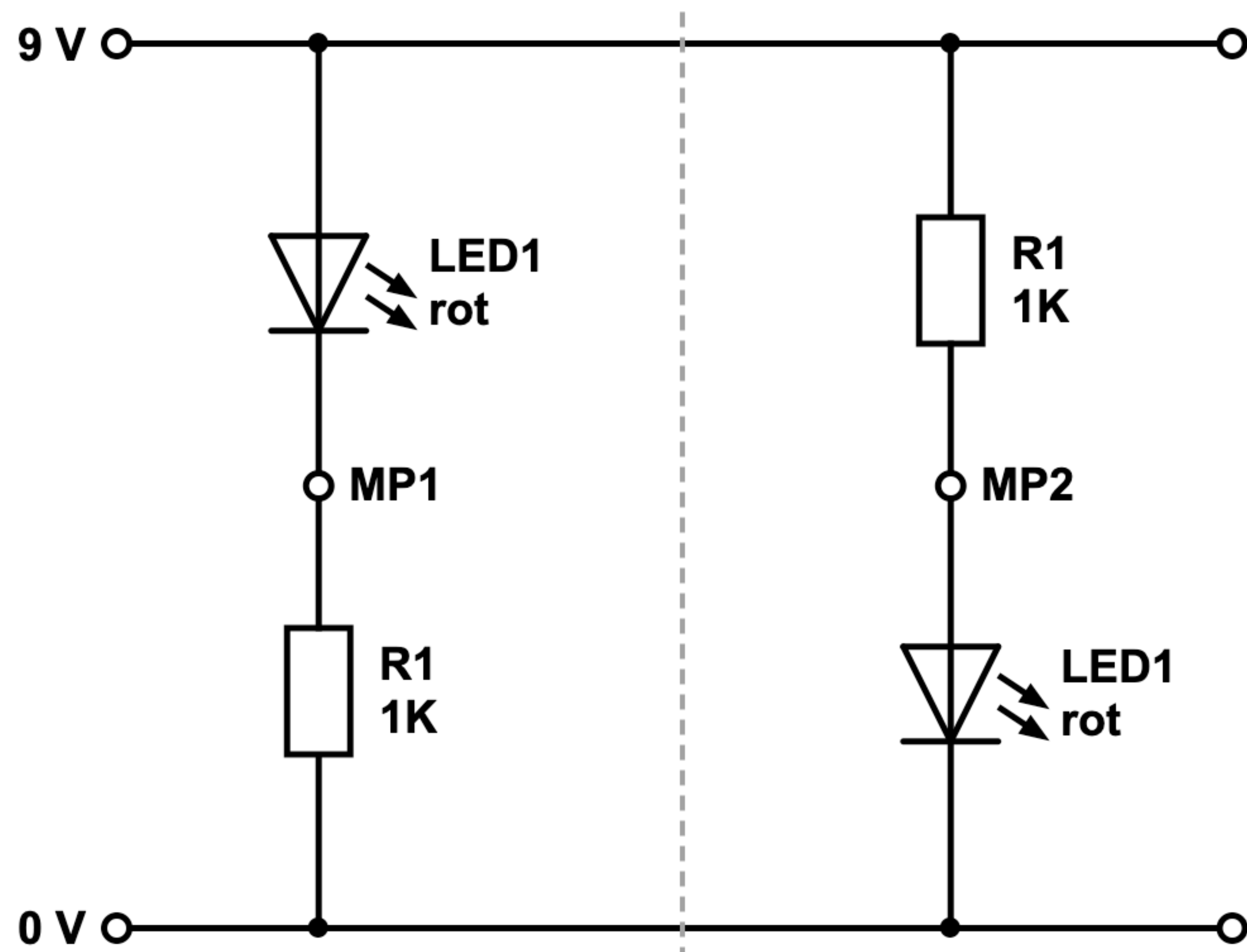
# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Warum messen wir die Spannung nicht an der Diode selber? Wenn wir 0 Volt am Widerstand erwarten, dann fällt die Gesamtspannung an der Diode ab. Das heißt, der Widerstand der Diode in Sperrrichtung ist im Verhältnis zum Widerstand in Reihe viel größer. Wenn wir jetzt die Spannung an diesem sehr großen Widerstand messen, den die Diode in Sperrrichtung darstellt, dann muss der Innenwiderstand unseres Spannungsmessgeräts viel größer sein. Es ist davon auszugehen, dass ein Strom über das Messgerät fließen wird und somit das Spannungsverhalten beeinflusst. Das wollen wir vermeiden. Wir messen also am Widerstand und nicht an der Diode.

Hinweis zu den gewählten Widerständen: Mit den Widerständen stellen wir den Strom durch die Dioden ein. Ein großer Widerstand bedeutet, dass ein kleiner Strom fließt, den wir nicht messen, weil uns nur das Spannungsverhalten interessiert.

Mit jedem kleineren Widerstand müsste der Strom größer werden. Zu beachten ist, dass die Widerstandsänderung, außer bei MP4 und MP5, erheblich ist und somit auch der Strom deutlich größer wird.

# LED mit Vorwiderstand in Durchlassrichtung (1)



Leuchtdioden müssen immer mit einem Vorwiderstand betrieben werden. Nur dadurch können bestimmte maximale Grenzwerte eingehalten werden. Der Vorwiderstand begrenzt den Strom und daran fällt ein Zuviel an Spannung ab. Sind Strom oder Spannung zu groß, dann geht die Leuchtdiode kaputt. Der Vorwiderstand verhindert das.

Einer der Grenzwerte ist die Spannung an der Leuchtdiode in Durchlassrichtung. Diesen Wert muss man wissen oder in Erfahrung bringen, um den Vorwiderstand der Leuchtdiode zu ermitteln. Wir wollen hier die Spannung an der Leuchtdiode und am Vorwiderstand messen.

Wenn Du Lust hast, dann wiederhole doch die Messung mit gelben, grünen, blauen und weißen Leuchtdioden.

2 x Leuchtdiode, rot

2 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

# Messungen: LED mit Vorwiderstand in Durchlassrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2
Spannung		

Was messen wir? An MP1 messen wir die Spannung am Vorwiderstand. An MP2 messen wir die Spannung an der Leuchtdiode. Beide Leuchtdioden sind in Durchlassrichtung geschaltet und leuchten.

Was erwarten wir? Die Spannung an der Leuchtdiode entspricht der typischen Durchlassspannung der verwendeten Leuchtdiode. Am Vorwiderstand fällt die Differenz zur gemessenen Betriebsspannung ab. Die Summe aus den Spannungen an Leuchtdiode und Vorwiderstand sollte der gemessenen Gesamtspannung entsprechen.

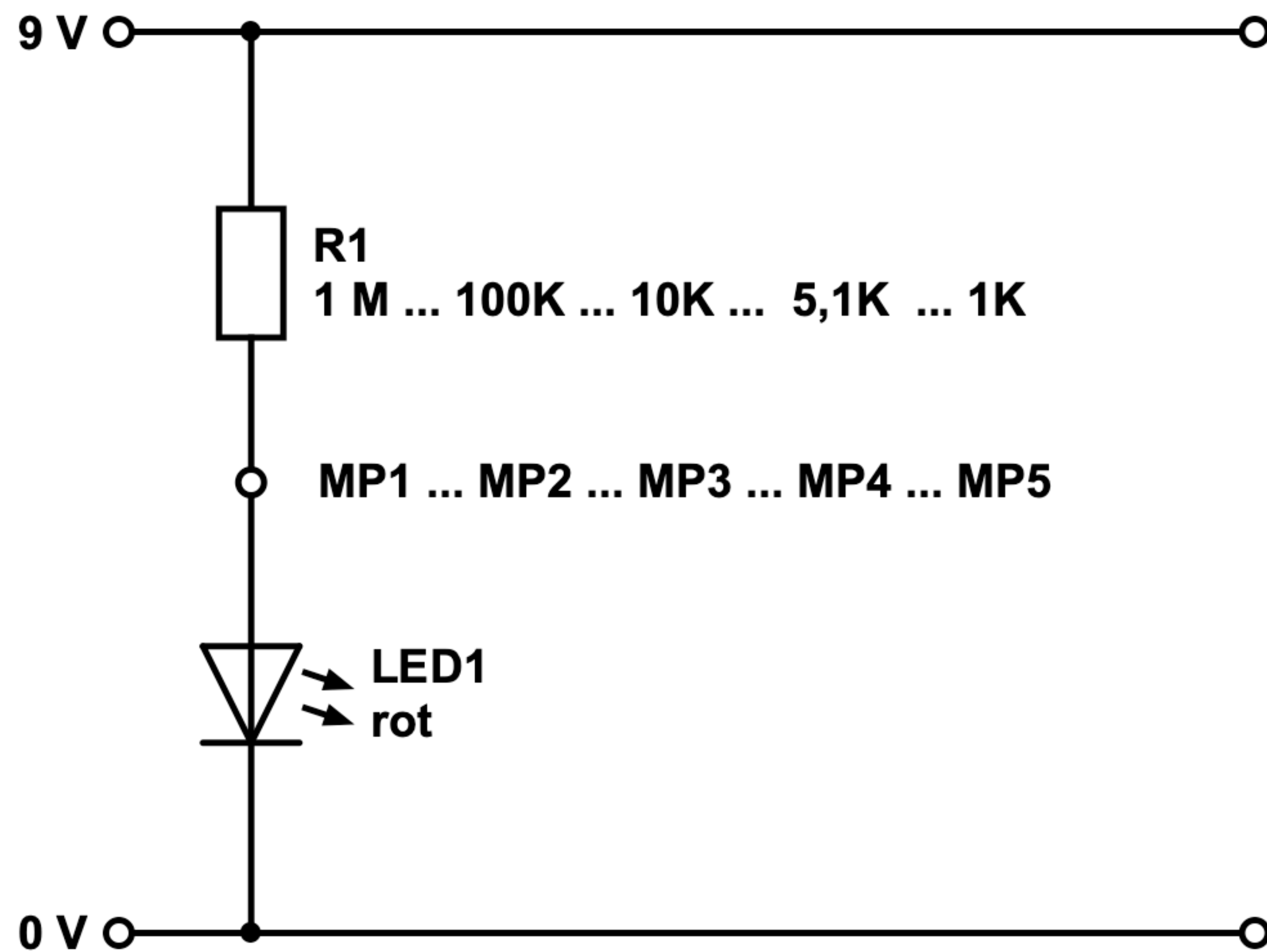
## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2
Spannung	7,22 V	1,82 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung: 9,05 Volt

Die Spannung an der Leuchtdiode entspricht tatsächlich der zu erwartenden Vorwärtsspannung an einer roten Leuchtdiode. Die Summe aus beiden Spannungen entspricht ungefähr der Gesamtspannung.

# LED mit unterschiedlichen Vorwiderständen in Durchlassrichtung (1)



- 5 x Leuchtdiode, rot
- 1 x Widerstand, 1 M $\Omega$  (Braun-Schwarz-Schwarz-Gelb)
- 1 x Widerstand, 100 k $\Omega$  (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)
- 1 x Widerstand, 10 k $\Omega$  (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 1 x Widerstand, 5,1 k $\Omega$  (Grün-Braun-Schwarz-Braun)
- 1 x Widerstand, 1 k $\Omega$  (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)

Leuchtdioden müssen immer mit einem Vorwiderstand betrieben werden. Nur dadurch können bestimmte maximale Grenzwerte eingehalten werden. Der Vorwiderstand begrenzt den Strom und daran fällt ein Zuviel an Spannung ab. Sind Strom oder Spannung zu groß, dann geht die Leuchtdiode kaputt.

Einer der Grenzwerte ist die Spannung an der Leuchtdiode in Durchlassrichtung. Diesen Wert braucht man, um den Vorwiderstand der Leuchtdiode zu messen. Normalerweise bewegt sich die Spannung einer Leuchtdiode in einem bestimmten Spannungsbereich. Da kann man einfach mit dem Mittelwert arbeiten. Der Spannungsbereich mancher Leuchtdioden ist allerdings sehr breit. Bei blauen Leuchtdioden kann er zwischen 2 bis 4 Volt liegen. Dann will man es vielleicht genauer wissen.

Deshalb messen wir hier einfach mal nach, bei welchem Vorwiderstand an einer roten Leuchtdiode welche Spannung abfällt. Auf diese Weise können wir den perfekten Vorwiderstand für diese eine Leuchtdiode ermitteln.

Wenn Du Lust hast, dann wiederhole doch die Messung mit gelben, grünen, blauen und weißen Leuchtdioden.

# Messungen: LED mit unterschiedlichen Vorwiderständen in Durchlassrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	1 MOhm	100 kOhm	10 kOhm	5,1 kOhm	1 kOhm
Spannung an LED1					

Was messen wir? Wir messen die Spannung an der Leuchtdiode, die in Durchlassrichtung geschaltet ist und demnach leuchten muss.

Was erwarten wir? Wir erwarten, dass die Leuchtdiode mit jedem kleineren Widerstand heller leuchtet und die Spannung an der LED1 größer wird.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Widerstand R1	1 MOhm	100 kOhm	10 kOhm	5,1 kOhm	1 kOhm
Spannung an LED1	0,96 V	1,80 V	1,92 V	1,92 V	2,04 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,80 Volt



# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Es ist tatsächlich so, wie wir es erwartet haben.

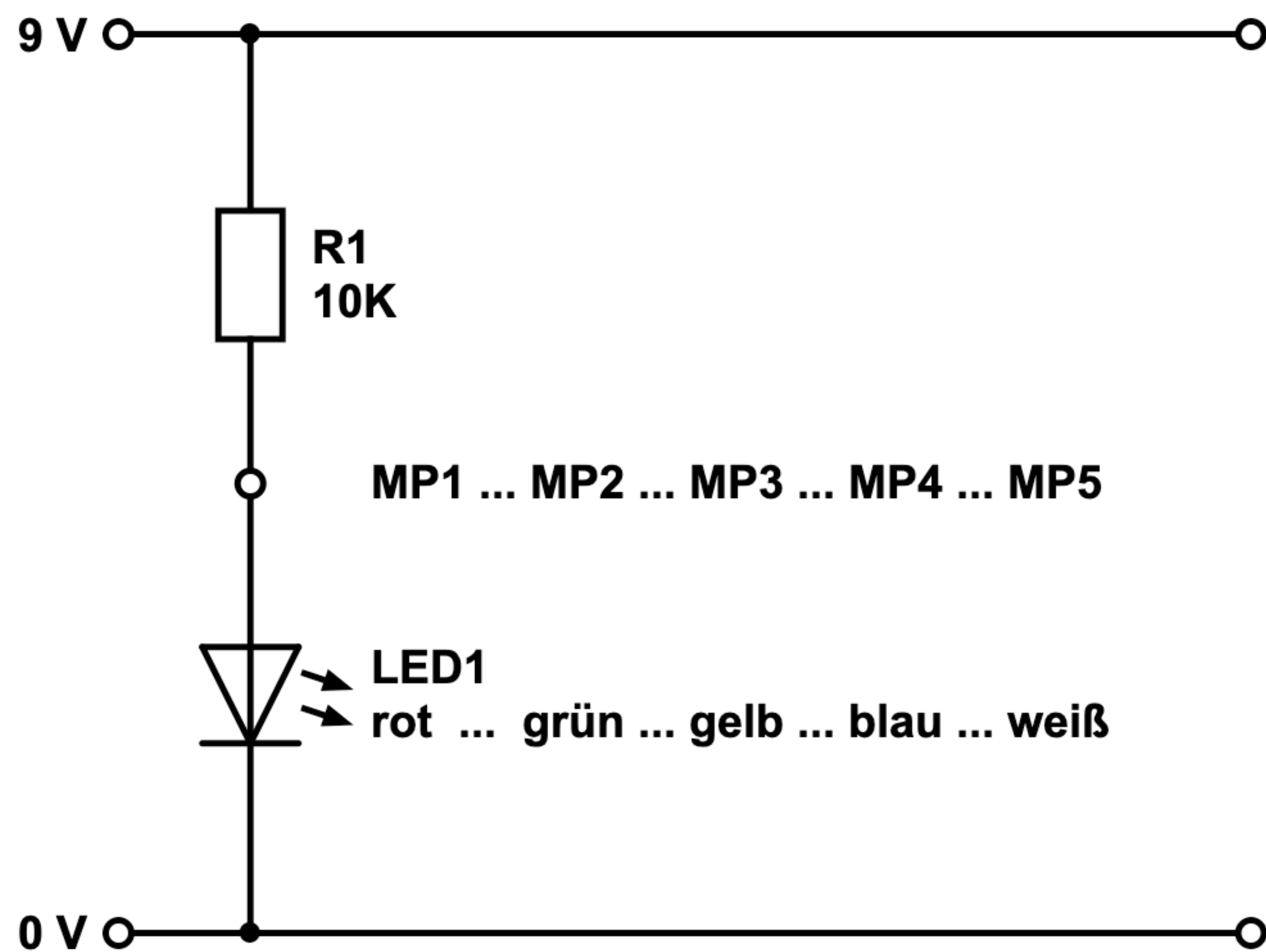
Vergleichen wir alle Leuchtdioden, dann leuchten sie heller, je kleiner der Vorwiderstand ist.

Aber erst bei einem bestimmten Widerstand stellt sich eine Spannung und auch ein Strom ein, bei dem die Leuchtdiode signifikant leuchtet. Das ist bei etwa 10 kOhm so. Je nach Geschmack auch erst bei 5,1 kOhm oder 1 kOhm.

Zu beobachten ist auch, dass bei dieser Leuchtdiode ab 1,92 Volt die Spannung nicht viel weiter steigt. Man kann sagen, dass die Vorwärtsspannung, Durchlassspannung oder einfach nur Diodenspannung im Bereich von 1,9 und 2,0 Volt liegt.

Den perfekten Vorwiderstand gibt es aber nicht. Bei einer Gesamtspannung von 9 Volt könnte ein Vorwiderstand mit einem Wert zwischen 1 kOhm und 10 kOhm je nach Geschmack in Frage kommen.

# Unterschiedliche LEDs in Durchlassrichtung (1)



5 x Widerstand, 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)

1 x LED, rot

1 x LED, grün

1 x LED, gelb

1 x LED, blau

1 x LED, weiß

Leuchtdioden gibt es in verschiedenen Farben, Größen und Bauformen. Die gebräuchlichsten Farben sind rot, grün, gelb, blau und weiß. Je nach Farbe besteht der Halbleiterkristall einer Leuchtdiode aus unterschiedlichen Materialien. Die Farbe des Lichts wird vom Halbleitermaterial bestimmt.

Abhängig vom Halbleitermaterial ergeben sich unterschiedliche elektrische Eigenschaften. Die wichtigsten sind der Durchlassstrom und die Durchlassspannung. Das sind die Werte, die in Durchlassrichtung eine Leuchtdiode zum Leuchten bringen und die bei jedem Diodentyp unterschiedlich sind.

Uns interessiert, wie sich unterschiedliche Leuchtdioden in Durchlassrichtung verhalten und welche Durchlassspannung sich an unterschiedlichen Dioden bei gleichem Vorwiderstand einstellt.

# Messungen: Unterschiedliche LEDs in Durchlassrichtung (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Leuchtdiode	rot	grün	gelb	blau	weiß
Spannung an LED1					

Was messen wir? Wir messen die Spannung an den Leuchtdioden, die in Durchlassrichtung geschaltet sind und demnach leuchten müssten.

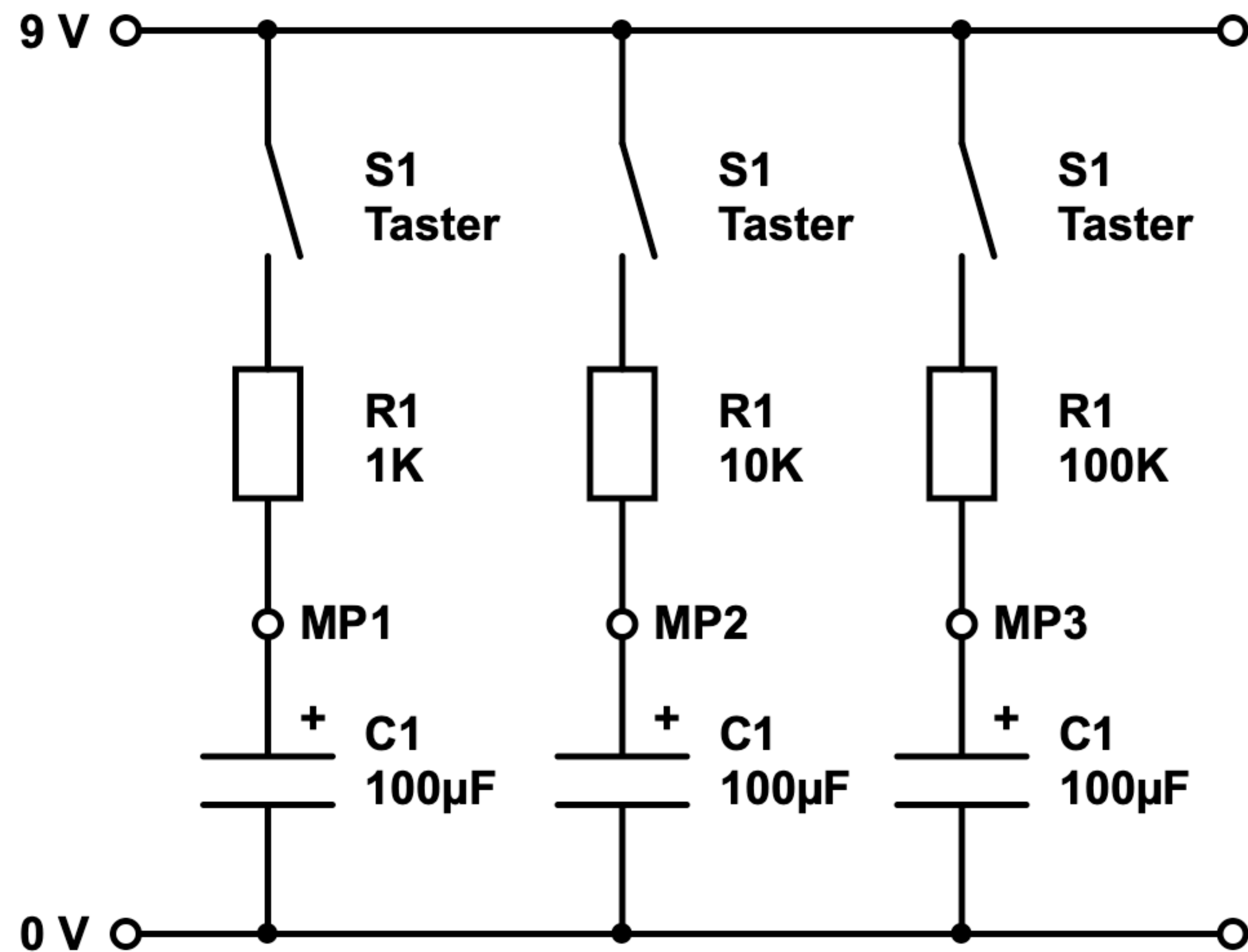
Was erwarten wir? Bekannterweise hat jede Leuchtdiode in Durchlassrichtung einen eigenen Spannungsbereich, bei dem sie leuchtet. Wir erwarten Spannungswerte zwischen 1,8 und 3,0 Volt.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Leuchtdiode	rot	grün	gelb	blau	weiß
Spannung an LED1	1,72 V	2,24 V	1,87 V	2,52 V	2,56 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung: 8,86 Volt
- Es ist tatsächlich so, dass jede Leuchtdiode ihre eigene Spannung hat, die in Durchlassrichtung an ihr abfällt.
- An der roten LED kann man eine kleinere Spannung messen, als an der grünen LED. Das bedeutet, dass der Spannungsabfall am Vorwiderstand rechnerisch größer ist.
- Auffällig ist aber auch, dass jede Leuchtdiode unterschiedlich hell leuchtet.

# Kondensator laden (1)



- 1 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x Widerstand, 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 1 x Widerstand, 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)
- 3 x Taster
- 3 x Elektrolyt-Kondensator, 100 µF

Hinweis: Elektrolyt-Kondensatoren sind polungsabhängig.

Kondensatoren sind Bauelemente, die eine elektrische Ladung bzw. elektrische Energie speichern können. Legt man an einen Kondensator eine Spannung an, dann lädt er sich auf. Die Ladung bis zur anliegenden Spannung erfolgt aber nicht sofort, sondern ist zeitabhängig, wodurch sich zeitabhängige Funktionen in einer elektronischen Schaltung realisieren lassen.

Um die Funktion des Ladens eines Kondensators zu verstehen, müsste man dem Kondensator beim Laden zuschauen können. Wir wollen uns hier das Laden eines Kondensators genauer ansehen. Man kann das über die Beobachtung von Spannung oder Strom tun. Wir messen und beobachten hier die Ladespannung eines Kondensators.

Wie schnell ein Kondensator aufgeladen wird, hängt von einem Widerstand ab, der den Strom begrenzt. Wir wollen also auch herausfinden, wie sich ein Widerstand auf das Ladeverhalten auswirkt.

# Messungen: Kondensator laden (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an C1			

Was messen wir? Wir messen die Spannung an den Kondensatoren beim Laden. Das heißt, der Wert ändert sich. Aber nur der Spannungswert am Ende des Ladevorgangs, wenn der Wert sich nicht mehr ändert, wird in der Tabelle dokumentiert. Der Ladevorgang ist abgeschlossen, wenn die gemessene Spannung nicht mehr weiter steigt.

Was erwarten wir? Das Laden eines Kondensators direkt an der Betriebsspannung erfolgt vergleichsweise schnell, wenn der Ladestrom nicht begrenzt wird. Der Ladestrom wird hier durch einen Widerstand begrenzt. Das heißt, der Ladezustand, repräsentiert durch die anliegende Spannung, erfolgt verzögert. So zumindest die Theorie. Das heißt, wir haben unterschiedlich schnell steigende Ladespannungen am Kondensator zu erwarten, die irgendwann die Betriebsspannung erreichen sollte.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Widerstand R1	1 kOhm	10 kOhm	100 kOhm
Spannung an C1	8,84 V	8,32 V	4,92 V

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 8,80 Volt
- Um alle Werte direkt miteinander vergleichen zu können, empfiehlt es sich mit drei Messgeräten gleichzeitig zu arbeiten und alle Taster gleichzeitig zu drücken. Du kannst die Taster auch weglassen und den Ladevorgang über das Einschalten der Betriebsspannung starten.
- Um den Vorgang zu wiederholen, kann der Kondensator über das Messgerät oder einen Widerstand entladen werden. Hierzu sollte der Taster gelöst oder die Betriebsspannung abgeschaltet sein.
- Führe die Messung mit anderen Kondensatoren durch. Zum Beispiel mit 1  $\mu\text{F}$  und/oder 10  $\mu\text{F}$ , wenn vorhanden.

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Wir können zwei Dinge beobachten. Einmal werden die drei gleichen Kondensatoren unterschiedlich schnell aufgeladen. Das sieht man daran, dass die Spannungswerte unterschiedlich schnell steigen. Wie schnell sich der Kondensator C1 auflädt hängt vom Widerstand R1 ab. Offensichtlich erfolgt das Aufladen mit einem kleineren Widerstand schneller.

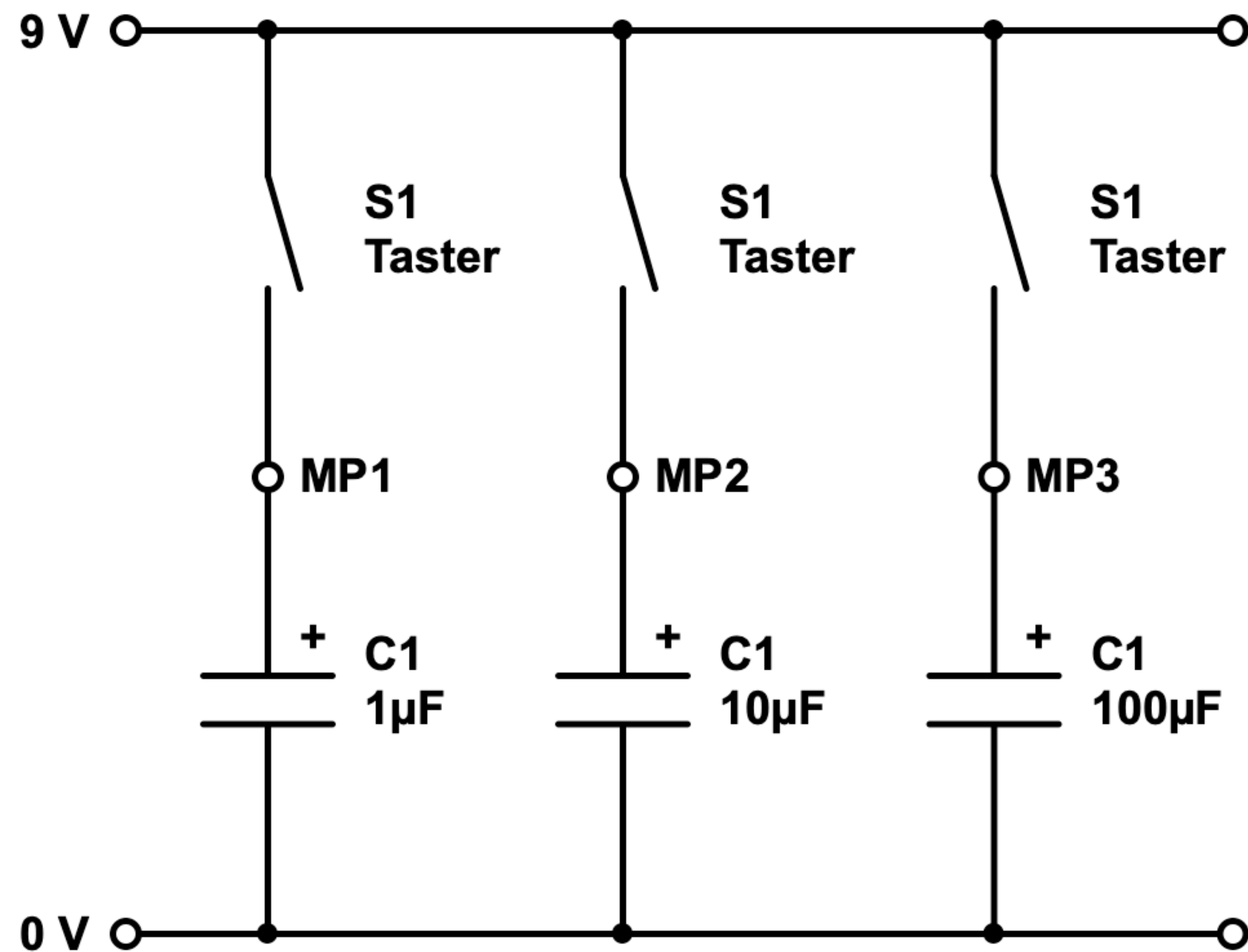
Die Idee ist, dass ein entladener Kondensator beim Aufladen eine Spannung von 0 Volt hat und über die Zeit des Ladens bis auf die Maximalspannung geladen wird. In diesem Fall die Gesamtspannung von ungefähr 9 Volt.

Die zweite Beobachtung ist aber, dass das nicht immer der Fall ist. Denn mit größerem Widerstand wird die Differenz zur vollen Gesamtspannung von etwa 9 Volt größer. Das ist dem Umstand geschuldet, dass das verwendete Messgerät einen vergleichsweise kleinen Innenwiderstand hat, weshalb sich die Gesamtspannung am Ladewiderstand und am Messgerät aufteilt.

Das heißt, die Ladespannung am Kondensator wird durch den parallel liegenden Innenwiderstand des Messgeräts bestimmt. Bei der Parallelschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Teilwiderstand. Je mehr ein Kondensator geladen ist, desto größer wird dessen Widerstand. Aber, desto mehr Einfluss hat dann auch der Innenwiderstand des Messgeräts.

Diese Messung verdeutlicht, dass die Spannungsmessung an einem Kondensator dazu führen kann, dass sich das Spannungsverhältnis durch das Messgerät verändern kann. Das Messergebnis wäre ohne Spannungsmessung ein anderes. Das verfälschte Messergebnis kann zu einer Fehlinterpretation führen. Viel schlimmer ist aber, dass man mit einer solchen Messung (Spannungsmessung an einem Kondensator im laufenden Betrieb) eine Fehlfunktion der Schaltung auslösen kann, wenn an dem Kondensator eine bestimmte Spannung sein sollte, aber durch das Messgerät verringert wird.

# Kondensator entladen (1)



- 3 x Taster
- 1 x Elektrolyt-Kondensator, 1 µF
- (1 x Elektrolyt-Kondensator, 10 µF)
- 1 x Elektrolyt-Kondensator, 100 µF

Hinweis: Elektrolyt-Kondensatoren sind polungsabhängig.

Kondensatoren sind Bauelemente, die elektrische Ladungen bzw. elektrische Energie speichern können. Legt man an einen Kondensator eine Spannung an, dann lädt er sich auf. Die Ladung bis zur höchsten Spannung und auch die Entladung auf 0 Volt läuft nach einer Exponentialfunktion ab. Das heißt, beide Vorgänge sind zeitabhängig, wodurch sich zeitabhängige Funktionen in einer elektronischen Schaltung realisieren lassen.

Um die Funktion des Ladens und Entladens eines Kondensators zu verstehen, müsste man dem Kondensator beim Laden und Entladen zuschauen können. Wir wollen uns hier das Entladen eines Kondensators genauer ansehen. Man kann das über die Beobachtung von Spannung oder Strom tun. Wir messen und beobachten hier die Entladespannung am Kondensator.

Normalerweise wird man den Kondensator über einen Widerstand entladen. In diesem Fall wird der Kondensator über den Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts entladen. Nur wenn der Innenwiderstand zu groß wäre (Megaohm-Bereich), dann wäre ein Widerstand von 100 kOhm parallel zum Kondensator empfehlenswert, weil das Entladen bei einer großen Kapazität sehr lange dauern würde.

# Messungen: Kondensator entladen (2)

## Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Kondensator C1	1 $\mu\text{F}$	10 $\mu\text{F}$	100 $\mu\text{F}$
Platzierung			

Was messen wir? Wir messen die Spannung an den Kondensatoren beim Entladen. Wir dokumentieren welcher Kondensator sich in welcher Reihenfolge entladen hat. Der Ladevorgang ist abgeschlossen, wenn die Spannung 0 Volt erreicht hat.

Was erwarten wir? Das Laden eines Kondensators direkt an der Betriebsspannung erfolgt schnell, weil wir den Ladestrom nicht begrenzen. Um den geht es hier auch nicht. Der Entladestrom wird hier durch den Innenwiderstand des Messgeräts begrenzt. Wir gehen davon aus, dass die Innenwiderstände aller drei Messgeräte ungefähr gleich sind. Da die Kondensatoren eine unterschiedliche Kapazität aufweisen müsste die Kondensatorspannung unterschiedlich schnell sinken, bis sie 0 Volt erreicht hat.

## Lösung zur Messung

Messung an	MP1	MP2	MP3
Kondensator C1	1 $\mu\text{F}$	10 $\mu\text{F}$	100 $\mu\text{F}$
Platzierung	1.	2.	3.

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 9,00 Volt
- Um die Entladung an allen Kondensatoren miteinander vergleichen zu können, empfiehlt es sich mit drei Messgeräten gleichzeitig zu arbeiten und alle Taster zusammen zu drücken und anschließend gleichzeitig loszulassen. Du kannst die Taster auch weglassen und den Entladevorgang über das Abschalten der Betriebsspannung starten.
- Um den Vorgang zu wiederholen, muss der Kondensator wieder geladen werden. Hierzu muss der Taster gedrückt oder die Betriebsspannung eingeschaltet werden.



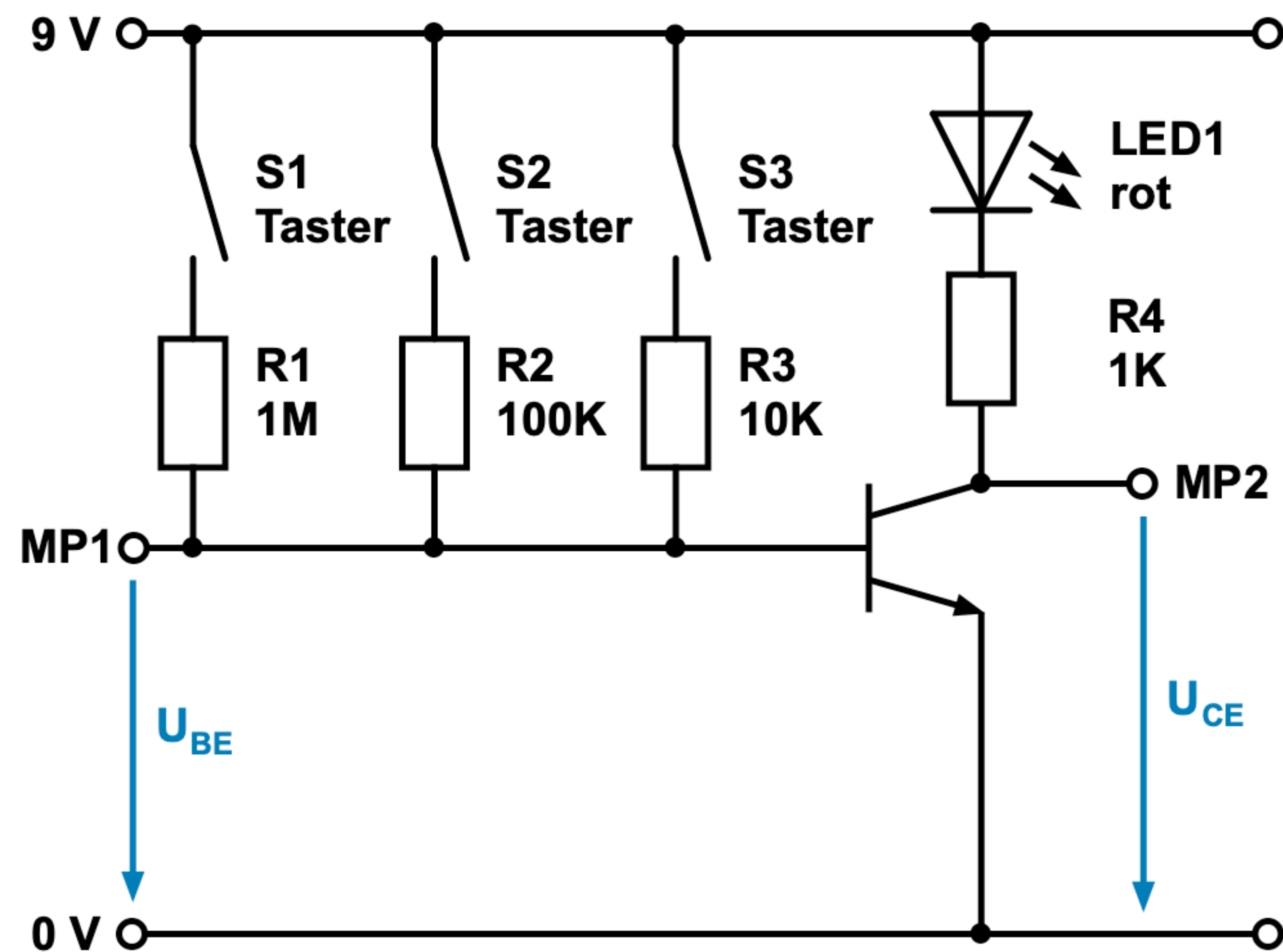
# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

Die Entladung der Kondensatoren erfolgt über den Innenwiderstand des Messgeräts. Die Dauer der Entladung ist abhängig von diesem Widerstandswert, aber auch von der Kapazität des Kondensators. Wenn man davon ausgeht, dass die Innenwiderstände bei allen verwendeten Messgeräten nahezu gleich groß sind, hat nur noch die Kapazität der Kondensatoren Einfluss auf die Dauer der Entladung.

Vor dem Entladen, bei gedrückt gehaltenen Tastern, entspricht die Spannung an den geladenen Kondensatoren der Gesamtspannung bzw. Betriebsspannung. Beim Entladen verringert sich diese Spannung über die Zeit auf bis 0 Volt.

Wenn man alle Taster gleichzeitig loslässt, wird die Spannung an MP1 vergleichsweise schnell auf 0 Volt sinken. Bei MP2 dauert es länger und bei MP3 am längsten. Das bedeutet, je größer die Kapazität eines Kondensators, desto länger dauert es bis er entladen ist.

# Transistor als Schalter mit Basis-Vorwiderstand (1)



- 1 x Transistor, PN2222 (oder BC547)
- 1 x Leuchtdiode, rot
- 1 x Widerstand, 1 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Braun)
- 1 x Widerstand, 10 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Rot)
- 1 x Widerstand, 100 kOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Orange)
- 1 x Widerstand, 1 MOhm (Braun-Schwarz-Schwarz-Gelb)
- 3 x Taster

Der Transistor als Schalter ist eine sehr gebräuchliche Grundschaltung, wenn es darum geht, mit einem Steuerstromkreis einen Laststromkreis elektronisch einzuschalten und auszuschalten.

Die Frage ist, unter welchen Bedingungen schaltet der Steuerstromkreis den Laststromkreis ein und aus.

Im Steuerstromkreis sind hier der Basisstrom und die Basisspannung bzw. die Basis-Emitter-Spannung verantwortlich. Im Laststromkreis sind der Kollektorstrom und die Kollektorspannung bzw. die Kollektor-Emitter-Spannung definiert.

Was uns hier interessiert ist, wie bringen wir einen Transistor zum Schalten, also leitend und nichtleitend zu werden. Und wie verhalten sich dabei die Basisspannung und die Kollektorspannung zueinander.

# Messungen: Transistor als Schalter mit Basis-Vorwiderstand (2)

## Messung

Messung	S1	S2	S3
Widerstand R2	1 MOhm	100 kOhm	10 kOhm
MP1: Basis-Emitter-Spannung			
MP2: Kollektor-Emitter-Spannung			
Leuchtdiode			

Was messen wir? Wir messen die Basis-Emitter-Spannung. Das bedeutet, wir messen zwischen der Basis des Transistors und Ground. Die Idee ist, diese Spannung mit dem Basis-Vorwiderstand R2 einzustellen. Durch Drücken eines Tasters fließt ein Strom in die Basis des Transistors. Der Transistor schaltet die Kollektor-Emitter-Strecke durch und die LED sollte leuchten. Nebenbei ermitteln wir die Helligkeit der LED nach dem persönlichen Empfinden. Die zweite Spannung die hier interessant ist, ist die Spannung an der Kollektor-Emitter-Strecke, auch Kollektor-Emitter-Spannung genannt.

Was erwarten wir? Wir erwarten natürlich unterschiedliche Basis-Emitter-Spannungen und dass die LED leuchtet, wenn wir einen Taster drücken. Desweiteren erwarten wir, wenn kein Taster gedrückt ist, dass die Kollektor-Emitter-Spannung relativ hoch ist und wenn ein Taster gedrückt wird, relativ niedrig.

## Lösung zur Messung

Messung	S1	S2	S3
Widerstand R2	1 MOhm	100 kOhm	10 kOhm
MP1: Basis-Emitter-Spannung	0,56 V	0,76 V	0,80 V
MP2: Kollektor-Emitter-Spannung	6,35 V	0,16 V	0,12 V
Leuchtdiode	gering	hell	hell

- Messung mit Mini-Voltmeter
- Messung der Gesamtspannung (9 Volt): 9,00 Volt

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (3)

**Im Grundzustand leuchtet die Leuchtdiode nicht.** Das heißt, wenn kein Taster gedrückt ist und kein Strom in die Basis des Transistors fließt, dann leitet der Transistor nicht. Die Kollektor-Emitter-Strecke wirkt wie ein sehr großer Widerstand. Demzufolge fällt dort (MP2) eine sehr große Spannung ab. Vermutlich misst man aber eher den Spannungsabfall am Innenwiderstand des Spannungsmessers bzw. den Spannungsabfall an der Parallelschaltung aus Transistor-Innenwiderstand und Messgerät-Innenwiderstand.

Wenn Du die Taster S1, S2 und S3 nacheinander drückst und die Messwerte aufgenommen hast, dann stellst Du fest, dass die Basis-Emitter-Spannung steigt und die Kollektor-Emitter-Spannung fällt. Allerdings scheint sich beim Wechsel von Widerstand R2 von 1 M $\Omega$  auf 100 k $\Omega$  etwas geändert zu haben, während bei einem Widerstand von 10 k $\Omega$  kaum noch eine Änderung (Spannungswerte und Helligkeit der Leuchtdiode) eintritt.

Entscheidend ist, dass durch Drücken eines Tasters ein Strom in die Basis des Transistor hineinfließt und ein Spannungsabfall zwischen Basis und Emitter entsteht. Schon ein kleiner Basisstrom führt dazu, dass der Transistor leitend wird und die Leuchtdiode leuchtet, aber erst bei genug Strom leitet der Transistor voll. Man sagt auch, dass er durchgesteuert oder durchgeschaltet ist. Mehr Basisstrom, durch einen kleineren Basis-Vorwiderstand, führt aber zu keiner großen Änderung an der Kollektor-Emitter-Strecke. Gemeint ist, dass die Leuchtdiode nicht mehr heller leuchtet.

In der Praxis ist es so, dass man den Basisstrom respektive den Basis-Vorwiderstand so wählt, dass der Transistor sicher durchschaltet. Der optimale Wert für einen Basis-Vorwiderstand würde bei diesem Transistor und 9 Volt Betriebsspannung bei etwas unter 50 k $\Omega$  liegen. In Schaltungen findet man oft die Werte 47 und 27 k $\Omega$ .

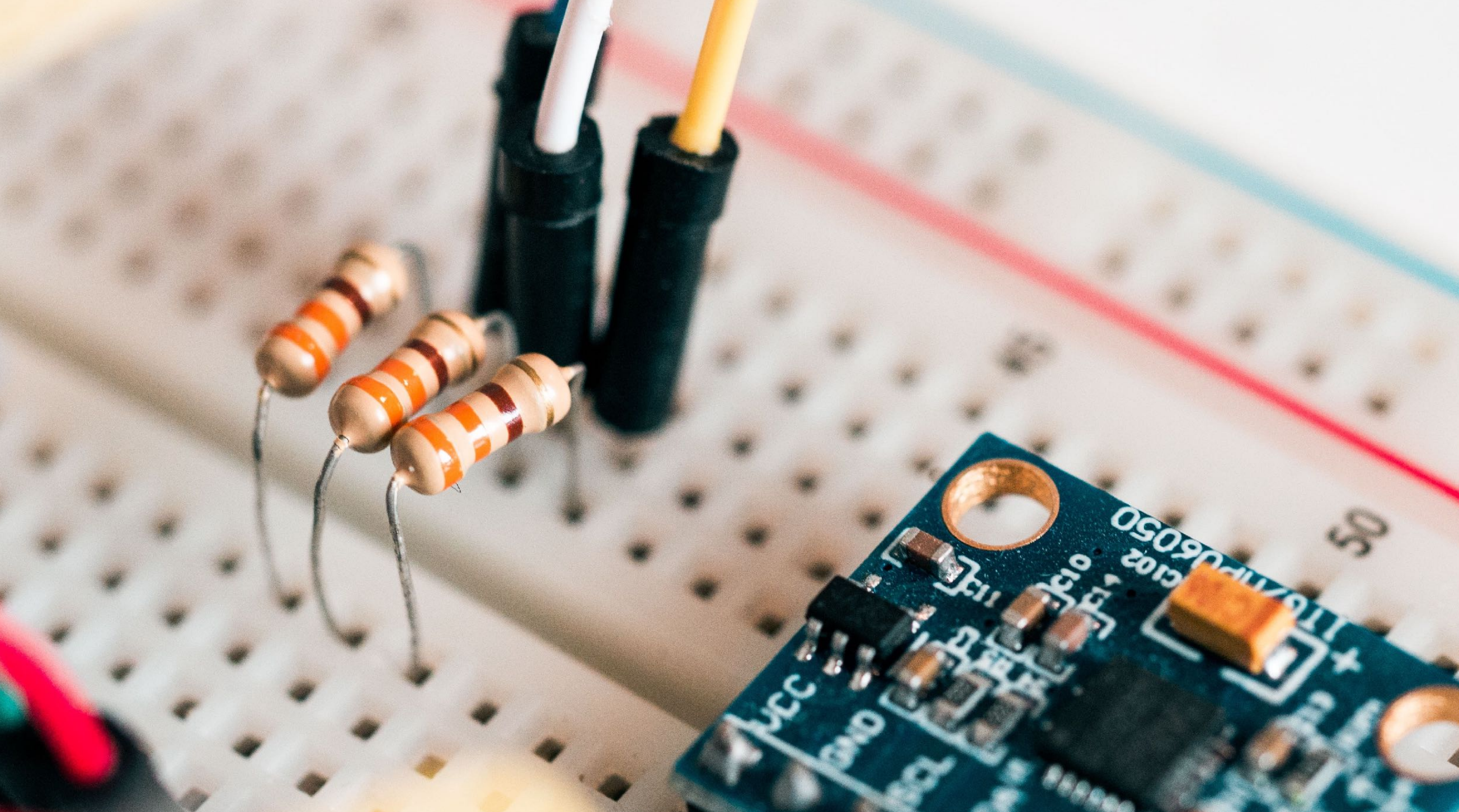
Das begrenzende oder auch bestimmende Element ist hier allerdings die Quelle aus der der Basisstrom kommt. Es gibt sehr viele Baugruppen, Schaltungen und digitale ICs, die nur einen begrenzten Strom liefern können.

# Beobachtungen, Erkenntnisse und Erklärungen (4)

**Wie so oft nimmt das Spannungsmessgerät Einfluss auf diese Schaltung.** Wie genau, kannst Du testen, wenn Du beim Gedrückthalten von Taster S1 das Messgerät an MP1 hinzufügst und entfernst, und dabei die Leuchtdiode beobachtest. Ohne Messgerät leuchtet die Leuchtdiode heller. Die Änderung der Kollektor-Emitter-Spannung ist nicht sehr groß, aber verdeutlicht, warum die Leuchtdiode heller wird. Der Grund ist der Innenwiderstand des Messgeräts. Ist der zu klein, entsteht ein Spannungsteiler an der Basis des Transistors, der die Spannungs- und Stromverteilung beeinflusst.

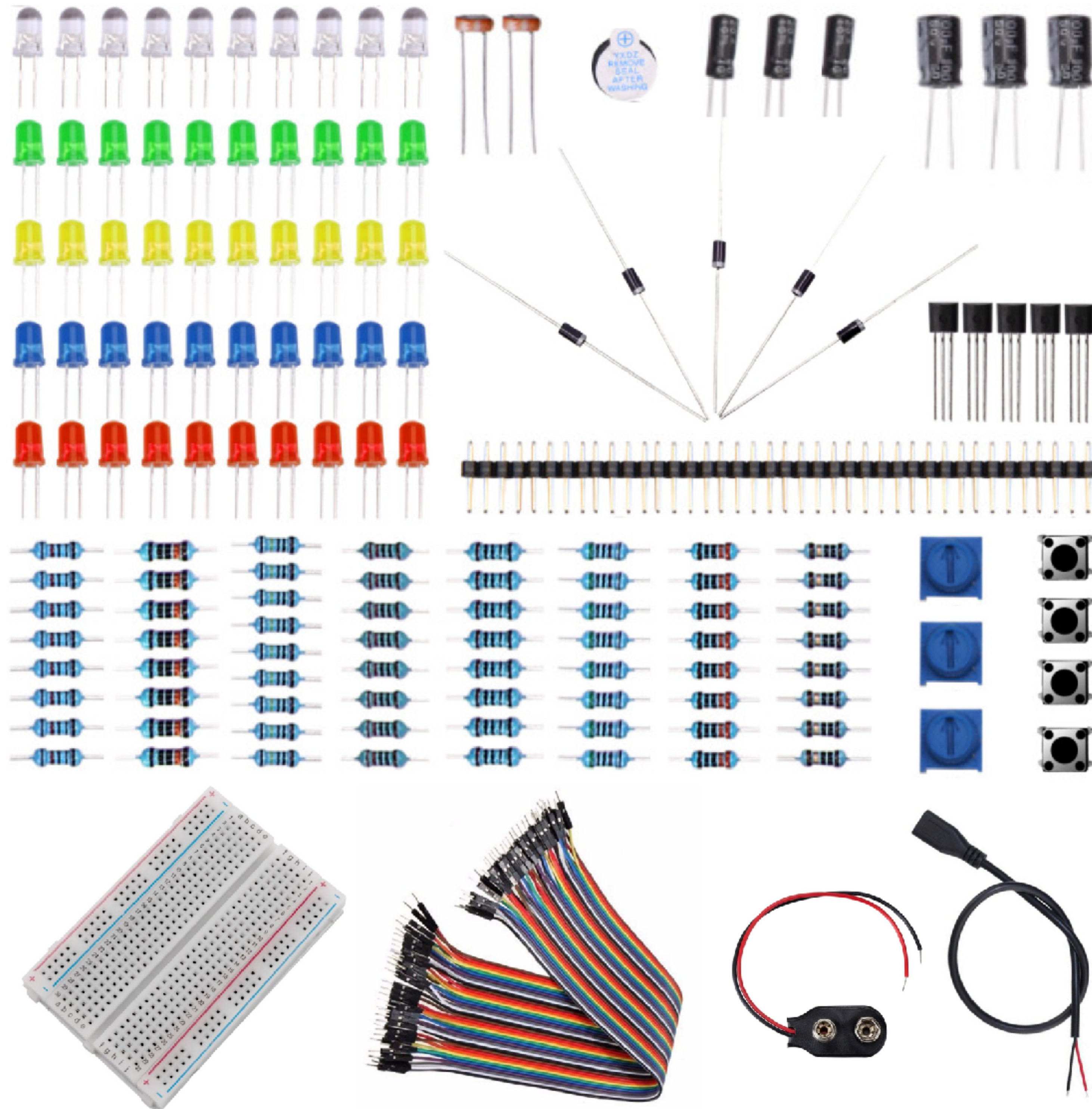
Im durchgeschalteten Zustand, bei gedrückten Tastern S2 und S3 scheint der Innenwiderstand des Messgeräts an MP1 keinen Einfluss zu haben.

Warum ist das wichtig? Nehmen wir an, wir haben eine solche Schaltung produktiv im Einsatz und messen darin im laufenden Betrieb die Basis-Emitter-Spannung, wenn der Transistor gerade so durchgeschaltet hat. Dann kann es sein, dass er durch die Messung sperrt und es zu einer Fehlfunktion kommt. Beispielsweise wird ein Gerät oder ein Schaltungsteil irrtümlich ausgeschaltet. Das soll natürlich nicht passieren. Und deshalb ist es wichtig ein vernünftiges Messgerät zu verwenden, wenn in Schaltungen gemessen wird. Besser wäre es extreme Vorsicht walten zu lassen, wenn in Schaltungen im Produktivbetrieb gemessen wird.



Lust auf mehr?

# Elektronik-Set Starter Edition



## Mit Elektronik ohne Löten experimentieren

Das Elektronik-Set Starter Edition ist die optimale Ergänzung zum Elektronik-Guide. Das Elektronik-Set enthält alle und noch viel mehr Bauteile, um alle Schaltungen und Experimente nachzubauen.

Zusätzlich enthält das Elektronik-Set:

- 1 Steckbrett mit 400 Pins
- 40 Verbindungskabel
- 1 Batterie-Clip für einen 9-Volt-Block
- 1 Micro-USB-Adapter für ein USB-Ladegerät

Nicht im Lieferumfang enthalten und zusätzlich empfohlen:

- 9-Volt-Block-Batterie, USB-Netzteil oder USB-Ladegerät

<https://www.elektronik-kompendium.de/shop/elektronik-set/starter-edition>



## Elektronik - einfach und leicht verständlich

Elektronik muss nicht schwer sein. Die Elektronik-Fibel beschreibt die Grundlagen der **Elektronik einfach und leicht verständlich**, so dass der Einstieg in die Elektronik so einfach wie möglich gelingt.

Die Elektronik-Fibel eignet sich besonders **zum Lernen auf Klassenarbeiten, Klausuren und Prüfungen** oder als Nachschlagewerk für die Schule und Ausbildung.

Mit den vielen grafischen Abbildungen, Formeln, Schaltungen und Tabellen dient diese Buch dem Einsteiger und auch dem Profi immer und überall als **unterstützende und nützliche Lektüre**.

<https://www.elektronik-kompndium.de/shop/buecher/elektronik-fibel>



# Elektronik-Set Basic Edition



## Des Elektrikers Erstausrüstung

Das Elektronik-Set Basic Edition enthält über 1.300 Bauteile und umfasst unterschiedliche Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Transistoren und viele LEDs in verschiedenen Farben. Dieses Elektronik-Set ist sozusagen die Erstausrüstung für jeden Elektroniker.

- Leuchtdioden, 3 und 5 mm, insgesamt 200 Stück
- Widerstände, 30 Werte, insgesamt 600 Stück
- Elektrolyt-Kondensatoren, 12 Werte, insgesamt 120 Stück
- Keramik-Kondensatoren, 30 Werte, insgesamt 300 Stück
- Dioden, 8 Typen, insgesamt 100 Stück
- Transistoren, 18 Typen, insgesamt 180 Stück

<https://www.elektronik-kompendium.de/shop/elektronik-set/basic-edition>