

# Private Dokumentation

---

Fachgebiet: Elektrotechnik

## **Das belastete Potentiometer als Spannungsteiler**

Verfasser: Dr.-Ing. Norbert Meier

Gestaltung: Ute Laager

Telefon: 06201-15859

Fax: 06201-875302

E-Mail-Adresse: [ute-und-norbert@t-online.de](mailto:ute-und-norbert@t-online.de)

Internet-Adresse: [www.normei-weinheim.de](http://www.normei-weinheim.de)

### Dokumentenstatus:

23.02.2005 Erstversion mit MS Word 2002

25.02.2005 Formeln mit MS Formeleditor 3.0 eingefügt

21.04.2005 Literaturverzeichnis

## Einführung und Veranlassung

Zum Regeln der Helligkeit von kleinen Niederspannungsglühlampen, z. B. auf einer Modelleisenbahnanlage kann ein Drahtpotentiometer mit Schleifer Verwendung finden.

Die Ersatzschaltung des Potentiometers mit den zu regelnden Glühlampen kann folgend gezeichnet werden:

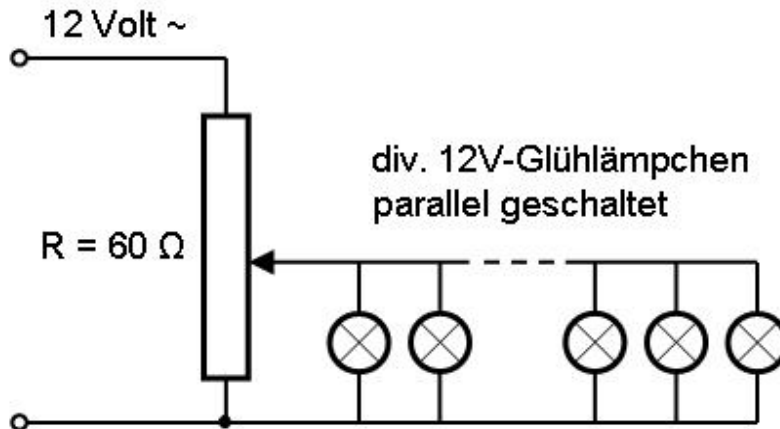


Bild 1: Potentiometerschaltplan für die Helligkeitsregelung von Signallampen

Der praktische Versuchsaufbau war schnell realisiert, da im Bastelbestand vom Modelleisenbahnclub zwei Drahtpotentiometer mit  $R = 60 \text{ Ohm}$  oder  $R = 16 \text{ Ohm}$  und Signallämpchen in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt wurden.

Das Ergebnis dieser Versuchsschaltung zur Helligkeitsregelung war enttäuschend, da bei 10 parallelgeschalteten Lämpchen (je 6-12V mit max. 80 mA) die Regelung von schwach leuchtend bis zur vollen Helligkeit der Glühlampen nur auf dem oberen Stellbereich des Potis ( 80% bis 100 %) möglich war.

Die Spannungsaufteilung am Potentiometer ist in Abhängigkeit von der Schleiferstellung bei Belastung mit einem Verbraucher nicht mehr linear.

In den folgenden Kapiteln wird schrittweise die vollständige Berechnung der Spannungsaufteilung eines belasteten Potentiometers gezeigt. Die mathematische Herleitung ist auch in gekürzter Fassung in aktuellen Fachbüchern [ L1 und L2 ] zu finden ist.

## Mathematische Herleitung der Spannungsaufteilung am belasteten Potentiometer

Der Gesamtwiderstand  $R$  eines Potentiometers wird bei jeder Schleiferstellung  $x$  in zwei Teilwiderstände  $R_1$  und  $R_2$  aufgeteilt. Am Potentiometer wird ein Verbraucher mit dem Widerstand  $R_3$  dann parallel zu  $R_2$  geschaltet.

Die folgende Berechnung soll ausführlich gehalten werden. Redewendungen aus der Fachliteratur wie z.B. „nach einfacher Umrechnung“ oder „wie man leicht sieht“ oder „nach weiterer Rechnung“ werden vermieden. Der Leser sollte jedoch über Grundlagenwissen aus der Schule im Fach Mathematik (Bruchrechnung) und im Fach Physik (Grundlagen Elektrotechnik) verfügen.

### Allgemeine Berechnung des belasteten Spannungsteilers

Die Berechnung eines belasteten Spannungsteilers soll nachfolgend mit Hilfe der bekannten Regeln für die Hintereinander- und Parallelschaltung von elektrischen Widerständen erfolgen. Das Ersatzschaltbild eines Potentiometers mit einem Belastungswiderstand hat dann folgendes Aussehen:

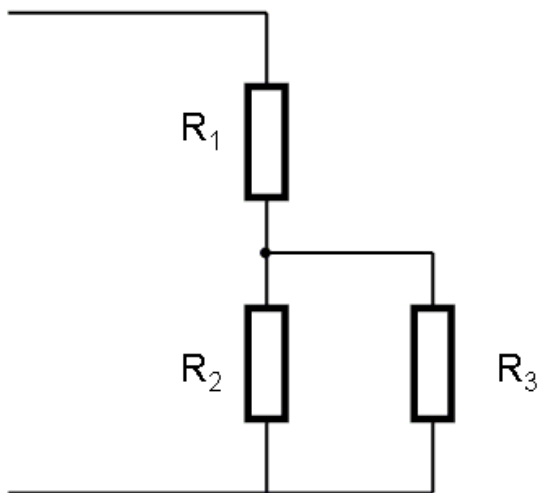


Bild 2: Mit  $R_3$  belasteter Spannungsteiler

Die Schaltung mit den beiden parallel geschalteten Widerständen  $R_2$  und  $R_3$  und dem Widerstand  $R_1$  entspricht einer bestimmten Potentiometereinstellung.

Der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  dieser Schaltung kann mit den Schulkenntnissen aus der Mittelstufe angegeben werden.

$$G2 \quad R_{ges} = R_1 + R_p$$

Wobei der Parallelwiderstand  $R_p$  aus der Parallelschaltung von  $R_2$  und  $R_3$  gebildet wird.

$$G3 \quad R_p = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Die Gleichung für das Spannungsverhältnis lautet

$$G4 \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_p}{R_{ges}} = \frac{\frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}}$$

Wird in Gleichung G4 der Zähler und der Nenner mit der Summe aus R2 und R3 erweitert, folgt

$$G5 \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_p}{R_{ges}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{(R_2 + R_3) \cdot R_1 + R_2 \cdot R_3}$$

Wenn in Gleichung G5 der Bruch noch mit R3 gekürzt wird, erhält man für das Verhältnis der Teilspannung U2 zur Gesamtspannung U die Beziehung

$$G6 \quad \frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 \cdot \frac{R_2}{R_3} + R_1 + R_2}$$

Weitere Vereinfachungen sind möglich:

Der Potiwiderstand R ist die Summe von R1 und R2. Die folgende Gleichung G7 und kann unmittelbar in G6 eingefügt werden.

$$G7 \quad R = R_1 + R_2$$

Auch die Einzelwiderstände R1 und R2 sind zu ersetzen und lassen sich als Funktion von der Schleiferstellung x und dem Potiwiderstand R ausdrücken.

Für die praktische Anwendung bestimmt die Schleiferposition x gemäß nachfolgender Darstellung die Aufteilung von R in die beiden Teilwiderstände R1 und R2.

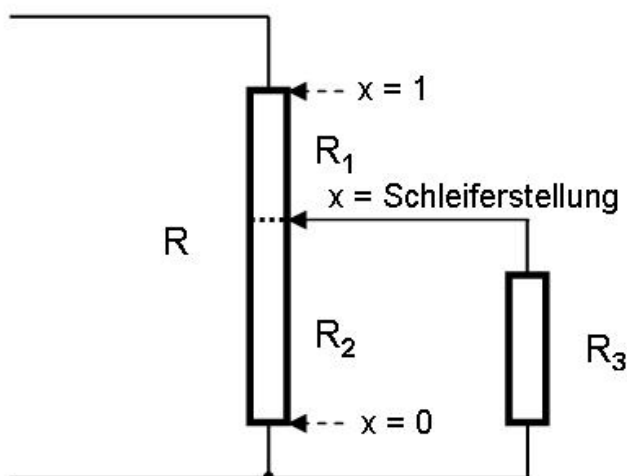


Bild 3: Widerstandsaufteilung am belasteten Potentiometer bei Schleiferstellung x

Zunächst wird die Potistellung x im Wertebereich x = 0 bis x = 1 in die Berechnung einbezogen.

Wenn die obere Schleiferposition (x = 1) eingestellt wird, gilt R2 = R und R1 = 0.

Für den Teilwiderstand  $R_2$  in Abhängigkeit von  $x$  gilt, wenn das Potentiometer mit linearer Widerstandsaufteilung hergestellt wurde, gilt die einfache Beziehung:

$$G8 \quad R_2 = x \cdot R$$

Auch der obere Teilwiderstand  $R_1$  ist von der Schleiferstellung  $x$  abhängig:

$$G9 \quad R_1 = R - R_2 = R - x \cdot R = (1 - x) \cdot R$$

Es kann also für  $R_1$  folgender Ausdruck Verwendung finden:

$$G10 \quad R_1 = (1 - x) \cdot R$$

Setzt man  $G8$  und  $G10$  in  $G6$  ein, dann ist das Spannungsverhältnis am belasteten Poti nur vom Belastungsfaktor  $B = R/R_3$  und der Schleiferposition  $x$  abhängig.

$$G11 \quad \frac{U_2}{U} = \frac{x \cdot R}{(1 - x) \cdot R \cdot \frac{x \cdot R}{R_3} + R}$$

Nach dem einfachen Kürzen mit  $R$  geht  $G11$  über in  $G12$ .

$$G12 \quad \boxed{\frac{U_2}{U} = \frac{x}{1 + (1 - x) \cdot x \cdot \frac{R}{R_3}}}$$

Der Funktionverlauf  $U_2/U = f(x, B)$  in Abhängigkeit von der Schleiferposition  $x$  des Potis für unterschiedliche Belastungsfälle  $B=R/R_3$  wird mit einem Grafikprogramm am PC-Bildschirm zur Anzeige gebracht.

## Grafischer Verlauf der Spannungsverteilung

Der Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Potistellung und der Belastung soll grafisch dargestellt werden.

Eine Software-Tool kommt nun für die Kurvendarstellung zur Anwendung [ L3 ], das unter dem Namen GNUPLOT bekannt geworden ist und kostenlos aus dem Internet auf die Windows-Oberfläche geladen werden kann.

Die Kommandosprache für GNUPLOT zur Formulierung der Parameter, der Achsenbeschriftungen, der Überschriften, der mathematischen Formeleingabe und der Plot-Befehle ist leicht erlernbar.

Die Kurvendarstellung  $U_2/U = f(x)$  gemäß Gleichung G9 zeigt drei Belastungsfälle.

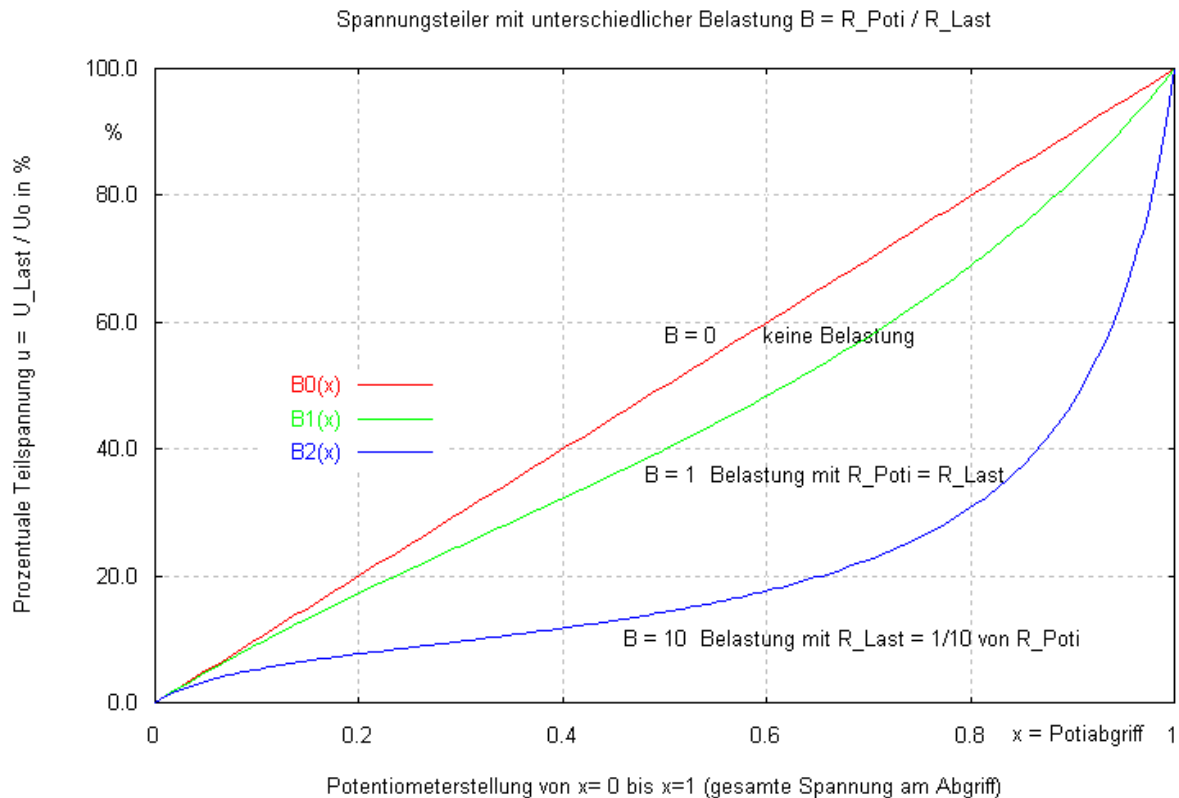


Bild 4: Mit dem Programm GNUPLOT erstellte Grafik des belasteten Spannungsteilers

Die Belastung verändert also erheblich die Stellerkennlinie des Potentiometers. Nur bei sehr geringer Belastung ( $B < 1$ ) ist die Spannungsabgriff bei Veränderung der Potistellung  $x$  annähernd linear. Schon bei einem Belastungswiderstand in der Größe des Potiwiderstandes, siehe Kurve mit  $B = 1$ , ist Nichtlinearität zu erkennen. Stark nichtlinear ist der Verlauf, wenn der Potiwiderstand 10-mal größer ist als der Belastungswiderstand, siehe Kurve mit  $B = 10$ .

## Verwendete Literatur

- L1 Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik  
Fachbuchverlag Leipzig, 8. Auflage 2004  
S. 42-43
- L2 Teubner Studienbücher  
Titel: Elektrotechnik  
Autor: J. Hugel  
Teubner Verlag 1998  
S. 63
- L3 Buchreihe PC & Elektronik aus dem Franzis Verlag 2002  
Titel: Elektronik Design Kit mit diversen Tools auf CD-ROM  
Autor: Stephan Weber

## Anhang A: Programm für GNUPLOT

Mit dem einfachen Text-Editor wird das GNUPLOT-Programm geschrieben:

```
# Belasteter Spannungsteiler
# Norbert Meier, Februar 2005
#----- Parameter definieren
L1=1
L2=10
#----- Funktionen definieren -----
B0(x)=100*x
B1(x)=100*x/(1+(1-x)*x*L1)
B10(x)=100*x/(1+(1-x)*x*L2)
#-----
set dummy x
set grid
set offsets
set nolog
set nokey
set nopolar
set samples 200
set title "Spannungsteiler mit unterschiedlicher Belastung B = R_Poti / R_Last"
set xlabel "Potentiometerstellung x"
set xrange [0 : 1.0]
set ylabel "Prozentuale Teilspannung u = U_Last / Uo in %"
set yrange [0 : 100]
set label "%" at -0.05,90
set label "x = Potiabgriff" at 0.84,-5
set label "B = 0      keine Belastung" at 0.5,58
set label "B = 1  Belastung mit R_Poti = R_Last" at 0.48,36
set label "B = 10  Belastung mit R_Last = 1/10 von R_Poti" at 0.46,10
set key 0.2,50
set format y "%.1f"
plot B0(x),B1(x),B10(x)
set format "%g"
set nolabel
pause -1 "Beenden mit Return"
```