
Elektronik für Informatiker

*Eine Einführung in Analoge und Digitale Systeme für Informatiker mit Elektronikgrundlagen
und Signalverarbeitung*

Prof. Dr. Stefan Bosse

Universität Koblenz - Praktische Informatik

Grundlagen Elektronik

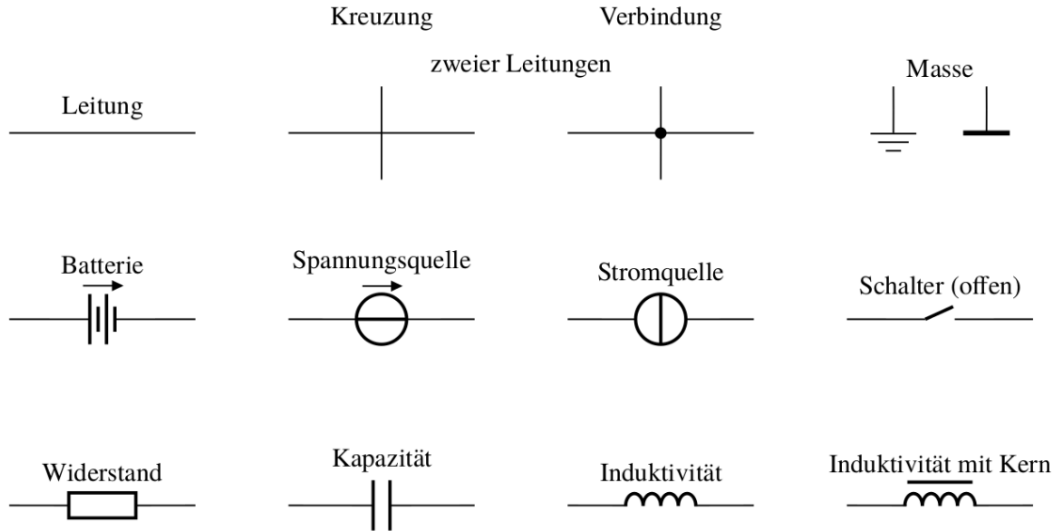


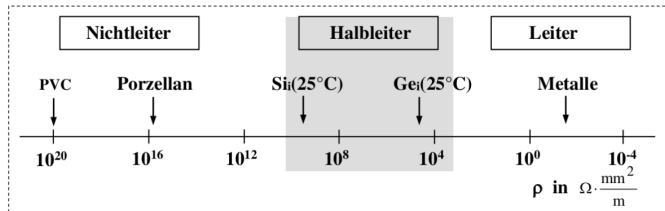
Abb. 1. Schaltzeichen

Elektrischer Strom und Widerstand

Unter elektrischem Strom verstehen wir:

Gerichteter Transport elektrischer Ladung durch bewegliche Ladungsträger (z.B. Elektronen) in einem Medium. Die physikalische Einheit der Stromstärke ist Ampere (A).

Ein Medium setzt dem Stromfluss einen bestimmten Widerstand entgegen. Dieser lässt sich durch den spezifischen Widerstand ρ des jeweiligen Mediums ausdrücken.



[Goßner, 2011]

Abb. 2. Wertebereich des spezifischen Widerstandes von Medien

Elektrische Spannung

Unter elektrischer Spannung verstehen wir:

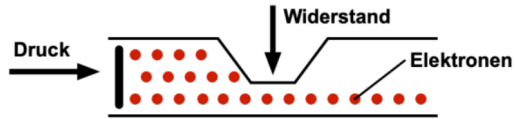
Vereinfacht: Die Differenz zwischen der "Menge" von Ladungsträgern, d.h. Ladungsüberschuß gegenüber Ladungsmangel. Eine Spannung kann aus einer Anziehung resultieren: Positive und negative Ladungen oder Ladungsdifferenz mit dem Bestreben diese auszugleichen. Daher ist die Spannung eine Kraft und der "Antrieb" für den Stromfluss. Die physikalische Einheit der el. Spannung ist Volt (V).

Zusammenfassend:

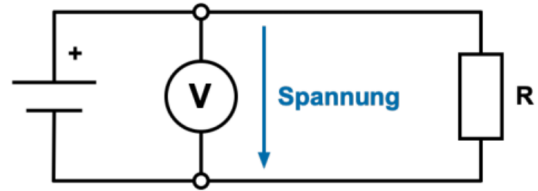
- Die elektrische Spannung ist die Kraft auf freie Elektronen.
- Die elektrische Spannung ist die Ursache des elektrischen Stroms.
- Die elektrische Spannung entsteht durch einen Ladungsunterschied.

Elektrische Spannung

Physikalisch



Schematisch



Gleichstrom, Gleichspannung, Wechselstrom, Wechselspannung

- Elektrischer Strom ist das Fließen von Elektronen.
 - Bewegen sich die Elektronen immer in die gleiche Richtung, so spricht man von Gleichstrom. Gleichstrom ist ein zeitlich konstanter Strom. Er wird durch eine Gleichspannung bewirkt.
 - Wechseln die Elektronen regelmäßig ihre Richtung der Fortbewegung, so spricht man von Wechselstrom. Bei Wechselstrom ist der Strom eine Funktion der Zeit.
 - Wechselstrom wird durch eine Wechselspannung bewirkt.

Ein Beispiel für eine Gleichspannungsquelle ist die Taschenlampenbatterie (Niedrigspannung). Die Steckdose im Haushalt stellt eine Wechselspannungsquelle dar (Hochspannung, nach VDE $> 48\text{V}$).

Leiter und Isolatoren

Es ist eine Erfahrungstatsache, dass bestimmte Stoffe den elektrischen Strom nicht leiten und andere Materialien ihn mehr oder weniger gut leiten. Nach ihrer elektrischen Leitfähigkeit klassifiziert, unterscheiden wir:

- elektrische Leiter,
- Halbleiter und
- Nichtleiter oder Isolatoren.

Damit ein elektrischer Strom in einem bestimmten Material fließen kann, muss dieses Material eine elektrische Leitfähigkeit besitzen. Voraussetzung für eine elektrische Leitfähigkeit ist das Vorhandensein von frei beweglichen Ladungsträgern in dem Material.

Schaltungsnetzwerke

Wir kennen aus der Mathematik oder Informatik Funktionen die eine Eingabe E auf eine Ausgabe A abbilden, d.h. ein Programm ist eine Funktion $f(E): E \rightarrow A$.

- Informatorische Systeme haben einen Ein- und einen Ausgang, man spricht auch vom Datenfluss.
- In der Informatik unterscheiden wir zustandslose (rein funktionale) und zustandsbehaftete (speicherorientierte) Systeme.
- Speicherorientierte Systeme haben einen Zustand S der auf historischen - also vergangenen - Daten beruht, und es gilt $f(E,S): E \times S \rightarrow A \times S'$.



Eine Elektronikschaltung ist ein Netzwerk aus elektronischen Komponenten (ein Graph) das weder Eingänge noch Ausgänge kennt. Diese werden durch eine Anwendung zugewiesen!

Schaltungsnetzwerke

Ein elektronische Netzwerk (Schaltung) besteht aus:

- Komponenten, die Knoten des Graphens
 - Zweipole (also zwei Anschlüsse), wie Widerstände, Kondensatoren, Induktivitäten (Spulen), Dioden
 - Vierpole (mit drei oder vier Anschlüssen), wie Transistoren oder Transformatoren (zwei Spulen mit gemeinsamen Kern)
- Verbindungen, die Kanten, die die Knoten verbindet.
- Teilnetze: Kanten, Kanten mit einem Knotenpunkt (Masche)

Schaltungsnetzwerke

- Teilnetze sind durch eine elektrische Spannung U (relativ zu einem Bezugspunkt) und einem fließenden elektrischen Strom I gekennzeichnet.

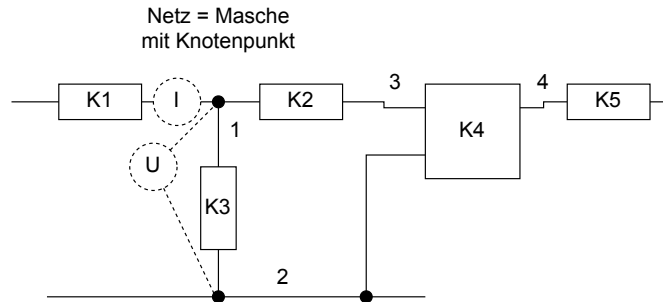


Abb. 3. Eine elektronische Schaltung (Ausschnitt) mit Komponenten (Zwei- und Vierpole), Kanten und Knotenpunkte, die die Teilverbindungsnetzwerke und Maschen bilden (nummeriert 1-4).

Schaltungsnetzwerk

Ein elektrisches Netzwerk

- ist eine modellhafte Abbildung einer elektrischen Schaltung,
- die aus einfachen, idealen Netzwerkelementen besteht und
- der Beschreibung und Berechnung einer realen Schaltung oder eines Schaltungsentwurfs dient.

Def. 1. Elektrisches Netzwerk

Schaltungsnetzwerk

Für lineare Netzwerke gilt:

- der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung bzw. zwischen den Eingangs- und den Ausgangsgrößen ist linear,
- sie umfassen ausschließlich lineare Netzwerkelemente und
- es gilt das Superpositionsprinzip.

Def. 2. Lineares Elektrisches Netzwerk

Schaltungsnetzwerk

Für nichtlineare Netzwerke gilt:

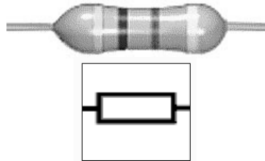
- der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung bzw. zwischen den Eingangs- und den Ausgangsgrößen ist nichtlinear,
- sie beinhalten mindestens ein nichtlineares Netzwerkelement (Halbleiter).

Def. 3. Nichtlineares Elektrisches Netzwerk

Widerstände

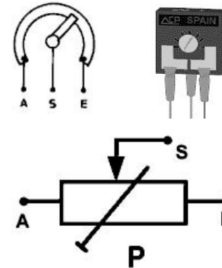
Festwiderstände

Festwiderstände kommen in elektrischen Schaltungen sehr häufig vor, sie bestimmen (begrenzen) Strom- und Spannungswerte und dienen dazu, den Arbeitspunkt eines Transistors oder der ganzen Schaltung zu bestimmen.



Einstellbare Widerstände

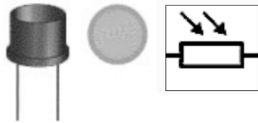
Neben den Festwiderständen gibt es noch die einstellbaren Widerstände. Sie werden auch Potentiometer oder Trimpoti genannt. Der Nennwert (Ω) ist fast immer in Zahlen aufgedruckt und ist der maximale Wert, der eingestellt werden kann.



Widerstände

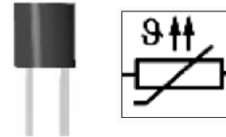
Lichtabhängige Widerstände

Fotowiderstände (LDR), sind Halbleiterbauelemente (siehe auch Halbleiter), deren Widerstand bei Lichteinfall abnimmt (Widerstand wird kleiner). Sie arbeiten stromrichtungsunabhängig und können sowohl für Gleichspannung als auch für Wechselspannung eingesetzt werden.



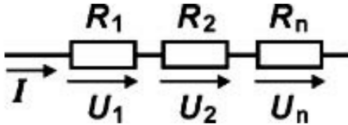
Temperaturabhängige Widerstände

Der Temperaturabhängige Widerstand verändert seinen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Er kann als Kaltleiter (PTC = positiver Temperatur-Coeffizient) oder Heißleiter (NTC = negativer Temperatur-Coeffizient) ausgelegt sein. Beispielsweise sind die meisten Metalle Kaltleiter.



Widerstandsnetzwerke

Reihenschaltung



U = Gesamtspannung

U_1, U_2, U_n = Teilspannungen

R = Ersatzwiderstand

R_1, R_2, R_n = Einzelwiderstände

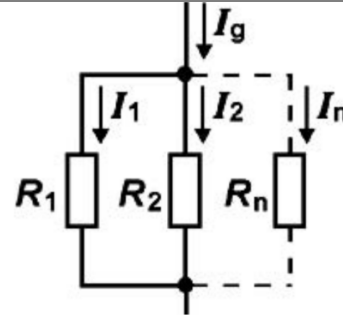
$$U = U_1 + U_2 + U_n$$

$$R = R_1 + R_2 + R_n$$

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2 = R_n : U_n$$

$$U_1 : U = R_1 : R$$

Parallelschaltung



I_g = Gesamtstromstärke

I_1, I_2, I_n = Teilströme

R = Ersatzwiderstand

R_1, R_2, R_n = Einzelwiderstände

$$I_g = I_1 + I_2 + I_n$$

$$(1 : R) = (1 : R_1) + (1 : R_2) + (1 : R_n)$$

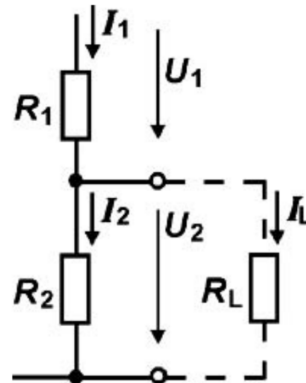
$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$$

$$I_1 : I_n = R_n : R_1$$

Widerstandsnetzwerke

Der Spannungsteiler ist eine Reihenschaltung von Widerständen.

- Wird der Spannungsteiler durch einen zusätzlichen Widerstand (Verbraucher) parallel belastet, so sind die Werte der Schaltung wie bei einer gemischten Schaltung zu berechnen.
- Der unbelastete Spannungsteiler ist eine Reihenschaltung von Widerständen.
- Der belastete Spannungsteiler ist eine gemischte Schaltung von Widerständen.



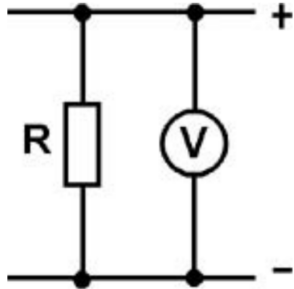
$$U = U_1 + U_2$$

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Spannungs- und Strommessung

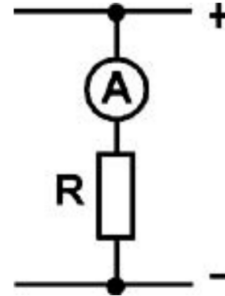
Spannungsmesser

Ein Spannungsmessgerät hat immer einen Parallelwiderstand der die Messung verfälscht.



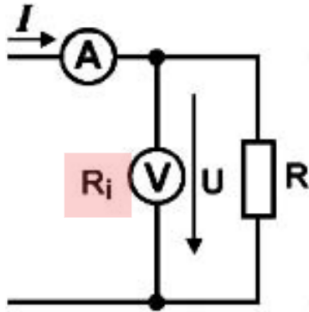
Strommesser

Ein Strommesser hat immer einen von Null verschiedenen (kleinen) Serienwiderstand.

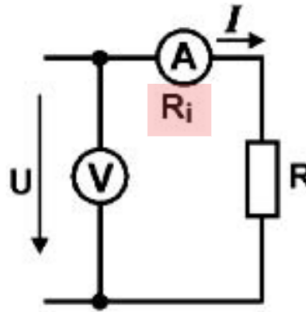


Spannungs- und Strommessung

Bei gleichzeitiger Verwendung von Spannungs- und Strommeßinstrumenten kann durch den entsprechenden Anschluß der Meßfehler eingegrenzt werden.



Stromfehlerschaltung



Spannungsfehlerschaltung

[Basiswissen Elektronik, Conrad EL.]

Das Ohmsche Gesetz

Das Ohmsche Gesetz: Der lineare Zusammenhang zwischen der Spannung U und dem fließenden Strom I in einem Stromkreis wird folgendermaßen dargestellt:

$$U = RI$$

Diese Gleichung ist das Ohmsche Gesetz 1. Die Proportionalitätskonstante R heißt ohmscher Widerstand (Einheit Ohm).

Der Widerstand R eines homogenen elektrischen Leiters mit konstantem Querschnitt A und der Länge l , z.B. eines Drahtes, lässt sich aus der Geometrie des Leiters und einer Materialgröße ρ (spezifischer Widerstand) wie folgt berechnen:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Kirchhoffsche Regeln

Reale Stromkreise oder Schaltungen umfassen in der Regel eine Vielzahl von Widerständen, Spannungsquellen und anderen Bauelementen; man spricht dann von elektrischen Netzen oder Netzwerken.

Zu deren Behandlung reicht das Ohmsche Gesetz keineswegs aus. Unser nächstes Ziel ist deshalb, Hilfsmittel bereitzustellen, um solche Stromkreise zu analysieren. Die Kirchhoffschen Regeln 1 erlauben in Verbindung mit dem Ohmschen Gesetz solche Analysen und Berechnungen.

1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)

An einem Verzweigungspunkt oder Knoten entsprechend der Abb. fließen Ströme aus mehreren Zweigen zu und in verschiedene andere Zweige ab. Wir versehen zufließende Ströme I_{zu} mit einem positiven und abfließende Ströme I_{ab} mit einem negativen Vorzeichen und können dann den Knotensatz formulieren.

Kirchhoffsche Regeln

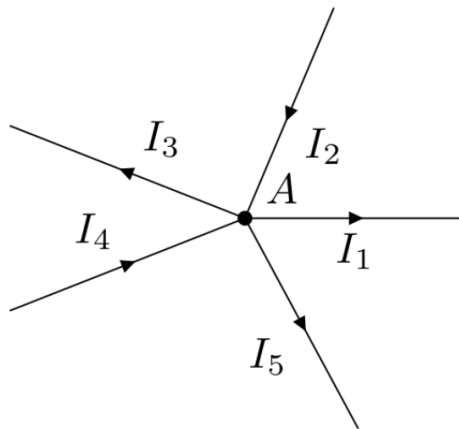


Abb. 4. Verzweigungspunkt oder Knoten

Kirchhoffsche Regeln

- In einem Verzweigungspunkt (Knoten) ist die Summe aller dem Knoten zufließenden Ströme gleich der Summe aller vom Knoten abfließenden Ströme.
- Eine gleichwertige, andere Formulierung lautet: In einem Verzweigungspunkt (Knoten) ist die Summe aller Ströme Null. Diese Aussage kann man als Gleichung folgendermaßen formulieren:

$$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$$
$$\sum I = 0$$

Der physikalische Hintergrund dieses Satzes ist die Erhaltung der elektrischen Ladung.

Kirchhoffsche Regeln

2. Kirchhoffsche Regel (Maschensatz)

Der Maschensatz gilt für geschlossene Strompfade (Maschen) mit beliebig vielen Widerständen und Spannungsquellen. Die Abb. zeigt einen geschlossenen Strompfad mit willkürlich eingetragenem Umlaufsinn.

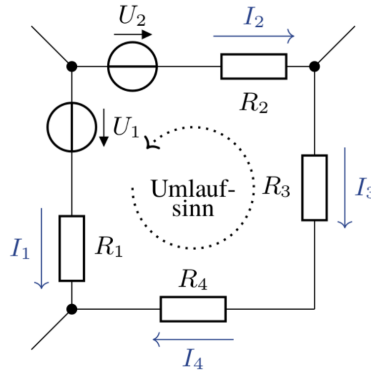


Abb. 5. Netzmasche in einem Stromkreis

Kirchhoffsche Regeln

Spannungen und Ströme, deren Richtungspfeile in Richtung des Umlaufsinnnes weisen, werden positiv gezählt; alle anderen negativ. Der Spannungsabfall, also die Teilspannung, über jeden Widerstand wird mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes aus dem Strom ermittelt, der durch den Widerstand fließt, wobei sich das Vorzeichen des Spannungsabfalls aus dem Vorzeichen des Stromes ergibt.

- In einem geschlossenen Strompfad ist die Summe aller Spannungsabfälle ($R_n \cdot I_n$) gleich der Summe aller Quellenspannungen U_m (Leerlaufspannungen).
- Eine gleichwertige, andere Formulierung lautet: Die Summe aller Teilspannungen in einer Netzmasche ist Null. Als Gleichung schreibt man:

$$\sum_m U_m + \sum_n (R_n I_n) = 0$$

Der Dehnungsmesswiderstand



Bisher hatten Widerstände einen festen (ggfs. einstellbaren) Widerstandswert. Der Widerstandswert (die Leitfähigkeit) hängt aber von physikalischen Umgebungsgrößen ab: Temperatur, Dehnung, evtl. Feuchtigkeit.

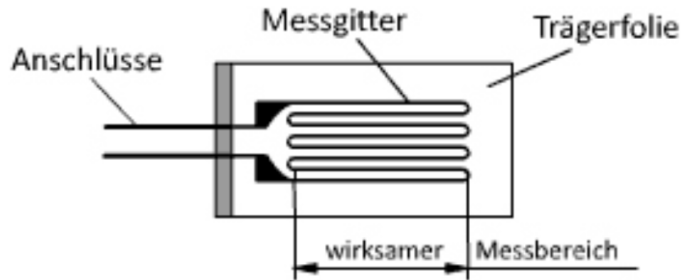


Abb. 6. Ein Dehnungsmessstreifen wird auf Oberflächen aufgebracht um die Dehnung in eine Widerstandsänderung umzusetzen.

Der Dehnungsmesswiderstand

- Die Temperaturabhängigkeit wird durch einen Temperaturkoeffizienten bestimmt der die Änderung der Leitfähigkeit in Abhängigkeit einer Temperaturänderung angibt.
- Gleiches gilt für eine Dehnung mit einem Dehnungskoeffizienten.
- $p(T)$ = Widerstand als Funktion der Temperatur
- $p(T_0)$ = bekannter Widerstand bei Bezugstemperatur (meist 293,15 K = 20° C)
- α = Temperaturkoeffizient
- $(T - T_0)$ = Differenz zwischen der zu betrachtenden Temperatur und der Bezugstemperatur

Dann kann der Temperaturkoeffizient wie folgt berechnet werden:

$$p(T) = p(T_0) \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$



Die Änderung kann im % Bereich liegen (z.B. bei Silber).

Der Dehnungsmesswiderstand

Bei der Dehnung gilt ähnliches, jedoch liegt die Widerstandsänderung häufig nur im ‰ Bereich. d.h., z.B 1 ‰ Dehnung entspricht 2 ‰ Widerstandsänderung, oder 1000 $\mu\text{m/m}$ Dehnung entsprechen 2 ‰ Widerstandsänderung, oder $1000 \cdot 10^{-6}$ Dehnung entsprechen $2000 \cdot 10^{-6}$ Widerstandsänderung.

Wir erhalten:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

Der Zusammenhang zwischen Widerstandsänderung $\Delta R/R$ und Dehnung ε wird durch den k-Faktor des Dehnungsmessstreifens beschrieben.

Die Dehnung eines elektrischen Leiters hat auch eine Querschnittsveränderung des elektrischen Leiters zur Folge. Die Querschnittsveränderung des elektrischen Leiters ist wiederum mit einer Änderung des elektrischen Widerstands verbunden.

Der Dehnungsmesswiderstand



Wie können wir eine Dehnung über eine Widerstandsänderung messen? ΔR ist sehr klein!

Der Spannungsteiler

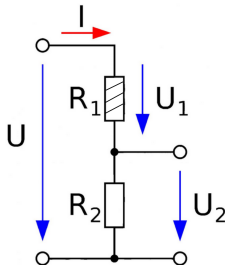


Abb. 7. R_1 ist hier der veränderliche Widerstand (Sensor), und R_2 ist ein Bezugswiderstand.

- Die Spannung U_2 wird sich mit R_1 ändern, ist aber auch bei $R_1=R_2$ nicht Null sondern $U/2$:

$$U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$
$$\Delta U_2 = U \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_2}{(R_1 + \Delta R_1) + R_2} \right)$$

Die Messbrücke

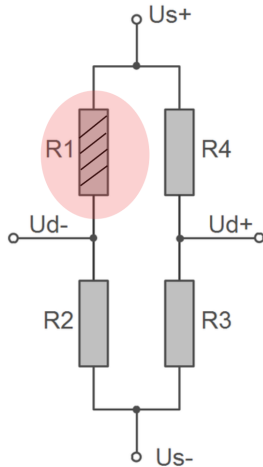


Abb. 8. Die Messbrücke: R1 ist hier der veränderliche Widerstand, d.h. der Sensor.

- Die zwei Anschlüsse U_{s+} und U_{s-} dienen der Speisung der Brückenschaltung.
- Die Brückenschaltung ist abgeglichen (die Spannung zwischen U_{d+} und U_{d-} ist 0 V), wenn die folgende Bedingung erfüllt ist: $R_1/R_2 = R_4/R_3$.
- Es gilt i.A. $R_1=R_2=R_3=R_4=R$, mit Bezug $R_1=R_0=R$ wenn keine Dehnung vorliegt.

$$U_d = U_{d+} - U_{d-}$$

$$\frac{U_d}{U_s} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

