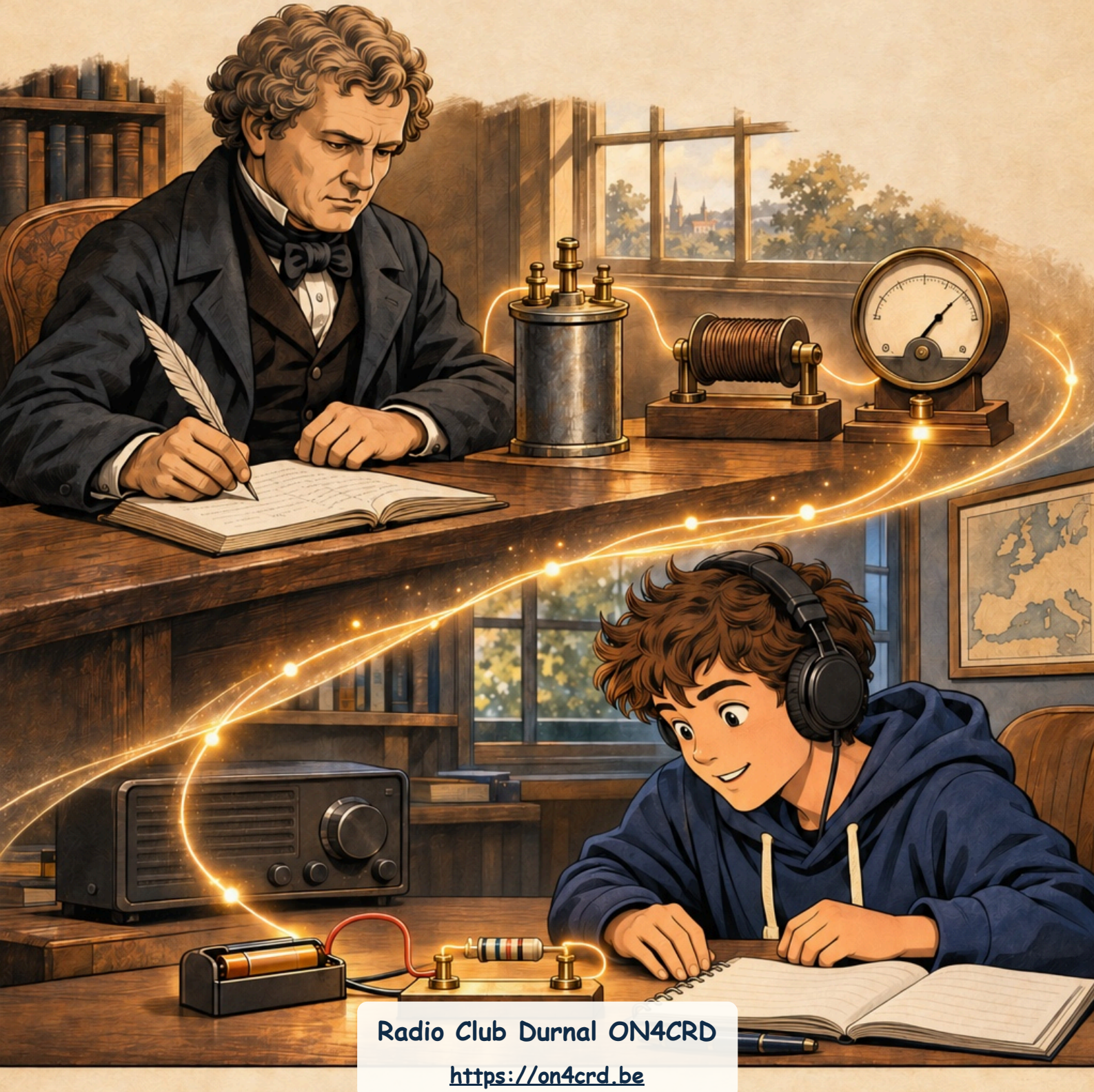
ON4CRD

Band 04

# Die Entdeckung des Ohmschen Gesetzes



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

# Impressum

**Band 04 · Die Entdeckung des Ohmschen Gesetzes**

Website-Herausgeber : Radio Club Durnal ON4CRD

Publikationsmanager : Vorstand des Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Impressum

## Geistiges Eigentum

Auf der Website veröffentlichte Texte, Bilder, Dokumente, Logos und Materialien bleiben Eigentum ihrer jeweiligen Autoren oder des Vereins. Bei jeder Vervielfältigung oder Wiederverwendung müssen die Quelle, die geltenden Rechte und etwaige Genehmigungen des Autors respektiert werden.

## Haftung

Der Club bemüht sich um die Veröffentlichung nützlicher und überprüfter Informationen, übernimmt jedoch keine Gewähr für die Abwesenheit von Fehlern, Auslassungen oder Unterbrechungen. Technische oder regulatorische Informationen müssen anhand offizieller Quellen überprüft werden, wenn sie eine Entscheidung stützen.

Illustrationen mit Unterstützung künstlicher Intelligenz erstellt.

# Eine Frage im Club



Nach seinem ersten QSO kehrt Lucas in die Clubwerkstatt zurück.



Auf dem Tisch liegt ein kleiner Widerstand neben einem Notizbuch.



Wie kann ein so unscheinbares Bauteil so viele Berechnungen bestimmen?



Henri schlägt eine Untersuchung und danach ein Experiment vor.



Gemeinsam bereiten sie eine Vorführung für Besucher vor.

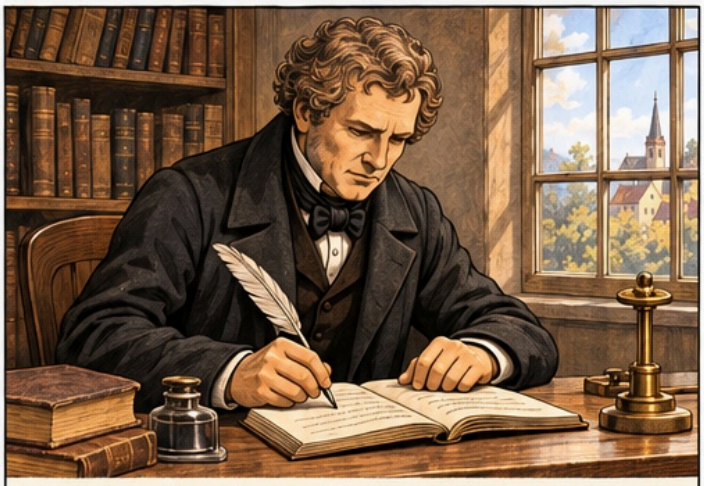


Die erste Spur trägt einen Namen: Georg Simon Ohm.

# Das Gesicht hinter dem Namen



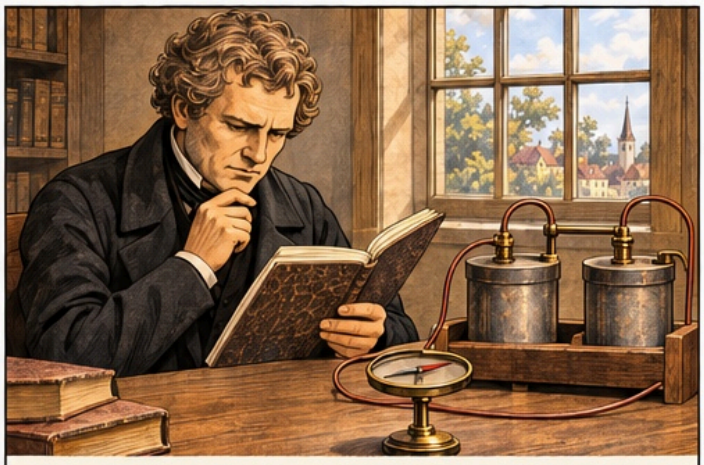
Im Buch erscheint ein Mann mit lockigem Haar.



Georg Simon Ohm unterrichtet und erforscht elektrische Erscheinungen.



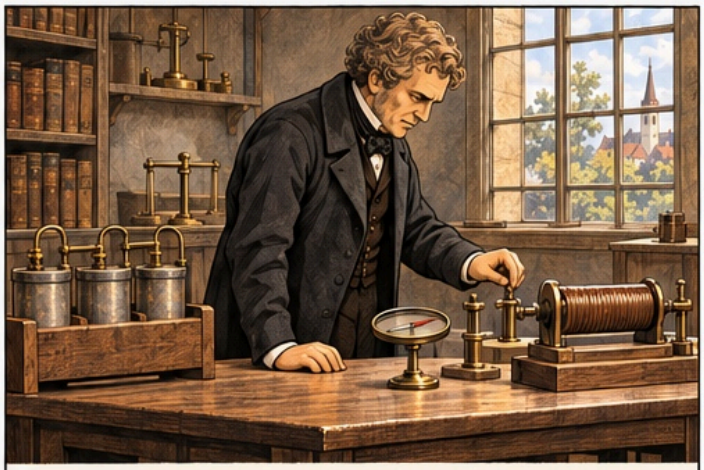
Batterien und leitende Drähte gibt es zu seiner Zeit bereits.



Beobachtungen durch ein Gesetz zu verbinden verlangt geduldige Arbeit.



Der Junge stellt sich die Stille einer alten Werkstatt vor.



Die Geschichte führt sie zu Ohms Forschungen.

# Vor den Funkstationen



Wir befinden uns in den 1820er-Jahren, lange vor dem Amateurfunk.



Ohm will verstehen, wie Elektrizität fließt.



Er bereitet weder einen modernen Sender noch einen Fernkontakt vor.



Versuche mit Leitern füllen seine Werkbank.

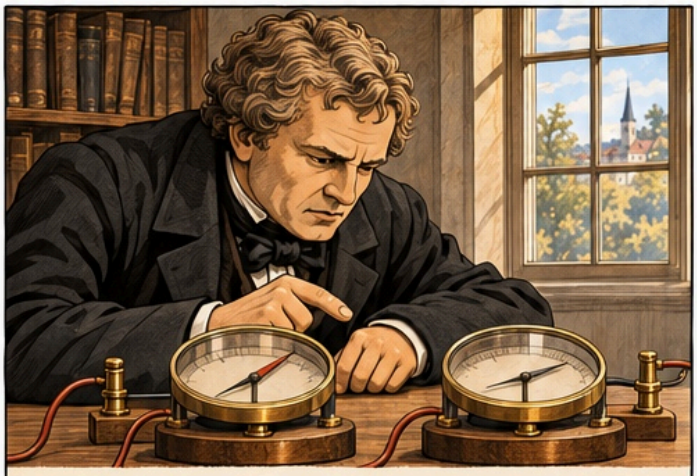


Er sucht einen Zusammenhang, den man überprüfen kann.

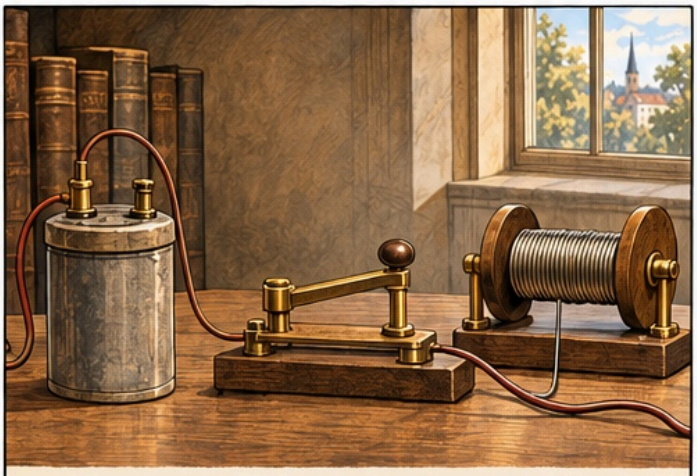


Eine genaue Frage hilft mehr als eine vorschnell akzeptierte Erklärung.

# Wenn Ergebnisse schwanken



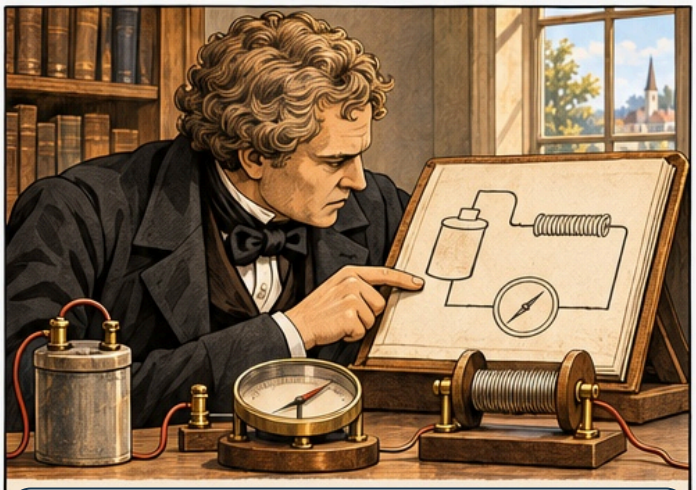
Ein Versuch liefert nicht immer dasselbe Ergebnis.



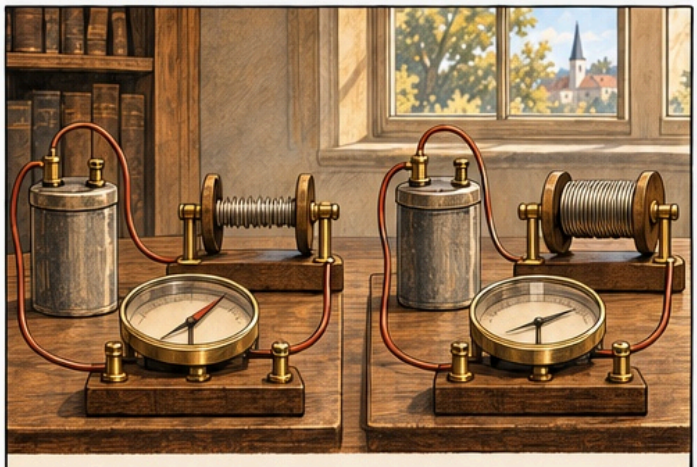
Auch die elektrische Quelle und Kontakte können sich verändern.



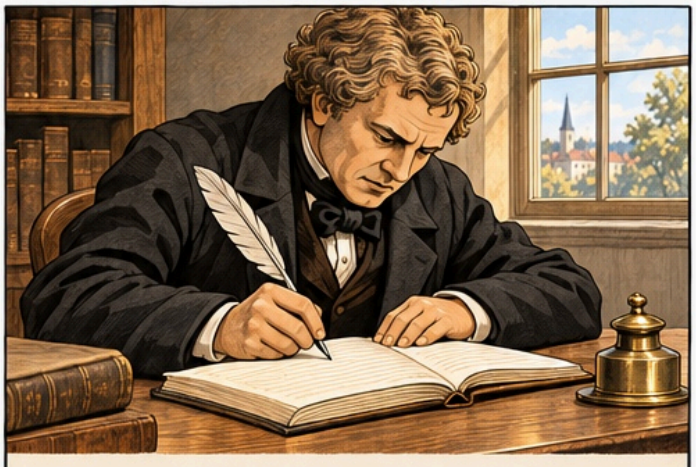
Sofort dem Draht die Schuld zu geben erklärt die Unterschiede nicht.



Ohm überprüft die Bedingungen seiner Beobachtungen.



Er sucht, was sich ändert und was gleich bleiben muss.



Entdeckung beginnt mit diesem aufmerksamen Blick.

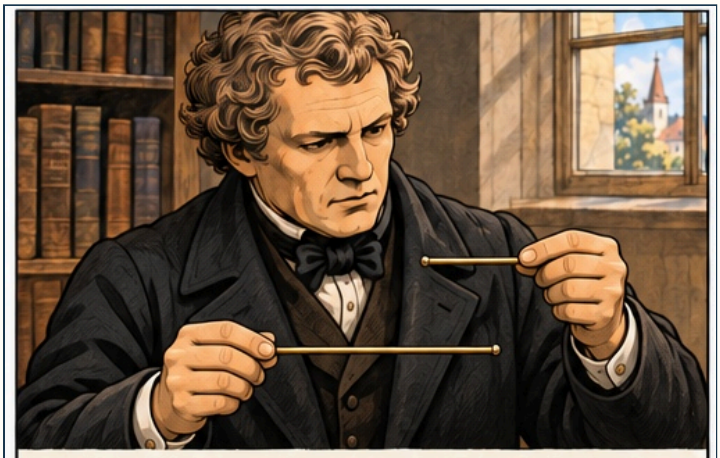
# Eine Frage nach der anderen



Zum Vergleichen muss man wissen, was verändert wurde.



Alles gleichzeitig zu ändern würde die Antwort verschleiern.



Drähte lassen sich nach einem gewählten Merkmal vergleichen.



Die übrigen Bedingungen sollen möglichst gleich bleiben.

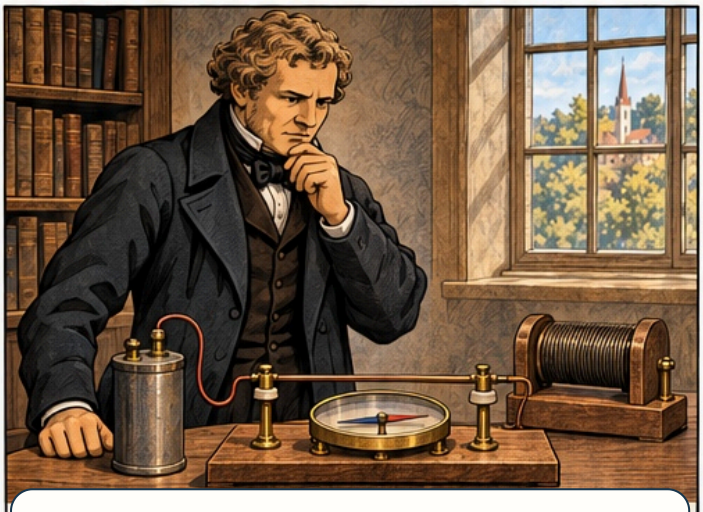


Notizen halten jeden Versuch fest.

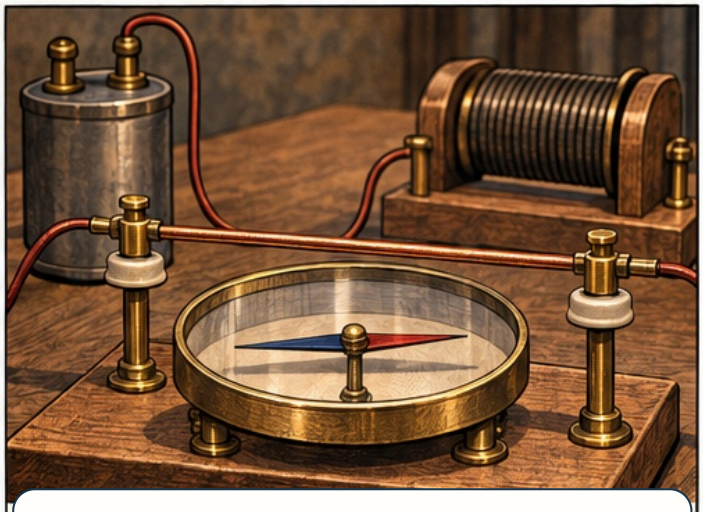


Diese Methode wird der Junge in seiner Werkstatt wiedererkennen.

# Instrumente ihrer Zeit



Ohms Instrumente sehen anders aus als unsere Multimeter.



Eine Magnetnadel kann die Wirkung des Stroms sichtbar machen.



Ihre Bewegung wird zum sorgfältig vergleichbaren Hinweis.



Man muss das Instrument verstehen, um seine Antwort zu deuten.



Das Buch erzählt Forschung, keine Anleitung zum Nachmachen zu Hause.

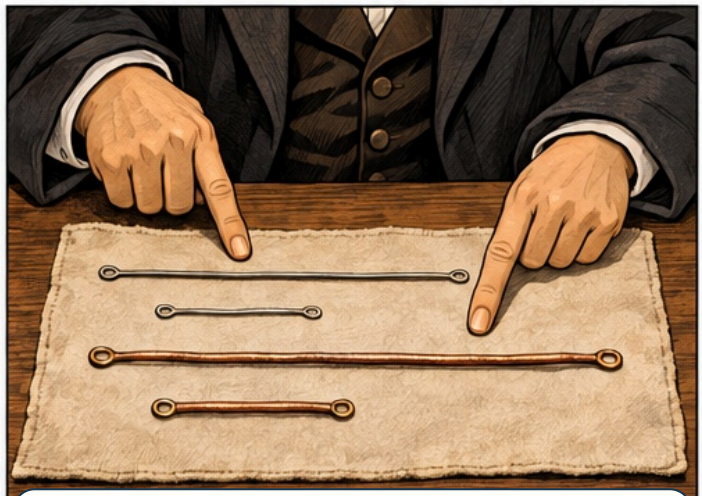


Im Club verwenden sie geeignetes modernes Lehrmaterial.

# Der Draht bietet Widerstand



Material und Form eines Leiters beeinflussen den Stromfluss.



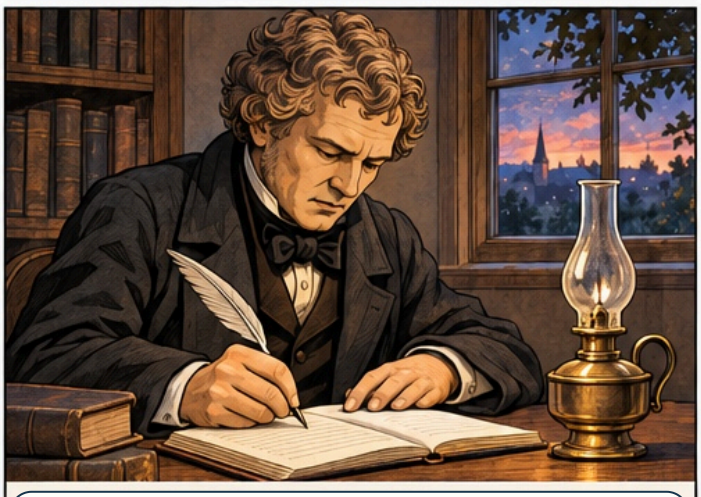
Bei gleichem Material zählen Länge und Querschnitt.



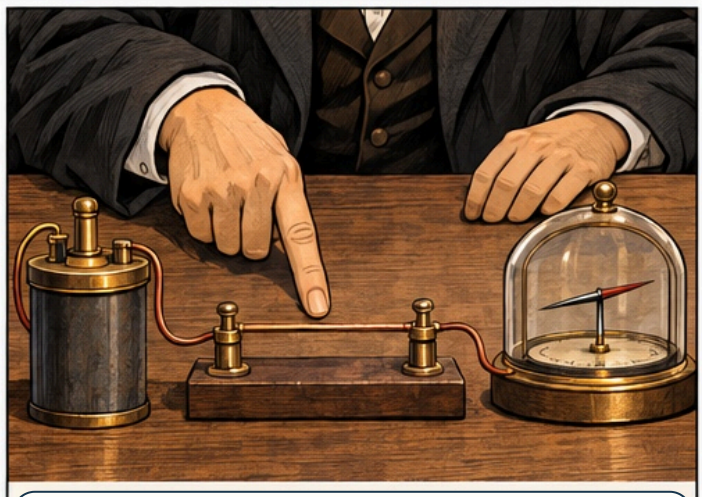
Eine einzelne Beobachtung begründet noch kein Gesetz.



Vergleiche und eine schlüssige Beschreibung sind nötig.



Ohm setzt Messungen und Überlegungen fort.

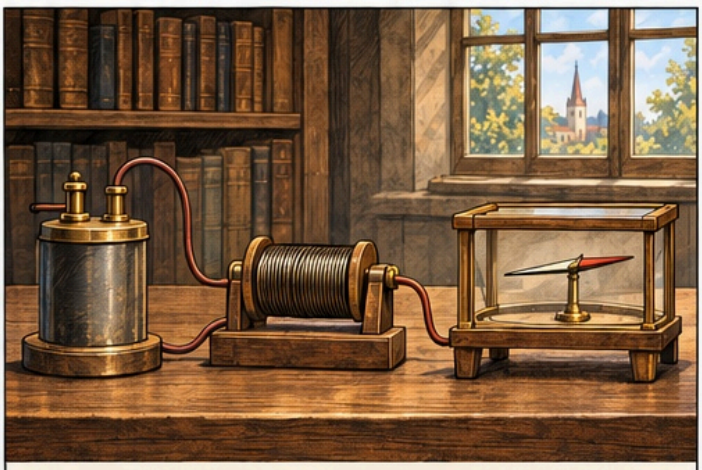


Der Widerstand wird seinen Platz unter den elektrischen Größen finden.

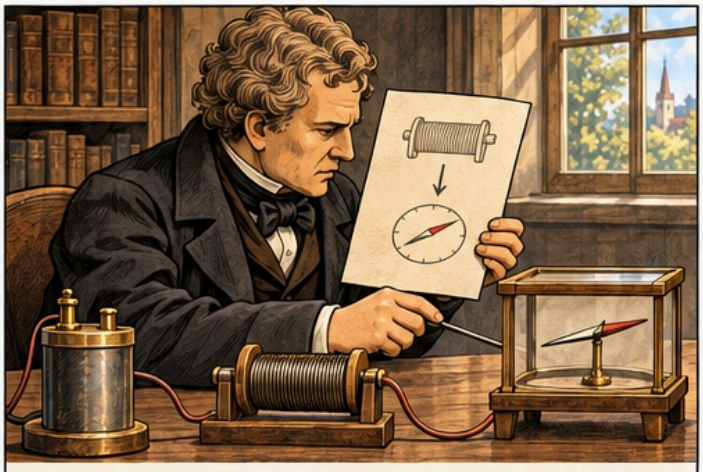
# Von Beobachtungen zum Zusammenhang



Der Wissenschaftler will mehr als Zahlen sammeln.



Er will elektrische Ursache, Strom und Leiter verbinden.



Ein nützlicher Zusammenhang sagt auch Ergebnisse voraus.



Seine Geltungsbedingungen müssen dabei klar sein.



Im Club notiert der Junge zwei Verben: beobachten und vorhersagen.

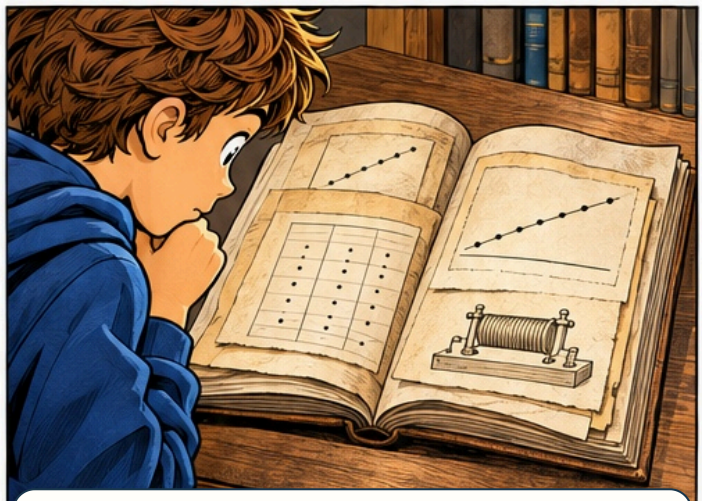


Seine Untersuchung wird allmählich zur Methode.

# Das Notizbuch verbindet



Alte Seiten können Versuche, Zweifel und Korrekturen enthalten.



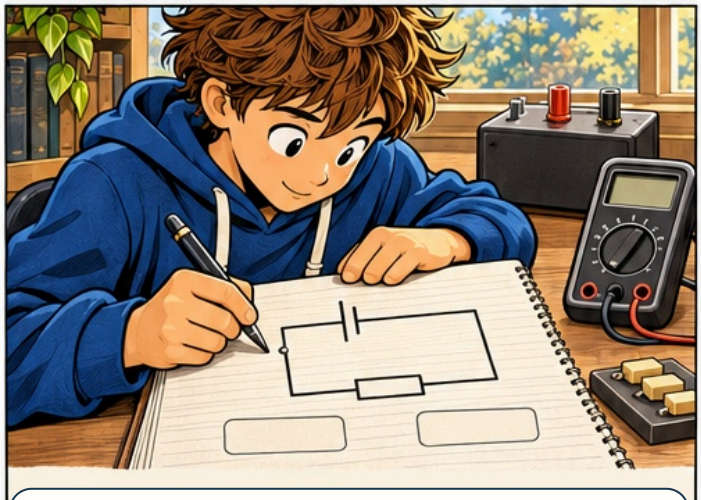
Wer nur die Formel behält, verliert den Weg der Forschung.



Der Junge bereitet ein Heft für eigene Beobachtungen vor.



Berechnete und gemessene Werte hält er getrennt.



Auch Schaltung und Einheiten wird er festhalten.



Verstehen hilft mehr als Aufsagen.

# Ein Buch im Jahr 1827



1827 veröffentlicht Ohm seine mathematische Arbeit über den galvanischen Kreis.



Das Werk führt seine Forschungen ausführlich aus.



Wissenschaft bietet Zusammenhänge, die andere untersuchen können.



Ohms Name wird auch zur Einheit des Widerstands.



Der Junge sieht das kleine Bauteil nun anders.



Auch er wird eine Idee mit Beobachtungen verbinden.

# Der Versuch im Club



Sie wählen eine sehr einfache Gleichstromschaltung.



Eine Niederspannungsquelle versorgt einen geeigneten Widerstand.



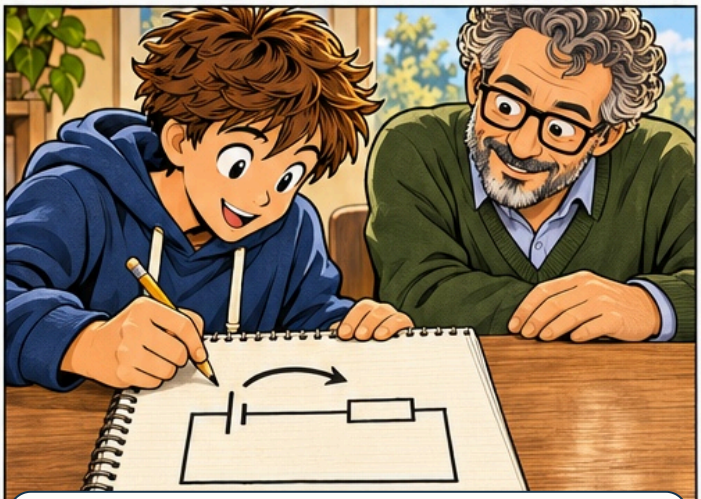
Das Lehrmaterial besitzt eine Strombegrenzung.



Kein netzbetriebenes Gerät wird geöffnet oder verändert.



Der Begleiter prüft Geräte, Anleitungen und Einsatzgrenzen.



Ihre Frage: Was geschieht mit dem Strom, wenn sich die Spannung ändert?

# Spannung zwischen zwei Punkten



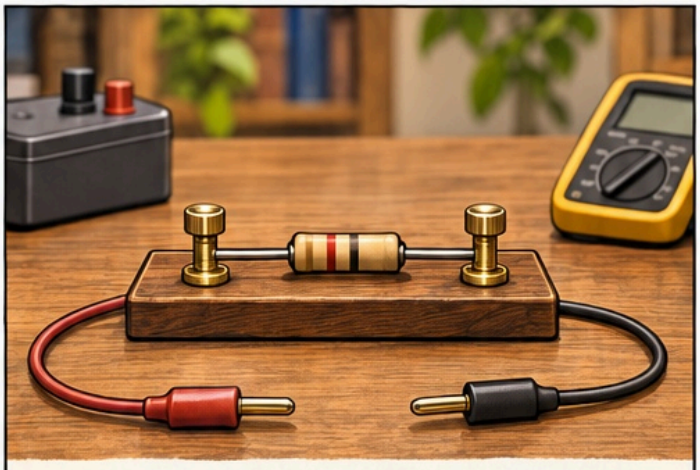
Spannung ist zwischen zwei Punkten einer Schaltung definiert.



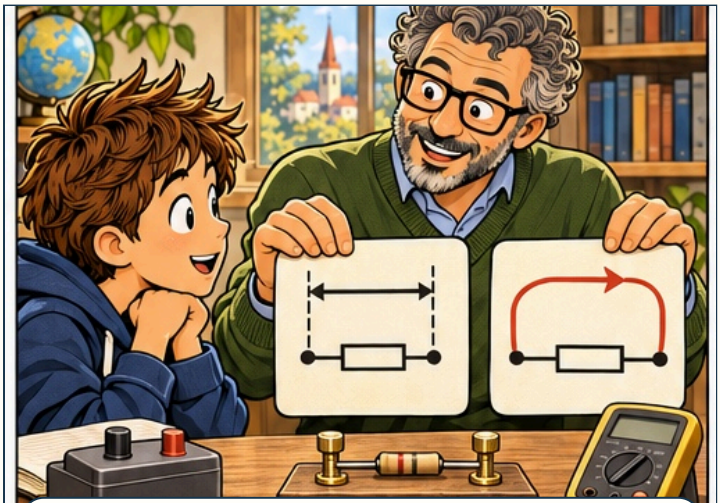
Wir nennen sie U und geben sie in Volt, Symbol V, an.



Eine Spannungsangabe braucht also zwei bestimmte Punkte.



Hier betrachten sie die beiden Anschlüsse des Widerstands.



Spannung ist keine im Draht versteckte Strommenge.



Der Junge zeichnet beide Punkte ins Heft.

# Der Strom in der Schleife



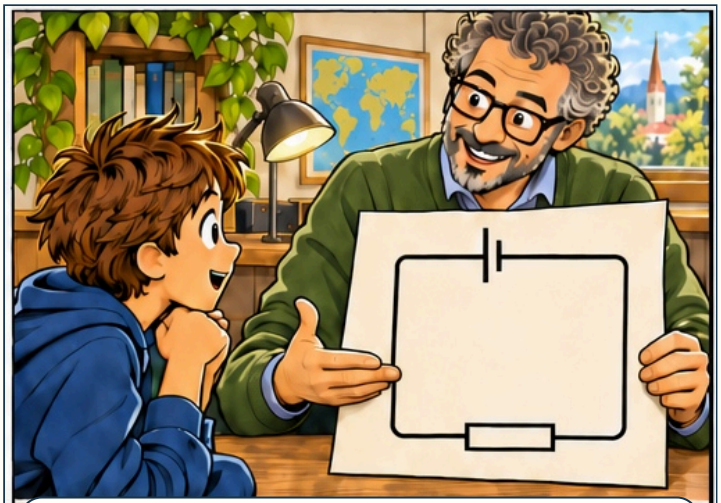
Die Stromstärke heißt I; ihre Einheit ist Ampere, Symbol A.



Dauerhafter Strom braucht hier eine geschlossene leitende Schleife.



Bei offener Schleife fließt kein Strom durch den Widerstand.



In dieser einfachen Schleife fließt durch jedes Element derselbe Strom.



Außerhalb der Quelle verläuft die technische Stromrichtung von Plus nach Minus.

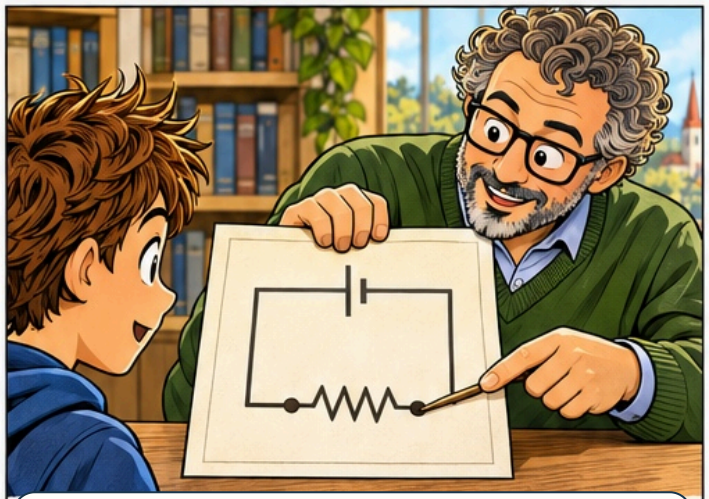


Der Junge verfolgt den Weg auf Papier, noch ohne Anschluss.

# Die Rolle des Widerstands



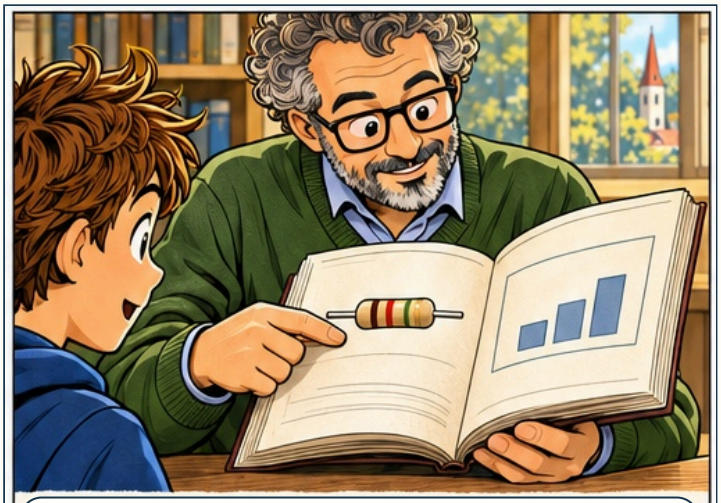
Der Widerstand heißt R; seine Einheit ist Ohm, Symbol Ω.



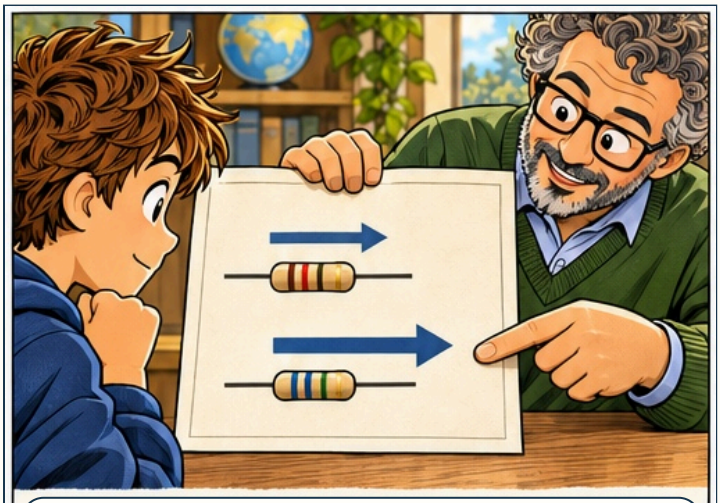
Er verbindet hier Bauteilspannung und hindurchfließenden Strom.



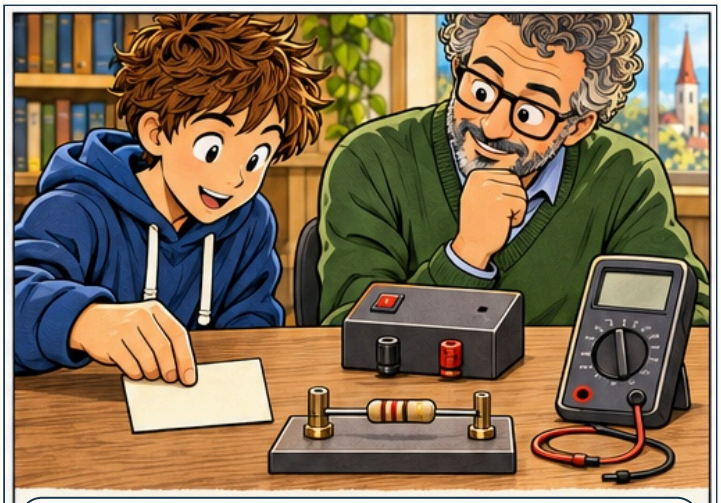
Für ihren Versuch wählen sie einen ohmschen Widerstand.



Seine Temperatur muss ausreichend stabil bleiben.



Bei gleicher Spannung bedeutet mehr Widerstand weniger Strom.

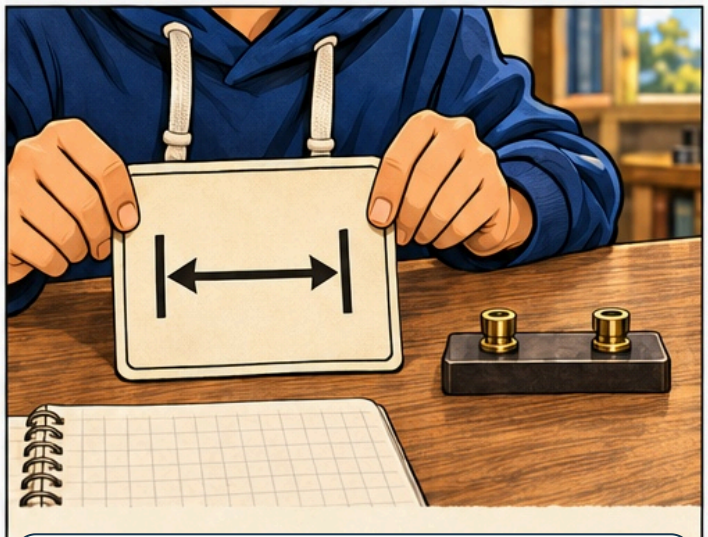


Diese Aussage wartet noch auf ihre Überprüfung.

# Drei Größen, drei Einheiten



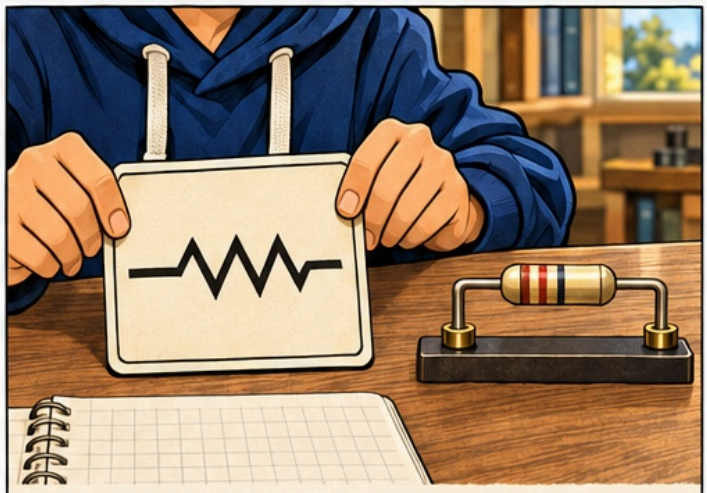
Das Heft unterscheidet U, I und R.



Spannung U wird in Volt V angegeben.



Stromstärke I wird in Ampere A angegeben.



Widerstand R wird in Ohm Ω angegeben.



Größenbuchstabe und Einheitenzeichen erfüllen unterschiedliche Aufgaben.



Bei jedem Ergebnis steht die Einheit neben der Zahl.

# Vorbereiten vor dem Anschließen



Während der Vorbereitung bleibt die Quelle getrennt.



Sie wählen einen Widerstand von 100 Ω mit 1 W Belastbarkeit.



Die Vorführung bleibt zwischen 1,5 V und 4,5 V Gleichspannung.



Der Begleiter prüft, ob alle Teile diesen Versuch vertragen.



Leitungen sind unbeschädigt, Anschlüsse ohne Improvisation zugänglich.



Der Junge zeichnet die Schaltung vor ihrer Benutzung.

# Einen isolierten Widerstand messen



Vor dem Versuch prüfen sie den Widerstand mit dem Multimeter.



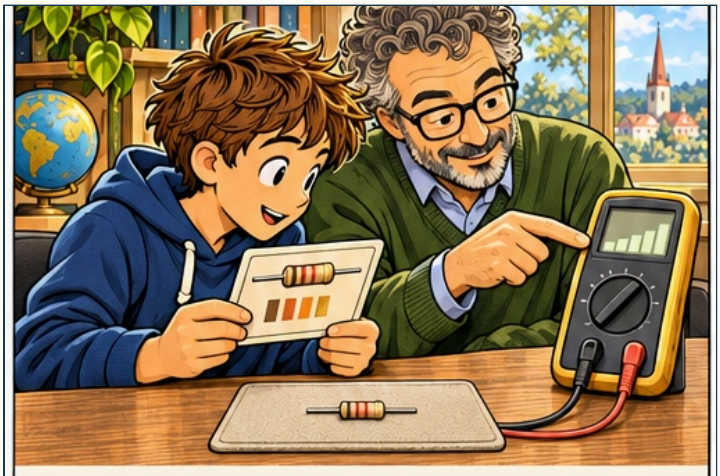
Das Bauteil ist vom Kreis isoliert, jede Quelle getrennt.



Das Gerät wird nach Anleitung als Ohmmeter eingestellt.



Ein Messwert nahe 100 Ω bestätigt das gewählte Bauteil.



Die Toleranz erklärt Abweichungen vom Nennwert.

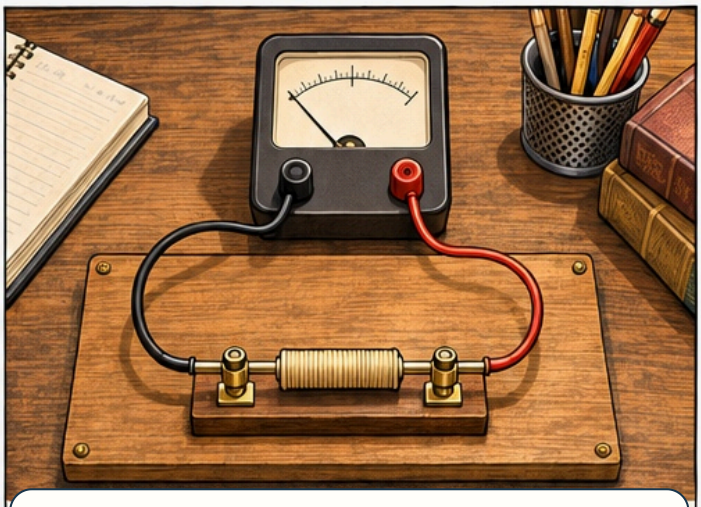


Sie notieren den Messwert und entfernen die Prüfspitzen.

# Spannung wird parallel gemessen



Für U wird das Voltmeter an beide Widerstandsanschlüsse gelegt.



Es bildet einen parallelen Zweig zum Widerstand.



Beim Anbringen der Leitungen ist die Quelle getrennt.



Der Begleiter prüft Buchsen, Gleichspannungsfunktion und Messbereich.



Dann versorgen sie die Schaltung und lesen die Spannung ab.



Vor dem Abschalten wird der beobachtete Wert notiert.

# Strom wird in Reihe gemessen



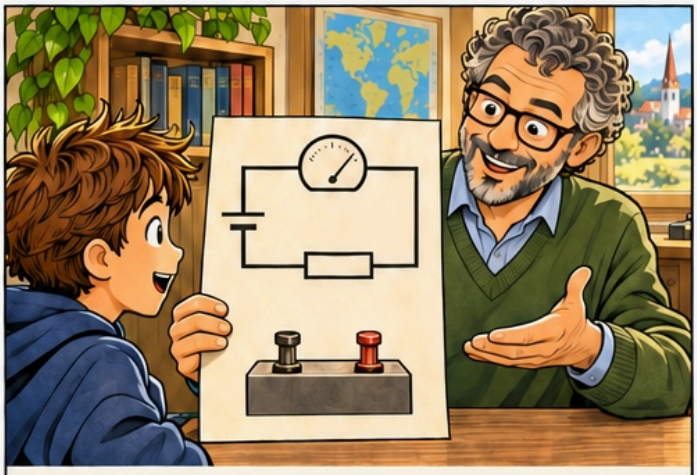
Für I braucht man eine andere Anordnung.



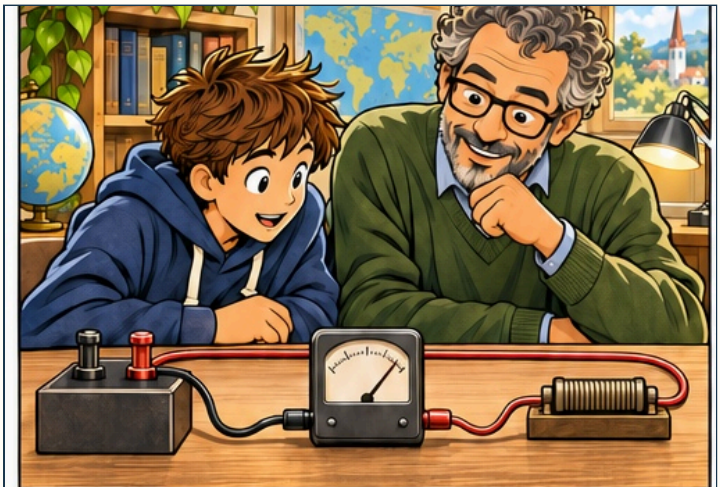
Bei getrennter Quelle öffnet der Begleiter den Kreis und fügt das Amperemeter in Reihe ein.



Er prüft Strombuchse, Sicherung, Gleichstromfunktion und passenden Bereich.



Ein Amperemeter darf nie direkt an die Quellenanschlüsse.



Nach der Kontrolle schalten sie ein und lesen den Strom ab.

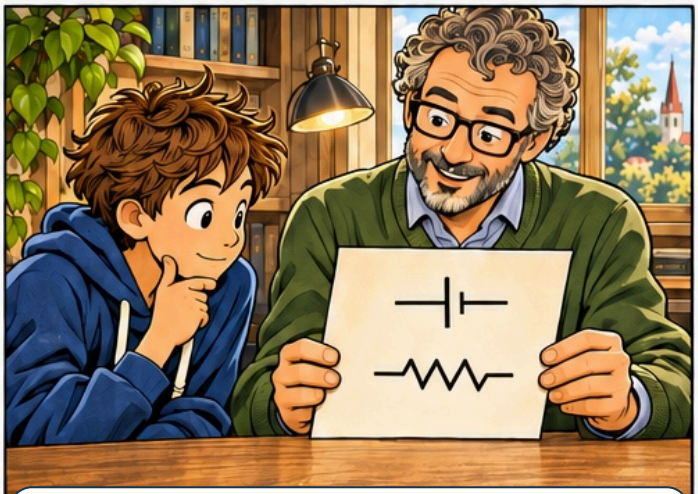


Vor jeder Änderung schalten sie ab; danach stecken sie für Spannung zurück.

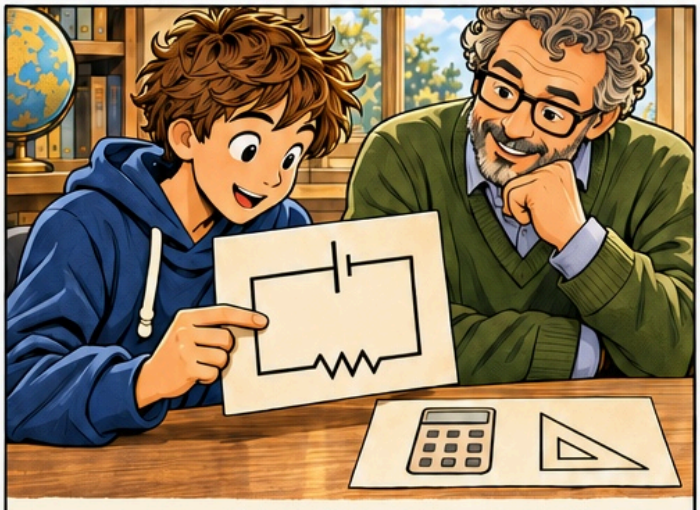
# Ein erster Vergleichspunkt



Sie beginnen mit der niedrigsten vorgesehenen Spannung.



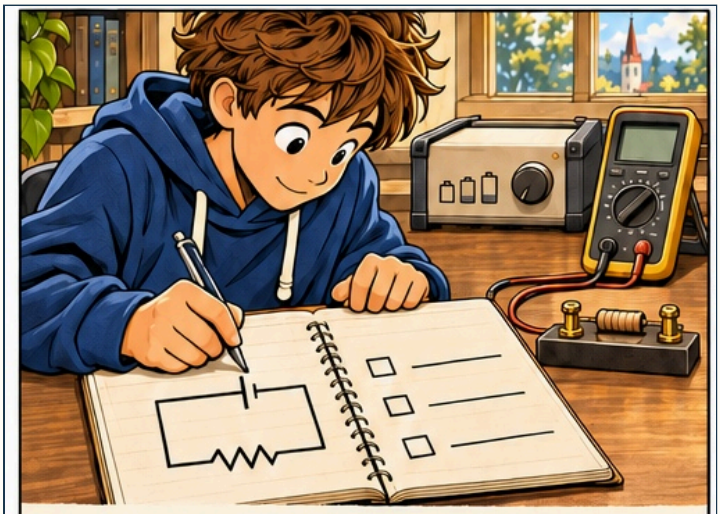
Ihr ideales Beispiel verbindet 1,5 V mit 100 Ω.



Erwartet werden 0,015 A, also 15 mA.



Reale Messungen stehen getrennt von Idealwerten.



Lucas notiert Schaltung und Einheiten.



Die erste Zeile ist erst ein Ausgangspunkt.

# Die doppelte Spannung



Vor dem Verstellen wird die Quelle getrennt.



Widerstand und Messbedingungen bleiben gleich.



Im idealen Beispiel steigt die Spannung von 1,5 V auf 3 V.



Der Strom steigt dabei von 15 mA auf 30 mA.



Die Spannung ist doppelt so groß; der Strom ebenfalls.



Der Junge vergleicht Vorhersage und neue Beobachtungen.

# Ein dritter Versuch



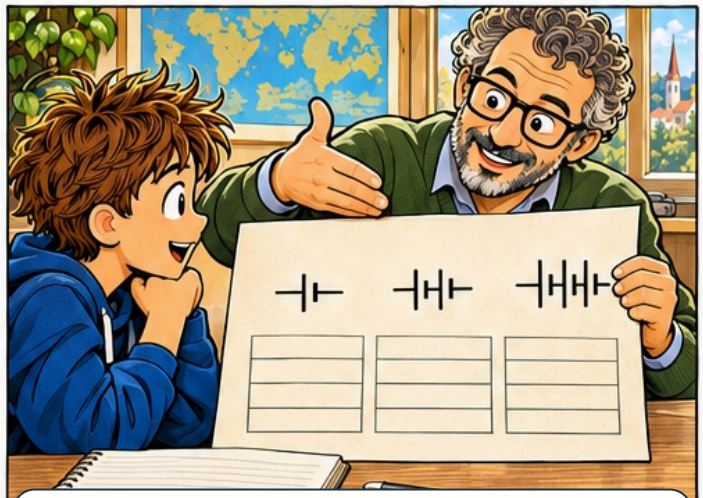
Ein weiterer Versuch soll den Trend praktisch bestätigen.



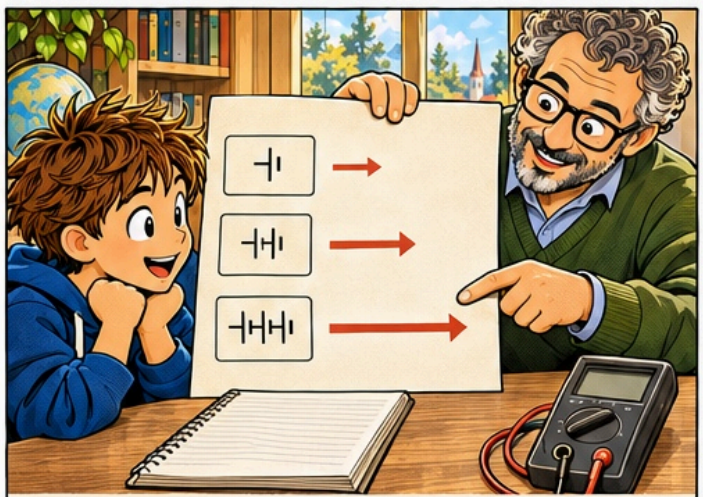
Sie folgen derselben Vorgehensweise bis 4,5 V.



Bei 100 Ω sagt das ideale Modell 0,045 A oder 45 mA voraus.



Das Beispiel umfasst nun 1,5 V, 3 V und 4,5 V.



Dazu gehören 15 mA, 30 mA und 45 mA.



Nach dem Ablesen wird die Quelle wieder getrennt.

# Was gleich bleibt



Der Junge teilt jede Spannung durch ihren Strom in Ampere.



1,5 V ÷ 0,015 A ergibt 100 Ω.



3 V ÷ 0,030 A ergibt wieder 100 Ω.



4,5 V ÷ 0,045 A ergibt weiterhin 100 Ω.



In diesem idealen Beispiel bleibt U/I konstant.



Diese Konstante ist der Widerstand R.

# Der Zusammenhang wird sichtbar



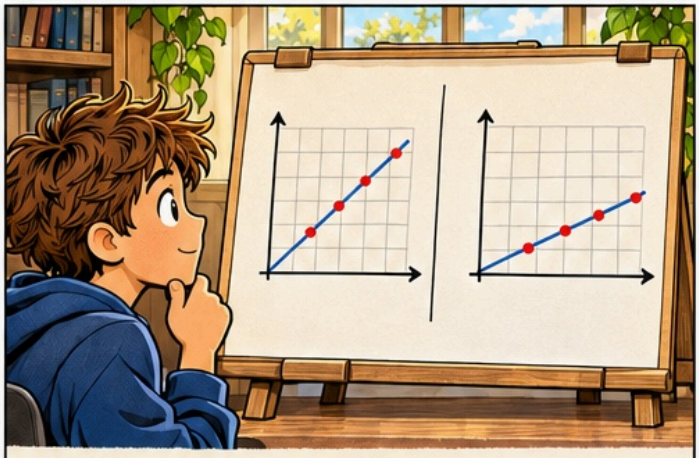
Eine Grafik zeigt die Proportionalität.



Beim idealen Widerstand liegen die Punkte auf einer Geraden durch den Ursprung.



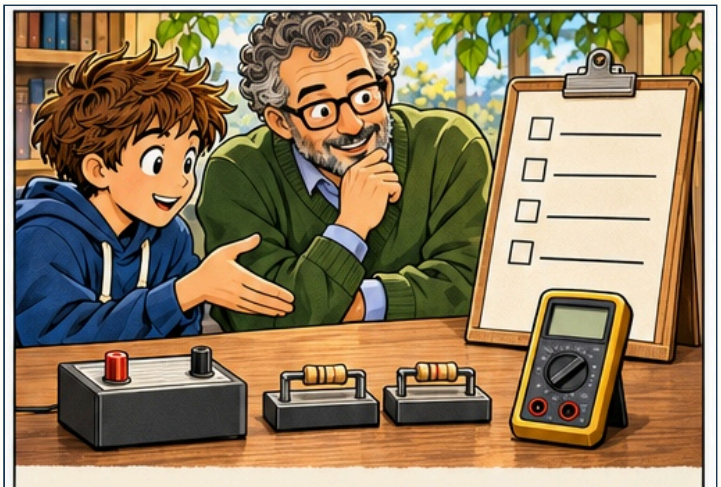
Mit U waagerecht und I senkrecht beträgt die Steigung 1/R.



Vertauschte Achsen ändern die Bedeutung der Steigung.



Reale Messpunkte können etwas von der Geraden abweichen.



Die Grafik erklärt Zahlen, ersetzt aber keine Versuchsbedingungen.

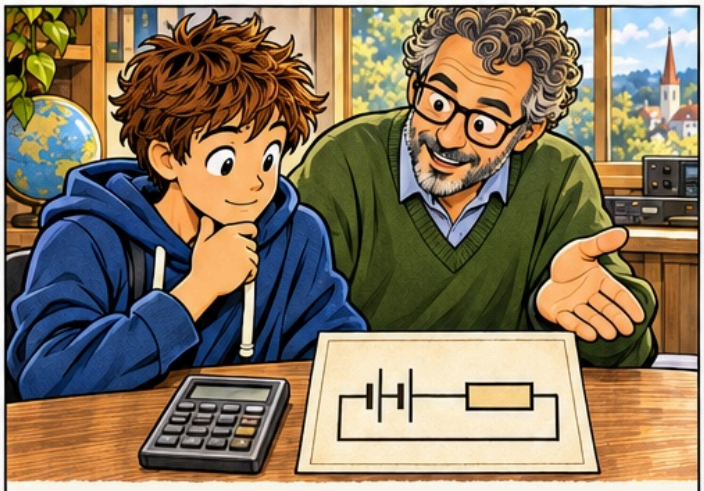
# U = R × I



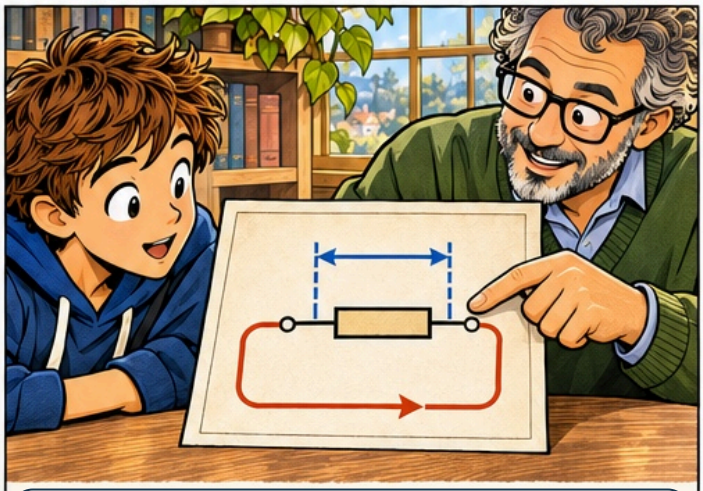
Der Zusammenhang lautet U = R × I.



Die Spannung am ohmschen Widerstand ist R mal I.



Mit R = 100 Ω und I = 0,030 A folgt U = 3 V.



Alle Größen müssen zum selben Bauteil gehören.




Der Strom wird dabei in Ampere eingesetzt.



Der Junge versteht endlich, was die Formel verbindet.

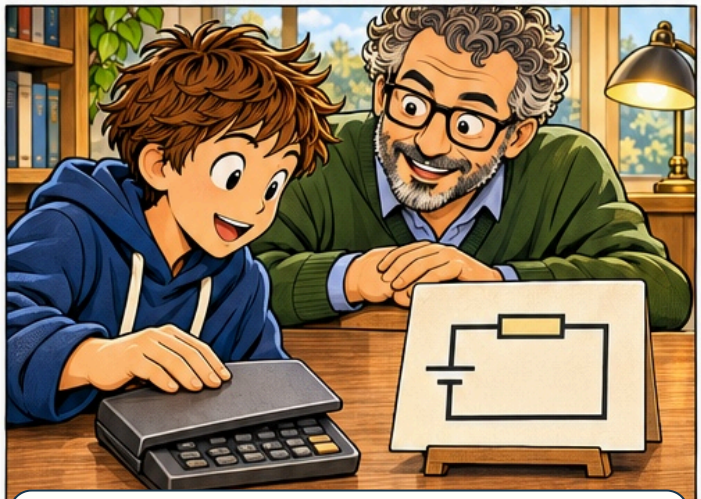
# Den Strom bestimmen



Kennt der Junge U und R, kann er I vorhersagen.



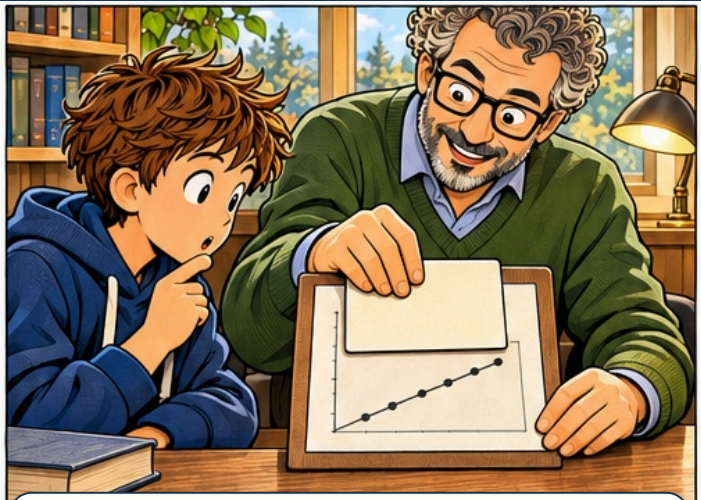
Er formt die Beziehung zu I = U/R um.



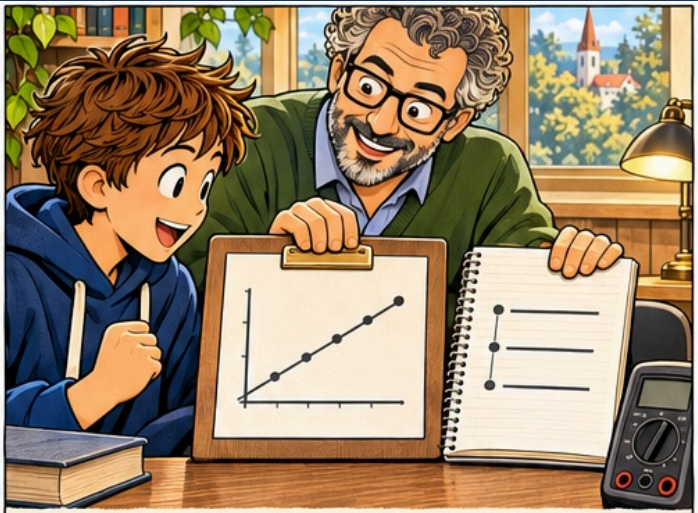
Bei 3 V und 100 Ω rechnet er 3 ÷ 100 = 0,030 A.



Das entspricht 30 mA.



Er nennt seine Vorhersage vor dem Blick auf die Messung.



Die Rechnung stellt dem Versuch eine Frage.

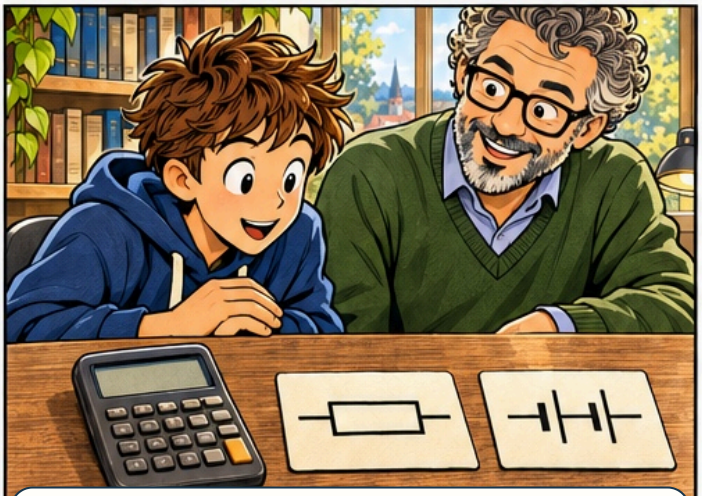
# Den Widerstand bestimmen



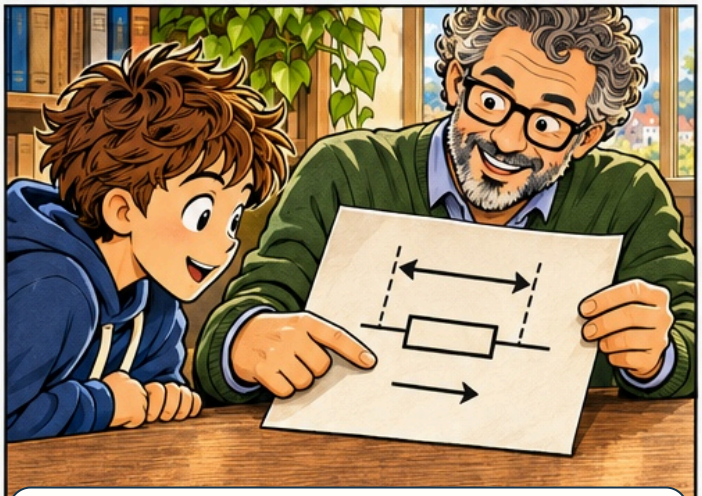
Eine andere Frage beginnt mit U und I.



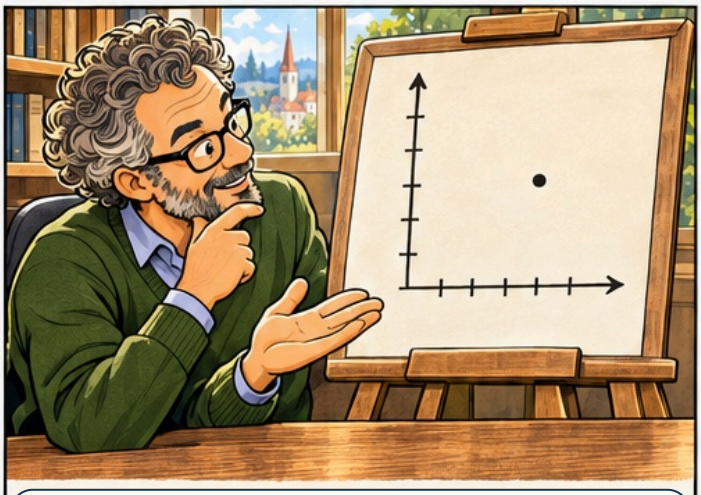
Nun lautet die Beziehung R = U/I.



Im Beispiel ergeben 3 V und 0,015 A einen Widerstand von 200 Ω.



Spannung und Strom müssen denselben Zweipol zum selben Zeitpunkt betreffen.



Dieser Quotient allein beweist noch kein ohmsches Verhalten.



Dafür muss man mehrere Punkte beobachten.

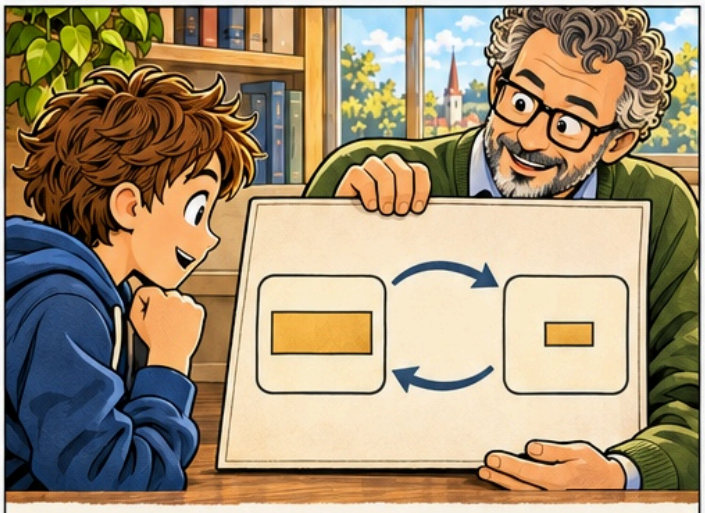
# Achtung bei Milliampere



Der Junge notiert 30 mA und zögert am Taschenrechner.



Ein Milliampere ist ein Tausendstel Ampere.



30 mA = 0,030 A; 15 mA = 0,015 A.



30 statt 0,030 einzusetzen verändert das Ergebnis um Faktor tausend.



Er rechnet zuerst um und verwendet dann zusammenpassende Einheiten.



Eine Größenordnungsprüfung ergänzt seine Antwort.

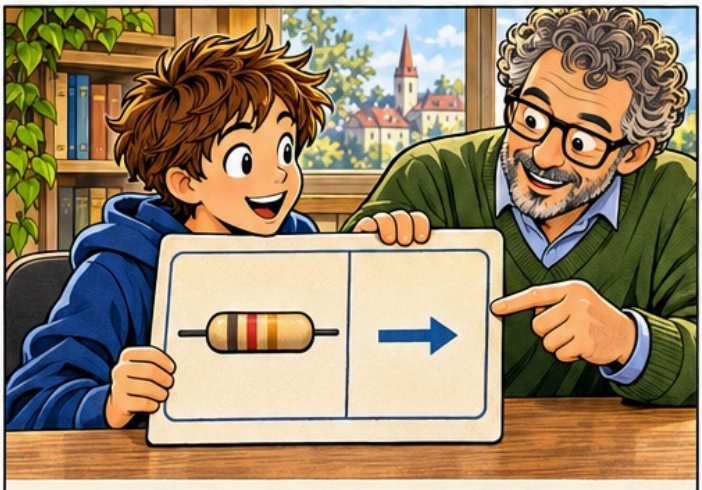
# Vor dem Ändern vorhersagen



Sie vergleichen zwei Widerstände bei gleicher Spannung.



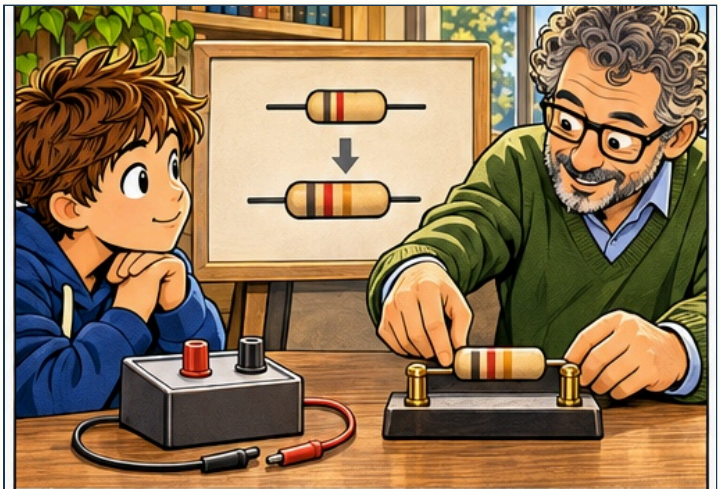
Bei 3 V und 100 Ω beträgt der ideale Strom 30 mA.



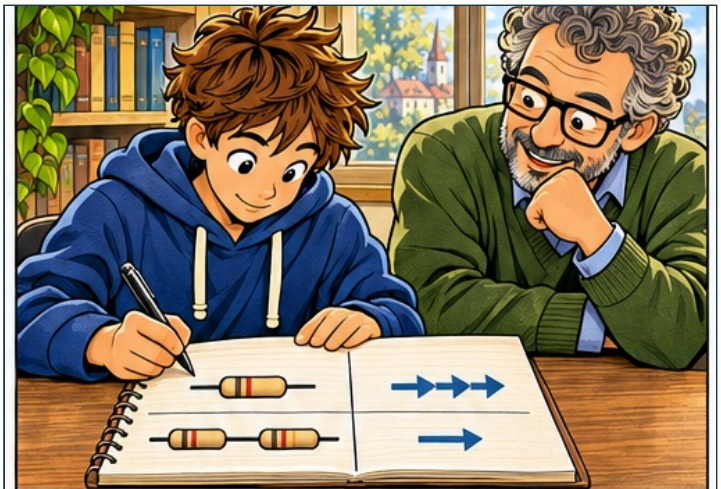
Bei 3 V und 200 Ω beträgt er 15 mA.



Doppeltes R halbiert I, solange U gleich bleibt.



Vor dem Bauteiltausch trennen sie die Quelle.

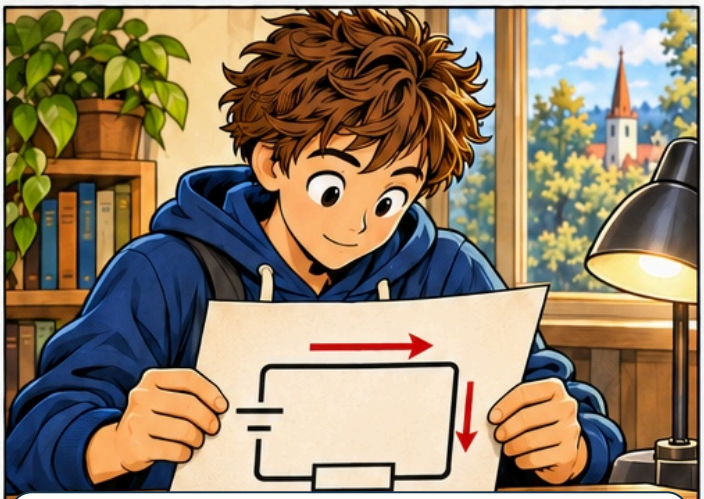


Zuerst notiert der Junge die Vorhersage, danach die Messwerte.

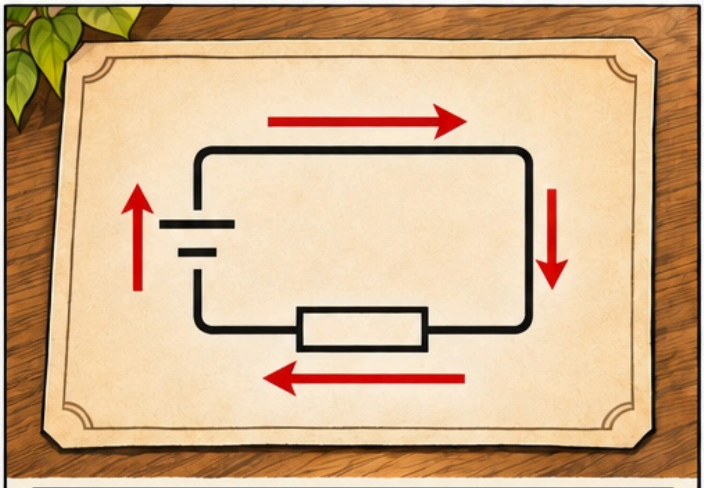
# Weder Sperre noch Vorrat



Strom wird im Widerstand nicht für später gespeichert.



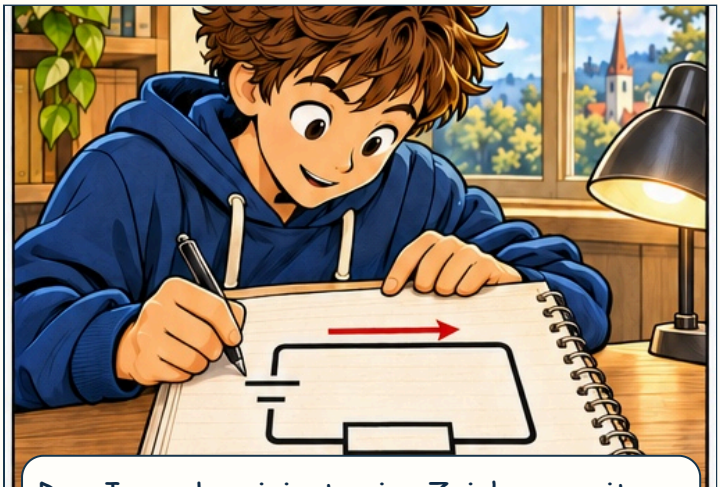
Der Widerstand verbraucht die Stromstärke in diesem Kreis nicht schrittweise.



Im eingeschwungenen Zustand ist der Strom davor und dahinter gleich.



Elektrische Energie wird umgewandelt, insbesondere in Wärme.

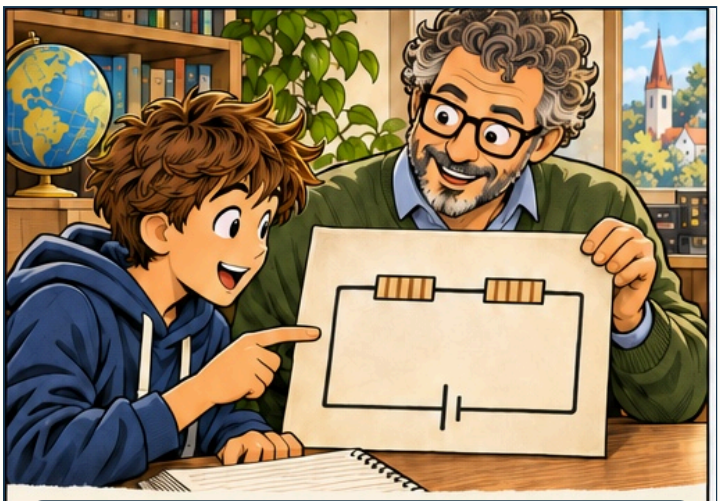


Der Junge korrigiert seine Zeichnung mit kleiner werdenden Pfeilen hinter dem Bauteil.



Sein Modell passt besser zur Beobachtung.

# Zwei Widerstände in Reihe



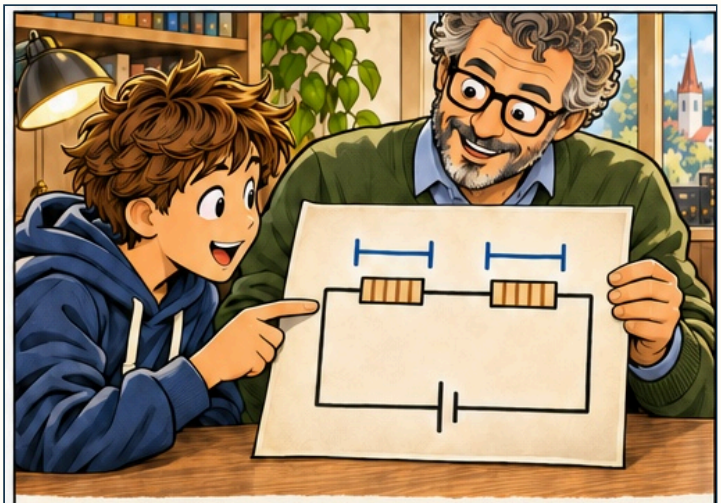
Auf Papier folgen zwei Widerstände von 100 Ω aufeinander.



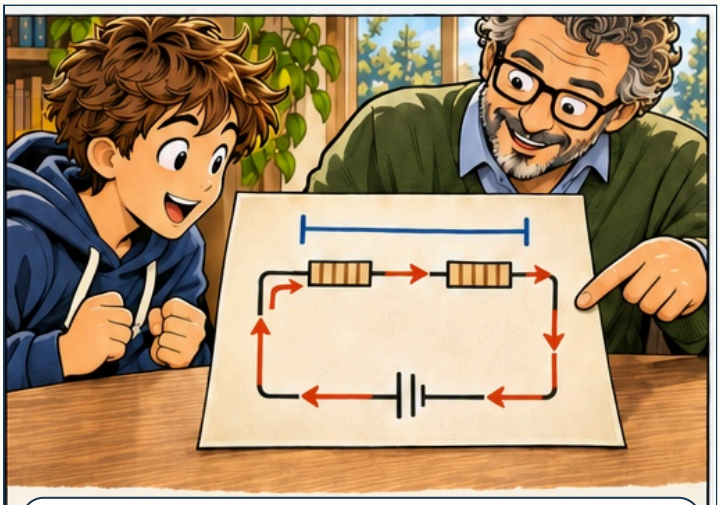
In Reihe gilt 100 Ω + 100 Ω = 200 Ω Ersatzwiderstand.



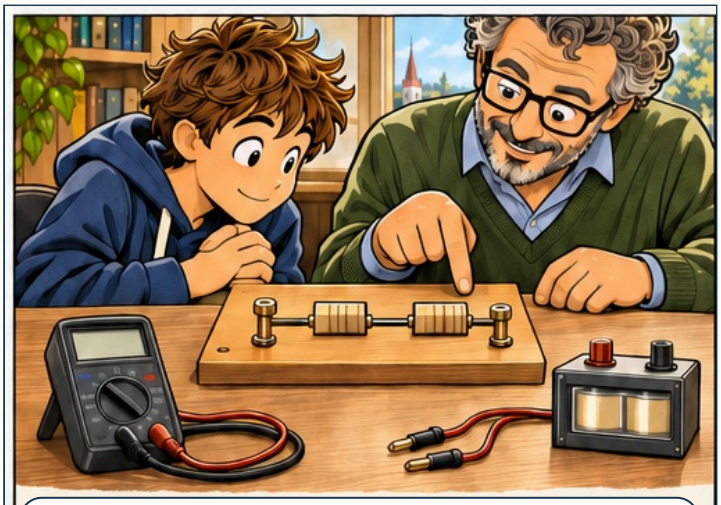
Bei 3 V beträgt der ideale Kreisstrom daher 15 mA.



An jedem Widerstand liegen dann 1,5 V.

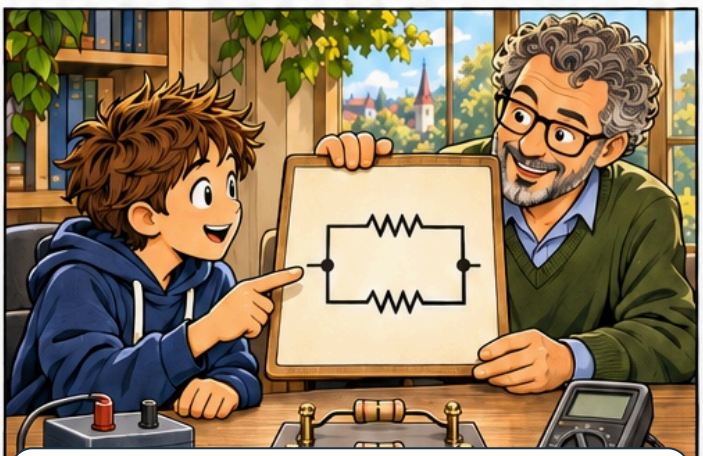


Die Spannungen addieren sich; durch beide Bauteile fließt derselbe Strom.

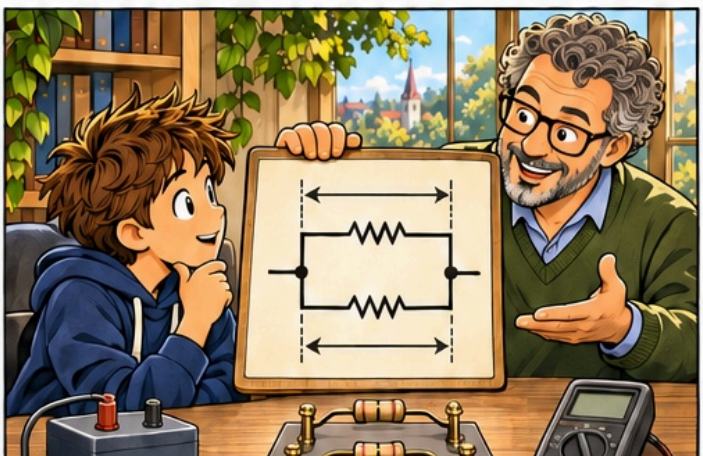


Sie prüfen dies am geeigneten, spannungsfrei veränderten Aufbau.

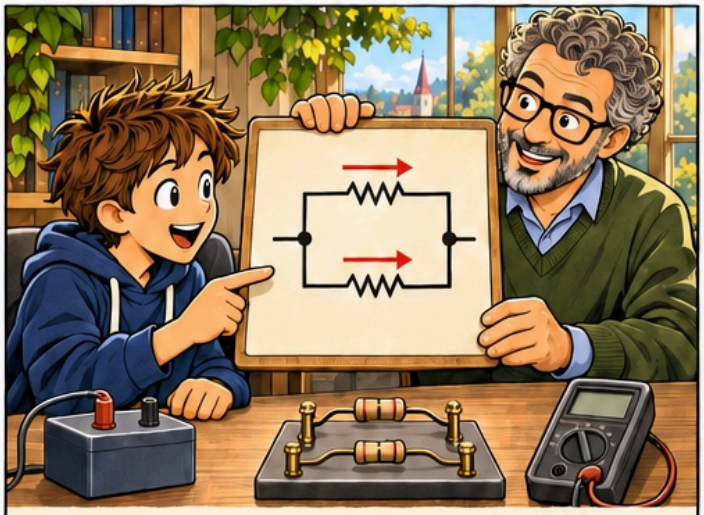
# Zwei parallele Wege



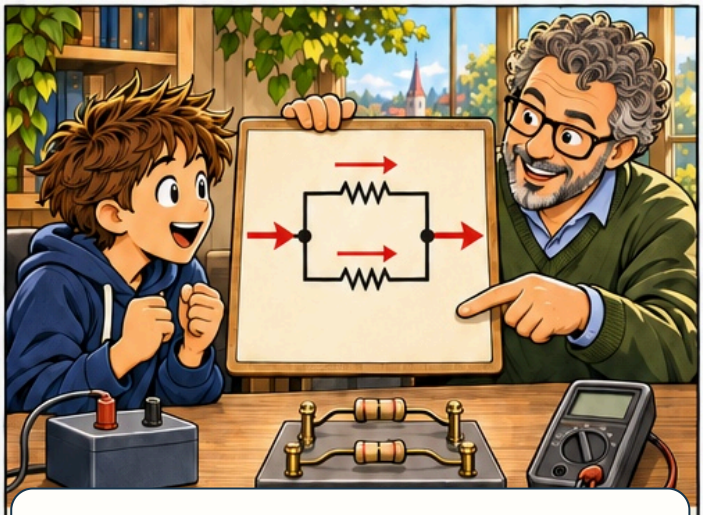
Eine andere Zeichnung zeigt zwei Widerstände von 100 Ω in parallelen Zweigen.



An jedem Zweig liegen dieselben 3 V.



Durch jeden Widerstand fließen ideal 30 mA.



Gesamt fließen 60 mA: Die Zweigströme addieren sich.

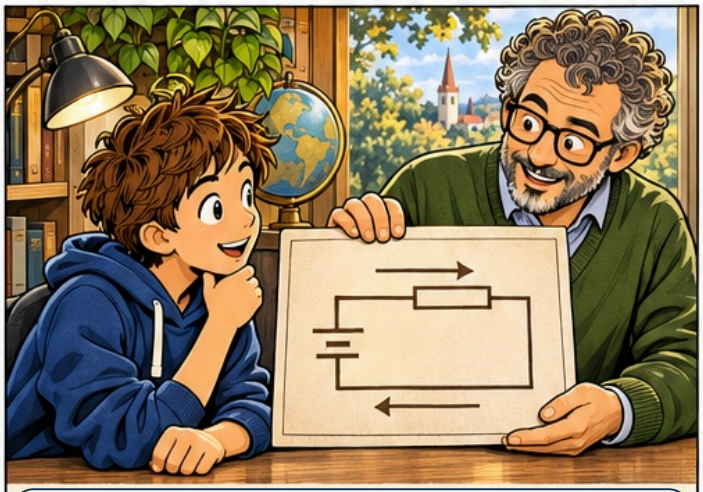


Der Ersatzwiderstand beträgt 3 V ÷ 0,060 A = 50 Ω.



Das gilt für diese Schaltung; bloßes Addieren der Widerstände ergibt es nicht.

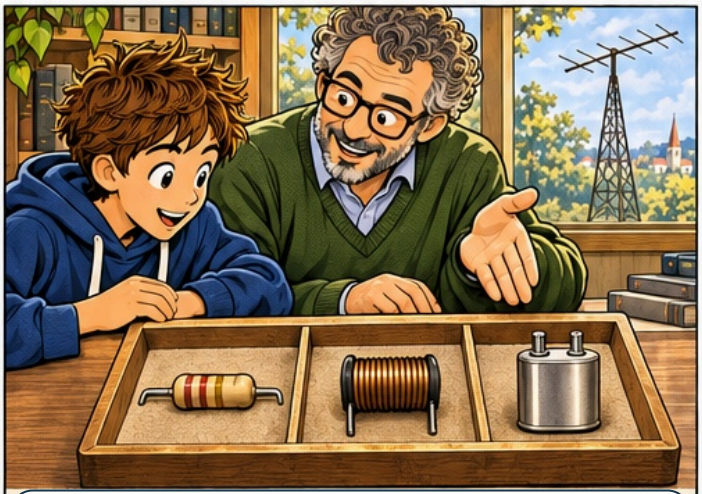
# Der Geltungsbereich des Modells



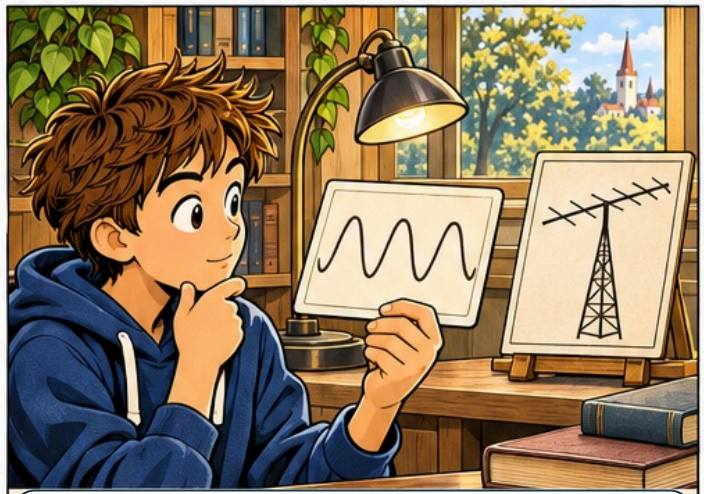
Ihre Rechnungen betreffen ohmsche Widerstände bei Gleichstrom.



Temperatur und Bauteileigenschaften sind weiterhin zu beachten.



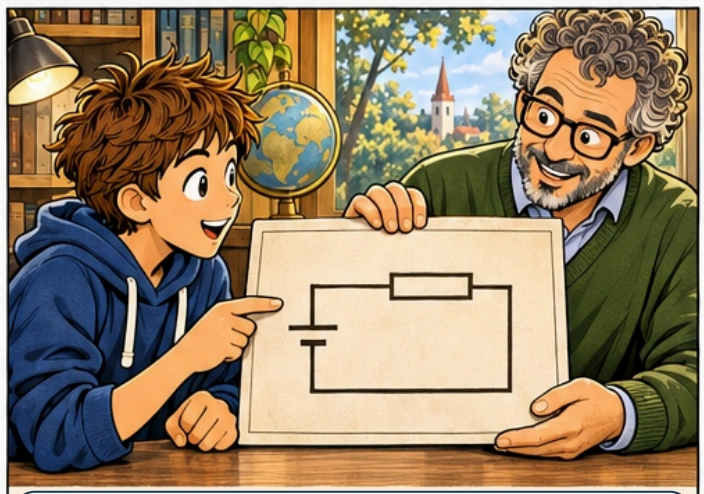
Spule, Kondensator oder Antenne lassen sich nicht immer darauf reduzieren.



Bei Hochfrequenz führen weitere Effekte zur Impedanz.




Der Junge hebt diese Frage für ein anderes Abenteuer auf.



Ein Modell verstehen heißt auch, seine Grenzen kennen.

# Auch Energie braucht eine Rechnung



Ihre Vorführung muss die Verlustleistung berücksichtigen.



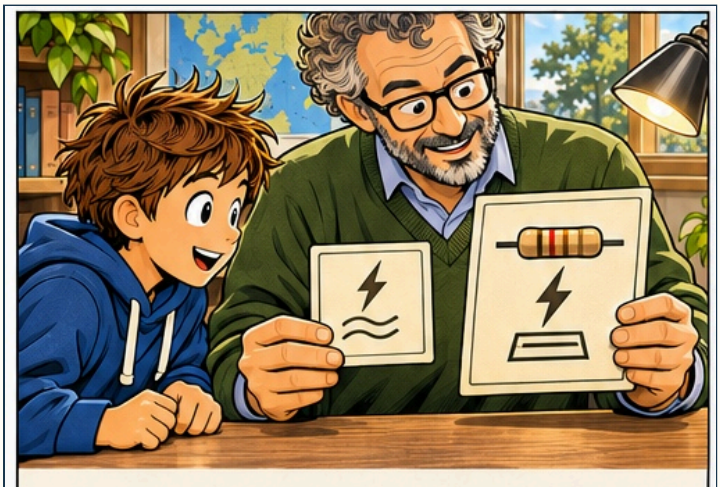
Bei Gleichstrom gilt P = U × I, mit P in Watt W.



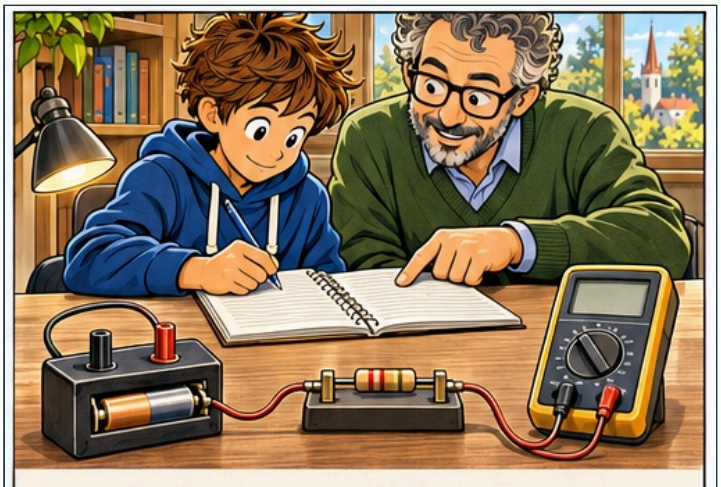
Bei 3 V und 0,030 A gilt P = 0,090 W.



Im Widerstand wird diese Energie vor allem zu Wärme.



Die zulässige Bauteilleistung darf nicht überschritten werden.



Auch kleine Schaltungen verlangen diese Prüfung.

# Mit Reserve wählen



Bei höchstens 4,5 V ergeben 100 Ω ideal 45 mA.



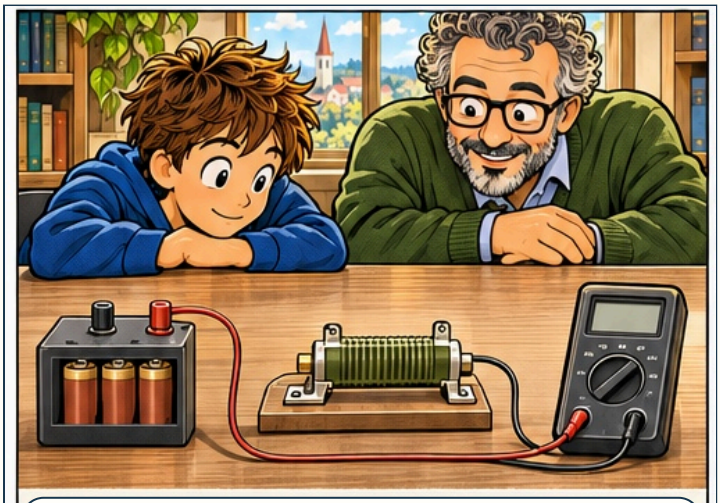
Die berechnete Leistung beträgt 4,5 × 0,045 = 0,2025 W.



Ihr 1-W-Widerstand lässt Reserve für den vorbereiteten Versuch.



Die Angabe hängt auch von den Herstellerbedingungen ab.



Sie prüfen Erwärmung niemals durch Berühren eines eingeschalteten Bauteils.



Henri berücksichtigt bei der Wahl stets die Gerätegrenzen.

# Der geheimnisvolle Widerstand



Der Mentor stellt ein letztes Rätsel auf einer Beispielkarte.



Am ohmschen Widerstand liegen 3 V bei 0,020 A.



Der Junge berechnet R = 3 ÷ 0,020 = 150 Ω.



Danach prüft er P = 3 × 0,020 = 0,060 W.



Er erklärt jeden Schritt, statt die erwartete Antwort zu erraten.



Das Rätsel zeigt seine Methode.

# Wenn die Messung etwas abweicht



Messwerte können leicht vom Ideal abweichen.



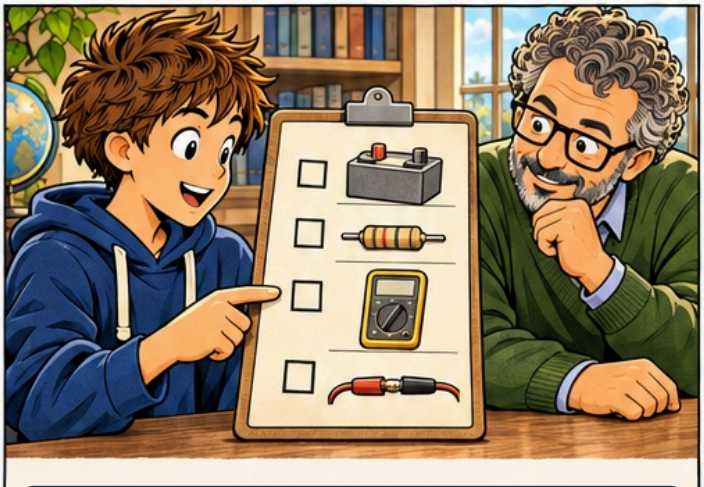
Der Widerstand hat eine Toleranz, die Quelle eine tatsächliche Spannung.



Auch das Messgerät hat Grenzen und kann den Kreis beeinflussen.



Unvollkommene Kontakte können die Beobachtung verändern.



Sie vergleichen Bedingungen, bevor sie das Gesetz für falsch erklären.



Der Junge notiert eine erklärbare Abweichung statt einen künstlich verbesserten Messwert.

# Aus Fehlern lernen



In einem Entwurf findet der Junge einen tausendfach zu hohen Strom.



Er versucht nicht, ihn durch Verstellen der Quelle zu erreichen.



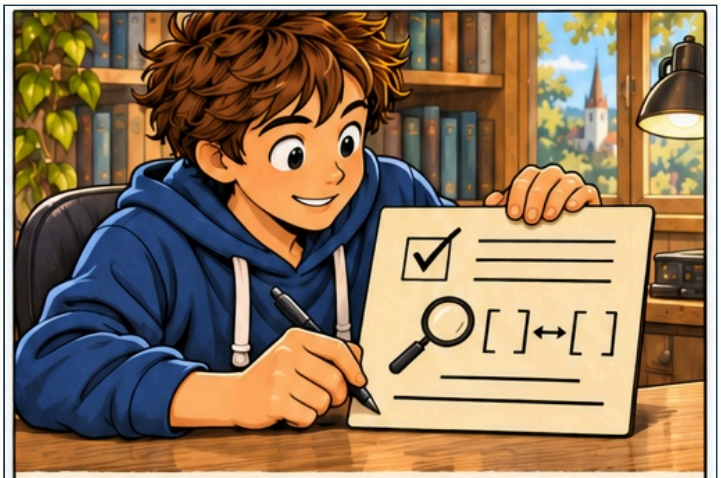
Bei der Einheitenprüfung entdeckt er Milliampere, die als Ampere eingesetzt wurden.



Die Schaltung bleibt währenddessen getrennt.



Nach dem Umrechnen stimmt die Größenordnung wieder.

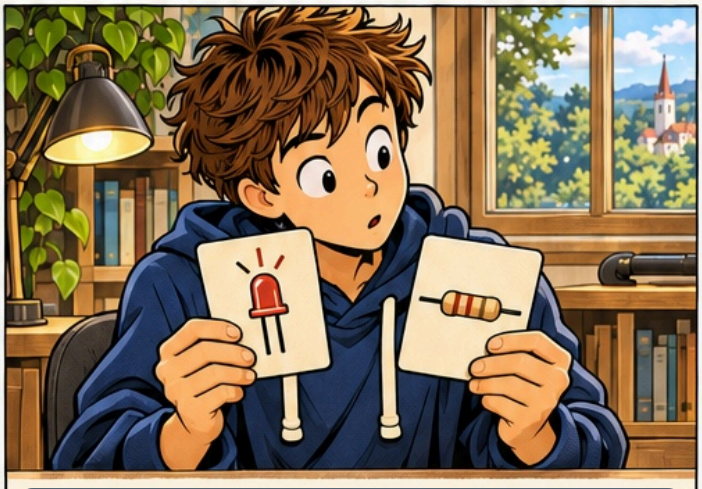


Ein erkannter Fehler wird zur hilfreichen Erinnerung.

# Die Diode stellt eine neue Frage



In einer nahen Schachtel entdeckt der Junge eine Leuchtdiode.



Kann man sie wie einen festen Widerstand behandeln?



Der Begleiter erklärt ihren nichtlinearen Zusammenhang zwischen Spannung und Strom.



U = R × I mit konstantem R beschreibt daher nicht jede Diode.



Sie bleibt in der Schachtel; ihre Untersuchung braucht einen geeigneten Aufbau.




Ein verstandenes Gesetz schützt auch vor unbedachter Anwendung.

# Die Temperatur kann zählen



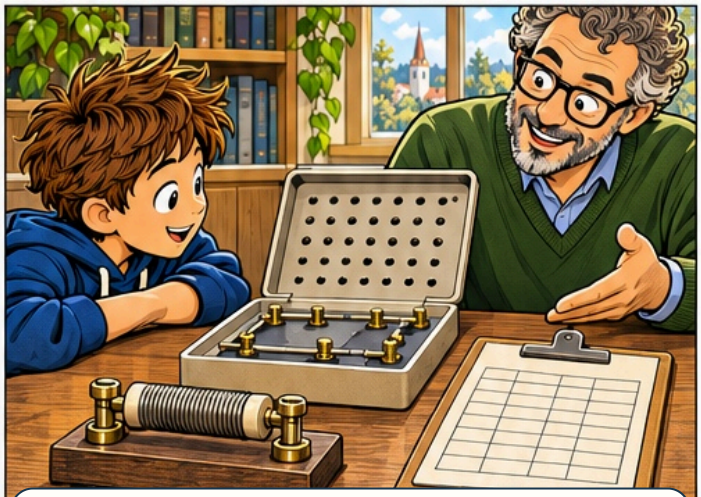
Eine Glühlampe zeigt ein weiteres abweichendes Verhalten.



Mit ihrer Temperatur ändert sich ihr Widerstand.



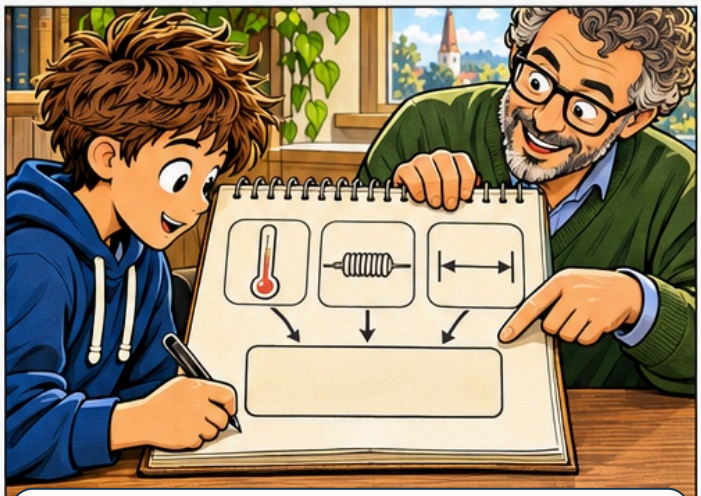
Ein augenblicklich berechneter Wert wird keine allgemeingültige Konstante.



Auch ihr Widerstand muss innerhalb normaler Einsatzbedingungen bleiben.



Sie führen zum Beweis keinen Heizversuch durch.

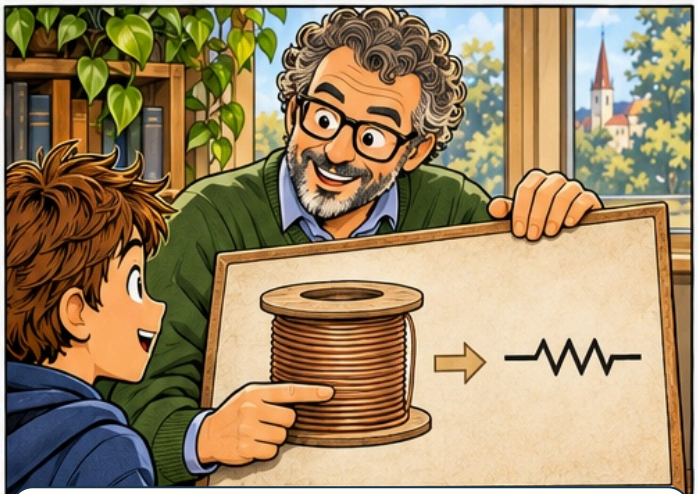


Der Junge notiert die Geltungsbedingungen neben der Formel.

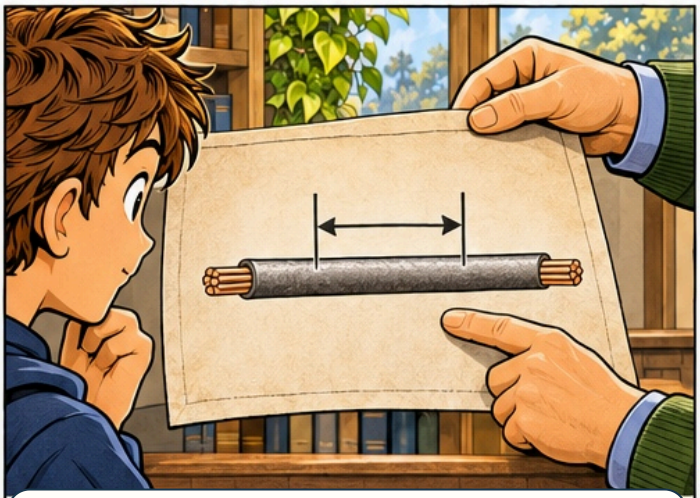
# Bis zu den Stationsleitungen



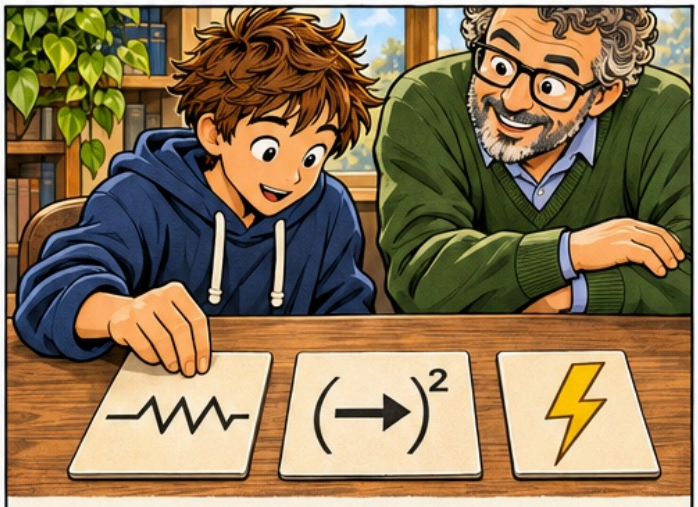
Der Junge betrachtet nun die Drähte seiner Schaltung.



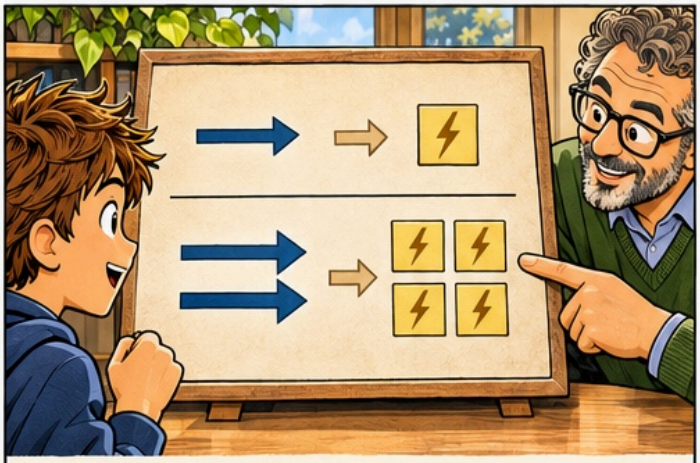
Auch ein realer Leiter kann Widerstand besitzen.



Fließt Strom hindurch, entsteht ein Spannungsabfall.




Für einen Widerstand gilt auch $P = R \times I^2$.



Bei gleichem R vervierfacht doppeltes I diese Leistung.



Er versteht passende Kabel und Anschlüsse besser, ohne die Station zu verändern.

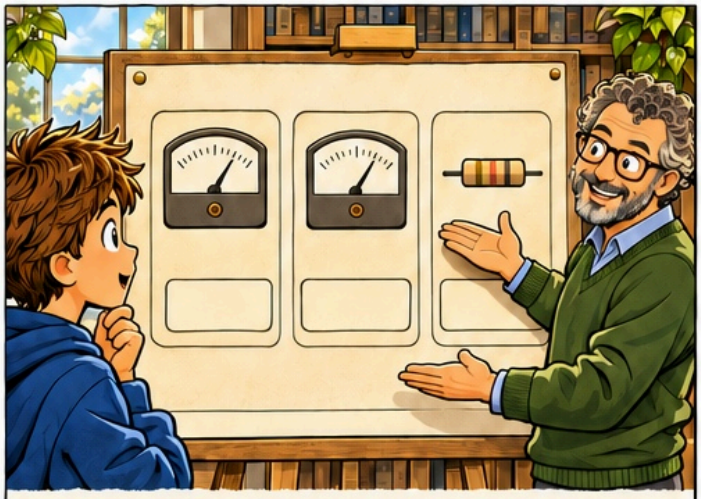
# Die Vorführung vorbereiten



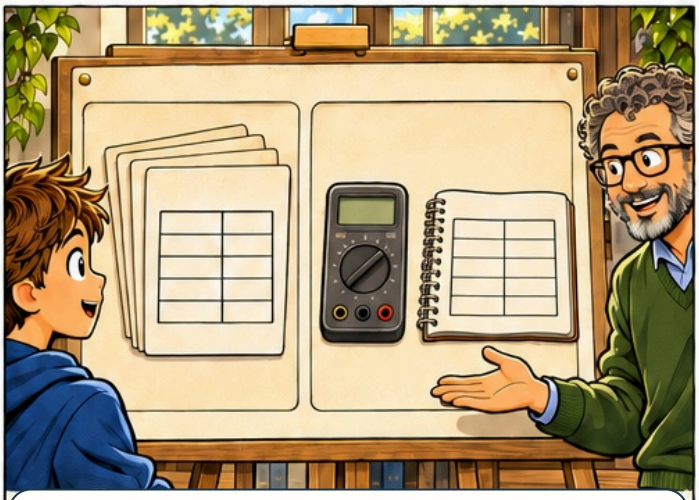
Die Besucheraktivität rückt näher.



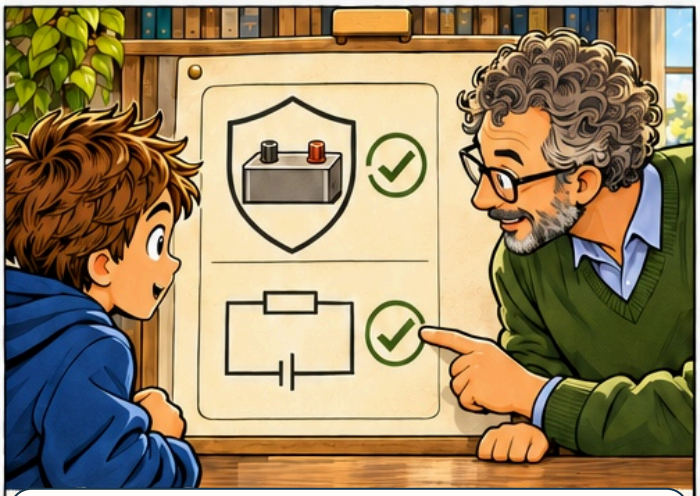
Der Junge wählt eine Schaltung für das Wesentliche.



Er stellt U, I und R samt Einheiten vor.



Neben dem idealen Beispiel bleibt ein eigener Platz für Messwerte.



Anschlussregeln und Modellgrenzen bleiben sichtbar.



Seine Geschichte beginnt wie Ohms Forschung mit einer Frage.

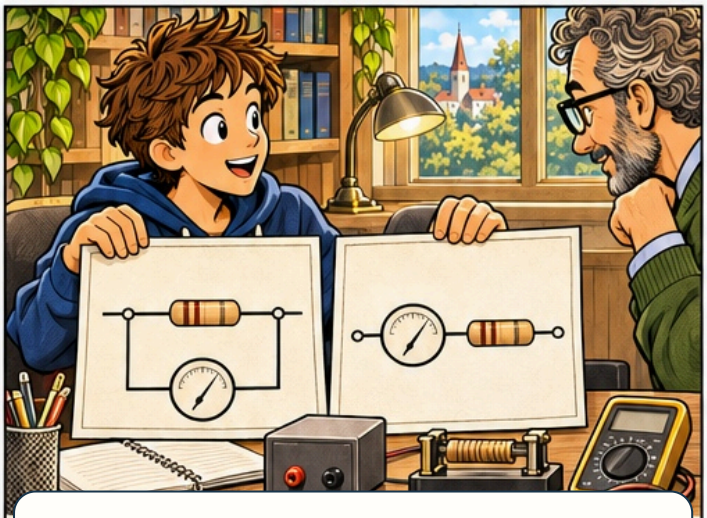
# Gemeinsam durchsehen



Henri spielt einen neugierigen Besucher.



Lucas erklärt die Spannungsmessung zwischen zwei Punkten.



Er unterscheidet die Anschlüsse von Volt- und Amperemeter.



Er erinnert: Anschlüsse werden immer bei getrennter Quelle verändert.



Dann begründet er Widerstandswahl und Belastbarkeit.



Eine schwierige Frage macht seine Erklärung genauer.

# Vorhersagen, messen, verstehen



Die Probe endet mit einem Versuch innerhalb der vorbereiteten Grenzen.



Der Junge sagt den Strom aus Spannung und Widerstand voraus.



Der Begleiter prüft den Aufbau und beaufsichtigt die Messungen.



Dann vergleicht der Junge Vorhersage und Beobachtung samt Einheiten.



Kleine Abweichungen erklärt er jetzt ohne erfundene Ergebnisse.



Danach wird die Quelle getrennt und alles aufgeräumt.

# Eine Entdeckung auf Reisen



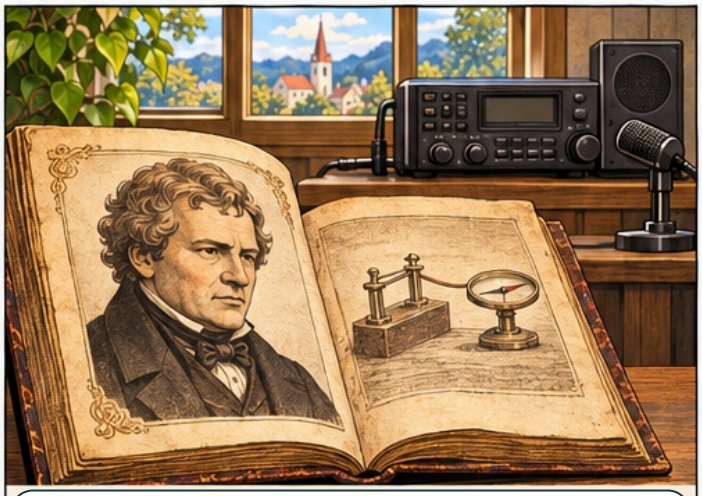
Lucas öffnet das Buch wieder bei Georg Simon Ohm.



Zwischen alter Werkstatt und Club haben sich Instrumente verändert.



Geduldiges Beobachten bleibt dennoch vertraut.



Ohm hat ihre Station nicht gebaut; seine Arbeit hilft, sie zu verstehen.



Das moderne Heft antwortet dem vorgestellten Heft des Forschers.



Eine Idee reist weit, wenn man sie weiter hinterfragt.

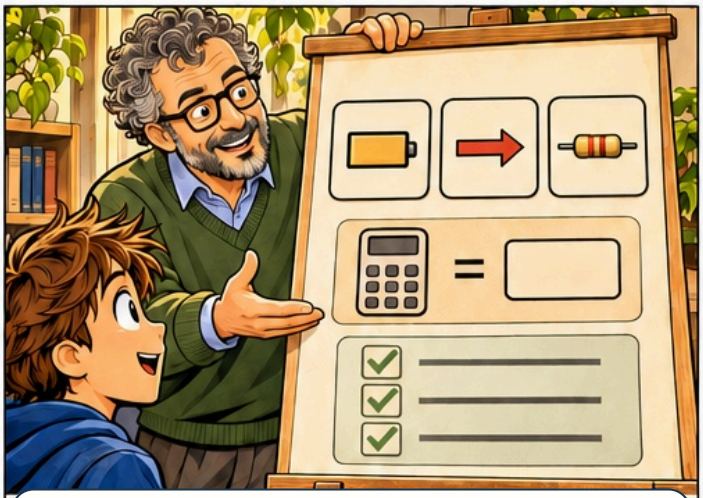
# Eine Formel wird zum Werkzeug



Der kleine Widerstand kommt zurück in die Schachtel, nun ohne Geheimnis.



U = R × I verbindet Größen, die der Junge unterscheiden kann.



Er kann umrechnen, vorhersagen, messen und Modellbedingungen prüfen.



Eine Formel ersetzt weder Methode noch Gerätegrenzen, weiß er.



Henri lächelt angesichts der fertigen Vorführung.



Im Club wartet schon eine neue Frage auf sein nächstes Heft.