

## Drehmomentmesswellen-Berechnungen



### 1.) Berechnung der Empfindlichkeit von Torsionsmessstellen

Mit Hilfe der Software „Torque-Shaft“, kann die **Torsion ( $\mu\text{m/m}$ )** der Welle, bei vorgegebenem Drehmoment (Nm) und daraus resultierender **Empfindlichkeit (mV/V)** der Messbrücke, berechnet werden. Das Wellenmaterial wird aus einer Liste gewählt und die vorgegebenen Konstanten für „E-Modul“ und „Poissonzahl“ genutzt oder es werden Werte in die Felder manuell eingetragen. Anschließend wird das maximal zu erwartende Drehmoment (Nm), der Außen- und Innendurchmesser (mm) der Welle sowie der K-Faktor (1 oder 2) der Messbrücke eingegeben. Nach einem Klick auf „Calculate“, wird die Brückenempfindlichkeit in mV/V als Ergebnis angezeigt.

Torque-Shaft	
Material	Aluminum AlCuMg1 (3.1325)
E-Modulus [MPa]	72000
Poisson rate	0.286
Moment [Nm]	1000
Outer Diameter [mm]	50
Inner Diameter [mm]	0
K-Factor	2
<b>Calculate</b>	
Stretching [ $\mu\text{m/m}$ ]	727.7
Output signal [mV/V]	1.455

## Formeln zur Berechnung von Dehnung und Empfindlichkeit:

Berechnung der Dehnung ( $\mu\text{m/m}$ )

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{r_a}{r_a^4 - r_i^4} \cdot \frac{M_t}{G}$$

Berechnung der Empfindlichkeit der DMS-Brücke (mV/V)

$$S = U_A = \varepsilon \cdot k \cdot U_E$$

## Vereinfachte Berechnung der Brücken-Empfindlichkeit:

Folgende vereinfachte Formeln gelten für Stahlwelle, Vollbrücke und k-Faktor 2,0

Berechnung der Empfindlichkeit bei Vollwelle

$$S_{\text{Stahl}} = \frac{M_{t\max}}{d^3} \cdot 62,1$$

Berechnung der Empfindlichkeit bei Hohlwelle

$$S_{\text{Stahl}} = \frac{M_{t\max} \cdot d_a}{(d_a^4 - d_i^4)} \cdot 62,1$$

Berechnung der Empfindlichkeit incl. k-Faktor

$$S = S_{\text{Stahl}} \cdot \frac{k}{2}$$

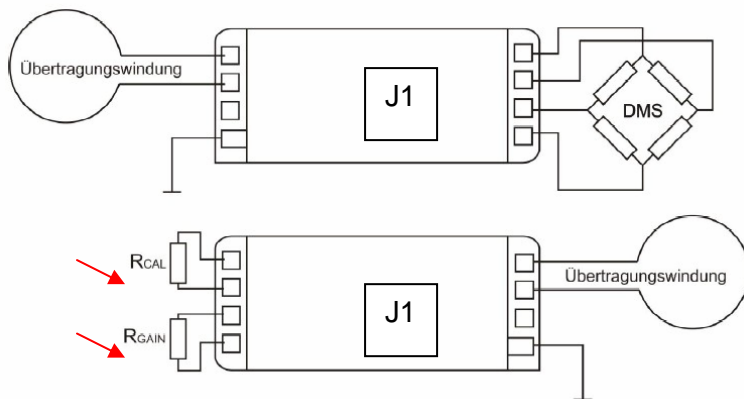
- S = Empfindlichkeit in mV/V
- S<sub>Stahl</sub> = Empfindlichkeit in mV/V
- M<sub>tmax</sub> = maximales Torsionsmoment in Nm
- d = Durchmesser der Vollwelle in mm
- d<sub>a</sub> = Außendurchmesser der Hohlwelle in mm
- d<sub>i</sub> = Innendurchmesser der Hohlwelle in mm
- k = Korrekturfaktor: 3,03 für Al, 2,05 für Ti, ca. 70 für ungefüllte Kunststoffe
- U<sub>A</sub> = Brückenausgangsspannung (Empfindlichkeit)
- U<sub>E</sub> = Brückenspeisespannung

→ **Berechnungsbeispiel:** Drehmoment M<sub>tmax</sub>=1000Nm, d=30mm, Vollwelle, Edelstahl

$$S = \frac{M_{t\max}}{d^3} \cdot 62,1 = \frac{1000}{27000} \cdot 62,1 = \underline{\underline{2,3\text{mV/V}}}$$

## 2.) Berechnung von Rgain und Rcal

Mit dem Widerstand "Rgain" wird die Verstärkung der Rotorelektronik eingestellt. Rgain wird als SMD-Widerstand zwischen zwei Lötpins der Rotorelektronik angebracht (s. Bild und Handbuch). Zur Berechnung der Größe des Widerstandes, ist lediglich die zuvor zu vor ermittelte Empfindlichkeit in mV/V in die Tabelle einzutragen und der Wert des erforderlichen Widerstandes erscheint in der Berechnung als Resultat.



J1, 1-Kanal-Telemetrie mit Beschaltung der externen Widerstände Rgain und Rcal

TMS • Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg

### Berechnung von Rgain (Verstärkung) für Rotorelektronik: J1

1-Kanal Telemetriesystem	
Berechnung von Rgain (Verstärkung)	
BERECHNUNG von Rgain J1, B1A	
Empfindlichkeit	10 mV/V
UIN-DMS max.	50 mV
Verstärkung	200
<b>Rgain</b>	<b>18181,8 Ohm</b>

BERECHNUNG der Verstärkung bei abweichendem Rgain J1, B1A	
Rgain	4000 Ohm
UIN-DMS max.	12,5 mV
Verstärkung	800
<b>Empfindlichkeit</b>	<b>2,5 mV/V</b>

BERECHNUNG von Rgain J1-RDxxT (Hochtemperatur-Version)	
Empfindlichkeit	2,5 mV/V
UIN-DMS max.	12,5 mV
Verstärkung	800
<b>Rgain</b>	<b>2000,0 Ohm</b>

BERECHNUNG der Verstärkung bei abweichendem Rgain J1-RDxxT (Hochtemperatur-Version)	
Empfindlichkeit	2000 Ohm
UIN-DMS max.	12,5 mV
Verstärkung	800
<b>Rgain</b>	<b>2,5 mV/V</b>

**K-Faktor des DMS nicht mit einberechnet!**

Mit der Funktion „Cal“ der Control-Unit, wird ein Steuersignal über den Induktivkopf drahtlos zur Rotorelektronik gesendet. Dieses Signal schaltet einen Widerstand „Rcal“ parallel zur Messbrücke und erzeugt dadurch eine definierte Brückenverstimmung (Shunt Calibration), welche als konstanter Spannungswert an der Control-Unit angezeigt wird. Rcal wird als SMD-Widerstand zwischen zwei Lötpins der Rotorelektronik angelötet (s. Bild), wobei die Größe von Rcal das Maß der Verstimmung (z.B. 50%) bestimmt. Die Cal-Funktion dient der

Funktionsprüfung des gesamten Meßsystems und kann jederzeit - auch während einer aktiven Messung - durchgeführt werden.

## TMS • Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg

### Berechnung von Rcal (Shunt-Calibration) für Rotorelektronik: J1

1-Kanal-Telemetriesystem	
Berechnung von Rcal (Shunt-Calibration)	
BERECHNUNG von Rcal J1, B1A, B2A, K1	
Empfindlichkeit	6 mV/V
RDMS	300 Ohm
Verstimmung	50 %
Cal-Sprung	5 V
Rcal	23850,0 Ohm

*Anmerkung:* Der ermittelte Widerstandswerte kann in der Praxis nicht genau realisiert werden. Aus der E24-Reihe wird ein Widerstandswert ausgewählt, der dem Vorgabewert am Nächsten kommt. Ausgehend von der tatsächlichen (gemessenen) Widerstandsgröße, kann die resultierende Empfindlichkeit anhand des Programms gleichermaßen rückermittelt werden.

### Formeln zur Berechnung von Rgain und Rcal:

Bestimmung von R<sub>Gain</sub>:

$$R_{Gain} = \frac{100k\Omega}{\left(\frac{0,325V}{S} - 5V\right) - 1}$$

mit: R<sub>Gain</sub> = Verstärkungsbestimmender Widerstand (Ohm)  
S= Empfindlichkeit (mV/V)

$$R_{Cal} = \frac{R_{DMS}}{4} \cdot \left( \frac{1}{S \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{X}{100}} - 2 \right) - 1k\Omega$$

mit: R<sub>CAL</sub>=Widerstand zur definierten Brückenverstimmung (Shunt-Cal)  
R<sub>DMS</sub>=350Ohm  
X= Maß der Brückenverstimmung in %

**Tabelle für  $R_{Gain}$**

**DMS Widerstand: 350  $\Omega$**

DMS Empfindlichkeit in mV / V (S)	Eingangsspannung in mV	Verstärkung über alles für $\pm 10V$ full scale	$R_{GAIN}$ in OHM
0,5	2,5	4000,0	765,3
1	5	2000,0	1542,4
1,5	7,5	1333,3	2331,6
2	10	1000,0	3133,2
2,5	12,5	800,0	3947,4
3	15	666,7	4774,5
3,5	17,5	571,4	5615,0
4	20	500,0	6469,0
4,5	22,5	444,4	7337,0
5	25	400,0	8219,2
10	50	200,0	17910,5

**Tabelle für  $R_{CAL}$**

**DMS Widerstand: 350  $\Omega$**

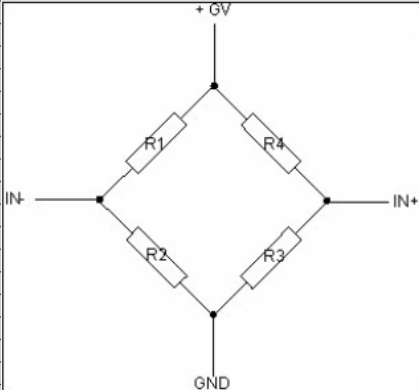
Empfindlichkeit in mV/V (S)	Gain	Verstimmung			
		20% $R_{CAL}$ in $\Omega$	50% $R_{CAL}$ in $\Omega$	80% $R_{CAL}$ in $\Omega$	100% $R_{CAL}$ in $\Omega$
0,5	4000,0	873825,0	348825,0	217575,0	173825,0
1	2000,0	436325,0	173825,0	108200,0	86325,0
1,5	1333,3	290491,7	115491,7	71741,7	57158,3
2	1000,0	217575,0	86325,0	53512,5	42575,0
2,5	800,0	173825,0	68825,0	42575,0	33825,0
3	666,7	144658,3	57158,3	35283,3	27991,7
3,5	571,4	123825,0	48825,0	30075,0	23825,0
4	500,0	108200,0	42575,0	26168,8	20700,0
4,5	444,4	96047,2	37713,9	23130,6	18269,4
5	400,0	86325,0	33825,0	20700,0	16325,0
10	200,0	42575,0	16325,0	9762,5	7575,0

## 3.) Berechnung der Nullpunktkompensation einer DMS-Brücke

Bei Verstärkungsfaktoren über 4000 kann es notwendig sein, den Eingangsoffset des Instrumentierungsverstärkers in der Rotorelektronik, bzw. die Nullpunktabweichung der DMS-Brücke zu kompensieren. Hierzu können z.B. abrasiv abgleichbare Widerstände verschiedener DMS-Hersteller verwendet werden oder ein Festwiderstand, der an entsprechender Stelle im Eingang der Rotorelektronik angelötet wird. Mit nachfolgendem Programm können Größe und Position des erforderlichen Widerstandes zur Kompensation einer Nullpunktabweichung ermittelt werden.

**TMS • Telemetrie-Messtechnik Schnorrenberg**

### Kompensation einer DMS-Brücke (350 Ohm)

Positiver Offset			Negativer Offset	
Offset +	9 V		Offset	-9 V
Verstärkung	2000	Verstärkung	2000	
Rdms	350 Ohm	Rdms	350 Ohm	
Geberversorgung	5 V	Geberversorgung	5 V	
Idms	0,014285714 A	Idms	0,014285714 A	
Eingangsoffset	4,5 mV	Eingangsoffset	-4,5 mV	
U1	2,5045 V	U1	2,4955 V	
U2	2,4955 V	U2	2,5045 V	
U3	2,5045 V	U3	2,4955 V	
U4	2,4955 V	U4	2,5045 V	
R1	350,63 Ohm	R1	349,37 Ohm	
R2	349,37 Ohm	R2	350,63 Ohm	
R3	350,63 Ohm	R3	349,37 Ohm	
R4	349,37 Ohm	R4	350,63 Ohm	
<b>Abgleichwiderstand</b>	<b>97222 Ohm</b>	<b>Abgleichwiderstand</b>	<b>97222 Ohm</b>	
Abgleichwiderstand zwischen +GV und IN-		Abgleichwiderstand zwischen +GV und IN+		