

3.1.2. Magnetfeld eines Dauermagneten mit Platte

Ein Ringmagnet mit axialer Magnetisierung mit einer in einem bestimmten Abstand angeordneten Platte (Blech) wie Abb. 3.1.2.-1 zeigt soll untersucht werden. (Das Beispiel setzt auf das im Abschnitt 3.3.1 behandelte auf.)

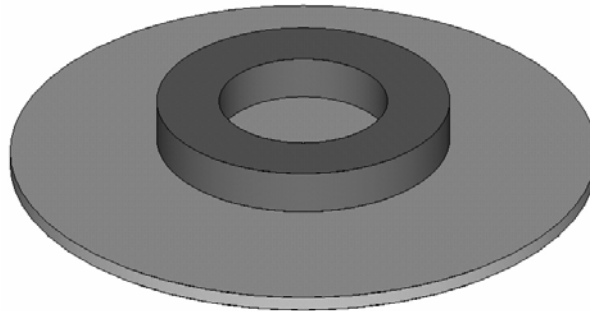


Abb. 3.1.2-1 Ringmagnet mit Platte

Wegen der Rotationssymmetrie der Anordnung wird das Problem mit einem zweidimensionalen axialsymmetrischen Modell behandelt. Dazu wird die Geometrie so in das kartesische Koordinatensystem gelegt, dass die Achse des Systems in der Y-Achse liegt. Abb. 3.1.2-2 verdeutlicht.

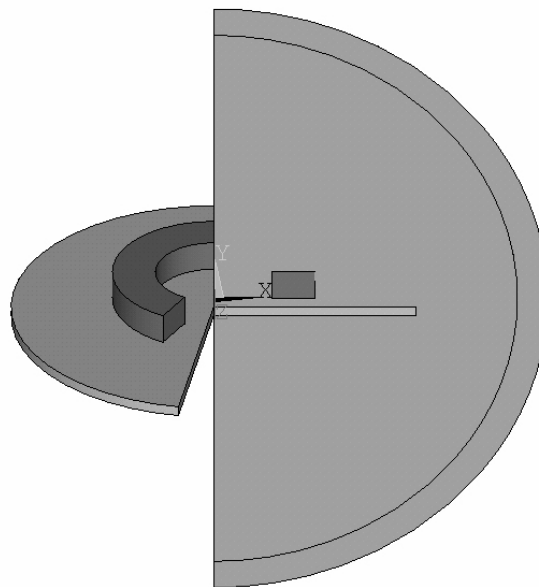


Abb. 3.1.2-2 Berechnungsebene (Magnet und Platte geschnitten dargestellt)

Das Modell wird mit folgendem Programm beschrieben:

```
!Ring-Magnet mit Platte  
!Magnet axial magnetisiert
```

```

!-----Parameter-----
magradau=0.5*40e-3      !Magnet-Radius-Außen
magradin=0.5*23e-3     !Magnet-Radius-Magnet-Innen
magho=6e-3             !Magnet-Höhe
plarad=40e-3          !Platten-Radius
pladi=2e-3            !Platten-Dicke
abst=4e-3             !Abstand Magnet Platte
beradin=60e-3         !Bereich-Radius-Innen
rand=6e-3             !Rand
beradau=beradin+rand  !Bereich-Radius-Außen

```

Als Elemente werden `plane53` und `infin110` jeweils in der axialsymmetrischen Variante verwendet. Es werden drei Materialien (Luft, Magnet und Platte) vereinbart. Dabei wird für die Platte näherungsweise eine konstante relative Permeabilität angesetzt, was man sicher nur machen darf, wenn der Werkstoff nicht in die Sättigung kommt. (Muss nach der Rechnung überprüft werden.)

```

!-----Modellerstellung-----
/prep7
et,1,plane53, , ,1     !Magnet, Luft, Platte
et,2,infin110,,1,1    !Rand
mp,murx,1,1           !Luft
mp,murx,2,1.07        !Magnet
mp,mgxx,2,0
mp,mgyy,2,0.808e6
mp,murx,3,200         !Platte
!----Geometrie-----
pcirc,0,beradau,-90,90
pcirc,0,beradin,-90,90
rectng,magradin,magradau,0,magho  !Magnet
rectng,0,plarad,-abst,-abst-pladi
aovlap,all
!A3:Magnet Platte:4  A6:Luft innen A5:Luft außen

```

In Abb. 3.1.2-3 sind die generierten Berechnungsflächen dargestellt. Danach kann die Vernetzung erfolgen.

```

!----Vernetzung-----
!-----Magnet-----
type,1 $mat,2
esize,1e-3
mshkey,1
mshape,0,2D
amesh,3
!-----Platte-----
type,1 $mat,3
esize,pladi/3
amesh,4
!-----Luft-außen-----
type,1 $mat,1
esize,rand

```

```

amesh,5
!-----Luft-innen-----
mshkey,0
esize,2e-3
amesh,6

```

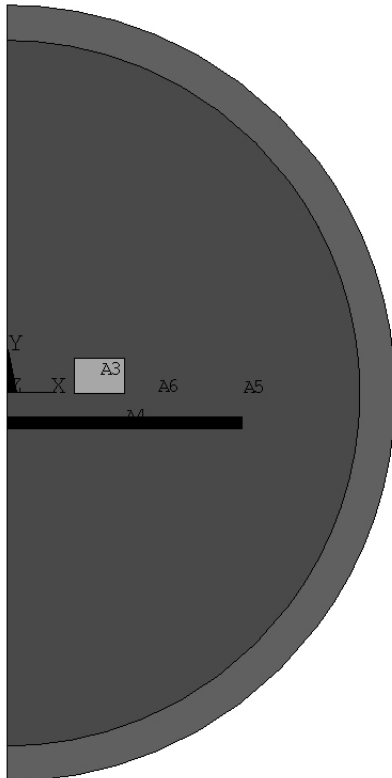


Abb. 3.1.2-3 Berechnungsflächen

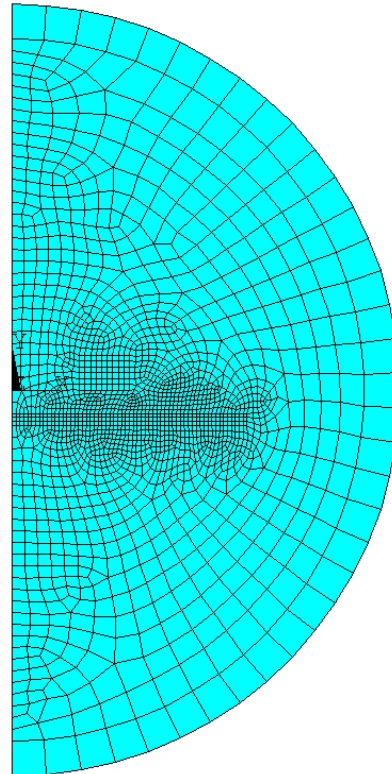


Abb. 3.1.2-4 Netz

Das entstandene Netz zeigt Abb. 3.1.2-4.

Für die spätere Kraftberechnung müssen dem Makro "fmagbc" die Elemente mitgeteilt werden, für die Kräfte herausgeschrieben werden. Dazu werden die Elemente in einer Komponente zusammen gefasst.

```

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

```

Nun wird noch der Typ für alle Randelemente in den Randelementtyp umgewandelt und das Flag gesetzt.

```

!----Randbedingung----
csys,1
nset,s,loc,x,beradau
esln
emodif,all,type,2
sf,all,inf
csys,0

```

Dann kann die Lösung angefordert werden.

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

Die erste Auswertung erfolgt durch Betrachtung der Magnetflusslinien (Abb. 3.1.2-5). Anhand dieser kann leicht überprüft werden, ob das Modell vom Prinzip her das macht, was von ihm erwartet wird.

```
!-----Auswertung-----  
/post1  
/expand,2,polar,half,,90  
plf2d
```

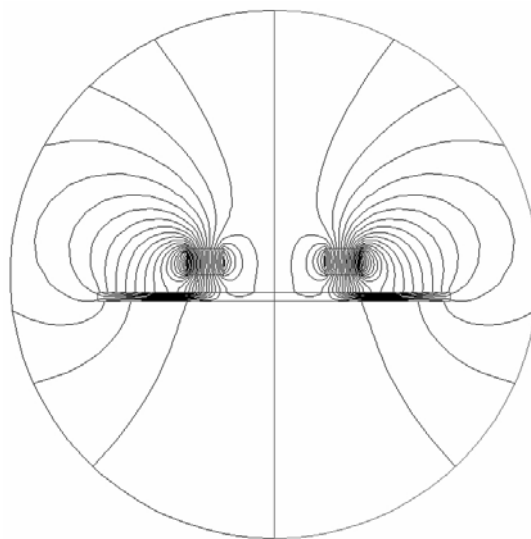


Abb. 3.1.2-5 Flusslinien der Gesamtanordnung (Schnitt)

Die nach unten aus dem Ringmagneten austretenden Flusslinien verlaufen dann vorwiegend in der Platte (wegen des großen μ_{rel}). Da einige Flusslinien nach unten aus der Platte austreten, schirmt die Platte das Magnetfeld also nicht völlig ab.

```
!----Flussdichte-----  
/cmap,grau2,cmap  
/cont,,10  
/plopts,minm,0  
plns,b,sum
```

Eine weitere Auswertung kann durch die Darstellung der Flussdichte erfolgen. Abb. 3.1.2-6 zeigt das Ergebnis.

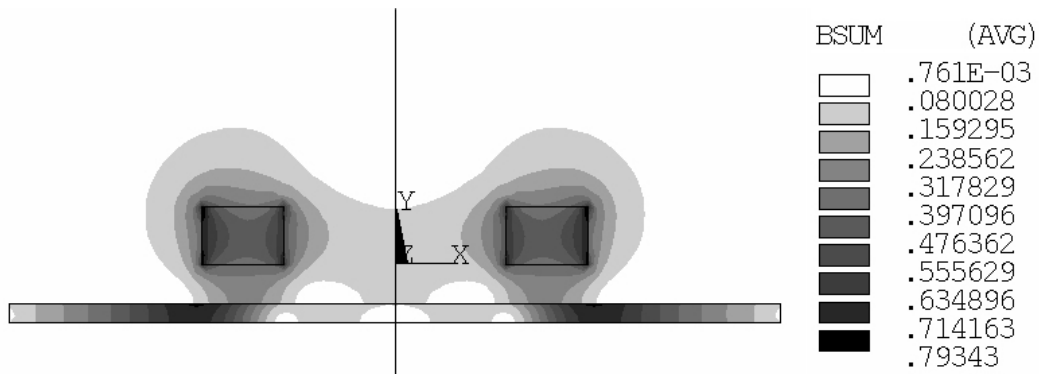


Abb. 3.1.2-6 Flussdichte der Gesamtanordnung (Schnitt)

Es ist zu erkennen, dass die Sättigungsflussdichte bei dem gewählten Abstand in der Platte nicht erreicht wird und damit ist die oben getroffene Voraussetzung erfüllt. In der Mitte zwischen Ringmagnet und Platte soll die Y-Komponente der magnetischen Flussdichte ermittelt werden. Dazu wird dort ein Pfad vereinbart und die Größe auf ihm berechnet.

```
!----Pfad-radial-----
path,quer,3,200,200
sens=abst/2      !Abstand vom Ring
ppath,1,,beradin,-sens,0
ppath,2,,0,-sens,0
ppath,3,,beradin,-sens,0
pdef,by,b,y
/yrange,-.2,.6
/gropt,divy,8
plpath,by
```

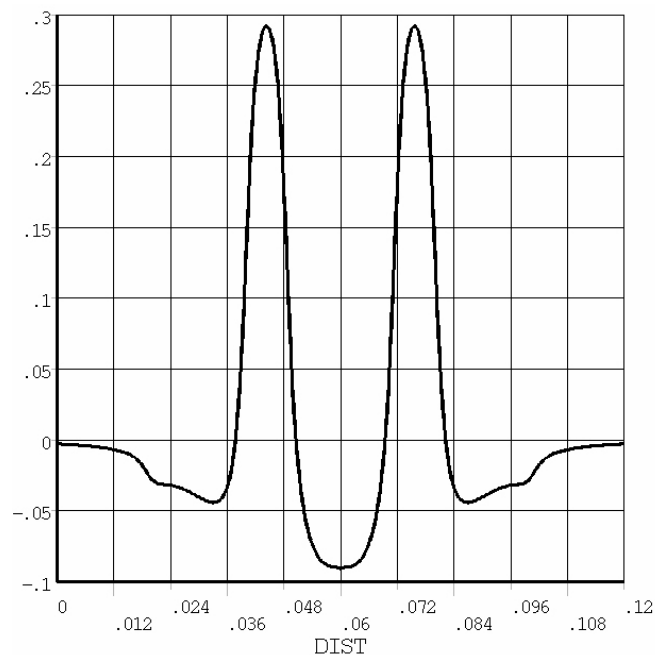


Abb. 3.1.2-7 Flussdichte auf dem Pfad

Abb. 3.1.2-7 zeigt das Ergebnis.

Für die Ermittlung der Kraft dienen folgende Anweisungen. (Alternativ kann auch das Makro `fmagsum` benutzt werden.)

```
!-----Kraftermittlung-----
esel,all
etable,kraft_y1,fmag,y !Maxwell
etable,kraft_y2,nmisc,4 !virtual work
ssum
*get,kraft1,ssum,,item,kraft_y1
*get,kraft2,ssum,,item,kraft_y2
```

Im Output-Fenster oder mit `*stat` lassen sich die Ergebnisse ablesen.

KRAFT1	19.1607635	SCALAR
KRAFT2	19.2697823	SCALAR

Die Maßeinheit für die Kraft ist N (entsprechend der oben eingegebenen Zahlenwerte in SI-Grundeinheiten).

Wenn der Abstand zwischen Magnet und Platte kleiner gemacht wird, ist zu überprüfen, ob die Netzdichte ebenfalls verringert werden muss. (Die Netzdichte darf keinen bzw. keinen erheblichen Einfluss auf das Rechnungsergebnis haben.)

Mehrfacher Durchlauf

Häufig interessiert der Einfluss eines (oder mehrerer) Parameters. Die einfachste Möglichkeit ist die Änderung des Wertes dieses Parameters (z.B. des Abstandes zwischen Magnet und Platte) und das Starten eines neuen Programmlaufs. Nach dem Durchlauf wird das Ergebnis notiert und ein neuer Lauf mit weiter geänderten Parameterwert gestartet. Zum Schluss stellt man die ermittelten Werte mit einem Grafikprogramm dar. Eleganter geht dies, wenn diese Aufgabe ANSYS übertragen wird. Hier das Prinzip.

Dazu wird das bisherige Programm ohne die Parametervereinbarung in ein mit `*create` zu organisierendes Makro (hier mit dem Namen "Durchlauf") gepackt. (Gesamtprogramm siehe beiliegende CD.)

Nach der dann folgenden Parametervereinbarung wird noch eine Feldvariable für die Ergebnisse (hier mit dem Namen "Ergebnis") definiert.

```
!-----Parameter-----
magradau=0.5*40e-3 !Magnet-Radius-Außen
magradin=0.5*23e-3 !Magnet-Radius-Magnet-Innen
magho=6e-3 !Magnet-Höhe
plarad=40e-3 !Platten-Radius
pladi=2e-3 !Platten-Dicke
abst=4e-3 !Abstand Magnet Platte
beradin=60e-3 !Bereich-Radius-Innen
rand=6e-3 !Rand
beradau=beradin+rand !Bereich-Radius-Außen

anz=12 !Anzahl variierter Werte
*dim,ergebnis,array,anz,2
```

Der mehrfache Durchlauf wird mit einer Laufanweisung organisiert. Zuerst bekommt der zu verändernde Parameter einen neuen Wert. Dann werden alle Parameter abgespeichert und die Datenbasis (vom vorigen Durchlauf) gelöscht. Danach können die Parameter wieder eingelesen werden. Mit dem Aufruf des Makros wird das Programm abgearbeitet. Die Ergebnisse des Laufes werden in der Feldvariable abgelegt.

```
!-----
*do,i,1,anz
abst=i*1e-3           !neuer Wert
parsav,all           !Parameter abspeichern
finish $/clear
parres               !Parameter einlesen
durchlauf           !Starten des Makro
ergebnis(i,1)=abst
ergebnis(i,2)=kraft
*enddo
```

Die Darstellung der Werte der Feldvariable erfolgt mit:

```
/axlab,y,Kraft
/axlab,x,Abstand
*vplot,ergebnis(1,1),ergebnis(1,2)
```

Abb. 3.1.2-8 zeigt das Ergebnis

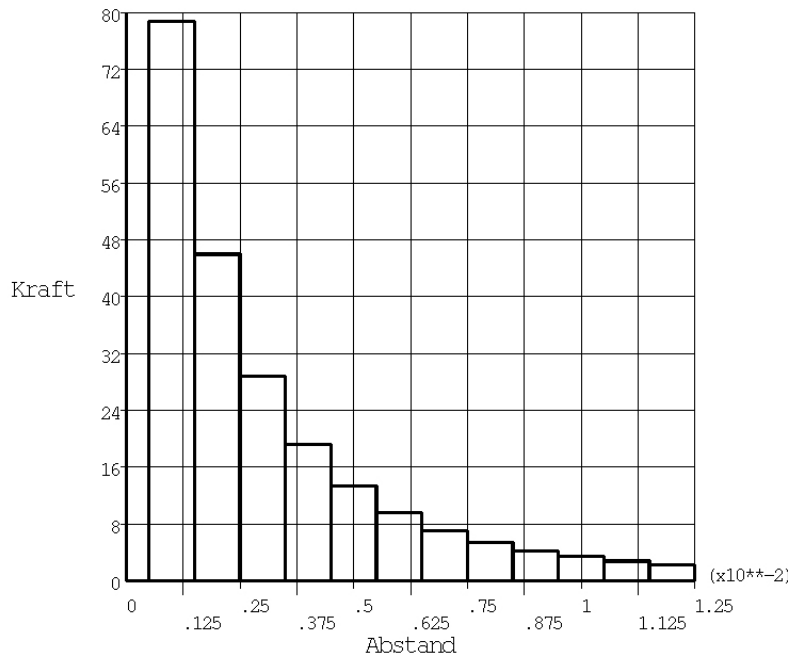


Abb. 3.1.2-8 Kraft in Abhängigkeit vom Abstand

Wenn die ermittelten Werte mit einem anderen Programm dargestellt werden sollen, lassen sie sich nach `*stat,ergebnis` auf die Festplatte auslagern.