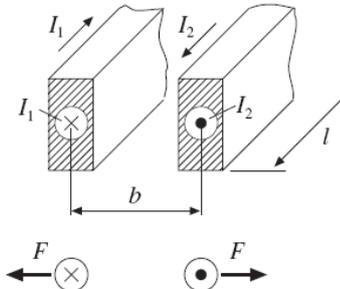


## Kraftkalibrierung einer ANSYS-Rechnung

Es soll überprüft werden, was ANSYS ausrechnet.

Dazu eine Aufgabe aus der Literatur:

<http://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/lese2665.pdf>



**Bild 2.1** Wirkung der Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern (Stromschienen). Durch die entgegengesetzte Stromrichtung stoßen sich die beiden Leiter ab

$F$  Kraft in N

$\mu_0$  magnetische Feldkonstante ( $4 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \text{ Vs}/(\text{Am})$  oder  $0,1256637 \cdot 10^{-6} \text{ Vs}/(\text{Am})$ )

$l$  Leiterlänge in m

$b$  Leiterabstand in m

$I_1, I_2$  Leiterströme in A

Parallele Leiter mit gleicher Stromrichtung ziehen sich an; parallele Leiter mit entgegengesetzter Stromrichtung stoßen sich ab.

**Beispiel:** Zwei parallele Leitungen mit einer Länge von  $l = 10 \text{ m}$  sind im Abstand von  $b = 10 \text{ cm}$  angeordnet. Es fließt jeweils ein Strom von  $I_1 = I_2 = I = 1000 \text{ A}$ . Wie groß ist die Kraft?

$$F = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot b} \cdot I_1 \cdot I_2 = \frac{1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 10 \text{ m}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \text{ m}} \cdot 1000 \text{ A} \cdot 1000 \text{ A} = 20 \text{ N}$$

## Speisung mit Gleichstrom

Werden nun zwei rechteckige Leiter von 1 m Länge mit ANSYS berechnet, (der Quelltext liegt im Anhang) ergibt sich für jeden Leiter eine Kraft in der Größenordnung von 2 N.

KRAFT2	1.99441774
KRAFT3	-1.99072058
KRAFT_RECH	2.00000000

Auf jeden Leiter wirkt diese Kraft. Könnte man zwischen den beiden durchflossenen Leitern eine Kraftmesseinrichtung anbringen, würde diese die Summenkraft von 4 N anzeigen.

## Speisung mit Wechselstrom

Nun wird der speisende Strom ein Wechselstrom und die Berechnung erfolgt harmonisch für 50 Hz. Dabei wird der eingegebene Stromwert als Spitzenwert des sinusförmigen Stromes gewertet. Durch die Quadrierung des Stromes innerhalb der Rechnung ergibt sich für den Spitzenwert der Kraft auf einen Leiter nur noch 1 N.

KRAFT2	0.997208868
KRAFT3	-0.995360291
KRAFT_RECH	2.00000000

Für Rechnungen mit Wechselstrom ist es üblich, den Wert als Effektivwert anzugeben. Macht man das, in dem man den ursprünglichen Wert mit der Wurzel von zwei multipliziert, ergibt sich wieder eine Kraft auf einen Leiter von 2 N.

KRAFT2	1. 99441774
KRAFT3	-1. 99072058
KRAFT_RECH	2. 00000000

Die Kraft folgt also der Funktion:

$$F = \hat{F} \cdot \sin^2 \omega t$$

und ihr Mittelwert beträgt:

$$F_{\text{mittel}} = \frac{1}{2} \hat{F} \quad (\text{noch mal überprüfen})$$

(Das würde sich messtechnisch überprüfen lassen, wenn man eine Leitung auf den Boden legt und die zweite darüber beweglich anordnet. Entsprechend der Gewichtskraft der zweiten Leitung und der abstoßenden Kraft muss sich ein bestimmter Abstand zwischen den Leitungen einstellen.)

Gleichstrom	Wechselstrom 1	Wechselstrom 2
$I$	$i = I \cdot \sin \omega t$	$i = I \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t$
$F_G = K \cdot I^2$	$f = K \cdot I^2 \cdot \sin^2 \omega t$ $F_{\text{Mittel}} = K \cdot I^2 \cdot \frac{1}{2}$	$f = K \cdot I^2 \cdot 2 \cdot \sin^2 \omega t$ $F_{\text{Mittel}} = K \cdot I^2$
	$F_{\text{Mittel}} = F_G \cdot \frac{1}{2}$	$F_{\text{Mittel}} = F_G$

Also:

ANSYS liefert bei harmonischer Rechnung den Mittelwert der Kraft, wenn beim Strom der Spitzenwert eingegeben wird.

## Anhang: ANSYS-Quelltext

```
!Kalibrierung der Kraft
!einer ANSYS-Rechnung
!zwei parallele Leiter
!bei Gleichstrom
!zweidimensional
!
fini $/clear
*abbr,kraftkall,/input,kraft_kall,inp
!-----Parameter-----
abst=100e-3      !Abstand zwischen den
Leitern
strom=1000      !Strom
lan=1           !Länge
my0=1.256e-6    !magnetische Feldkonstante
breit=abst/20   !Breite Leiter
hoch=abst/10    !Höhe Leiter
beradin=90e-3   !Bereichs-Radius innen
beradau=150e-3  !Bereichs-Radius außen
kraft_rech=my0*lan/(2*3.14*abst)*strom*strom

/prep7
et,1,plane53,      !Luft, Platte
et,3,infin110,    !Randelement
mp,murx,1,1       !Luft
mp,murx,2,1       !Leiter links
mp,murx,3,1       !Leiter rechts

!-----Geometrie-----
pcirc,0,beradau,-90, 90
pcirc,0,beradin,-90, 90
pcirc,0,beradau, 90,270
pcirc,0,beradin, 90,270

rectng, abst/2-breit/2, abst/2+breit/2,-
hoch/2,hoch/2
rectng,-abst/2+breit/2,-abst/2-breit/2,-
hoch/2,hoch/2

aovlap,all
!A5,6:Leiter A7,8:Bereich außen
A9,10:Bereich innen
!-----Vernetzung--Leiter-----
esize,breit/4 !Maschenweite
mat,2
amesh,6
mat,3
amesh,5
!---Vernetzung---Luft-----
csys,1

lssel,s,loc,x,beradin,beradau
lssel,u,loc,x,beradin
lssel,u,loc,x,beradau
lesize,all,,4,1/4
esize,,18
mat,1
amesh,7,8
!----Rand----
nssel,s,loc,x,beradau
esln
emodif,all,type,3
sf,all,inf
csys,0
allsel
!-----innen-----
eshape
esize,breit*2
amesh,9,10
!-----

!---Stromvorgabe-----
strd=strom/(breit*hoch)
esel,s,mat,,2
bfe,all,js,,,strd
esel,s,mat,,3
bfe,all,js,,,strd
allsel
!-----
/solu
solve

!-----
/post1
esel,s,mat,,2,3
plve,fmag

!-----Kraft-----
esel,s,mat,,2
etable,elkra,fmag,x !Elementkraft
ssum
*get,kraft2,ssum,,item,elkra

esel,s,mat,,3
etable,elkra,fmag,x !Elementkraft
ssum
*get,kraft3,ssum,,item,elkra

rel2=kraft2/kraft_rech !Verhältnis
rel3=kraft3/kraft_rech !Verhältnis
```