

# Wheatstone-Brücke

Michaela Weiß, WS 10/11

## Gliederung

|     |                                                                            |   |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|---|
| 1   | Aufbau .....                                                               | 2 |
| 2   | Abgleichen der Brücke .....                                                | 3 |
| 2.1 | Theoretische Erklärung .....                                               | 3 |
| 2.2 | Praktisches Vorgehen .....                                                 | 4 |
| 3   | Die Abgleich-Bedingung und Bestimmung eines unbekannten Widerstandes ..... | 5 |
| 4   | Anwendung und Grenzen .....                                                | 6 |

**Einstieg:** In dieser Saison hat das österreichische Skisprung-Team erneut die gesamte Konkurrenz dominiert.



Abb. 1: erfolgreiches österreichisches Skisprung-Team [1]

Aber woran könnte es liegen, dass sie den anderen Nationen regelrecht davon springen? Ein Haupt-Grund könnte der Absprung sein. Nur mit einem punktgenauen und kräftigen Absprung sind weite Sprünge möglich.



Abb. 2: Absprung [2]

Es kommt folglich besonders auf die Absprung-Technik an. Diese kann man mit Hilfe eines bestimmten Mess-Gerätes genau analysieren und so gezielt trainieren. Ein derartiges Trainings-Gerät basiert auf dem Grund-Prinzip der Wheatstone-Brücke.

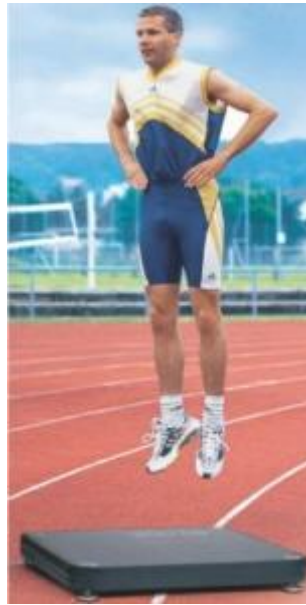


Abb. 3: Mess-Gerät zur Analyse der Sprung-Kraft [3]

## 1 Aufbau

Die Wheatstone-Brücke besteht aus vier Widerständen  $R_1$  bis  $R_x$ , die paarweise einen Spannungsteiler bilden. Der eine Spannungsteiler (Brücken-Arm) wird aus den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  gebildet und der andere aus den Widerständen  $R_3$  und  $R_x$ .

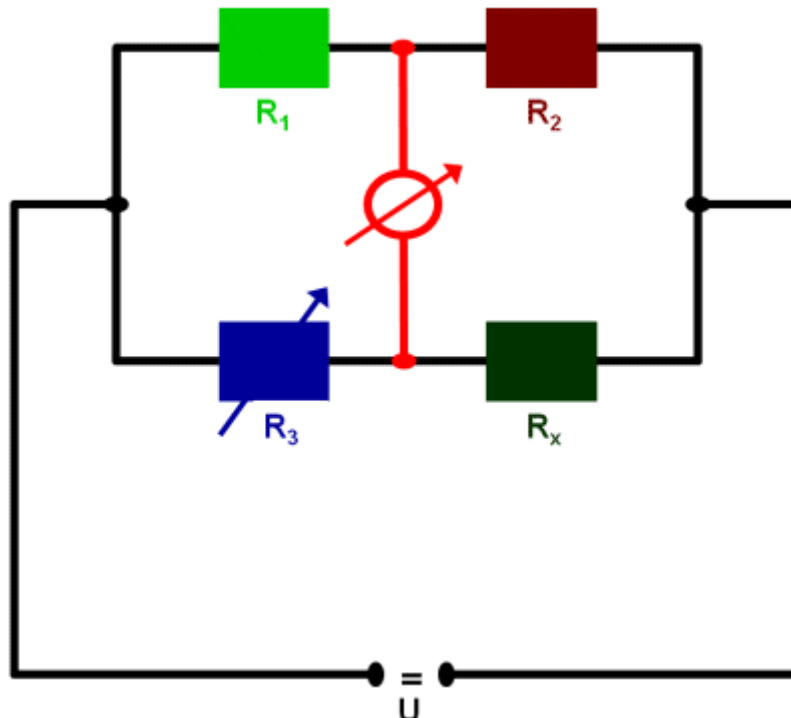


Abb. 4: Schaltbild Wheatstone-Brücke [nach 4]

$R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3$  sind Widerstände, deren Werte gegeben sind.  $R_x$  ist hingegen ein Widerstand, dessen Wert unbekannt ist. Bei  $R_3$  handelt es sich, im Gegensatz zu  $R_1$  und  $R_2$  (Fest-Widerstände), um einen regelbaren Widerstand (Potentiometer), dessen Wert verstellbar ist.

Ein Spannungsteiler stellt im einfachsten Fall, wie es auch bei der Wheatstone-Brücke der Fall ist, eine Reihen-Schaltung, aus zwei Widerständen dar, an denen sich die Gesamt-Spannung  $U_{\text{ges}}$  in zwei Teil-Spannungen (z. B.  $U_1$  und  $U_2$ ) aufteilt. Der Grund dafür liegt darin, dass an jedem Widerstand ein Teil der insgesamt zur Verfügung stehenden Spannung verbraucht wird. So fällt beispielsweise am Widerstand  $R_1$  die Spannung  $U_1$  und am Widerstand  $R_2$  die Spannung  $U_2$  ab. Aufgrund der Tatsache, dass die Wheatstone-Brücke zwei Spannungsteiler besitzt, kann sie auch als Parallel-Schaltung von zwei Reihen-Schaltungen aufgefasst werden ( $R_1$  in Reihe mit  $R_2$  und  $R_3$  in Reihe mit  $R_x$ ). Hierdurch ergibt sich der für die Wheatstone-Brücke charakteristische symmetrische Aufbau.

Der Name „Brücke“ ergibt sich nun dadurch, dass zwischen den beiden Brücken-Armen eine Quer-Verbindung besteht, der Brücken-Zweig. Dort befindet sich das Mess-Instrument, welches als Null-Indikator bezeichnet wird. Als Mess-Gerät eignet sich entweder ein Volt- oder ein Ampere-Meter. Damit die Wheatstone-Brücke als Mess-Brücke eingesetzt werden kann, ist außerdem eine Spannungs-Quelle erforderlich.

Aufgrund dieses Aufbaus, der Parallel-Schaltung der beiden Spannungsteiler und dem Brücken-Zweig als Quer-Verbindung zwischen diesen beiden Spannungsteilern, zählt die Wheatstone-Brücke zu den Brücken-Schaltungen. [4, 5]

## 2 Abgleichen der Brücke

### 2.1 Theoretische Erklärung

Mit Hilfe der Wheatstone-Brücke ist es möglich, den unbekannten Widerstand  $R_x$  sehr genau zu bestimmen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, dass man die Brücke abgleicht, d. h. durch die Brücke darf kein Strom fließen.

Um die Mess-Brücke abzugleichen, legt man zunächst die Betriebsspannung an und verändert anschließend am regelbaren Widerstand  $R_3$  den Wert so lange, bis durch den Null-Indikator kein Strom mehr fließt. Folglich gilt für die Brücke:

$$I_{\text{Brücke}} = 0 \text{ A}$$

$$U_{\text{Brücke}} = 0 \text{ V}$$

Damit durch den Brücken-Zweig kein Strom fließt, müssen an  $R_1$  und  $R_3$  bzw.  $R_2$  und  $R_x$  die gleichen Spannungen abfallen. Dies entspricht den Gesetzen der Parallel-Schaltung, da hier gilt, dass an allen Verbrauchern, in diesem Fall den Widerständen, die gleiche Spannung abfällt. Daraus ergibt sich folgendes Verhältnis für die beiden Spannungsteiler, welches auch als sog. Abgleich-Bedingung bezeichnet wird:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

Dabei spielt es keine Rolle, ob das Verhältnis der Widerstands-Werte 1 : 1 oder 1 : 100 ist, sondern es kommt nur darauf an, dass die Verhältnisse in beiden Brücken-Zweigen gleich groß sind. Ändert sich der Wert eines Widerstandes nur minimal, so sind die Widerstands-Verhältnisse ungleich und durch die Brücke fließt Strom.

Es ist nicht möglich, den unbekannten Widerstand  $R_x$  gemäß dem Gesetz von Ohm

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

zu ermitteln, da die Innen-Widerstände der Mess-Geräte und die Widerstände der Leitungen bei diesem Vorgehen das Ergebnis verfälschen würden. Man kann diesen Einfluss vermeiden, wenn man „stromlos“ misst. Dies ist bei der Wheatstone-Brücke der Fall, da in der Abgleich-Bedingung, welche die Grundlage für die Bestimmung des unbekannten Widerstandes darstellt, weder die Spannung noch die Strom-Stärke eine Rolle spielen. Aus diesem Grund liefert die Wheatstone-Brücke äußerst präzise Ergebnisse. [6, 7]

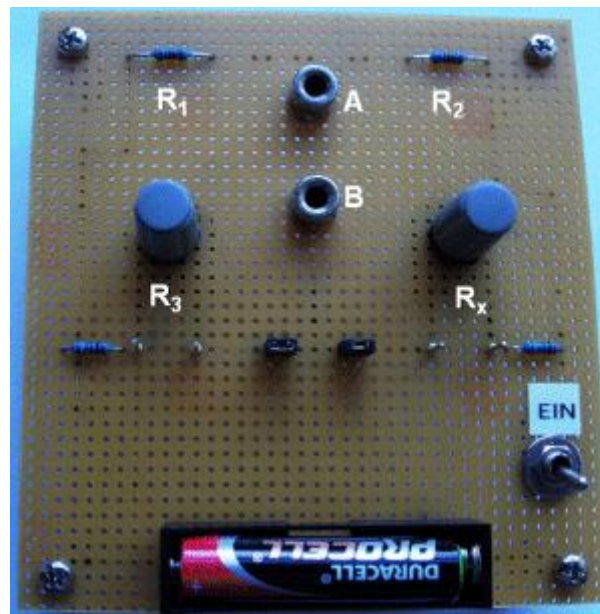
## 2.2 Praktisches Vorgehen

**Experiment:** Abgleichen der Mess-Brücke

**Material:**

- Modell Wheatstone-Brücken-Schaltung
- Voltmeter
- 1,5 V-Mignon-Zelle (AA)
- 2 Experimentierkabel

**Aufbau:** Den Strom-Kreis gemäß Abb. 4: „Schaltkreis Wheatstone-Brücke“ aufbauen.



Das Volt-Meter wird über die beiden Kabel mit dem Modell verbunden (Position A und B). Das erste Kabel wird an die Masse (schwarze Buchse bzw. Erdungs-Zeichen) des Volt-Meters angeschlossen, das zweite Kabel an die rote Buchse bzw. +. Anschließend stellt man das Volt-Meter auf Gleich-Spannung ein. Die Spannungs-Quelle wird am Schalter „Ein“ eingeschaltet.

**Durchführung 1:** Den regelbaren Widerstand  $R_3$  (durch Drehen) so lange verändern bis das Volt-Meter 0 V anzeigt.

**Beobachtung 1:** Das Mess-Gerät zeigt eine Spannung von 0 V an.

**Durchführung 2:** Den regelbaren Widerstand  $R_3$  (durch Drehen) leicht verändern.

**Beobachtung 2:** Das Mess-Gerät zeigt bereits bei einer minimalen Veränderung des Widerstandes  $R_3$  eine Spannung von  $\neq 0$  V an.

**Interpretation:** Fallen an den Widerständen  $R_1$  und  $R_3$  bzw.  $R_2$  und  $R_x$  die gleichen Spannungen ab, beträgt die Spannung die am Brücken-Zweig anliegt, 0 V. Die Brücke ist abgeglichen. Es fließt kein Strom durch die Brücke. Durch die minimale Veränderung des

Widerstandes  $R_3$  gerät das Widerstands-Verhältnis aus dem Gleichgewicht und die Brücke ist nicht mehr abgeglichen. Am Brücken-Zweig lässt sich deshalb eine Spannung messen. Es fließt Strom durch die Brücke.

### 3 Die Abgleich-Bedingung und Bestimmung eines unbekannten Widerstandes

Die Bestimmung eines unbekannten Widerstandes  $R_x$  erfolgt mit Hilfe eines bekannten Vergleichs-Widerstands ( $R_3$ ) und durch das Widerstands-Verhältnis (Abgleich-Bedingung):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

Für die Herleitung dieser Ausgangs-Bedingung stellt das Ohm'sche Gesetz den Ausgangs-Punkt dar:

$$U_i = R_i * I_i$$

$U_i$ = Spannung ,die am Widerstand i abfällt

$R_i$ = beliebiger Widerstand i

$I_i$ = Strom-Stärke am Widerstand i

Da im abgeglichenen Zustand durch das Mess-Instrument kein Strom fließt, kann man für die beiden Brücken-Zweige  $R_1R_2$  und  $R_3R_4$  die Gesetze der Reihen-Schaltung anwenden. Bei einer Reihen-Schaltung gilt  $I_1 = I_2$  und  $I_3 = I_x$ , da der Strom unverändert durch die Verbraucher fließt. Demzufolge gilt:

$$U_1 = R_1 * I_1$$

$$U_2 = R_2 * I_1$$

$$U_3 = R_3 * I_3$$

$$U_x = R_x * I_3$$

Aufgrund der Tatsache, dass im abgeglichenen Zustand im Brücken-Zweig sowohl die Spannung als auch die Strom-Stärke Null sein soll, gilt gemäß den Gesetzen der Parallel-Schaltung:

$$U_1 = U_3$$

$$U_2 = U_x$$

Setzt man nun die Spannungen zueinander ins Verhältnis und berücksichtigt die oben aufgeführten Gleichungen so erhält man die Abgleich-Bedingung:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_x}$$

$$\frac{R_1 * I_1}{R_2 * I_1} = \frac{R_3 * I_3}{R_x * I_3}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x}$$

Durch Auflösen nach  $R_x$  lässt sich nun mit Hilfe dieser Abgleich-Bedingung der unbekannt Widerstand berechnen.

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

[5, 8]

## 4 Anwendung und Grenzen

Die Wheatstone-Brücke wird v. a. in der Mess- und Regelungstechnik zur Präzision-Messung von elektrischen Widerständen eingesetzt. Dabei ist es möglich, Fest-Widerstände zu messen. Der Mess-Bereich liegt dabei zwischen  $0,1 - 10^6 \Omega$ , was in etwa einem Mess-Bereich für mittlere Widerstände entspricht. Zur Messung von Widerständen, die kleiner sind als  $0,1 \Omega$  ist die Wheatstone-Brücke allerdings ungeeignet, da die Widerstände der Zuleitungen und die Übergänge an den Klemmen, die den zu bestimmenden Widerstand  $R_x$  mit dem Mess-Gerät verbinden, in der gleichen Größenordnung liegen.

Eine weitere Fehler-Quelle, die die Genauigkeit der Wheatstone-Brücke einschränkt, ist eine Erwärmung der Widerstände aufgrund des fließenden Stroms. Hierdurch können zusätzliche Schwankungen hervorgerufen werden. Darüber hinaus können die einzelnen Brücken-Elemente mit Toleranzen behaftet sein, z. B. aufgrund der Herstellung (ungenau Widerstände) oder des Gebrauchs (Ablese-Fehler). Aber auch durch Alterung der Elemente, Abnutzung (bleibende Änderungen wegen Überbelastung) und Umwelt-Einflüsse (Temperatur, Korrosion) verschlechtert sich die Genauigkeit der Wheatstone-Brücke.

Neben der Messung von Fest-Widerständen ist es mit der Wheatstone-Brücke ebenfalls möglich Widerstands-Änderungen, die beispielsweise aufgrund von Druck oder Dehnung hervorgerufen werden, zu ermitteln. Dies stellt den Haupt-Anwendungsbereich der Wheatstone-Brücke dar, und wird beispielsweise im Widerstands-Thermometer oder in Waagen realisiert. Aber auch bei dem Trainings-Gerät zur Analyse der Absprung-Kraft im Ski-Springen spielt die Messung von Widerstands-Änderungen eine Rolle. Hierbei wird der zu bestimmende Widerstand  $R_x$  durch einen sog. Dehnungs-Mess-Streifen ersetzt.



Abb. 5: Dehnungs-Mess-Streifen [9]

Ein Dehnungs-Mess-Streifen (DMS) ist ein Widerstand, der seinen Widerstands-Wert bei einer Dehnung/Stauchung verändert. So führt beispielsweise eine Kraft-Einwirkung von außen, beispielsweise wenn der Ski-Springer auf das Mess-Gerät springt, zu einer mechanischen Verformung, in dem Fall des Ski-Springers zu einer Stauchung, welche vom DMS in eine elektrische Widerstands-Änderung umgewandelt wird. Aufgrund dieser Änderung gerät die zuvor abgegliche Mess-Brücke aus dem Gleichgewicht, wodurch es zu einem Strom-Fluss durch den Brücken-Zweig kommt. Die für die Stauchung aufgewendete Kraft lässt sich nun aus der Widerstands-Änderung ableiten. Bei dem Trainings-Gerät der Ski-Springer wird nicht nur ein DMS verwendet, wodurch es möglich ist die aufgewendete Kraft differenzierter zu messen. [7, 10, 11]

**Zusammenfassung:** fehlt.

**Abschluss:** Die Wheatstone-Brücken-Schaltung hilft den Sportlern also bei der Optimierung ihrer Sprung-Technik. Aus diesem Grund sollten die deutschen auch gezielt ihre Absprung-Kraft trainieren, do dass Erfolge, wie z. B. bei der Skiflug WM 2012, nicht eine Ausnahme bleiben.



Abb. 6: Deutsches Skisprung-Team [12]

### Quellen:

1. [http://www.news.at/articles/1147/img/313002\\_e.jpg?1322395799](http://www.news.at/articles/1147/img/313002_e.jpg?1322395799), Abgerufen am 19.03.2012 (Quelle verschollen, 18.01.2021)
2. <http://www.mz-web.de/ks/images/mdsBild/1289550896801l.jpg>, Abgerufen am 19.03.2012 (Quelle verschollen, 18.01.2021)
3. <http://www.kistler.com/mediaaccess/600-322d-09.03.pdf>, Abgerufen am 19.03.2012
4. Schmusch, Wolfgang (1998): Elektronische Messtechnik. Prinzipien, Verfahren, Schaltungen. Würzburg: Vogel, 4. Auflage
5. Meschede, D. (2006): Gerthsen Physik. Berlin: Springer, 23. Auflage
6. Reichwein, Jürgen; Hochheimer, Gerhard (2003): Messen, Regeln und Steuern. Grundoperationen der Prozesstechnik. Weinheim: Wiley-Vch, 1. Auflage
7. Cooper, W.D.; Helfrick, A.D. (1989): Elektrische Messtechnik. Weinheim: Wiley-Vch, 1. Auflage
8. <http://www.elektrotechnik-fachwissen.de/grundlagen/brueckenschaltung.php>, Abgerufen am 19.03.2012
9. [http://www.telemotorix.de/Dehnungsmessstreifen\\_1.jpg](http://www.telemotorix.de/Dehnungsmessstreifen_1.jpg), Abgerufen am 19.03.2012 (Quelle verschollen, 18.01.2021)
10. <http://www.solstice.de/cms/upload/wege/band2/Dehnungsmessstreifen.pdf>, Abgerufen am 19.03.2012
11. [http://www.isd.uni-stuttgart.de/lehre/diplom/skripte/versuchstechnik/VT\\_K6.pdf](http://www.isd.uni-stuttgart.de/lehre/diplom/skripte/versuchstechnik/VT_K6.pdf), Abgerufen am 19.03.2012
12. [http://www.abendblatt.de/multimedia/archive/01078/dsv\\_HA\\_Politik\\_Dra\\_1078476c.jpg](http://www.abendblatt.de/multimedia/archive/01078/dsv_HA_Politik_Dra_1078476c.jpg), Abgerufen am 19.03.2012 (Quelle verschollen, 18.01.2021)