

# 3 Magnetism

Kan man väga en elektron?  
Hur uppkommer norrsken?  
Vad är en magnetisk flaska?  
Hur fungerar en MR-scanner?  
Använder flyttfåglar kompass?  
Hur mäts styrkan av ett magnetfält?

## Magnetfält



När Columbus åkte västerut 1492 för att finna sjövägen till Indien och hamnade på Nordamerikas ostkust, var kompassen ett nytt och mycket användbart hjälpmedel för europeiska sjöfarare. Kompassen uppfanns i Kina och började användas på kinesiska skepp många hundra år tidigare, när det upptäcktes att kompassnålen alltid pekar åt ett visst håll.

Eftersom dåtidens sjömän seglade i flera dagar eller veckor över öppet hav utan landkontakt var det viktigt att kunna hålla kursen och att bestämma skeppets position. Helst ville sjömännen följa kusterna för att vara säkra på var de befann sig (men eftersom större delen av världen inte var kartlagd var även denna metod riskfylld). För att hålla kursen kom kompassen väl till pass, men eftersom kompassnålen inte pekar exakt mot norr, kunde detta få katastrofala följder.

För att kunna bestämma positionen måste alltså såväl skeppets längd- som breddgrad vara kända. Breddgraden kunde bestämmas ganska bra med hjälp av stjärnornas och solens höjd över horisonten.

Att bestämma längdgraden var däremot ett stort problem och skedde ofta lite slumpartat genom att uppskatta skeppets fart och antalet dagar som resan pågick. Inte förrän i mitten av 1700-talet löstes detta problem.

## Många djur har en inbyggd kompass

Med tanke på hur svårt människan haft att navigera till sjöss är det imponerande att se hur flyttfåglar flyger mer än 1 000 km söderut på hösten och hittar tillbaka på våren. Fåglarna har förmodligen behärskat denna teknik i miljontals år.

Vi vet att fåglar har en inbyggd egenskap att finna vägen, eftersom även de unga fåglarna, som gör flygningen för första gången, klarar av att hitta den riktiga flygrutten.

Egenskapen är särskilt väl utvecklad hos brevduvor. Om de släpps iväg från ett obekant område långt hemifrån klarar de snabbt av att välja den rätta vägen tillbaks.

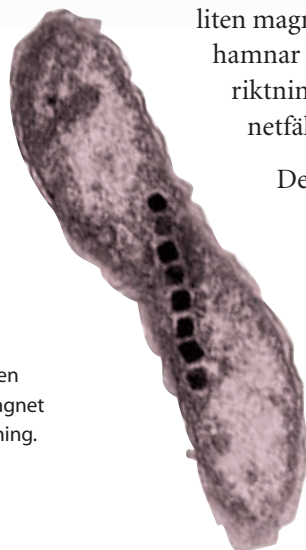
Undersökningar visar att fåglarna i stor utsträckning använder sig av solen och stjärnorna. Men ett fågelsträck kan ju finna vägen i tät dimma eller när det är mulet – fåglarna har alltså en speciell riktningssänsla som vi människor saknar.

Det har visat sig att många fåglar har ett magnetiskt sinne. En mängd experiment, inte bara med brevduvor utan även andra fåglar, visar att fåglar kan orientera sig i jordens magnetfält. Andra djurarter, som t.ex. bin, fjärilar och havssköldpaddor, har också denna förmåga.

Hur detta magnetiska sinne fungerar är fortfarande inte känt. Det finns åtskilliga teorier, men ingen av dessa är ännu experimentellt bekräftad. Dessutom är det obekant hur fåglarna har möjlighet att utnyttja denna inre kompass.

Vissa typer av anaeroba bakterier, som lever i en syrefattig miljö i botten-slammet på sjöar och vattendrag, kan på ett mycket enkelt sätt navigera med hjälp av jordens magnetfält. Om dessa bakterier flyter upp i vattnet, hittar de vägen tillbaka ned till botten genom att simma i magnetfältets riktning.

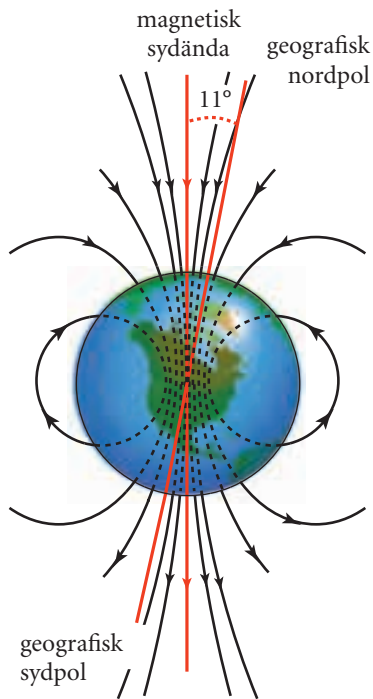
Forskare har upptäckt att bakterierna innehåller mycket små magnetitpartiklar. Var och en av dessa partiklar fungerar som en liten magnet. De små magneterna påverkar varandra så att de hamnar i en lång rad och vrider in bakterien i magnetfältets riktning. När bakterien börjar simma så sker detta i magnetfältets riktning, dvs. snett ner mot botten.



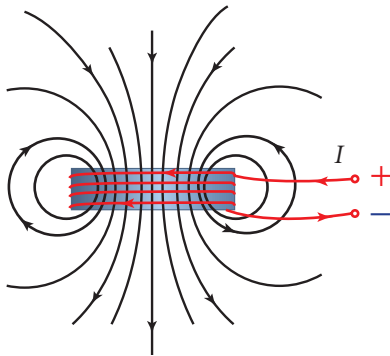
Detta fungerar bra på norra halvklotet där magnetfältet är snett nedåtriktat. På södra halvklotet, där magnetfältet är riktat snett uppåt, är bakterierna uppbyggda så att magnetitpartiklarna ligger åt motsatt håll. Därför kommer bakterierna att simma åt söder istället, dvs. i motsatt riktning mot magnetfältet. På så sätt hittar även dessa bakterier vägen tillbaka till botten.

► Vid många tillfällen är det äldre fåglar, som har gjort flytten tidigare, som visar vägen, men så är inte alltid fallet.

► Magnetisk bakterie. En rad med magnetitpartiklar ger upphov till en liten stavmagnet inuti bakterien. Denna magnet riktar in bakterien i magnetfältets riktning.



► Den magnetiska nord-syd-axeln sammanfaller inte med jordens rotationsaxel. Det är en vinkel på 11° mellan axlarna.



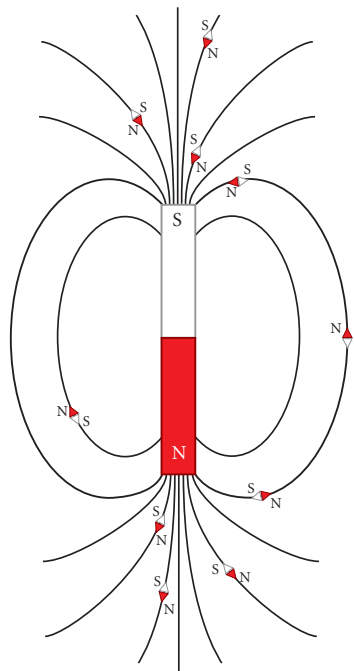
► Magnetfältet runt en platt strömgenomfluten spole. Jämför utseendet med fältet runt stavmagneten.

## Jordens magnetfält

Att det finns ett magnetfält kan visas genom att placera en kompassnål i det. Den riktning nordändan på en fritt rörlig kompassnål ställer in sig mot är magnetfältets riktning i just den punkten.

För att visa fältets riktning i rummet ritas man ofta ut kurvor som binder samman magnetfältets riktning i många punkter. Dessa kurvor kallas fältlinjer. I bilderna ser du exempel på fältlinjer runt en stavmagnet, runt jorden och i och runt en spole som är strömgenomfluten.

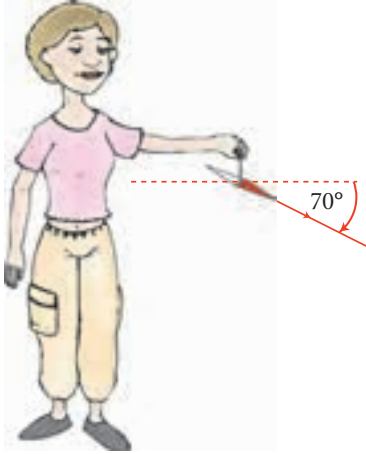
Att jorden har ett magnetfält kan du konstatera genom att studera hur en kompassnål ställer in sig. Om du väljer ut en plats på jorden och placerar en kompass, kommer den alltid att ställa in sig i samma riktning om du inte stör den med andra magnetfält. Detta är sant för alla platser på jorden utom två – fundera ut vilka dessa två ställen är.



► Magnetfält runt en stavmagnet. Fältets riktning är detsamma som den riktning mot vilken en liten kompassnål pekar. Det innebär att fältet går ut från stavmagnetens nordända och in mot dess sydända.



► Med hjälp av järnfilspån kan man åskådliggöra de magnetiska fältlinjerna. I bilden syns två stavmagneter med nordändarna vända mot varandra. I gapet mellan magneterna syns nästan inga fältlinjer eftersom fälten i stort sett tar ut varandra. De två magneterna repelleras.



► Om en magnetisk nål kan vrida sig fritt, kommer den i Sverige att ställa in sig så att den pekar norrut och kraftigt snett nedåt.

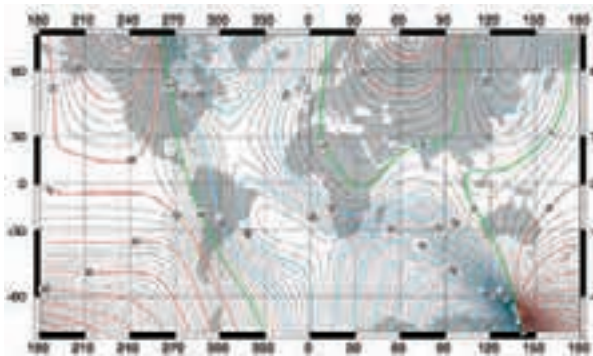
Jordens magnetfält liknar mycket fältet kring en platt strömgenomfluten spole, ett s.k. dipolfält. Forskare anser därför att jordens magnetfält orsakas av elektriska strömmar i jordens inre. Förekomsten av magnetiska material, s.k. permanenta magneter, i jordskorpan ger störningar. Fältets utseende avviker därför från ett dipolfält.

Om du undersöker jordens magnetfält med en vanlig kompass ställer nålen in sig mot norr. Egentligen ställer den in sig mot den magnetiska sydänden som ligger en bit från nordpolen. Avvikelsen mellan nordriktningen och magnetfältets riktning kallas för missvisning eller deklination. I Sverige är missvisningen mellan  $1^\circ$  och  $8^\circ$ . I bilden längst ned till vänster ser du deklinationens storlek på olika platser på jorden.

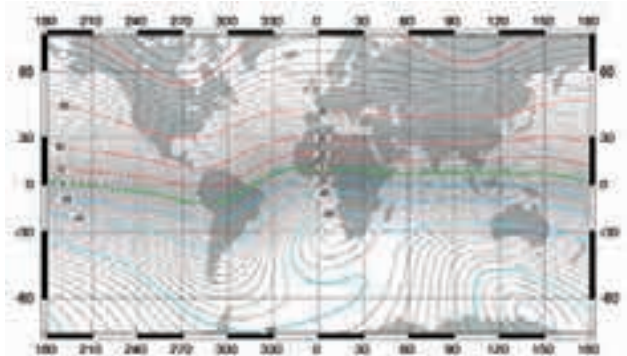
Eftersom kompassens nål bara är rörlig i horisontell led ger detta försök ingen information om hur magnetfältet ”lutar”.

Om du undersöker magnetfältets riktning med en fritt rörlig kompassnål, visar det sig att magnetnåls nordända pekar kraftigt nedåt på våra breddgrader.

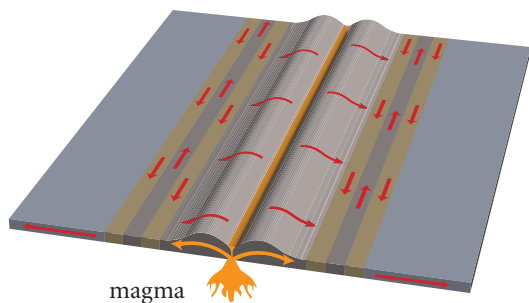
Vinkeln mellan horisontalplanet och magnetfältets riktning kallas för inklination. Denna vinkel varierar mellan  $0^\circ$  vid ekvatorn och  $90^\circ$  vid nordpolen (egentligen vid den jordmagnetiska sydändan intill nordpolen). I södra Sverige är inklinationen ca  $70^\circ$ . I bilden längst ned till höger ser du inklinationens storlek på olika platser på jorden.



► Jordens geografiska och magnetiska poler ligger inte på samma plats. Det innebär att en magnetnål inte pekar exakt norrut. Denna avvikelse kallas missvisning eller deklination. Bilden visar deklinationen på olika platser.



► Den vinkel som magnetfältet bildar mot horisontalplanet kallas för inklination. Inklinationen beror i stort sett på vilken breddgrad man befinner sig på, men även andra faktorer spelar in. Bilden visar inklinationen på olika platser.



► Längs den mittatlantiska ryggen bildas bergskedjor av stelnad magma under vattnet. Dessa rör sig sedan bort från sprickan.

Undersökningar av de magnetiska förhållandena på havsbotten visar att polariteten hos jordens magnetfält plötsligt har förändrats så att den magnetiska sydändan har bytt plats med nordändan. Dessa byten har skett med tidsintervall på ca en miljon år.

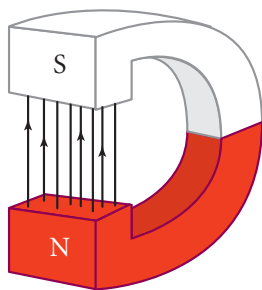
De magnetiska polerna ligger underligt nog inte stilla. Både riktningen och styrkan av jordens magnetfält ändras med tiden. Vi vet detta eftersom forskare har utfört mätningar sedan 1600-talet – dessförinnan kände man helt enkelt inte till jordmagnetismen. Den som först studerade magnetfält var engelsmannen William Gilbert, som år 1600 gav ut boken ”Om magneter” där han bl.a. beskrev jorden som en stor jättemagnet.

Numera har vi metoder som kan ge upplysningar om jordens magnetfält ännu längre tillbaka i tiden. Metoderna bygger på att vissa material magnetiseras när de utsätts för ett yttre magnetfält.

Sker detta över en viss temperatur, den s.k. Curietemperaturen, förblir materialet magnetiskt då det kyls av. Järn, kobolt och nickel är exempel på sådana ferromagnetiska material och bildar så kallade permanentmagneter.

En av de metoder som kan ge information om jordens magnetfält förr i tiden, bygger på att lera innehåller små mängder ferromagnetiskt material. När lera bränns och sedan kyls av beror magnetiseringen på det tillfälle då bränningen skedde. Undersökningar på bränt tegel och krukskärvor kan på så sätt ge oss information om jordens magnetfält mer än 2 000 år bakåt i tiden – så lång tid som människor har bränt lera.

För att få information om hur jordens magnetfält såg ut ännu tidigare kan man undersöka vulkaniska bergarter, eftersom nästan alla bergarter innehåller ferromagnetiska material som magnetit. Vulkaniska bergarter har uppkommit genom stelning av flytande magma och innehåller därför upplysningar om jordens magnetfält vid stelningstillfället.

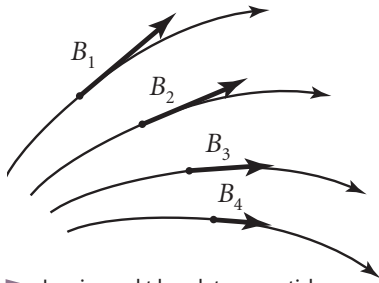


► Mellan skänklarna på en hästskomagnet blir fältet i stort sett homogent.

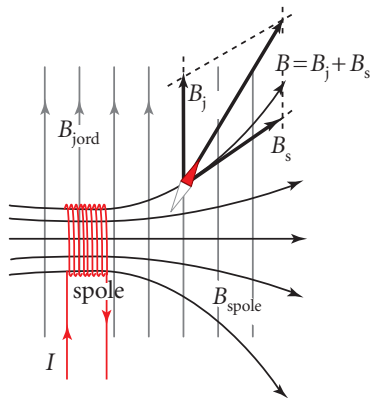
## Mätning av magnetfält

Genom att använda sig av ett Hall-element kan man mäta styrkan hos ett magnetfält. Mätmetoden bygger på ett fenomen som kallas Halleffekt (vi återkommer till detta senare i kapitlet).

Styrkan,  $B$ , av ett magnetfält, den så kallade flödestätheten, mäts i enheten tesla, T. En tesla är en förhållandevis stor enhet. Till exempel är den största flödestäthet som erhållits i ett laboratorium ca 30 T. Flödestätheten hos jordens magnetfält är ca  $70 \mu\text{T}$  vid nordpolen och ca  $30 \mu\text{T}$  vid ekvatorn.



► I varje punkt har det magnetiska fältet,  $B$ , samma riktning som tangenten till fältlinjen genom punkten.



► Eftersom magnetfält har både storlek och riktning måste de adderas som vektorer.

#### EXEMPEL 1

I en ort i Skåne är den horisontella komponenten av jordens magnetfält  $16,8 \mu\text{T}$  och den vertikala  $46,5 \mu\text{T}$ . Beräkna inklinationen och den totala flödestätheten.

I ett homogent magnetfält är den magnetiska flödestätheten,  $B$ , konstant och har samma storlek och riktning överallt. Ett så gott som homogent magnetfält finns inom ett begränsat område i gapet på en s.k. hästsko-magnet. Det finns andra sätt att åstadkomma detta med speciella arrangemang med spolar, s.k. Helmholtz-spolar.

När man ritar fältlinjer visar tätheten på fältlinjerna hur starkt magnetfältet är. Större täthet svarar mot ett starkare magnetfält. En kompassnål visar riktningen hos magnetfältet i en viss punkt genom att ställa in sig som tangent till fältlinjekurvan.

Flödestätheten är, liksom många andra fysikaliska storheter, en vektor och har alltså både storlek och riktning. Det innebär att om flera olika magnetfält är närvarande ska bidragen till flödestätheten från de olika fälten adderas som vektorer. Omvänt kan vektorn delas upp i komponenter.

Ofta delas den jordmagnetiska flödestätheten upp i en horisontal- och en vertikalkomponent. Om du använder en vanlig orienteringskompass påverkas den enbart av horisontalkomponenten. Effekten av vertikalkomponenten blir knappast synlig eftersom nålen rör sig i ett plan.

I bilden ser du en spole som placerats i jordens magnetfält. I varje punkt finns både jordens,  $B_{\text{jord}}$ , och spolens,  $B_{\text{spole}}$ , magnetfält. Bilden visar hur de två vektorerna  $B_s$  och  $B_j$  adderas till vektorn  $B$  i en viss punkt i fältet.

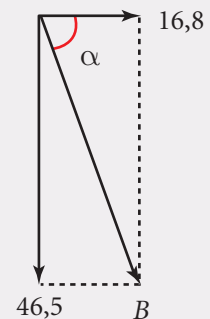
Ur figuren får vi:

$$\tan \alpha = \frac{46,5 \mu\text{T}}{16,8 \mu\text{T}}$$

som ger vinkeln  $\alpha = 70^\circ$ . Pythagoras sats ger:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{16,8^2 + 46,5^2} \mu\text{T} \approx 49,4 \mu\text{T}$$

Svar: Inklinationen är  $70^\circ$  och flödestätheten  $49,4 \mu\text{T}$ .



Nu kan du lösa uppgifterna 301–302 på sidan 125

## Magnetfält kring strömförande ledare

Den danske fysikern Hans Christian Ørsted visade 1820 att en kompassnål påverkas av en strömförande ledare. Det var detta som senare ledde fram till upptäckten att det finns magnetfält runt strömförande ledare.

### Experiment Magnetfält kring en strömförande ledare



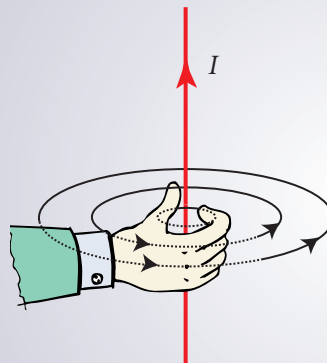
Spänn upp en ledare horisontellt i nord-sydriktningen. Placera en kompass en till två centimeter rakt under ledaren. Justera ledarens riktning så att kompassnålen pekar längs den när det inte flyter någon ström i ledaren.

Skicka sedan ström genom ledaren och observera kompassnålen. Variera storleken på strömmen och se vad som händer. Lämpliga storlekar på strömmen är 0–6 A.

Kasta sedan om strömriktningen och undersök vad som händer. Prova gärna också att placera kompassen rakt ovanför och vid sidan av ledaren. Skriv ner dina observationer och förklara vad som sker!

Experimentet visar att fältlinjerna ligger som cirklar med ledaren mitt i centrum och att de är vinkelräta mot den strömförande ledaren. Fältstyrkan avtar med avståndet till ledaren.

Du kan hitta fältlinjernas riktning med hjälp av tumregeln:

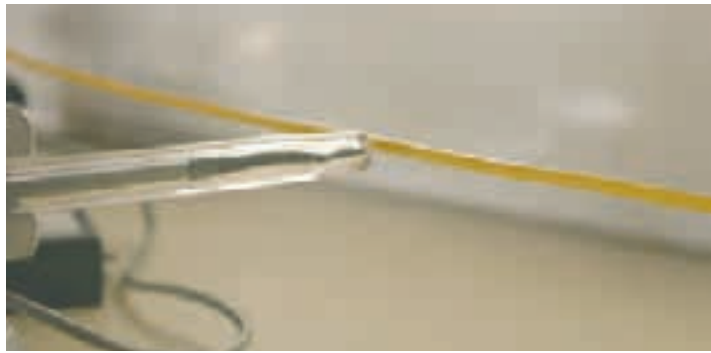


### Tumregeln

Fatta med högra handen runt ledaren med tummen i strömriktningen. De övriga fingrarna anger då det magnetiska fältets riktning.



► Försöksupställning för mätning av flödestätheten runt en rak ledare.



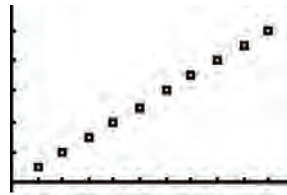
## Undersökning av magnetfältet kring en ledare

För att undersöka hur magnetfältet runt en ledare beror på storleken av strömmen och på avståndet till ledaren monteras en ledare vertikalt. Sedan placeras ett Hall-element en bit ifrån och ansluts till en CBL.

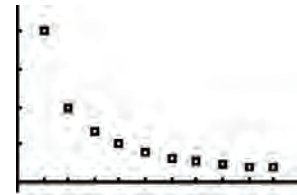
I det första försöket hålls avståndet till ledaren konstant medan strömmen varieras. I det andra försöket hålls strömmen i ledaren konstant medan avståndet till ledaren varieras.



► I början av 1980-talet startades en intensiv debatt om farorna förknippade med magnetfält i omgivningen av högspänningsledningar. Det har aldrig med säkerhet påvisats att det finns några skadliga verkningar.



► Flödestätheten,  $B$ , som funktion av strömmen,  $I$ . Grafen visar att  $B = \text{konst} \cdot I$ .



► Flödestätheten,  $B$ , som funktion av avståndet,  $a$ . Grafen antyder omvärd proportionalitet.

Resultaten från dessa båda experiment ger att sambandet mellan flödestätheten,  $B$ , strömmen,  $I$ , och avståndet,  $a$ , kan skrivas:

$$B = k \cdot \frac{I}{a}$$

Konstanten  $k$  har värdet  $k = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ . Sambandet kan också visas teoretiskt.

På likartat sätt som ovan kan formler för flödestätheten vid andra situationer visas experimentellt och härledas teoretiskt. På nästa sida finns en sammanställning av några formler. I samtliga samband betecknar  $B$  flödestätheten och  $I$  strömstyrkan. Konstanten  $\mu_0$  kallas permeabiliteten för vakuum och har värdet  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ .