

# Berechnung eines Magnetkreises mit ANSYS



## Problemstellung

Ein Kern mit einem E-Schnitt trage eine Wicklung. In einem vorgegebenen Abstand befindet sich eine Platte aus einem Eisenwerkstoff über dem Kern. Bild 1 verdeutlicht.

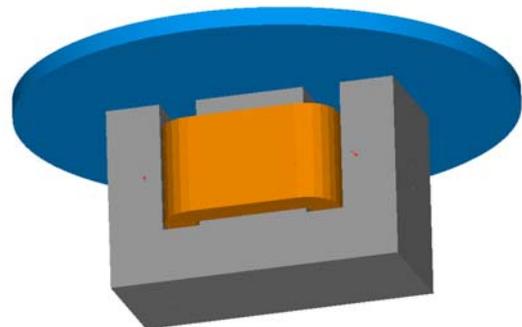
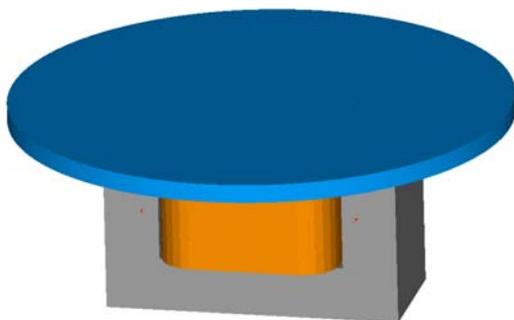
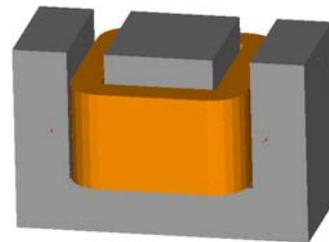
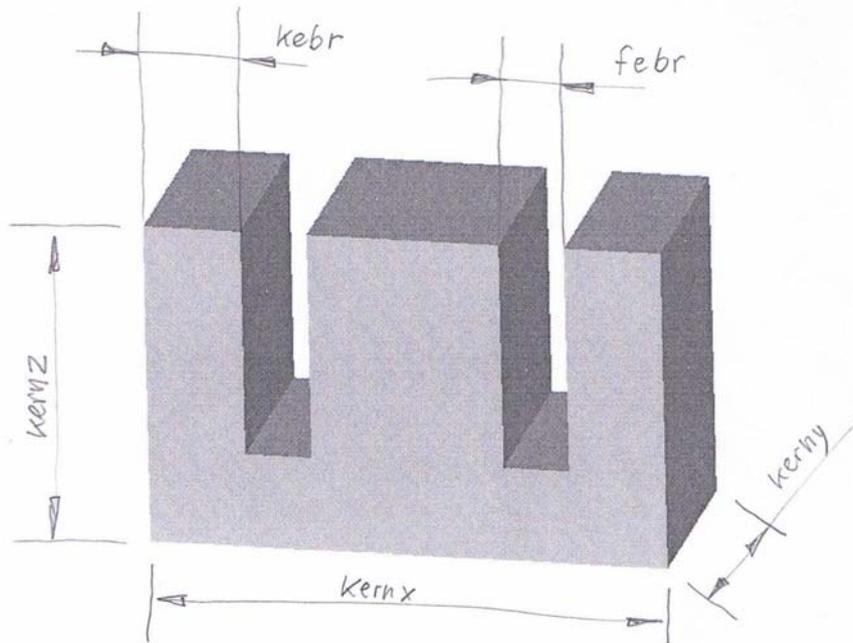


Bild 1 Anordnung

Die Abmessungen (in SI-Grundeinheiten) ergeben sich aus der folgenden Aufstellung:

```
kernx=94e-3
kerny=40e-3
kernz=60e-3

febr=12e-3      !Fenster-Breite
wiho=32e-3      !Wicklungs-Höhe
iso=1e-3        !Isolation (Dicke)
wiza=46         !Windungs-Zahl
spalt=0.5e-3    !Luftspalt
pladi=6e-3      !Platten-Dicke
strom=5
kebr=(kernx/2-febr)/2    !Kern-Breite
```

Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung der Kraft auf die Platte in Abhängigkeit vom Strom durch die Wicklung.

## Überschlagsrechnung

Zu Beginn einer Finite-Element-Berechnung ist immer eine Aufgabenstellung zu rechnen, bei der das Ergebnis bekannt ist. (Z.B. durch geschlossene Lösung bzw. durch Überschlagsrechnung)

Für die Überschlagsrechnung hier wird angenommen, dass der magnetische Widerstand des Eisens sehr viel geringer ist, als der der Luft. Daher kann das Eisen vernachlässigt werden. Damit ergibt sich der magnetische Widerstand des Kreises zu

```
theta=strom*wiza           !magn. Urspannung
Flaeche=kebr*kerny*2      !für Fluss phi
my0=12.56e-7
Rm=spalt*2/(my0*Flaeche)  !magn. Widerstand

THETA    230.000000
FLAECHE  1.400000000E-03
MYO      1.256000000E-06
RM       568698.817
```

Aus der magnetischen Urspannung und dem magnetischen Widerstand ergibt sich der Fluss und die Flussdichte:

```
phi=theta/Rm              !Fluss
fludi=phi/flaeche        !Flussdichte
PHI      4.044320000E-04
FLUDI    0.288880000
```

Diese Flussdichte hätte man natürlich auch gleich aus dem Quotienten von magnetischer Urspannung und Luftspatlänge (magnetische Feldstärke) ermitteln können. Die Induktivität der Anordnung ergibt sich zu:

```
indu=wiza*phi/strom      !Induktivität
INDU     0.372077e-2
```

Die Kraft ergibt sich aus dem magnetischen Druck:

```
druck=fludi*fludi/(2*my0)
kraft=druck*Flaeche*2
DRUCK   33221.2000
KRAFT   93.0193600
```

## Rechnung mit ANSYS Viertelmodell, über skalares magnetisches Potential

Für diese Rechnung wird (wie aus Bild 2 zu ersehen) ein umgebender Luftraum in die Rechnung einbezogen. Die relative magnetische Permeabilität wird mit 1000 angenommen.

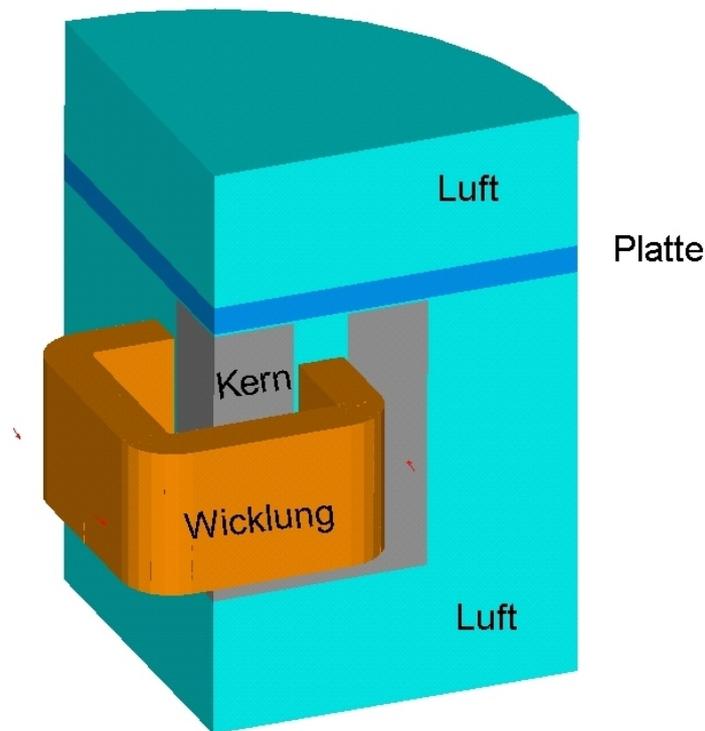


Bild 2 Geometrie des Viertel-Modells mit umgebender Luft

### Berechnungsprogramm

Die Programmbeschreibung sollte immer mit Kommentar beginnen, aus dem das Anliegen erkennbar wird.

```
!Magnetkreis mit solid96
!Kern nach Palis
!Symmetrienausnutzung
!Anregung mit race
!Kraftermittlung über fmagsum
finish
/clear !Löschen alter Datenbasis
!-----Start-Button-----
*abbr,magnetkreis8,/input,magnetkreis8,inp
/plopts,info,1 !Darstellungsoption
/plopts,minm,0 !Darstellungsoption
/triad,off !Koordinatenkreuz
```

Alle Werte, die zur Berechnung benutzt werden, sollten grundsätzlich über Parameter (und nie direkt) eingeführt werden.

```

!----Parameter-----
kernx=94e-3
kerny=40e-3
kernz=60e-3

febr=12e-3      !Fenster-Breite
wiho=32e-3      !Wicklungs-Höhe
iso=1e-3        !Isolation (Dicke)
wiza=46         !Windungs-Zahl
spalt=0.5e-3    !Luftspalt
pladi=6e-3      !Platten-Dicke
strom=5         !Strom in der Wicklung
radbe=80e-3     !Radius-Bereich
zbe=30e-3      !Z-Bereich
!---abgeleitete Parameter---
kebr=(kernx/2-febr)/2    !Kern-Breite

```

Nun kann der Preprozessor geöffnet werden, um das Modell zu generieren.

```

!-----Preprozessor-----
/prep7
et,1,solid96      !Elementtyp

```

Die im Modell verwendeten Materialien werden mit ihren Eigenschaften vereinbart.

```

!---Materialvereinbarung-----
mp,murx,1,1      !Luft
mp,murx,2,1000   !Kern
mp,murx,3,1000   !Platte

```

Die Wicklung kann über ein spezielles Makro "race" sehr einfach modelliert werden. (Beschreibung siehe: `help,race`) (Die folgende Anweisung ist nur in diesem Papier hier mit Zeilenumbruch dargestellt. Sie muss im Programm in einer Zeile stehen.)

```

!-----Wicklung-----
race,kernx/4,kerny/2+febr/2,febr/2,strom*wiza,febr-
2*iso,wiho,,, 'wicklung'

```

Zur Darstellung der Wicklung auf dem Bildschirm können die folgenden Anweisungen (optional) verwendet werden.

```

!----Darstellungsoptionen-----
/view,,-0.33,-1,0.33
/ang,,47
/eshape,1
eplot

```

Die Wicklung hier ist nicht als Volumen sondern als stromführender Leiter, der mittels Biot-Savart- Formulierung auf seine Umgebung wirkt, modelliert.

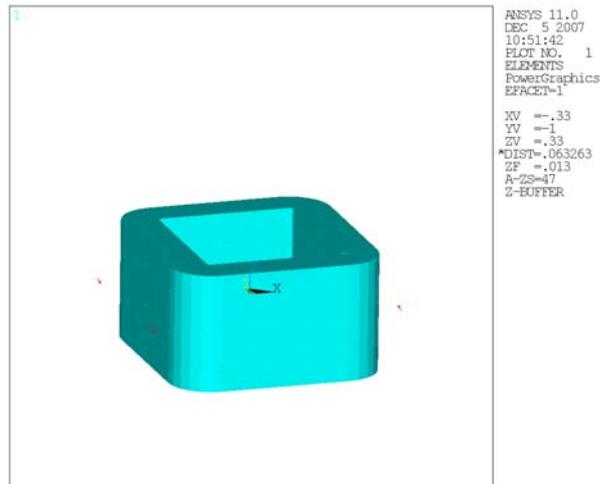


Bild 3 Wicklung

Nun wird der Kern mit der Anweisung `block (help,block )` generiert. Dazu wird die Hilfsvariablen `zok` benutzt. Da die Anordnung Symmetrien aufweist, muss hier nur ein Viertel modelliert werden. (Da aber alle Teile der Wicklung auf alle Teile der Anordnung über die Biot-Savart-Formulierung wirken, muss die Wicklung voll modelliert werden.) Das hier modellierte Viertel des Kerns wird mit zwei Quadern und der Booleschen Operation der Subtraktion gebildet.

**!-----Kern-----**

```
zok=-wiho/2-iso-kebr+kernz !Z-Oberkante-Kern
block,0,kernx/2,0,kerny/2,zok-kernz,zok
```

**!-----Fenster-----**

```
block,kebr,kebr+febr,0,kerny/2,zok-kernz+kebr,zok
vsbv,1,2 !Boolsche Operation Subtraktion
numcmp,volu !Nummerierung komprimieren
```

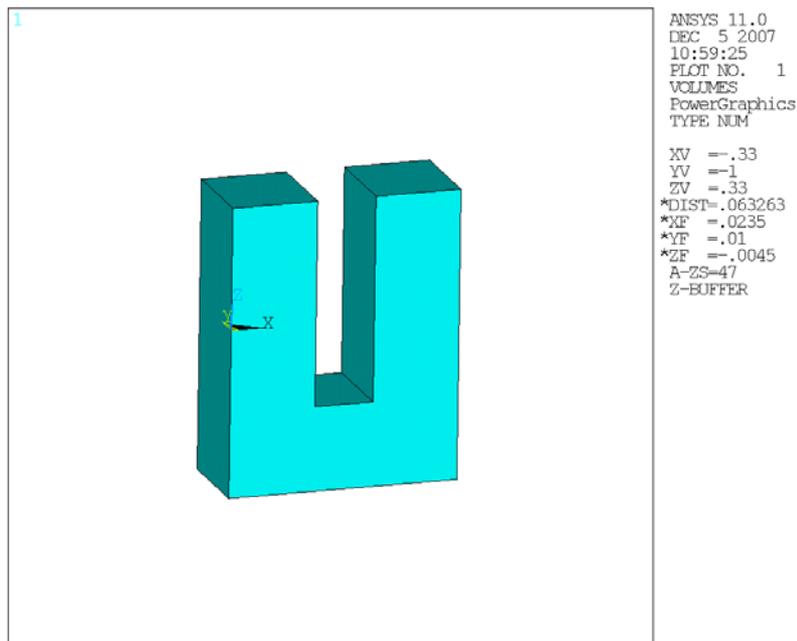


Bild 4 Kern (Viertelmodell)

Die durch die automatische Nummerierung nach der bool-schen Operation vergebenen Nummern werden neu geordnet. Dadurch hat der Kern jetzt die Volumenummer 1.

Die Platte wird als Viertelzylinder generiert.

```
!----Platte-----  
cylind,0,radbe,zok+spalt,zok+spalt+pladi,0,90
```

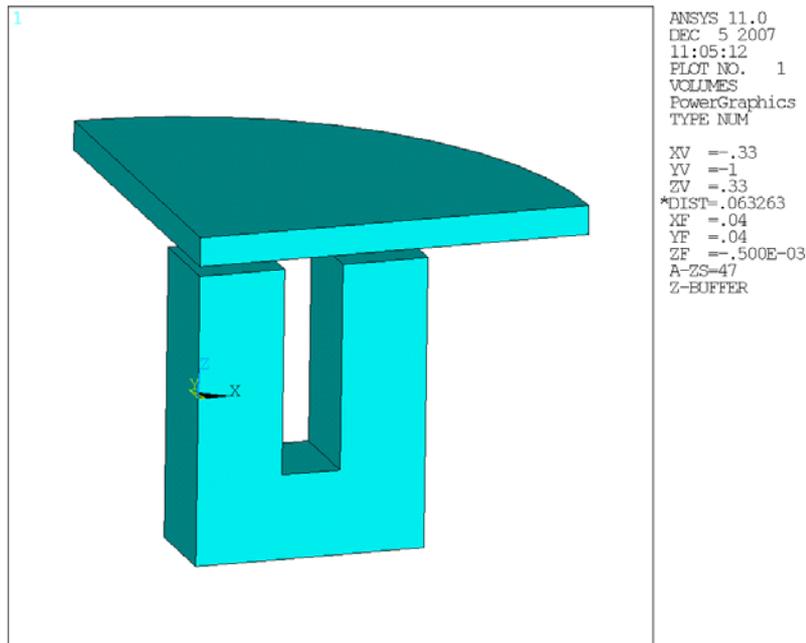


Bild 4 Kern mit Platte (Viertelmodell)

Die bisher generierte Anordnung wird nun in einen Luftraum eingebettet. Dazu wird die Luft als Viertelzylinder mit dem Kern und der Platte überlappt.

```
!-----Luft-----  
cylind,0,radbe,zok-kernz-zbe,zok+spalt+pladi+zbe,0,90  
vovlap,all !Boolsche Operation Überlappen  
numcmp,volu  
!V1:Kern V2:Platte V3,4:Luft
```

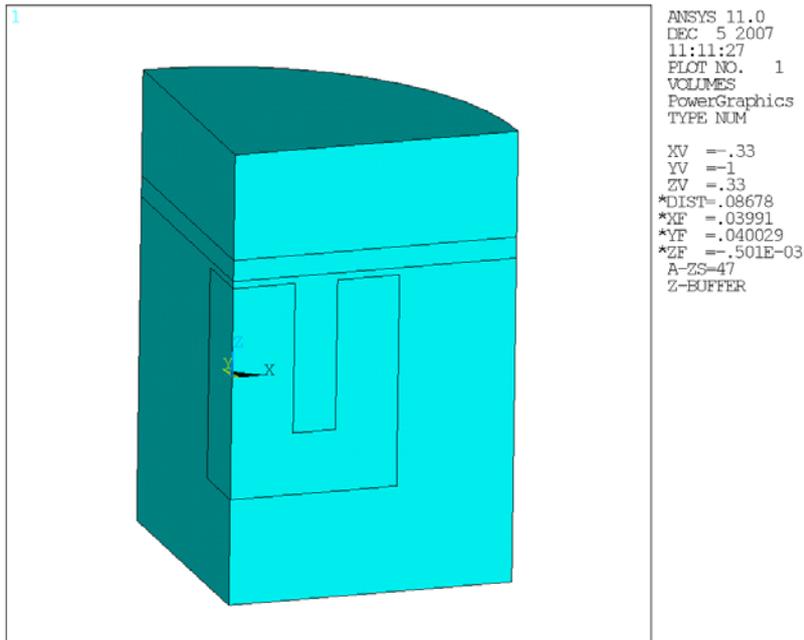


Bild 5 Kern, Platte und umgebende Luft (Viertelmodell)

Nun kann die Vernetzung erfolgen. Dazu wird eine Elementgröße (hier ein Sechstel der Kernbreite) vorgegeben.

```

!-----Vernetzung Kern-----
mat,2
esize,kebr/6 !Elementgröße für Vernetzung
vsweep,1 !Vernetzung Volumen 1
eplot
!-----Vernetzung Platte-----
mat,3
vsweep,2 !Vernetzung Volumen 2

```

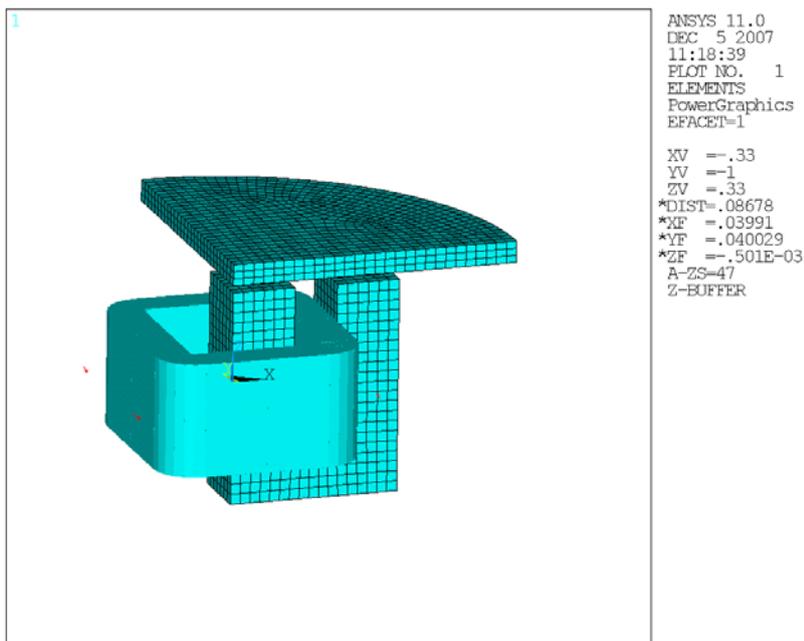
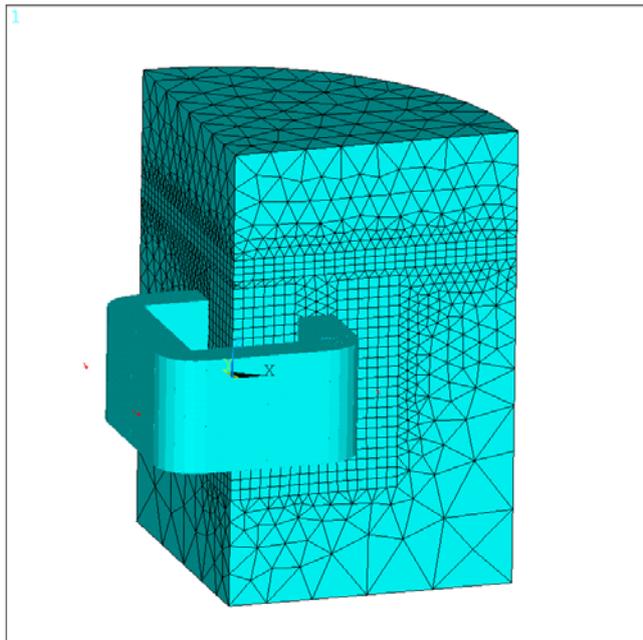


Bild 6 Vernetzter Kern und vernetzte Platte

Da hier die Elemente dargestellt sind, ist auch die Wicklung zu sehen

```
!-----Vernetzung Luft-----  
mat,1  
mshkey,0  
mshape,1  
esize  
vmesh,3,4  
eplot
```



```
ANSYS 11.0  
DEC 5 2007  
12:08:23  
ELOT NO. 1  
ELEMENTS  
PowerGraphics  
EFACET=1  
  
XV =-.33  
YV =-1  
ZV =.33  
*DIST=.08678  
*XF =.03991  
*YF =.040029  
*ZF =-.501E-03  
A-ZS=47  
Z-BUFFER
```

Bild 7 Elemente des Modells

Während die Elemente des Kern und der Platte sinnvollerweise Hexaeder (Quader) sind, wird das geometrisch komplizierte Volumen der Luft mit Tetraedern vernetzt.

Für die spätere Berechnung der Kraft auf die Platte werden alle Elemente der Platte in einer Komponente zusammengefasst.

```
!-----Komponentendefinition-----  
esel,s,mat,,3 ! Platte  
cm,platte,elem  
fmagbc,'platte' !für Kraftauswertung
```

Damit ist die Modellbildung abgeschlossen. Automatisch mit dem Aufruf des Lösungsprozessors wird der Preprozessor verlassen. Die Lösung wird angefordert.

```
!-----Lösung-----  
/solu  
allsel  
solve
```

Zur Betrachtung der Ergebnisse wird der allgemeine Postprozessor aufgerufen und zur Überprüfung der Plausibilität der Betrag der magnetische Flussdichte dargestellt.

```
!-----
/post1
plnsol,b,sum      !magn. Flussdichte Betrag
```

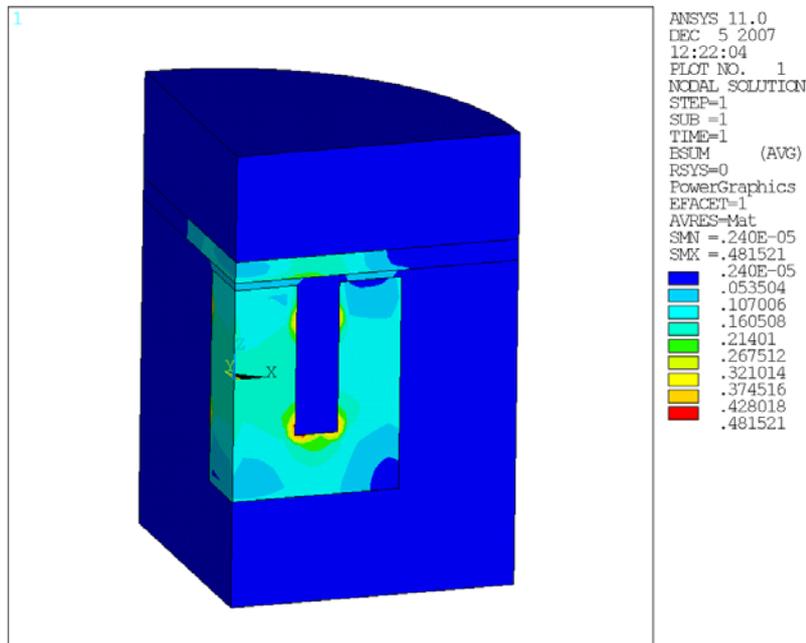


Bild 8 Betrag der magnetischen Flussdichte

Die Ermittlung der Kraft erfolgt über eine Elementtafel. Die Kräfte aller Elemente werden dann aufsummiert und der Variablen `kraft` zugewiesen.

```
!-----Kraft-----
esel,all
etable,kraft_z,nmisc,6
ssum
*get,kraft,ssum,,item,kraft_z
sKraft=4*kraft
```

Die Gesamtkraft ergibt sich durch Multiplikation der Kraft im Viertelmodell mit vier.

## Ausblick

- Berücksichtigung der Sättigung durch Iteration der Materialeigenschaft möglich
- Berücksichtigung der Bewegung ohne Geometrieänderung durch Keyopt
- Näherungsweise Berechnung durch Umwandlung in rotationssymmetrische Anordnung
- Ermittlung des Spannungsbedarfs bei Stromspeisung durch Verwendung von solid97 (Vektorpotential)
- Ermittlung nur der Kennlinie  $Kraft=f(\text{Strom})$  für die Verwendung in anderen Simulatoren (Simulink) (Caspoc)
- Benutzung von Workbench bei Übernahme der Geometrie aus einem CAD-System (noch nicht gut handhabbar)