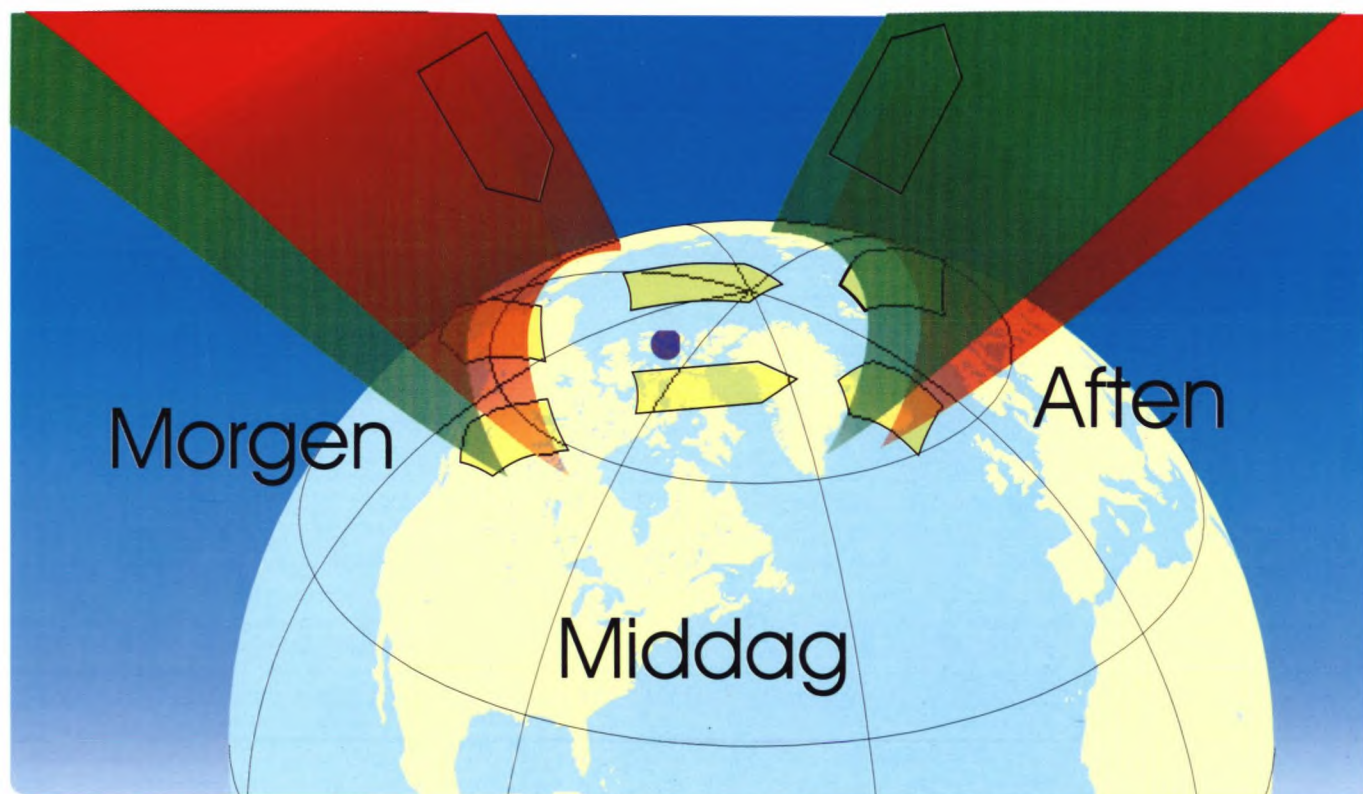


KVANT Oktober 1998 2

Fysisk Tidsskrift

9. Årgang



- JORDENS MAGNETFELT SET FRA RUMMET • GEOMAGNETISK VARIATION I DANMARK •
- KATTEGATS VANDKVALITET • TJERNOBYL-EKSPLOSIONEN •

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Ørsted Laboratoriet
Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Telefax : 35 32 05 76
E-mail : kvant@nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab

Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv.)
DCESS, NBIfAFG
Jørgen Friis Bak
Naturvidenskabeligt fakultet, ÅU
Jørn Christiansen
Britt Larsen
Forskningscenter Risø
Torsten Freltoft
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år.

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1800 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til Redaktøren, telefon 35 32 05 73, telefax 35 32 05 76.

Oplag: 2000

Tryk: P. J. Schmidt, Vojens
ISSN 0905-8893

Indhold:

Jordens magnetfelt set fra rummet

Therese Moretto og Nils Olsen 1

Forståelsen af Jordens magnetfelt hænger sammen med forståelsen af Jordens dannelse og udvikling, og magnetfeltet har stor betydning for hvordan Jorden reagerer under Solens påvirkning.

Den geomagnetiske sekularvariation i Danmark

Niels Abrahamsen 8

Jordens magnetfelt ændrer sig i tidens løb, og i Danmark kender vi nu til denne variation tilbage til slutningen af istiden. Det har bl.a. arkæologerne glæde af.

Kattegats vandkvalitet

Niels Kristian Højerslev 16

Vandmiljøplanen fra 1987 blev sat igang efter iltsvind i Kattegat, og kvælstofudledninger fra de store vesteuropæiske floder fik skylden for Kattegats dårlige tilstand. Men hvordan måler man vandkvaliteten - og hvor kommer vandet i Kattegat egentlig fra?

Tjernobyl-eksplosionen

Søren Gregersen 22

I 1986 eksploderede en af reaktorerne på Tjernobyl-atomkraftværket. Var årsagen en menneskelig fejl eller et jordskælv?

Nyt fra DFS

Medlemstilbud fra DFS 24

Fællesmøde med Videnskabernes selskab og konference om fysikundervisning.

Nyt fra SNU

Medlemstilbud fra SNU 27

Besøg på Tele Danmark og møde om den kemiske revolution i 1794.

Årsregnskab og status 1997 for DFS

Kassebeholdningen stjålet! 28

Tyveri af et pengeskab på Institut for Fysik og Astronomi i Århus har indflydelse på 1997-regnskabet.

Forsiden:

Dette nummer af Kvant går i dybden med nogle indlæg fra Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 1998, hvor Dansk Geofysisk Forening deltog med egen session. Kvant's forside viser en skitse af det ionosfæriske strømsystem over den nordlige pol. Feltrettede (lodrette) strømme går ned til og bort fra ionosfæren i to bæltet rundt om den magnetiske pol, markeret med en blå plet. Disse er symboliseret ved de røde og grønne flader i tegningen. I bæltet tættest ved polen går strømmen ind i ionosfæren på morgensiden og ud fra ionosfæren på aftensiden, og i bæltet nedenfor er det lige omvendt. Ved Middag og Midnat er strømsystemerne mere komplekse, og er derfor ikke vist. De gule pile symboliserer placeringen og retningen af de horisontale strømme i ionosfæren, der lukker det feltrettede strømsystem. Læs artiklen side 1!

Jordens magnetfelt set fra rummet

Therese Moretto og Nils Olsen, Dansk Rumforskningsinstitut

Jordens Magnetfelt

Forståelsen af Jordens magnetfelt er tæt knyttet sammen med forståelsen af planetens dannelse og udvikling. Desuden har magnetfeltet stor betydning for hvordan Jorden og dens nærmeste omgivelser reagerer under påvirkningen fra solen.

Magnetfeltet ved Jordens overflade svinger i styrke fra 24000 nT i Sydamerika til 68000 nT syd for Tasmanien. Mere end 94% heraf hidrører fra elektriske strømme i Jordens flydende kerne.

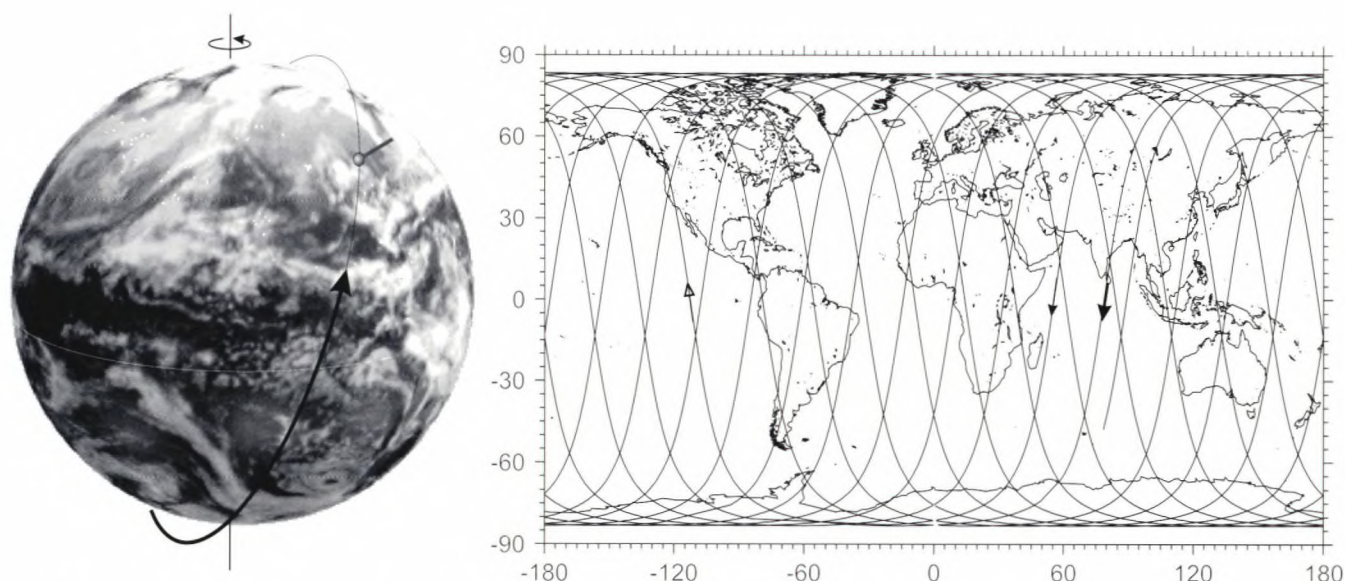
Feltet er ikke konstant. For eksempel har feltstyrken været faldende gennem dette århundrede med en rate af omtrent 0,1% pr. år. Også geometrien af feltet ændres, som det kendes fra brugen af kompas, hvor kort over misvisningen må opdateres med jævne mellemrum.

Jordens magnetfelt virker som et beskyttende skjold mod den strøm af magnetiseret plasma, kaldet solvinden, der konstant udspys fra solens atmosfære. Solvinden indkapsles feltet i et kometformet hulrum, kaldet magnetosfæren, som det ses i Figur 2. Magnetfeltet trykkes sammen på den side der vender mod solen til en afstand af omkring 10 jordradier, mens det på den

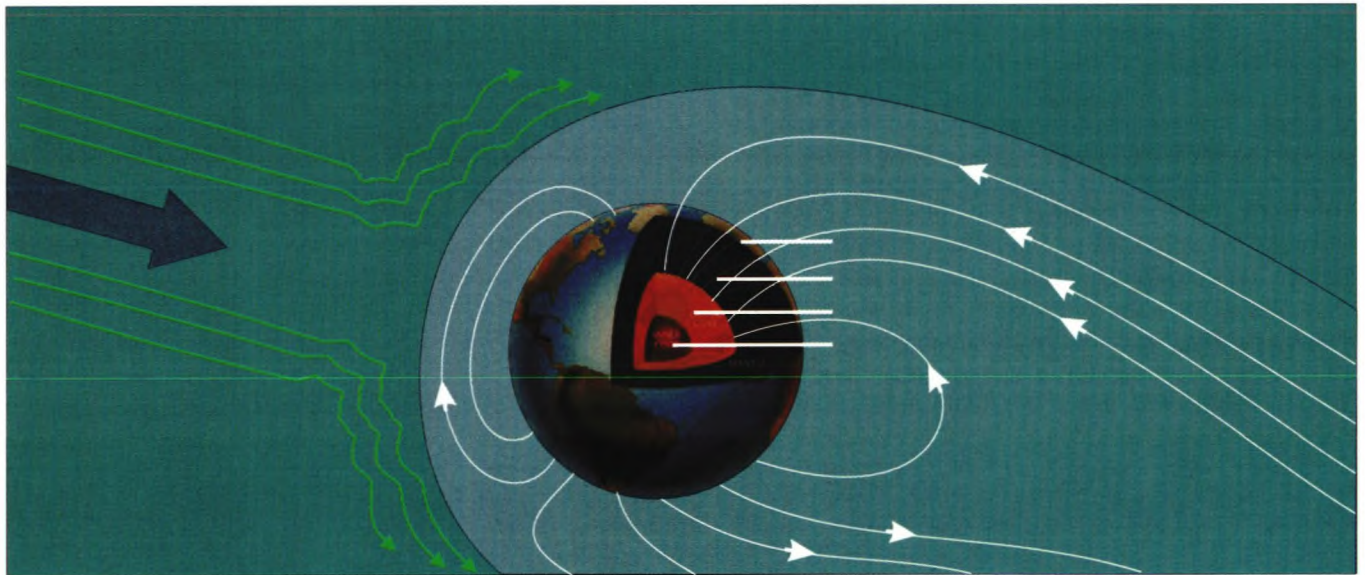
side, der vender væk fra solen trækkes ud i en lang hale af mere end 100 jordradiers længde. Deformationen af magnetfeltet forårsages af elektriske strømsystemer i magnetosfæren og den øverste ioniserede del af Jordens atmosfære (100–300 km) kaldet ionosfæren. Strømmene er kraftigst i de polare områder, hvor de er nært knyttet til forekomsten af nordlys (polarlys), men de varierer meget i styrke og form afhængigt af solens aktivitet. Forholdene i solvinden kan variere meget fra dag til dag og endog fra time til time eller inden for få minutter, men uafhængigt af solvinden driver også vinde i ionosfæren et strømsystem.

Observationer

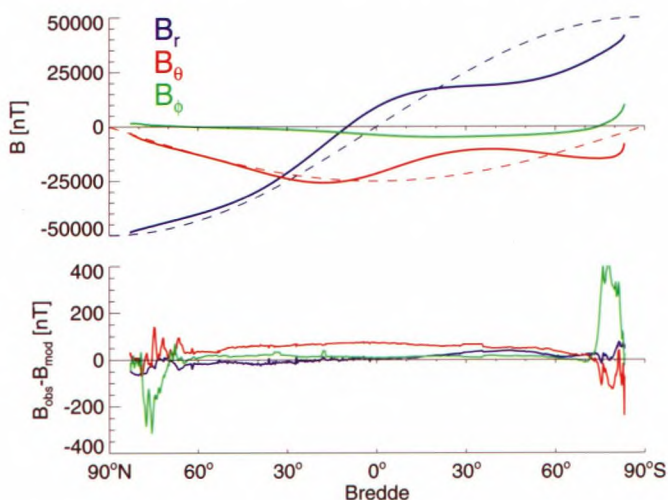
Brug af kompasser til navigation er dokumenteret helt tilbage til den tidlige middelalder i Europa og giver dermed den først kendte indikation af en erkendelse af Jordens magnetfelt samt brugen af det. Vinklen mellem geografisk og magnetisk nord, deklinationen eller i daglig tale misvisningen, og magnetfeltets vinkel til vandret, inklinationen, samt deres geografiske afhængighed har været kendt som begreber siden 1500-



Figur 1. Til venstre er skitseret en satellit i en polær næsten cirkulær bane. For MAGSAT lå baneplanet næsten fast i forhold til solen, så alle sydgående overflyvninger foregik på morgensiden af Jorden og alle nordgående på aftsiden. For MAGSAT skal man altså tænke sig solen ude til højre. Til højre er skitseret MAGSAT's bane hen over Jorden for et døgn den 1. januar 1980. Satellitten starter kl. 0 UT på 68°N og -112°E. Så flyver den mod nord på aftsiden af Jorden, krydser polen og fortsætter mod syd på morgensiden, hvor den krydser 'kvator ved 79°E (den store sorte pil). Efter 45 minutter, hvor den har været nede og runde den sydlige pol, krydser den 'kvator igen, ved -110°E (den hvide pil), når den flyver mod nord. Den næste Ækvatorpassage sker efter yderligere 45 minutter ved 55°E (den lille sorte pil), og altså 24° vest for den første passage 90 minutter tidligere.



Figur 2. Skitse (ikke i korrekt skala) af Jordens magnetfelt og dets placering i solvinden



Figur 3. Det øverste panel viser de tre komponenter af det målte felt (fuldt optrukne kurver) for et halvt MAGSAT omløb gående fra nord til syd den 25. november 1979 kl. 04⁴⁵ – 05³⁰. Koordinatsystemet er således, at B_r peger lodret op, B_θ er i den horisontale sydretning og B_ϕ i den horisontale Øst-retning. Til sammenligning er indtegnet (stiplede kurver) B_r - og B_θ -komponenterne af et felt fra en dipol langs Jordens rotationsakse med dipolmoment $30000 \text{ nT} \cdot a^3$, hvor $a = 6371 \text{ km}$ er Jordens middelfradius.

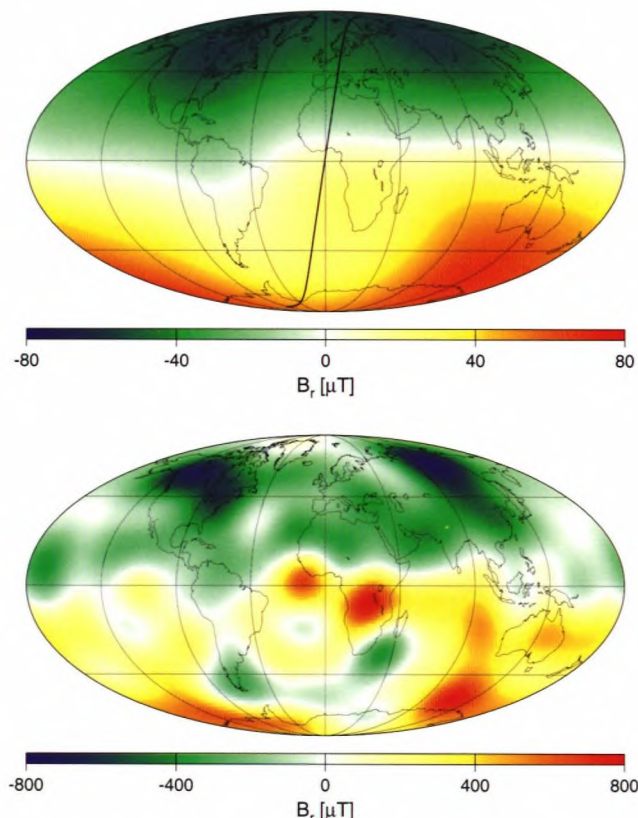
tallet, og dannede på den tid grundlag for de første videnskabelige overvejelser om naturen af Jordens magnetfelt. Den første videnskabelige opmåling af deklination og inklination blev foretaget under to rundsejlinger i det nordlige og sydlige Atlanterhav i 1698 og 1700. De var finansieret af den engelske konge og blev ledet af Edmund Halley, bedre kendt som opdageren af den komet, der er navngivet efter ham. Halley udarbejdede heraf de først kendte kort over deklination, og i disse ses for første gang anvendelsen af konturlinier. Netop i år markeres 300-året for den første af disse ekspeditioner med en gentagelse af Halley's opmålinger, dog med moderne instrumenter.

Først med Carl Friederich Gauss' udvikling af en metode i 1832 blev det muligt også at måle absolut magnetisk feltstyrke. Gauss var en af hovedkræfterne bag, at der herefter blev etableret geomagnetiske observatorier rundt om på kloden, som foretog regelmæssige målinger. Dette net af observatorier er siden jævnt hen blevet udbygget og forbedret på en global skala og tæller nu ca. 200 målestationer. Data herfra er stadig den vigtigste kilde til viden om Jordens magnetfelt og dets ændring med tiden.

På trods af flere store samlede internationale tiltag er det ikke muligt at opnå og opretholde fuld geografisk dækning af målinger af høj kvalitet. Der er naturligt store huller for de områder på kloden, der er dækket af havene eller som er svært tilgængelige, men også politiske forhold gør sig gældende. En global og ensartet opmåling af feltet kan opnås fra en satellit i en polær bane rundt om Jorden, som skitseret i Figur 1. Fra 1964-71 opererede en serie af satellitter, som dog kun målte styrken af magnetfeltet, ikke retningen. Den første, og til nu eneste, satellit, der har foretaget vektor målinger af feltet med tilpas høj præcision til at de kan supplere de jordbaserede målinger er den amerikanske MAGSAT, der fløj i 6 mdr. i 1979-80. Den fløj i en højde mellem 250 og 550 km i en polær bane med næsten konstant retning til solen, så den var altid enten på morgen- eller aftensiden af Jorden.

I Figur 3 er vist et eksempel på data fra MAGSAT for et halvt omløb gående fra Nordpol til Sydpol cirka langs den geografiske 0-meridian (se Figur 2 eller Figur 4). Dette banesegment ligger på morgensiden af Jorden. På den nordlige del af banen kan man se, at feltet følger dipolfeltet rimeligt godt. De store afvigelser i den sydlige del skyldes at banen her passerer gennem det område, der kaldes den Sydatlantiske anomali, netop fordi jordfeltet her afviger meget fra dipolapproximationen.

Hvis man fratrækker en model af jordfeltet får man variationerne, der er vist i det nederste panel af Figur 3. Afvigelserne skyldes bidrag til feltet fra magnetosfæriske og ionosfæriske strømme forårsaget af forholdene i solvinden. Man ser, at disse bidrag især er store i de polare områder og specielt i B_ϕ -komponenten. Det skal vi se mere på senere.



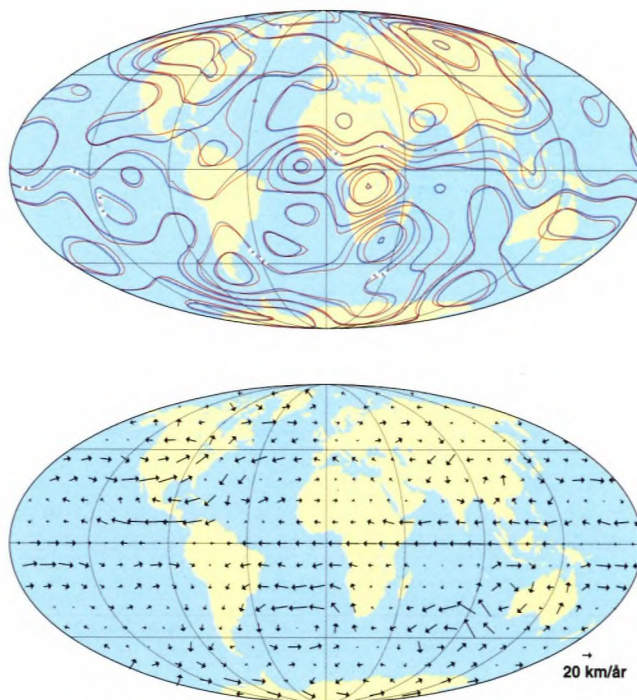
Figur 4. Radial-komponenten af kernefeltet ved Jordens overflade, øverst, og på kerneoverfladen, nederst. Den viste model er for 1980 (MAGSAT-perioden). Banen, der er indtegnet på det øverste billede, er MAGSAT-banen brugt i Figur 3.

Magnetfelt-kilder i Jordens indre

Jordens magnetfelt stammer fra den flydende ydre kerne, hvor det dannes og vedligeholdes ved en selvforstærkende dynamomekanisme, kaldet geodynamoen, der endnu er meget langt fra klarlagt i detaljer. Opdrift af varmt materiale skaber konvektion i den flydende metalliske kerne og disse bevægelser danner i tilstedeværelsen af et magnetfelt elektriske strømme, som igen bidrager til Jordens magnetfelt. Det er sandsynligvis ikke tilfældigt, at der er nært sammenfald mellem de magnetiske og geografiske poler. Dette vidner blot om betydningen af Jordens rotation for bevægelserne i kernen og Coriolis-kraften som en vigtig faktor i dynamoprocessen. Modeller af magnetfeltet og dets ændringer ved Jordens overflade baseret på præcise målinger er i dag vores eneste kilde til information om denne dynamo, og dermed bevægelsesmønstret i kernen.

Hvis alle andre kilder, for eksempel fra magnetosfæriske strømme, negligeres kan jordfeltet beskrives efter Formlerne (1) og (2) (se box på side 4). En model af feltet for et givet tidspunkt bestemmes ved at al tilgængeligt data fra såvel jordbaserede ($r = a$) som satellitobservationer ($r > a$) samles sammen og koefficienterne g_n^m og h_n^m bestemmes, for eksempel ved en mindste kvadraters analyse, til en grad n (og tilsvarende orden m), der naturligvis afhænger af mængden af data, deres geografiske fordeling samt deres nøjagtighed.

Den bedst bestemte model til nu er den for MAGSAT-perioden, hvor satellitdataene gav et supplement til data fra observatorierne på Jorden. Radial komponenten af feltet er afbildet i Figur 4, øverst. Den viste model har koefficienter, i henhold til Formel (2), op til grad og orden $N = 13$. For disse storskala træk af magnetfeltet er bidraget fra kernen dominerende mens skorpefeltet, der stammer fra permanent magnetisering indfrosset i bjergarterne i Jordens skorpe, ikke bidrager væsentligt. Dipolnaturen af feltet ses tydeligt - den radiale komponent er kraftigst i de polare områder og er negativ på den nordlige halvkugle og positiv på den sydlige. Men afvigelser kan også anes, for eksempel midt i kortet (Nord- og Sydatlanten).



Figur 5. Øverst er vist intensiteten af radial-komponenten af Jordens magnetfelt på kerneoverfladen for to forskellige epoker, 1980 og 1998. Modellen for 1980 er den samme som er afbildet i Figur 4 nederst, men nu er intensiteten af radial komponenten vist med konturlinjer i rødt, og tilsvarende for 1998-modellen i blåt. Konturintervallet er $200 \mu\text{T}$. Nederst er tegnet de horisontale bevægelsesvektorer på kerneoverfladen udledt fra disse magnetfeltsmodeller.

I et enkelt sammenhængende rum uden elektriske strømme ($\nabla \times \mathbf{B} = \mathbf{0}$) er den magnetiske induktion $\mathbf{B}$ givet ved gradienten af et skalært potentiale V :

$$\mathbf{B} = -\nabla V \quad (1)$$

I et område af rummet udenfor en kugleflade, der omslutter kilderne kan potentialet rækkeudvikles på kuglefunktioner:

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} P_n^m(\cos \theta) \quad (2)$$

hvor r , θ og ϕ er standard polare koordinater; a er en referenceradius (normalt lig med Jordens middele radius $a = 6371.2$ km); og $P_n^m(\cos \theta)$ er standard associerede Legendre polynomier. Jordens magnetfelt ændrer sig med tiden (se Figur 5) så koefficienterne g_n^m og h_n^m er funktioner af tiden. Langt det største bidrag kommer fra den første koefficient g_1^0 i rækkeudviklingen. Den svarer til en dipol hvis akse falder sammen med Jordens rotationsakse. Skalarpotentialet og magnetfeltkomponenterne er i dette tilfælde givet ved:

$$V = a g_1^0 \left(\frac{a}{r}\right)^2 \cos \theta$$

$$\begin{pmatrix} B_r \\ B_\theta \\ B_\phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2g_1^0 \left(\frac{a}{r}\right)^3 \cos \theta \\ g_1^0 \left(\frac{a}{r}\right)^3 \sin \theta \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Koefficientens størrelse var $g_1^0 = -29992$ nT i 1980, men aftager pt med omtrent 20 nT per år. De stiplede kurver i Figur 3 viser dette dipolfelt, og der er taget hensyn til at satellitten var i en bane med radius $r = a + 500$ km. En bedre tilnærmelse får man ved at tage de næste led i rækkeudviklingen, $g_1^1 = -1956$ nT og $h_1^1 = 5604$ nT, med. De repræsenterer to dipoler som ligger i ækvatorplanet og er rettet mod henholdsvis Greenwich meridianen (0° geografisk længde) og 90° geografisk længde. Lægger man alle tre dipoler sammen, får man en enkelt dipol hvis akse skærer Jordens overflade ved 78.8° N, 109.2° V. Dette punkt er den geomagnetiske nordpol, og i et nyt koordinatsystem (r, θ, ϕ) som tager udgangspunkt heri er den hældende dipol givet ved $\tilde{g}_1^0 = 30574$ nT, $\tilde{g}_1^1 = \tilde{h}_1^1 = 0$ nT.

Når koefficienterne er bestemt kan man, omend med nogen usikkerhed, bestemme feltet på overfladen af kernen, det vil sige i en dybde af omtrent 3000 km (downward continuation). Som det ses af Formel (2) fjernes herved dæmpningen gennem faktoren $(a/r)^{n+1}$ af led-

dene med højere orden, og den reelt mere komplicerede struktur af jordfeltet fremtræder derfor mere tydeligt. Dette kan ses i det nederste billede i Figur 4, der netop viser radial-komponenten af feltet på kerneoverfladen udledt fra den samme model som det øverste billede. Som hovedtræk i strukturen ses at især den nordlige pol i virkeligheden er 2 separate poler og man ser en række ekstra poler, eller polpar, langs Ækvator.

Det er denne struktur, en model for geodynamoen skal kunne forklare, men mindst lige så vigtigt er det, at den skal kunne forklare ændringerne i jordfeltet med tiden, den såkaldte sekularvariation. Som eksempel på, hvordan disse ændringer ser ud viser det øverste billede i Figur 5 en sammenligning mellem feltet på kerneoverfladen for MAGSAT-perioden og som det udfra de bedst tilgængelige data siden er forudsagt at se ud i 1998.

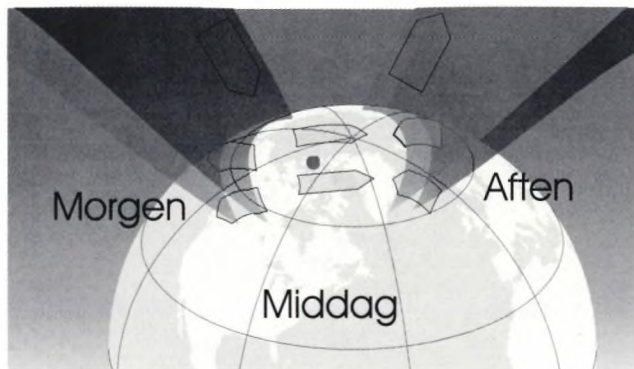
Under antagelse af, at man kender den elektriske ledningsevne i kernen (hyppigt antages den simpelt hen at være uendelig stor), giver ændringerne af feltet på kerneoverfladen direkte oplysning om hastighedsfeltet her. Dette udgør en vigtig grænsebetingelse for modeller af bevægelsesmønstret i kernens indre. Hastighedsvektorerne på kerneoverfladen bestemt på denne måde for MAGSAT-perioden er afbildet i det nederste billede i Figur 5. Den største bevægelse der ses er en vestdrift af området omkring Ækvator midt i billedet svarende til en bevægelse af det sæt af kraftige mindre poler, der ses her i det øverste billede.

Magnetfelt-kilder i Jordens omgivelser

Komplette fysiske modeller for formen og styrken af de magnetosfæriske og ionosfæriske strømsystemer samt for hvordan de dannes haves endnu ikke. En kortlægning af strømmene er en vigtig nøgle til at få fastlagt de fysiske processer, der overfører energi fra solvinden til Jordens magnetosfære og videre ned til ionosfæren og atmosfæren. En anden grund til at studere disse strømme er, at deres bidrag til magnetfeltet som det måles ved Jorden eller på satellitter virker som en fejlkilde for bestemmelse af modeller for magnetfeltet i Jordens indre.

De største forstyrrelser i magnetfeltsmålingerne ses i de polare områder. Strømmene her har deres oprindelse i de yderste grænselag af magnetosfæren, hvor elektriske felter og strømlag skabes ved sammenstødet mellem solvinden og Jordens magnetfelt og er i konstant forandring for at tilpasses betingelserne i solvinden. Både solvindens hastighed og retningen og størrelsen af dens magnetiske felt (medbragt fra solen) har betydning. I magnetosfæren er det sådan at ledningsevnen langs magnetfeltlinierne er mange gange større end på tværs, så elektriske strømme vil forbinde disse områder helt ude ved grænsen til solvinden langs feltlinierne helt ned til ionosfæren tæt på Jorden, hvor tætheden er så tilpas stor at der gennem ionisering enten ved sollysindstråling eller partikkelregn skabes en bety-

delig ledningsevne også vinkelret på feltet. De horisontale elektriske strømme i ionosfæren er koncentreret i et forholdsvis tyndt lag i ca. 100–130 km højde.



Figur 6. Tegningen (her i sort/hvid) viser en skitse af det ionosfæriske strømsystem over den nordlige pol. Farverne kan ses på bladets forside. Feltrettede (lodrette) strømme går ned til og bort fra ionosfæren i to bælter rundt om den magnetiske pol, markeret med en blå plet. Disse er symboliseret ved de røde og grønne flader i tegningen. I bællet tættest ved polen går strømmen ind i ionosfæren på morgensiden og ud fra ionosfæren på aftsiden, og i bællet nedenfor er det lige omvendt. Ved Middag og Midnat er strømsystemerne mere komplekse, og er derfor ikke vist. De gule pile symboliserer placeringen og retningen af de horisontale strømme i ionosfæren, der lukker det feltrettede strømsystem.

I en simplificeret beskrivelse kan man sige, at solvinden ved mødet med jordfeltet påtrykker en spændingsforskel over magnetosfæren gående fra morgensiden mod aftsiden. Denne spændingsforskel, af størrelsesorden 100 kV, driver så magnetosfæriske strømme langs feltlinierne ned til ionosfæren tæt ved polerne, således at der går en strøm ind i ionosfæren på morgensiden og ud fra ionosfæren på aftsiden. De magnetosfæriske strømme ordnes efter hovedfeltet i strømlag, der foruden at være rettet langs feltlinierne er udbredt i øst-vest retningen meget mere end i nord-syd retningen. I ionosfæren udlignes disse strømme gennem horisontale strømme dels ved hinanden og dels ved endnu et sæt af feltrettede strømme med modsatte retninger ved lidt lavere breddegrader. Geometrien af dette strømsystem er skitseret for den nordlige pol i Figur 6.

I magnetfeltmålinger ved jordoverfladen ses næsten udelukkende bidraget fra de horisontale strømme i ionosfæren. For polære satellitter i mere end 300 km højde derimod kommer det væsentligste bidrag til magnetfeltmålingerne fra direkte gennemflyvninger af de feltrettede strømlag i de polare egne. I områderne nær ved polerne er jordfeltet til en god tilnærmelse lodret. Følgelig får man med B_ϕ -komponenten af MAGSATmålingerne gennem Formel (6) et rimeligt billede af fordelingen og intensiteten af de formodede øst-vest gående strømlag nær polerne.

Et eksempel herpå er vist i Figur 7 både for et typisk omløb (grønne kurver) og til sammenligning for et specielt roligt omløb (blå kurver), som de, der udvælges til brug for modellering af det indre felt. For

det forstyrrede omløb ses, mest tydeligt ved den sydlige pol, først tættest ved polen et ca. 5° bredt område (67–72°S) med strøm ind i ionosfæren (J_r negativ) svarende til den negative gradient af B_ϕ ovenfor, og dernæst et lidt bredere område (60–67°S) med strøm ud af ionosfæren (J_r positiv) svarende til den positive gradient i B_ϕ . I begge tilfælde ses maksimale strømtætheder på omkring $1.5 \mu\text{A}/\text{m}^2$. Der ses megen finstruktur i de enkelte områder, specielt ved den nordlige pol, der for dette omløb har vinter og derfor ligger i mørke (ingen ledningsevne fra sollys). Her er brugt midlede data over 30 sekunder, svarende til ca 200 km, så kun strukturer af denne størrelse kan ses. Satellitdata med højere opløsning har vist at de enkelte strømlag i strukturerne kan være helt ned til få kilometer eller endog meter tykke med tilsvarende meget høj strømtæthed på flere hundrede $\mu\text{A}/\text{m}^2$.

Den del af magnetfeltet som ikke kan beskrives ved hjælp af et skalært potentiale, Formel (1), skyldes elektriske strømme i satellithøjde. Hvor strømkilderne er til stede er sammenhængen mellem magnetfelt og strømtæthed givet ved Ampere's lov, som antager følgende form idet forskydningsstrømme kan negligeres:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} \quad (4)$$

med $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs}/\text{Am} = 4\pi \cdot 100 \text{nT}/\text{Am}$. I det samme sfæriske koordinatsystem som beskrevet tidligere giver det for den radiale komponent af strømtætheden:

$$J_r = \frac{1}{\mu_0 r} \left(\frac{\partial B_\phi}{\partial \theta} - \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial B_\theta}{\partial \phi} \right) \quad (5)$$

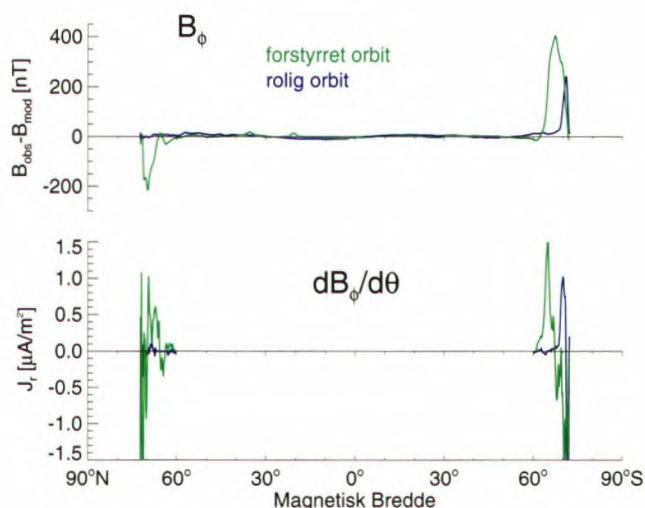
eller idet det antages at udbredelsen af strømmene i øst-vest retningen er meget større end i nord-syd retningen, $\left| \frac{\partial}{\partial \theta} \right| \ll \left| \frac{\partial}{\sin \theta \partial \phi} \right|$, så der kan ses bort fra det andet led:

$$J_r = \frac{1}{\mu_0 r} \left(\frac{\partial B_\phi}{\partial \theta} \right) \quad (6)$$

Det rolige omløb har samme bane hen over Jorden og foregår på samme tid på døgnet som det andet. Eneste forskel er altså at det er fra en dag, hvor de magnetosfæriske og ionosfæriske strømme er specielt svage.

Til den næste figur, er data fra alle MAGSAT-omløb opdelt i to grupper så den del af hvert omløb, der er på morgensiden af Jorden er i en gruppe og den del, der er på aftsiden er i en anden. For hver gruppe kan man så udlede en statistisk fordeling af den radiale strømtæthed direkte af Formel (5). Resultatet, der er vist i Figur 8

viser at strømmene nær polen virkelig er organiseret i bredde-bælter og at i det øverste bælte går strømmen ind i ionosfæren på morgensiden og ud af ionosfæren på aftensiden. Man skal huske på at den geografiske fordeling af strømmene i disse billeder ikke er reel idet hele kloden naturligvis ikke på en gang kan have morgen (eller aften). Strømtætheden fundet i denne analyse er mere end 10 gange lavere end den vi fandt for det enkelte omløb i Figur 7. Det skyldes at den statistiske analyse jo indeholder alle aktivitetsniveauer, fra de mest rolige til de mest forstyrrede omløb.



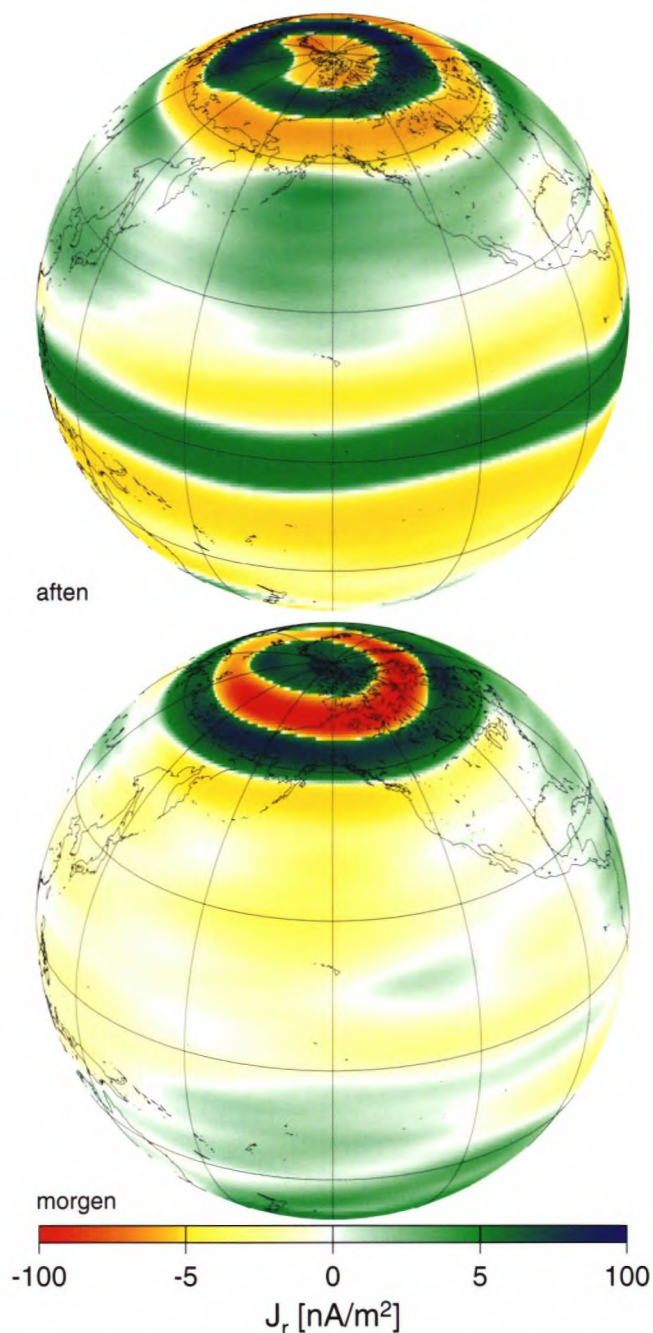
Figur 7. Den øverste graf viser B_ϕ -komponenten af de målte afvigelser fra modellen af det indre felt for et typisk omløb (samme omløb som vist i Figur 3) og for et meget roligt omløb. Den nederste graf viser estimatet af strømtætheden af de flettede strømlag i de polare områder som givet ved Formel (5). Nu er brugt et koordinatsystem, der tager hensyn til at dipolaksen for jordfeltet hælder i forhold til rotationsaksen, se Formel (3), så magnetisk bredde er i forhold til denne akse.

Den opadgående radiale strøm, der ses på aftensiden ved Ækvator skyldes et vindsystem i ionosfæren, og er altså ikke relateret til forhold i solvinden. Den ses ikke på morgensiden fordi ledningsevnen i ionosfæren er for lav (mindre ledningsevne fra sollys).

Der er naturligvis også andre bidrag end dem vi her har beskrevet. For eksempel, giver den systematiske drift af partiklerne i strålingsbælterne anledning til en elektrisk strøm, kaldet ringstrømmen, rettet mod vest rundt langs Ækvator i en radius af ca. 2–6 jordradier. Bidraget herfra ses i MAGSAT data i Figur 3 nederst som det positive bidrag i B_θ -komponenten som registreres henover Ækvator.

Kommende geomagnetiske satellitprojekter

Som det fremgår af ovenstående har MAGSAT haft overordentlig stor betydning for modellering af det indre felt såvel som nogle af de magnetosfæriske og ionosfæriske strømsystemer. Derfor er det måske lidt



Figur 8. De to billeder viser fordelingen af radial strømtæthed udledt fra Formel (5) ved at kombinere data fra alle MAGSAT omløb men opdelt efter om de er fra morgendelen af omløbet (nederste billede) eller aften delen af omløbet (øverste billede). Focus i billederne er på den nordlige geomagnetiske pol.

overraskende at der først med den danske ØRSTED satellit, som forventes at blive sendt op sidst på året, kommer en efterfølger (mere detaljerede oplysninger om ØRSTED projektet kan findes i Eigil Friis-Christensens artikel i KVANT 4, 5. årgang, 1994, på projektets hjemmeside www.dmi.dk/sol-jord/projekter/oersted/ og på forskningsministeriets sider om rumforskning www.rummet.dk). Til gengæld er det glædeligt at ØRSTED får følgeskab af hele to andre satellitter i polære baner i lav højde. Den argentinsk-

	Opsendelse	Levetid	Banehøjde	Lokaltid
MAGSAT	Nov. 1979	6 mdr.	250 – 550 km	6 ⁰⁰ /18 ⁰⁰
Ørsted	Dec. 1998	> 14 mdr.	600 – 850 km	alle lokaltider
SAC-C/MMP	Maj 1999	> 14 mdr.	702 ± 5 km	10 ³⁰ /22 ³⁰
Champ	Okt. 1999	5 år	350 – 770 km	alle lokaltider
Swarm (5 satellitter)	2002	5 år	350 – 600 km	alle lokaltider

Tabel 1: Høj-præcisions magnetiske satellitter

amerikanske SAC-C og den tyske CHAMP medbringer begge danske instrumenter, som det der sidder på ØRSTED, til nøjagtige magnetfeltmålinger. Således er der udsigt til en kontinuert præcis opmåling af Jordens magnetfelt i de kommende 5 år. I Tabel 1 er givet en oversigt over disse projekter sammen med MAGSAT.

Nævnt i tabellen er også Swarm, som er et forslag til en magnetfeltsmission indenfor det danske småsatellitprogram (se www.dsri.dk/smaasatellit/swarm.html). Ideen bag dette projekt er at man ved at sende et større antal satellitter op samtidig får mulighed for at udforske dynamikken i de magnetosfæriske og ionosfæriske strømsystemer. I Swarm er foreslået 5 sæt af 2 satellitter som er koblet sammen med en 10 km lang snor. Ved at observere magnetfeltet flere samtidig får man mulighed for at adskille rumlige og tidslige variationer, noget som aldrig vil kunne lade sig gøre med kun en enkelt satellit. I de seneste år er der sket en enorm udvikling med instrumenterne til måling af magnetfelter i rummet, ikke mindst takket være indsatsen fra forskerne på Danmarks Tekniske Universitet og Dansk Rumforskningsinstitut. Det betyder faktisk, at det ikke længere er nøjagtigheden af målingerne der sætter begrænsningen for nøjagtigheden af modellerne men usikkerheden kommende fra de magnetosfæriske og ionosfæriske strømme. Eller med andre ord, uden et tiltag som det foreslåede Swarm-projekt er man ikke i stand til at udnytte denne teknologiske udvikling.



Therese Moretto har været "project scientist" for Ørsted satellit projektet på Danmarks Meteorologiske Institut, og er fra i år ansat som seniorforsker i solsystem-fysik ved Dansk Rumforskningsinstitut.



Niels Olsen har arbejdet med Ørsted satellit projektet ved Geofysisk Afdeling, Københavns Universitet. Han er også blevet ansat i år som seniorforsker i solsystem-fysik ved Dansk Rumforskningsinstitut.

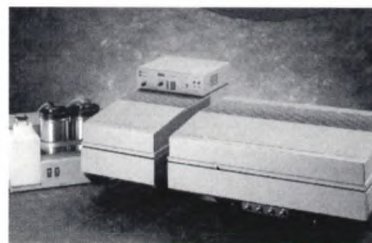


optilas

Optilas Danmark, den lokale internationale leverandør med specialer indenfor:

Optik og lasere til forskning og industri

Continuum, Inc. - Corion Corp. - CVI Laser Corp. - Ion Laser Technology, Inc. - Labsphere, Inc. - Laservision - Optical Surfaces Ltd. - Physical Optics Corp. - Research Electro Optics - Santa Fe Laser Co. - Synrad, Inc. - m.fl.



Spektroskopisk udstyr

Chromex, Inc. - McPherson Milton Roy - Photek Ltd. m.fl.



Elektronik

Directed Energy, Inc. - Maxwell Laboratories, Inc. - Quantum Design, Inc. - Stanford Research Systems, Inc. - Trek, Inc. - m. fl.

Optilas Danmark

Billedvej 2

DK-2100 København Ø

Telefon: 3543 0133

Fax: 3543 8334

E-mail: optilas@inet.uni-c.dk

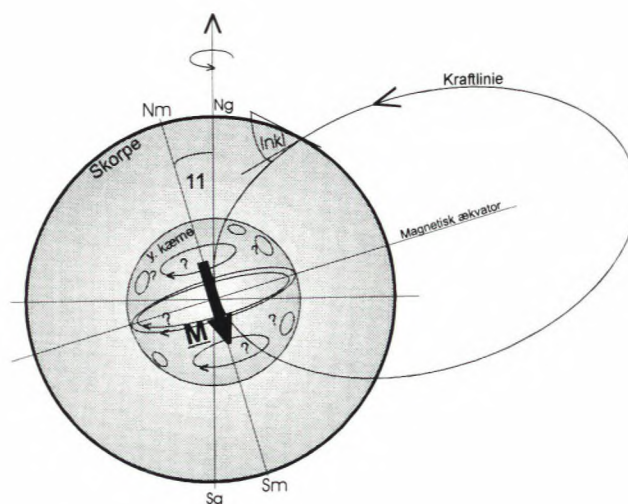
Den geomagnetiske sekularvariation i Danmark: Historiske, arkæologiske og geologiske/palæomagnetiske informationskilder

Niels Abrahamsen, *Geofysisk Afdeling, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.*

Introduktion: Geo- og Palæomagnetisme.

Jordens magnetfelt er til stede overalt i rummet, og i nærheden af Jorden (inden for nogle få jordradier) minder det pænt om et dipolfelt.¹ Hovedparten af feltet (de indre kilder) dannes ved en selv-eksisterende dynamo-mekanisme inde i Jordens roterende og flydende ydre metalliske kerne (se Figur 1). Kernen er elektrisk ledende og kan derfor fungere som en kæmpe-dynamo. Geo-dynamo omdanner termisk energi via konvektionsbevægelser til elektrisk og magnetisk energi. Hvordan dynamofeltet egentlig dannes forstår man (endnu) ikke i detaljer. Men resultatet, et globalt magnetfelt, kan vi alle erkende her på jordoverfladen ved hjælp af et almindeligt magnetisk kompas. Dynamo er åbenbart selvforstærkende, ellers ville den for længst være henfaldet p.gr.a. den ohmske dissipation. På den anden side er den ikke stabil i tid, og resultatet bliver, at magnetfeltet ved jordoverfladen set over længere tidsrum varierer både i retning og intensitet. Det oplever vi dels som magnetisk sekularvariation, og dels ved at feltet har kunnet skifte polaritet (det er sket mange gange tilbage i geologisk tid, sidst for ca. 30-35.000 år siden, og måske er det på vej til at ske igen om ca. 2.000 år, idet feltstyrken de sidste par hundrede år globalt har været jævnt aftagende).

I geologisk sammenhæng fungerer geo-dynamo som en båndoptager, der magnetiserer et bånd bestående af geologiske (eller arkæologiske) materialer. Næsten alle naturlige bjergarter indeholder nemlig jern bl.a. i form af jernoxyder, som er ferromagnetiske. Når en bjergart dannes ved de geologiske processer på eller nær ved Jordens overflade (som ved aflejring af et sediment, ved afkøling af en lava eller granit, eller ved rekrySTALLISERING og kemisk vækst af krystaller ved diagenese eller i metamorfe bjergarter), bliver disse mineraler magnetiseret af magnetfeltet, lige som det sker for jernoxiderne på et kassettebånd, der glider forbi tonehovedet i en båndoptager. Bjergarten får herved en magnetisk hukommelse: en remanent magnetisering. Med de palæomagnetiske metoder² kan bjergarternes magnetiske signaler senere (d.v.s. i nutiden) "afspilles", og bjergarternes geomagnetiske "musik" kan derved fortælle om jordmagnetfeltets og de geologiske materialers udviklingshistorie.



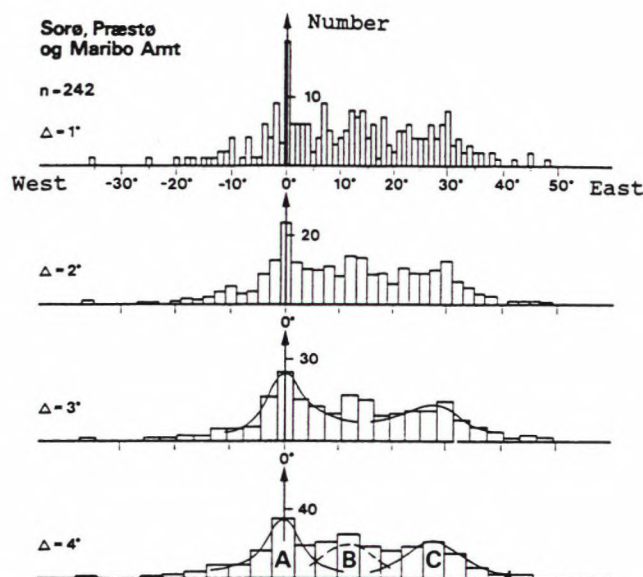
Figur 1. Jordmagnetfeltet, som vi ser det tæt ved Jorden, kan med tilnærmelse opfattes som et simpelt dipolfelt forårsaget af en lidt skråtliggende dipol (eller en strømhvirvel) med dipolmoment M , der har centrum i Jordens centrum. Denne model kan forklare ca. 90% af magnetfeltet. Resten af feltet er mere uregelmæssigt, og skyldes dels mere lokale strømhvirvler i den ydre kerne, samt magnetiseringseffekter fra jordskorpen. Inklinationen er den vinkel som feltets kraftlinje danner med horisontalplanet ved jordoverfladen. Deklinationen (den vandrette vinkel) ses ikke på figuren, men svarer til den vinkel en kompasnål danner med meridianen (geografisk nordretning). Dipolaksen danner en lille vinkel med rotationsaksen; denne vinkel varierer (i nutiden er den ca. 11°), hvilket sammen med variationer i de sidste ca. 10% af feltstyrken giver anledning til den geomagnetiske sekularvariation. Udjævnet over længere tidsrum (50-100.000 år) er dipolaksen Nm-Sm med god tilnærmelse parallel med Jordens rotationsakse Ng-Sg, hvilket er baggrunden for magnetfeltets anvendelse til pladetektoniske (palæogeografiske) rekonstruktioner meget langt tilbage i tiden.

Alle materialer har også en magnetisk susceptibilitet. Det bevirker at der ved induktion fra jordmagnetfeltet dannes et lokalt magnetfelt, en såkaldt magnetisk anomali. De magnetiske anomalier kan måles ved jordoverfladen, eller fra skib, fly eller satellit, idet sensitiviteten dog lider stærkt med afstanden (et dipolfelt aftager jo med 3. potens af afstanden), så detaljer i feltet går hurtigt tabt med voksende afstand fra kilden. Eksistensen af et materiale med en afvigende susceptibilitet eller remanens i forhold til omgivelserne kan derved afsløres. Dette udnyttes bl.a. ved kortlæg-

ning af geologiske strukturer i alle skalaer samt ved magnetisk prospektering efter råstoffer. Magnetisk detektering kan også anvendes ved eftersøgning af skjulte lossepladser og andet, der kan forurene miljøet. I det følgende begrænser vi os dog til at kigge på den magnetiske sekularvariation og på de palæomagnetiske aspekter.

Historisk baggrund

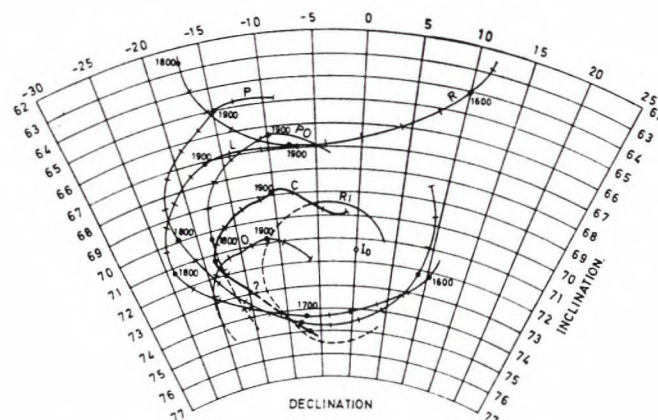
Magnetfeltet har været kendt tilbage i oldtidens Kina, og magnetjernsten (mineralet magnetit, Fe_3O_4) var kendt i det antikke Grækenland, men den europæiske udnyttelse af kompasset stammer antageligt fra slutningen af 1100-tallet, hvor det bl.a. synes at have været brugt til orientering ved anlægget af mange danske landsby-kirkers fundament. Ca. 1/4 af kirkerne er nemlig systematisk skævt orienteret, d.v.s. "drejet" med uret en vinkel på et sted mellem 5° og 15° fra verdenshjørnerne (Figur 2), hvilket kan forklares ved at den daværende misvisning i Europa var systematisk østlig.



Figur 2. Histogrammer over orienteringen af 242 romanske landsbykirker fra Sorø, Præstø og Maribo amter.³ Kirkerne skulle efter paveligt dekret anlægges med koret imod øst, men mange af kirkerne har en skæv orientering med akse drejet mellem 10° og 30° med uret. De udjævnede kurver (med glidende middeltal (= 2, 3 og 4) antyder, at der kan være tale om flere fordelinger (A, B og C), som hver kræver sin forklaring. Da alle kirkerne er anlagt i 11-1200 årene, og da misvisningen i Danmark var systematisk østlig i hele denne periode (jfr. Figur 5), sandsynliggør det, at et magnetisk kompas har været kendt og blev benyttet meget tidligt i Danmark.

Kendskabet til jordmagnetfeltets opførsel og egenskaber vokser gradvist frem gennem de store opdagelsesrejsers behov for navigationsredskaber. Gennem en lang historisk udvikling bidrager bl.a. H.C.

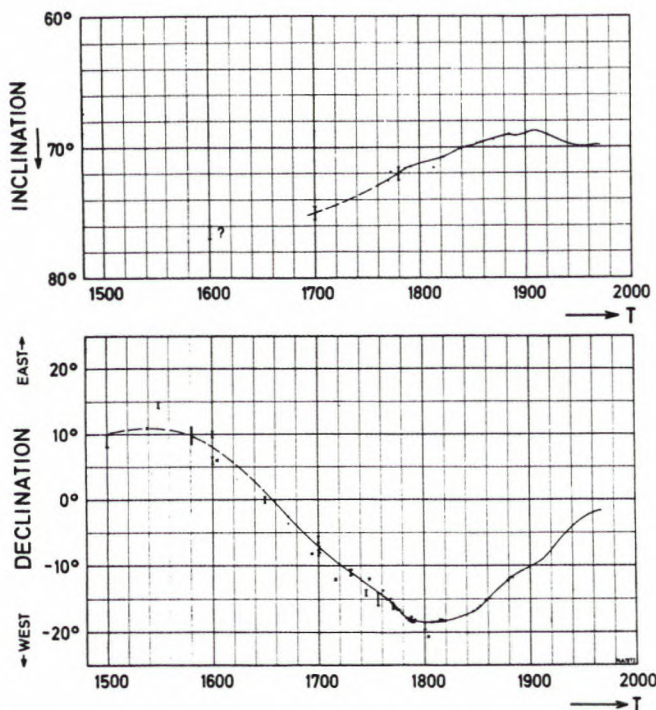
Ørsted i 1820 ved at opdage sammenhængen mellem elektrisk strøm og magnetfelt, og C.F. Gauss og W.E. Weber sætter gang i oprettelsen af geomagnetiske observatorier fra 1834. En hovedopgave på disse observatorier er at bestemme den geomagnetiske sekularvariation på stedet (jfr. Figur 3). Der findes i dag omkring 150 sådanne observatorier på kloden, hvor de nutidige egenskaber af og variationer i magnetfeltet registreres og bearbejdes. I Danmark har vi direkte målinger af deklinationen siden ca. år 1600 og af inklinationen siden ca. år 1700 (se Figur 3 og 4). Observatoriedriften i Danmark (nu i Brorfelde, tidligere i Rude Skov) samt i Grønland varetages fortsat af Meteorologisk Institut.



Figur 3. Historiske målinger af den magnetiske misvisning og inklination på forskellige lokaliteter i Europa.⁴

Alfred Wegeners forkætrede teori om kontinentaldrift fra 1910 blev genoplivet i 1950-erne via palæomagnetismen, der støttede hans "vilde fantasier". Nogle palæontologer og strukturgeologer havde dog hele tiden været tiltrukket af kontinentaldriftteorien, mens især geofysikere var imod den, fordi man ikke havde nogle acceptable fysiske modeller for de "nødvendige" kræfter til at flytte de store kontinentmasser. Det rigtigt store boom i palæomagnetisme skete i 1960-erne, da Vine og Matthews⁶ foreslog, at der er en simpel, systematisk sammenhæng imellem nogle marinmagnetiske anomalier der var kortlagt i Det indiske Ocean og den geomagnetiske polaritetsskala, som den netop var ved at blive etableret på K-Ar-daterede lavastrømme fra plateaubasalter på land. Med denne fundamentale "kortslutning" mellem to tilsyneladende væsensforskellige informationsområder inden for geologien, den radiometriske tidsskala og polariteterne på land, og de marinmagnetiske anomaliers datering af den marine jordskorpes dannelse, fik vi pludselig en nøgle til at datere dannelsen af ca. 70% af Jordens overflade! Og endda de dele af overfladen, som var dårligst kendt: de dybe oceaner. Det var en bedrift, der medførte geologisk nytænkning, som vi endnu arbejder ihærdigt på at udnytte: Kloden er jo trods alt temmelig stor, og den skal først opmåles magnetisk i detaljer, før

informationen, de marin-magnetiske anomalier, kan udnyttes til geologisk tolkning.



Figur 4. Historiske målinger⁴ af den magnetiske misvisning og inklinations i Danmark siden år 1500.

Palæomagnetismen bliver derved en nøgle til forståelse både af magnetfeltets (d.v.s. geodynamoens) udvikling og af geologiske begivenheder i Jordens fortid, idet denne disciplin kan bruges som et geologisk redskab og fortælle både om kontinenternes (lithosfærepladernes) relative positioner, rotationer og flytninger gennem geologisk tid (kontinentaldrift og pladetektonik), samt benyttes til globale stratigrafiske korrelationer, den såkaldte magnetostratigrafi. Endvidere kan magnetiske surveys give oplysninger i vidt forskellig skala både om geologiske strukturer, om råstofforekomster, samt om menneskeskabte strukturer, herunder deponering af affald (det menes, at der findes flere tusind sløjfede affaldspladser i Danmark, hvis placering er gået i glemmebogen, med mulig grundvandsforurening til følge!).

Bjergarters magnetisering

Jern findes i de fleste bjergarter, typisk i form af nogle få procent jernoxyder som f.eks. magnetit og hæmatit.⁴ Kun meget rene kalk- og kvarts-feldspat-bjergarter er undtagelser herfra. Disse jernoxyder (ferromagnetika) er af samme art som dem, der bruges til belægning af kassettebånd. Når meget små ferromagnetiske krystaller magnetiseres, kan de bevare deres magnetisering i stabil form i meget lange tidsrum,

forudsat at de ikke forstyrres brutalt af omgivelserne ved at blive remagnetiseret, d.v.s. "genindspillet", f. eks. ved senere opvarmning, rekrySTALLISATION eller trykpåvirkning.

Jordskorpen er opbygget af et forvirrende sammenrum af bjergarter, som dog stort set kan opdeles i 3 hovedtyper: sedimenter, magmatiske og metamorfe bjergarter. De metamorfe bjergarter er dannet ud fra de to første typer. Til hver hovedtype svarer en speciel magnetiseringsmekanisme, og derfor har næsten alle bjergarter en remanent magnetisering, som vi kan "afspille" på et magnetometer i laboratoriet.

I magmatiske bjergarter som f.eks. lava dannes magnetiseringen ved induktion af det omgivende jordmagnetfelt, d.v.s. "indspilningen" af jordmagnetfeltets retning og størrelse finder sted, når jernoxyderne i lavaen køles et stykke ned under Curie-temperaturen (typisk 500-600°C, men dog stærkt afhængigt af Ti-indholdet). Processen kan fortsætte helt ned til temperaturen ved jordoverfladen, afhængig af minerelegenskaber, kornstørrelse m.m. Da lavaen jo allerede storkner ved temperaturer typisk omkring 1000-1200°C, sker magnetiseringen altså i fast fase. Ved nedkølingen låses den inducerede magnetisering fast i de ferromagnetiske mineraler, og ved de lavere overfladetemperaturer (typisk 0-30°C) har bjergarten fået en såkaldt termoremanent magnetisering, en TRM.

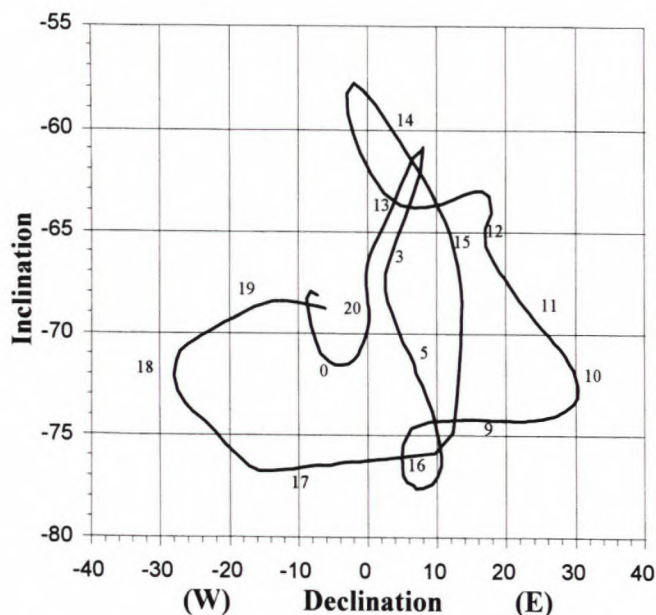
I et sediment som f.eks. gytje, dybhavsslam, kalk, ler eller sand dannes en del af magnetiseringen ved at de enkelte små mineraler af jernoxyder synker ned ved aflejringen som småmagneter, der statistisk søger at orientere sig parallelt med det lokale jordmagnetfelt. Når sedimentet senere konsolideres og omdannes ved diagenetiske processer, låses magnetiseringen gradvist fast. Derved har det fået en såkaldt detrital remanent magnetisering, en DRM.

I metamorfe bjergarter dannes den remanente magnetisering ved at krystallerne rekrySTALLISERES. Når nye krystaller af jernoxyderne undergår en kemisk vækst i jordmagnetfeltet, overgår de fra en oprindelig umagnetisk (superparamagnetisk) tilstand, når de er meget små (typisk omkring 0.1 μ , men stærkt afhængigt af mineralkemien), til den magnetiske tilstand. Bjergarten får derved en såkaldt kemisk remanent magnetisering, en CRM.

Hvis metamorfosen foregår ved øgede temperaturer, hvad den normalt gør, vil bjergarten ved en senere afkøling også få dannet en partiel TRM. Sedimenter får under diagenesen evt. også en CRM ved rekrySTALLISATION, så det er ofte vanskeligt at sætte klare grænser imellem typerne. Endelig vil senere ændringer i jordmagnetfeltets retning kunne ændre den oprindelige magnetisering ved dannelse af en såkaldt viskos remanent magnetisering, VRM, der gradvist vokser frem i den nye retning på bekostning af den tidligere.

Bjergarter kan have gennemløbet en mere eller mindre omskiftelig geologisk udvikling. Derfor vil deres naturlige remanente magnetisering, den såkaldte NRM,

oftest være opbygget af flere komponenter, der kan være dannet til forskellig tid, og ved forskellige tektoniske orienteringer af prøven eller feltet.



Figur 5. Den magnetiske sekularvariation i Danmark tilbage til år 0 (tallene angiver århundrede AD). Kurven er en tilnærmet kurve for Danmark, som er bestemt ved en dipol-korrektion af den arkæomagnetiske masterkurve for England.⁵ Selv om kurverne er behæftede med usikkerheder, er der ingen tvivl om, at misvisningen i Danmark var dominerende østlig i hele perioden mellem år 1000 og 1600 AD (jfr. Figur 2).

Disse komponenter skal derfor skilles ud fra hinanden før man kan opnå en meningsfuld geologisk fortolkning. Det gøres ved laboratorieforsøg, hvor de indsamlede (temmelig mange) orienterede bjergartsprøvers magnetisering måles på et sensitivt magnetometer. De almindeligste typer er det sensitive spinmagnetometer (normalt et fluxgate-magnetometer), hvor prøverne roterer nogle sekunder inde i et magnetisk feltfrit rum, og det endnu mere følsomme Cryogene magnetometer, som kan måle remanensen selv i så magnetisk rene materialer som skrivekridt, eller i vævsprøver m.m. Prøverne skal have en veldefineret form, enten som en kort cylinder (borekerne) eller en terning for at kunne måles. Efter målingen underkastes prøverne en serie gradvise afmagnetiseringer ved hjælp af et vekselmagnetfelt eller ved en kontrolleret trinvis opvarmning og nedkøling i et feltfrit rum, hvorefter prøverne genmåles; dette gentages adskillige gange med små intervaller, hvorved de forskellige magnetiske komponenter (forhåbentlig) kan udskilles. De karakteristiske magnetiseringskomponenters retninger bestemmes ved en PCA (Principal Component Analyse), og de fundne (primære) magnetiseringsretninger grupperes. Til sidst behandles de grupperede resultater statistisk, og geologiske konklusioner om magnetfeltet og bjergartens historie kan søges udtaget.

Magnetisk Sækularvariation

Kun som et gennemsnit over mange tusind år har magnetfeltet været aksial-symmetrisk og sammenfaldende med Jordens rotationsakse. Hvis vi ser på kortere tidsintervaller (Figur 1 viser altså kun et øjebliksbillede), varierer både deklination og inklinationsvinkel med tiden. De tidlige variationer i denne såkaldte sekularvariation rummer forskellige perioder på fra nogle få hundrede til nogle få tusind år.

Inklinationen svinger typisk $\pm 10^\circ$, mens deklinationen på vore breddegrader typisk varierer $\pm 20^\circ$ i løbet af nogle hundrede år (Figur 3-6). I de polare områder, hvor vi er tæt ved den magnetiske pol, kan deklinationen sågar variere hele kompasset rundt. I Nordgrønland er misvisningen i disse årtier stærkt vestlig, og for steder beliggende mellem den geografiske og magnetiske pol peger kompasset mere eller mindre imod (geografisk) syd!

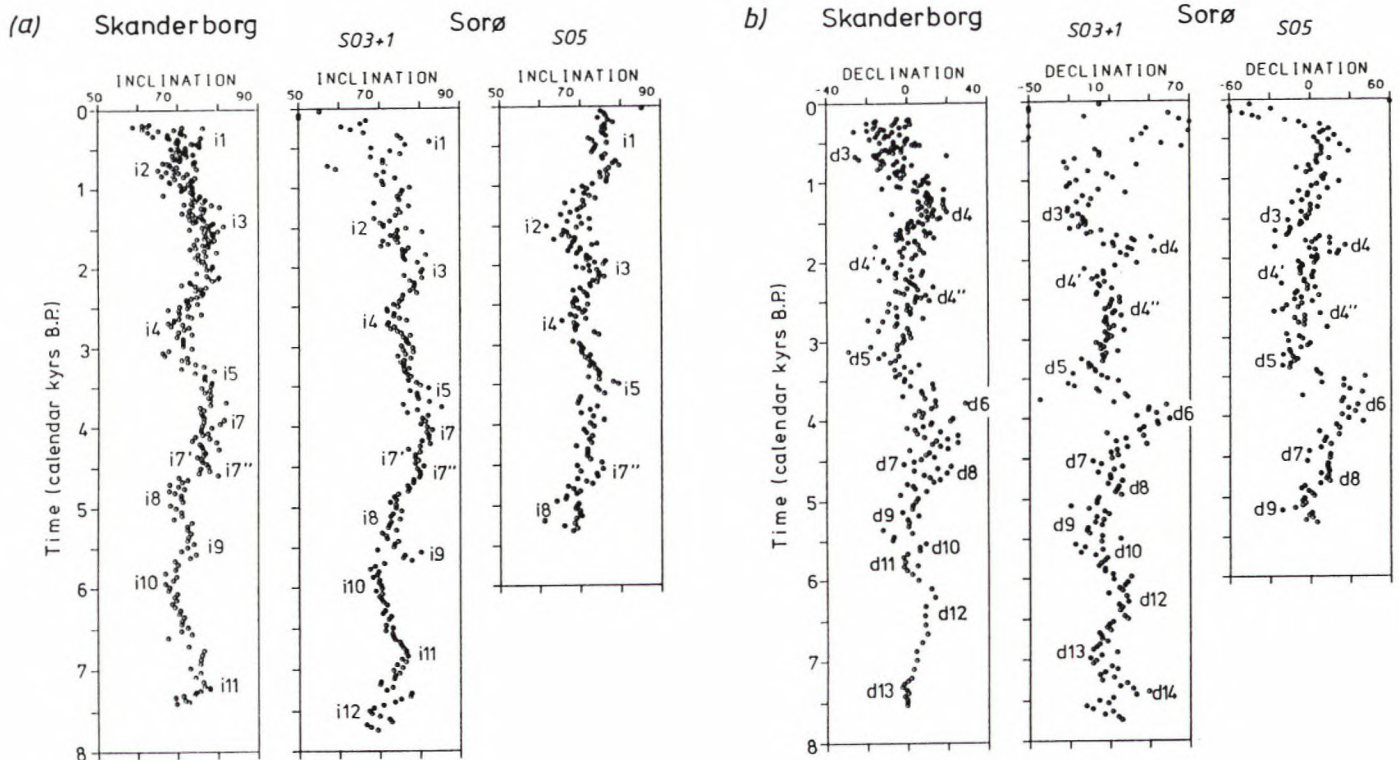
Selv om sækularvariationen er en fejlkilde ved de palæomagnetiske rekonstruktioner (hvor den søges udjævnet ved at man danner gennemsnitsretninger af bjergarter, der dækker tidsrum på mindst nogle snese tusind år), kan den udnyttes mere lokalt til korrelation og datering f.eks. af holocene aflejringer, der er dannet inden for nogle få tusind år (Figur 6). Dette forudsætter, at man kender den magnetiske sekularvariation for det aktuelle tidsrum og for et givet regionalt område, idet variationen er forskellig fra region til region.

Metoden kan også bruges til arkæomagnetisk datering af arkæologiske materialer som brændte teglsten, ovne m.m., hvor materialet har ligget in situ siden brændingen, forudsat at vi kender den magnetiske masterkurve for området godt nok (Figur 7).

Polaritet

At Jordens magnetfelt har skiftet polaritet (fortegn) mange gange tilbage i tiden er bl.a. baggrunden for dannelsen af de marinmagnetiske anomalier, der skyldes magnetiseringen af gradvist nydannet oceanskorpe, og som dermed leverer en dateringsmetode for 70% af klodens overflade. Metoden kan dog kun benyttes for de sidste ca. 170 millioner år, nemlig for de dele af Jorden, fra hvilke der er bevaret en oceanisk lithosfære. Ældre oceanskorpe er enten blevet destrueret ved subduktion eller komprimeret i de orogene områder (bjergkædefoldninger).

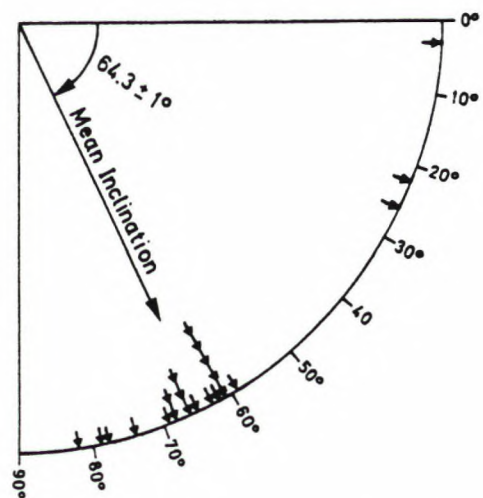
Polaritetsskiftene kan også benyttes til geologisk set meget nøjagtige stratigrafiske korrelationer, idet et skift indtræffer over hele kloden i løbet af en geologisk set kort tid ("transitionsperioden"), der typisk ligger på omkring 5.000 år. De enkelte polariteters ("chrons" eller "reversals") varighed har været meget forskellige, idet de korteste polariteter (såkaldte geomagnetiske "events") kun har været nogle få tusind



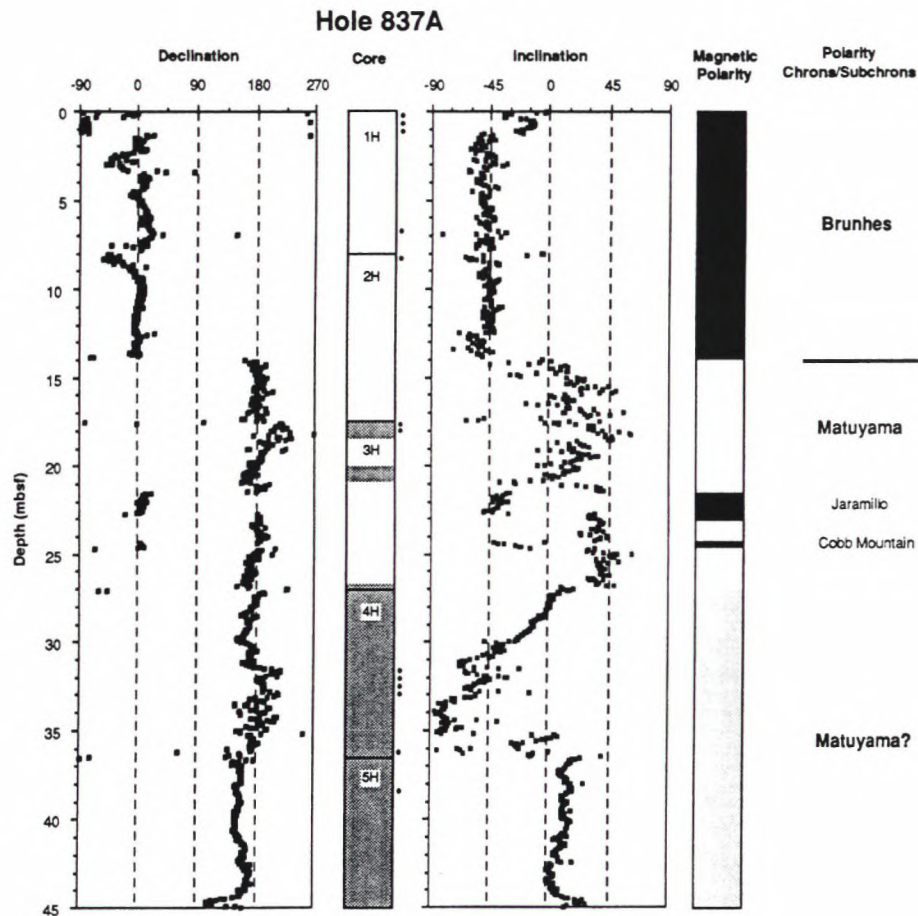
Figur 6. Deklination og inklinations, som den er bestemt ud fra orienterede, Postglaciale gytjesedimenter fra bunden af Skanderborg og Sorø Sø. Kurverne for Skanderborg Sø er dateret ved hjælp af mange C14-målinger, og kan betragtes som en "masterkurve" for det danske Holocæn. Ved hjælp af de synkrone magnetiske udsving (d3, d4, d5, o.s.v.), kan den Postglaciale stratigrafi i de to søer korreleres meget nøjagtigt.⁷

år (heriblandt Laschamp/Lake Mungo (alder ca. 30-35.000 år BP), Blake (ca. 104-117.000 år BP) og Cobb Mountain (alder omkring 1,12 mill. år, med en varighed på ca. 17.000 år), mens meget lange perioder med konstant polaritet er kendt bl.a. fra midten af Kridttiden (en Normal periode der varede ca. 35 mill. år), og fra Perm (en Revers periode der varede ca. 70 mill. år). Alene fra Tertiæret er godt 90 (x2) polariteter kendt, hvoraf ca. 65 er fra de sidste 35 mill. år, d.v.s. de gennem den tid har haft en gennemsnitlig varighed på ca. 0,25 mill. år. Et af de uløste geomagnetiske spørgsmål er, at der faktisk ikke synes at være nogen systematik i polaritetintervallernes frekvens eller varighed, d.v.s. geodynamoen har ikke selv en "hukommelse" om sin tidligere tilstand: Den er altså kaotisk (som så meget andet i naturen).

I Figur 8 er vist et eksempel på magnetisk datering af en dybhavskerne fra det sydvestlige Stillehav (Lau Bassinet). Deklination og til dels inklinations viser flere nærmest knivskarpe skift i polaritet fra Revers (hvid) til Normal (sort) polaritet. Bemærk at fortegnene i inklinations er modsatte af hvad vi er vant til nord for ækvator: På den nordlige halvkugle svarer $I > 0^\circ$ til Normal og $I < 0^\circ$ til Revers polaritet; men på den sydlige halvkugle er det omvendt. Idet den omtrentlige alder er blevet bestemt ved hjælp af mikrofossiler, kan det magnetiske skift f.eks. i 14 meters dybde datere dette niveau



Figur 7. Arkæomagnetisk datering af teglsten fra en Middelalder-tegløvn ved Rønde på Djursland. Ovnen kunne kun groft tidsfæstes via historiske overvejelser, men den magnetiske alder på ca. AD 1460 $\pm$ 50 (Inklination = $64^\circ \pm 1^\circ$, jfr. Figur 5) kunne dernæst indsnævre og bestyrke en af de opkastede historiske hypoteser: Ovnen har snarere været benyttet til teglbrænding ved bygningen af den nærliggende Bregenede kirke (fra omkring 1480) end ved opførelsen af Kalø Slot, som er noget ældre, nemlig fra første halvdel af 13-hundredtallet.⁸



Figur 8. Magnetisk datering af sedimenter i en dybhavskerne. De magnetiske polaritetsskift er målt på en dybhavskerne fra det sydvestlige Stillehav, hentet op fra en dybde af 2,6 km i Lau Bassinet (20°S, 177°V, mellem Fiji og Tonga). Sedimentations-raten er ca. 5 cm/1000 år. Magnetiske målinger er udført for hver 10 cm på sedimentkernen, så hvert målepunkt repræsenterer ca. 2000 år. Et polaritetsskift indtræffer skarpt i kernen bl.a. ved ca. 14 m, d.v.s. det sker inden for et tidsrum af ca. 2000 år. Den tilsyneladende tilstedeværelse af endnu et polaritetsskift under 27 m dybde skyldes en utilstrækkelig magnetisk rensning (afmagnetisering) af kernen. Detailundersøgelser af meget tætliggende prøver (små kuber for hver 6 mm) lige omkring polaritetsskiftet ved 24 m (Cobb Mountain Event) har i øvrigt vist, hvordan det lokale magnetfelt gradvist skiftede retning, samtidig med at intensiteten aftog kortvarigt, som om strømmen i geodynamoen blev slukket eller stærkt reduceret i 2-3000 år og derefter igen tændt, men nu i modsat retning.^{9,10}

entydigt til overgangen Matuyama-Brunhes, som på anden vis er dateret ret nøjagtigt til en alder på 780.000 år. Eksemplet illustrerer, hvorfor magnetostratigrafien er central bl.a. ved ODP-dybhavsboringerne (Ocean Drilling Programmet, det internationale projekt, som også Danmark sammen med en række andre lande deltager i), og ved andre dybhavsboringer. Magnetostratigrafien finder også udbredt anvendelse i kontinental stratigrafi, såvel i sedimenter som i plateaubasaltserier (f. eks. i Øst- og Vestgrønland, på Færøerne, Island m.fl.), hvor de orienterede prøver direkte kan indsamles i eksponerede blotninger eller udtages fra kerneboringer.

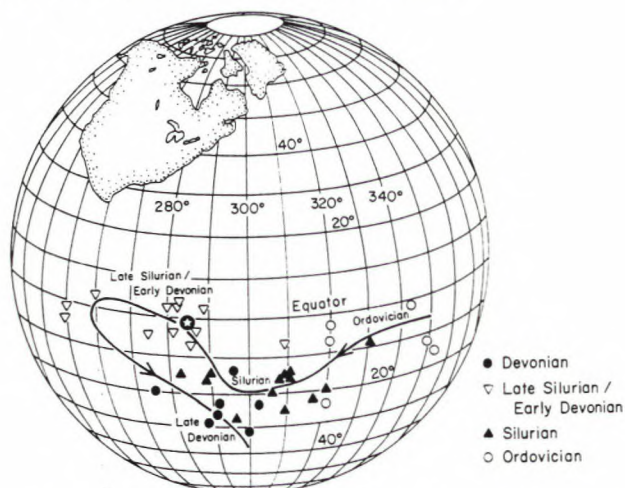
Dipolfeltet og Pladetektonik

Til mange geologiske formål kan man regne med, at jordmagnetfeltet svarer til feltet fra en simpel magnetisk dipol (stangmagnet), der ligger i Jordens centrum og har

dipolaksen ca. parallel med Jordens rotationsakse (den palæomagnetiske grundhypotese). Et sådant magnetfelt har en veldefineret form, der kan illustreres ved forløbet af de magnetiske kraftlinjer (jfr. Figur 1).

Ved jordoverfladen danner feltlinjerne vinkler med jordoverfladen (inklinationen), som varierer jævnt fra ækvator (hvor $I = 0^\circ$) og til polerne (hvor $I = \pm 90^\circ$). Ud fra inklinationen, der kan bestemmes i en bjergart med den palæomagnetiske metode, kan man derfor på simpel vis beregne den palæogeografiske bredde for bjergarten på det tidspunkt, da den ved sin dannelse blev magnetiseret (hvis den da ikke er blevet tektonisk forstyrret eller remagnetiseret senere). Vi har altså et simpelt redskab til at bestemme den oprindelige palæobredde for bjergarten, før den evt. deltog i en pladetektonisk bevægelse. Hvis kraftlinjen danner en vinkel med meridianen i det vandrette plan (deklinationen), kan denne vinkel tilsvarende bruges til at fortælle os, hvordan lokaliteten siden har drejet sig (rotation om en

lodret akse) i forhold til geografisk nord.



Figur 9. Sen Silur palæomagnetisk pol (stor sort klat) fra Nordgrønland (stjerne), sammenlignet med den apparente polvandringskurve for Storbritannien og Irland.¹¹

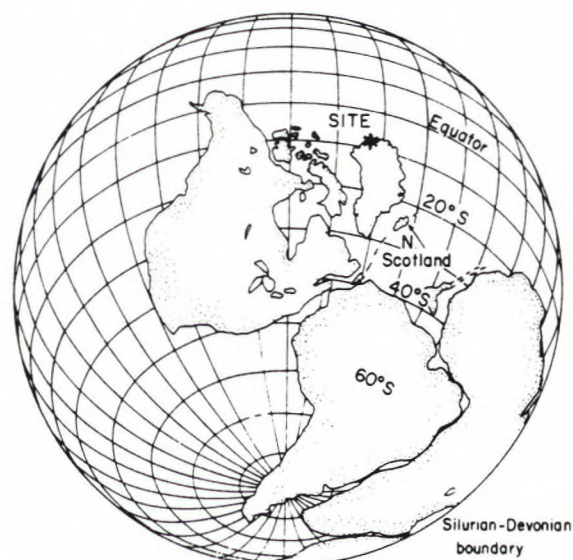
Ved at måle deklination og inklinations i et bjergarts-kompleks kan man tilsvarende beregne beliggenheden af den tilsyneladende palæomagnetiske pol, den apparente pol (den er kun tilsyneladende, for det er ikke jordmagnetpolen, der har flyttet sig på kloden, men snarere jordskorpen). Hvis man nu i et område har en serie af sådanne apparente poler bestemt fra en serie bjergarter dannet til forskellige tider, kan man konstruere en såkaldt apparent polvandringskurve (APV-kurven) for området.

Et eksempel på et geofysisk bidrag til en palæogeografisk rekonstruktion er illustreret i Figur 9 og 10, der viser et palæomagnetisk resultat fra Nordgrønland. En grønlandsk palæopol af Silur alder (ca. 420 mill. år) falder fint på den Europæiske apparente polvandringskurve. Vi kan derfor konkludere (se Figur 10), at Grønland på den tid endnu lå tæt ved Europa, samt var klistret sammen med Nordamerika. Sådant så verden altså ud efter lukning af Nordatlantens forfader, Iapetus oceanet (hvilket medførte opfølgningen af Kaledoniderne, d.v.s. bjergkæderne i bl.a. Norge og Østgrønland), men før den senere åbning af både Nordatlanten og Baffin Bay i Kridt og tidlig Tertiær Tid.

Konklusion

I geofysikken har de geo- og palæomagnetiske metoder mange interessante anvendelsesmuligheder og magnetfeltet kan bruges i ret så ekstreme sammenhænge. Alt efter hvad man vælger at fokusere på, kan man få interessante oplysninger enten om det ydre felts geometri langt væk fra Jorden og de mere højfrekvente egenskaber (perioder $\ll 1$ år, med relevans for rumforskning, ionosfæreforskning, nordlys o.s.v. o.s.v.), eller oplysninger om de mere adstadige variationer for det indre dynamofelt, der med perioder på mellem 10^2 og 10^8 år igen kan benyttes dels som randbetingelser for

geodynamomodeller, og dels til geologiske dateringer af 70% af klodens overflade, stratigrafiske korrelationer samt palæogeografiske rekonstruktioner af kontinenternes placering og udseende helt tilbage til Jordens barndom for ca. 4 milliarder år siden.



Figur 10. Palæogeografisk rekonstruktion for placeringen af Grønland, Nord- og Sydamerika, Afrika og Storbritannien i sen Silur/Devon tid, baseret på bl.a. de palæomagnetiske data¹¹ fra Figur 9.

Referencer:

- [1] Ronald T. Merrill, Michael W. McElhinny og Phillip L. McFadden, *The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle*. Academic Press. 527 p. (1996).
- [2] Robert F. Butler, *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*. 319 p. Blackwell Scient. Publ. Oxford (1992).
- [3] Niels Abrahamsen, Evidence for Church orientation by magnetic compass in twelfth-century Denmark. *Archaeometry* **34**, 293-303 (1992).
- [4] Niels Abrahamsen, Magnetic secular variation in Denmark, 1500-1970. *J. Geomag. Geoelectr.* **25**, 105-111 (1973).
- [5] A. J. Clark, D. H. Tarling og M. Nol, Developments in Archaeomagnetic datings in Britain. *J. Archaeological Science* **15**, 645-667 (1988).
- [6] Fred J. Vine og Drummond H. Matthews, Magnetic anomalies over ocean ridges. *Nature* **199**, 947-949 (1963).
- [7] Peter W. Readman og Niels Abrahamsen, Geomagnetic secular variation from Holocene lake sediments of Sorø Sø, Denmark. *Phys. Earth. Planet. Interiors*. **62**, 4-18 (1990)

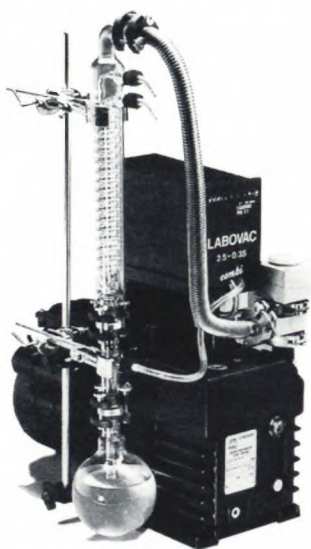
- [8] Niels Abrahamsen og Niels Breiner, Magnetic investigation of a Mediaeval tile kiln near Kalø, Denmark. *Archaeometry* '90; pp. 657-666. Birkhuser Verlag, Basel (1991).
- [9] ODP Leg 135, Shipborne Scientific Party. In L. Parson, J. Hawkins, J. Allan, et al.: LauBasin, Site 834-841. *Proc. Int. Repts.*, **135**: College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1222 pp. (1992).
- [10] Niels Abrahamsen og Will Sager, Cobb Mountain geomagnetic polarity event and transitions in three deep-sea sediment cores from the Lau Basin. *Scientific Results* **135**, p. 737-762, College Station, TX (Ocean Drilling Program) (1994).
- [11] Carola Stearns, Rob Van der Voo og Niels Abrahamsen, A new Siluro- Devonian paleopole from

early Paleozoic rocks of the northern Greenland Fold Belt. *J. Geophys. Res.* **94**, 10 669 - 10 683 (1989).



Niels Abrahamsen er lektor ved Geofysisk Afdeling, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland. SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotor-skiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt tryk eller med aggressive gasser. Med en frekvensregulering kan pumpehastigheden fordobles, så man f.eks. hurtigt kan evakuere et anlæg og derefter anvende pumpen som holdepumpe ved lav hastighed. SASKIA's kemisk resistente membran-pumper har liniærdrevne membraner, hvilket sikrer en lang levetid og lavt effektforbrug. En membranpumpe på ca. 30 W kan med de store afgifter på brugsvand hurtigt tjene sig ind, hvis den erstatter en vandstråle-pumpe. SASKIA's TOWER pumpestande er kemipumpestande kombineret med kondensatorer og med instrumentering for indstilling af trykket. SASKIA leverer oliefri pumpestande kombineret med turbomolekularpumper i et handy design og rootspumpestande op til 20.000 m³h⁻¹.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLØKSØGERE & MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON & ÆTSEANLÆG • RF & HV STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS • NYBROVEJ 283 • DK-2800 LYNGBY • TLF. 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER • NYBROVEJ 193 • BIL 30 42 63 00 • FAX 45 93 32 93

Kattegats vandkvalitet

Niels Kristian Højerslev, Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik

Indledning

Iltsvind i Kattegats bundvand var igangsætteren for Vandmiljøplanen i 1987. Forringelsen af vandkvaliteten i Kattegat som følge af specielt kvælstofemissioner fra land, atmosfære og fra de tilgrænsende havområder er hovedansvarlig for den nuværende miljøtilstand. I dag er der konsensus om, at de samlede kvælstofemissioner fra atmosfæren til dansk territorialfarvand omfattende 100.000 km² udgør halvdelen af det totale danske bidrag. Landbidragene kan angives med tilfredsstillende nøjagtighed. Derimod er kvælstofemissionerne fra henholdsvis Nordsøen, Tyske bugt og Østersøen ind til indre danske farvande beskrevet mindre tilfredsstillende. Tyske Bugt er specielt af interesse, fordi den undertiden angives som hovedleverandør af kvælstof til Kattegat.

Meget forskelligartede oceanografiske målinger gennem 25 års ekspeditioner til søs kombineret med satellitobservationer og lange hydrografiske tidsserier begyndende omkring år 1900 viser, at Tyske Bugt kun bidrager lidt til Kattegats kvælstofbelastning taget som eksempelvis månedsmidler. Det kan desuden demonstreres, at den ringe belastning i al væsentlighed ikke finder sted i Kattegats bundvand men i det intermediære vand beliggende 10 til 20 m under havoverfladen. På baggrund af disse målinger kan der opstilles en simpel vandblandingsmodel for Kattegat, som har flere praktiske og direkte brugbare anvendelsesmuligheder, der er taget op fra polsk, tysk, svensk, dansk og norsk side.

Vandmasseklassifikation

Sædvanlig vandmasseklassifikation bygger på begreberne "konservative parametre", "vandtyper" og "vandmasser". En konservativ parameter beskriver en stofmængde, som hverken forbruges eller produceres lokalt. En vandtype defineres/fastlægges ved h.h.v. en udvalgt saltholdigheds (salinitets)- og temperaturværdi i det klassiske tilfælde. En vandmasse er derimod et blandingsprodukt af flere vandtyper og kan således ikke tilskrives enkeltværdier for salinitet og temperatur, men i stedet intervalværdier. I den sædvanlige salinitets-temperatur-analyse kan man beregne en vandmasses blandingsforhold for op til 3 forskellige vandtyper i oceanerne. Imidlertid giver brugen af temperatur som konservativ parameter betydelige begrænsninger i overfladevandet, fordi temperaturen ikke er konservativ der, men har et kildefelt på grund af eksempelvis solopvarmning.^{1,2}

For at kunne lave en vandmasseklassifikation i kystnære områder er det derfor nødvendigt at indføre en ny

konservativ parameter til erstatning for temperaturen, som i dette tilfælde er gulstof. Gulstof er en fællesbetegnelse for forskellige opløste organiske stoffer af typen humussyre og lignende, der findes i flod- og havvand.³ Det har en halveringstid på ca. 100 år, og udfældes ikke i vand med salinitet over ca. 6 promille og kan derfor betragtes som en konservativ parameter. Når gulstof bestråles, absorberer det i betydelig grad lys i den ultraviolette del af spektret, og mængden af gulstof i en vandmasse kan således bestemmes ud fra optiske metoder.

Store mængder af gulstof tilføres havet fra land via floder. Generelt er indholdet af gulstof i naturligt forekommende vandmasser derfor negativt og lineært korreleret med saliniteten, men hældningskoefficienten varierer fra havområde til havområde. I de øvre vandlag i Østersøen er gulstofindholdet højt, mens det i de ikke-kystnære vandmasser i Nordsøen er lille. Den jyske Kyststrøm er til gengæld speciel i denne sammenhæng ved at have en salinitet på 32-34 promille i Skagerrak området og samtidigt hermed at have et højt gulstofindhold. Årsagen hertil er det ekstremt høje indhold af gulstof i flodvandet, der strømmer til Tyske Bugt. Dette forhold kan udnyttes til identifikation af jysk kyststrømsvand.

Udstyr og metode

Gulstof lader sig bestemme ved lysabsorption som absorbans, A_{10} , i en 10 cm celle. I marin optik er det sædvanen at angive gulstofmængden som en absorptionskoefficient ved 375 nm, $a_y(375)[m^{-1}]$, hvor absorptionen er direkte proportional med gulstofkoncentrationen. Nærmere detaljer for disse omregninger, samt begrundelsen for disse, kan findes i referencerne 3-7. Her skal blot gives et par enkle beregninger til belysning af hovedtankegangen:

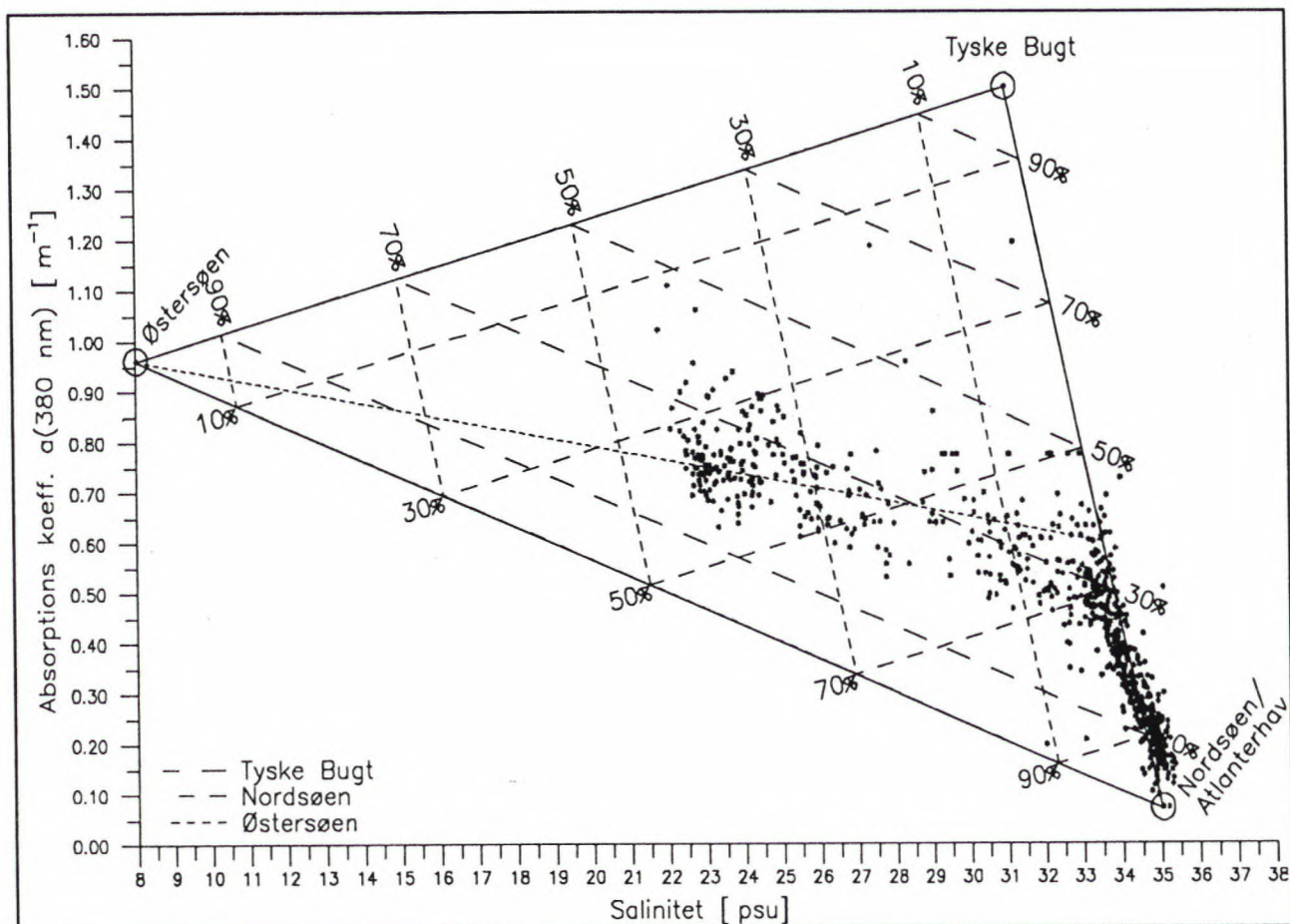
$$A_{10} = -\log_{10} T_{10} \quad (1)$$

T er transmittans og index 10 (ved A og T) refererer til længden i cm på den førnævnte celle.

$$T_{10} = e^{a_y(375) \cdot 0,1} \quad (2)$$

hvor $a_y(375)$ er en absorptionskoefficient ved 375 nm med enheden m^{-1} . Indsættes formel (2) i (1) fås:

$$a_y(375)[m^{-1}] = 23,3 \cdot A_{10}. \quad (3)$$



Figur 1. Salinitet-gulstofdiagram for oktober 1992, Kattegat - Skagerak.

Salinitet-gulstofdiagrammer

Figur 1 viser salinitet-gulstofdata fra oktober 1992 og det demonstrerer, at kattegatvandet i salinitetsområdet 20-33 promille hovedsaglig udgøres af nordsø-atlanterhavsvand og østersøvand. Det ses, at både kattegatvandets og skagerakvandets salinitet er negativt korreleret med dets indhold af gulstof.⁵

Figur 2 er data fra marts 1992. Bemærk den større punktspredning, men at hovedparten af punkterne er beliggende under den stiplede linie angivet i Figur 1. Dette betyder, at vand fra Tyske Bugt lejlighedsvis og lokalt udgør en større andel af kattegats vand.

Beregning af vandtypernes andele

Antag at man på en given position og dybde i f.eks. Kattegat har målt en salinitet på S_x promille og en gulstofmængde (absorptionskoefficient) på $a_{y,x}$ [m^{-1}]. Dette vand antages at være et blandingsprodukt af østersøvand, tyske bugtvand og nordsø/atlanterhavsvand i blandingsforholdet $q_0:q_T:q_N$. Hvis disse 3 kernevandmassers salinitet og

gulstofindhold benævnes h.h.v. S_0 , S_N , S_T , $a_{y,0}$, $a_{y,N}$ og $a_{y,T}$, kan der opskrives 3 ligninger til bestemmelse af h.h.v. q_0 , q_N og q_T . Disse har følgende udseende (se f.eks. Ref. 1 eller 2):

$$\begin{aligned} q_0 + q_N + q_T &= 1, \\ S_0 q_0 + S_N q_N + S_T q_T &= S_x, \\ a_{y,0} q_0 + a_{y,N} q_N + a_{y,T} q_T &= a_{y,x}. \end{aligned} \quad (4)$$

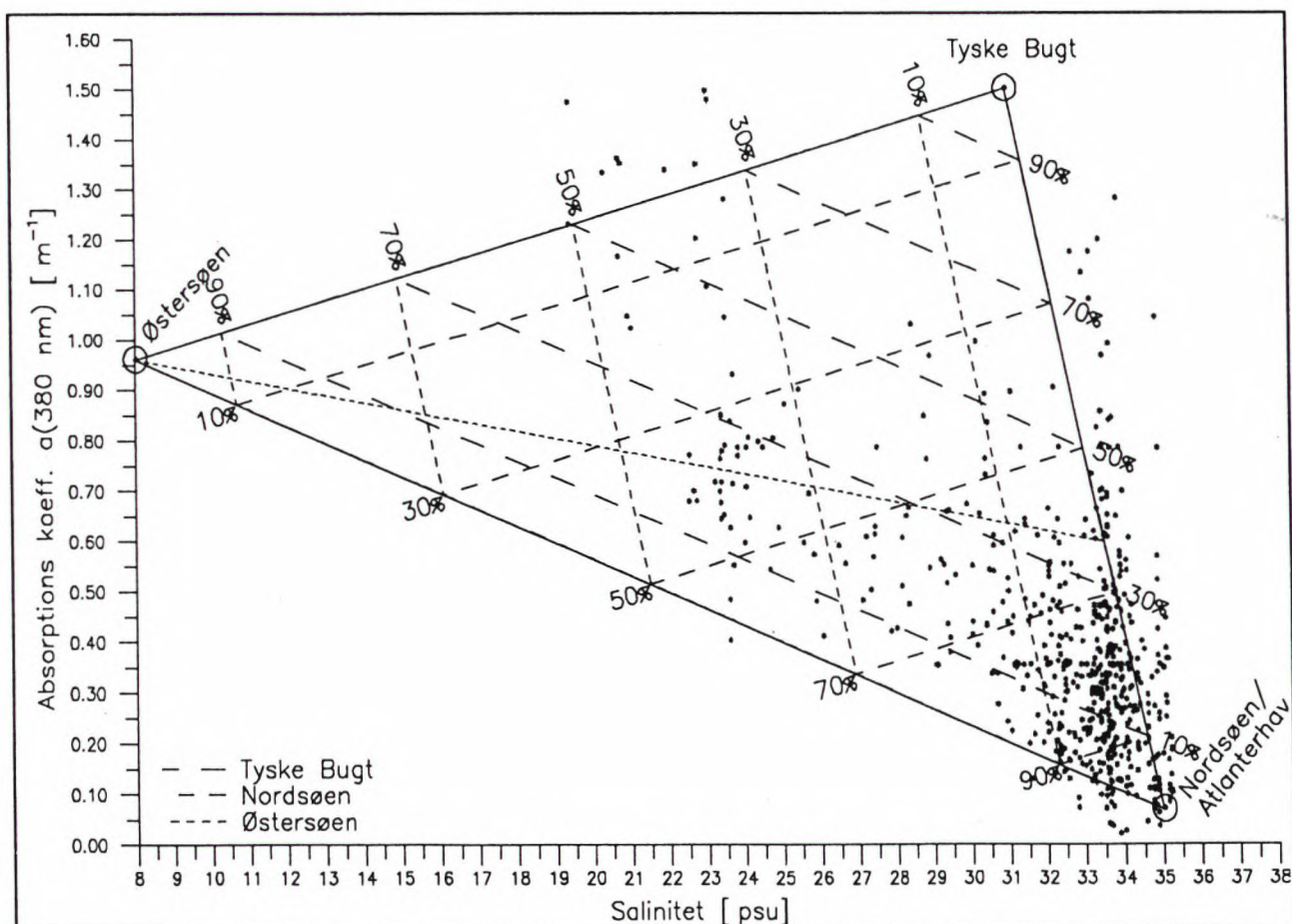
Har man f.eks. i Kattegat målt en salinitet på 28 promille og en gulstofmængde på $0,60 m^{-1}$, bliver formel (4) ved hjælp af værdierne i Figur 1 og 2:

$$\begin{aligned} q_0 + q_N + q_T &= 1, \\ 8q_0 + 35q_N + 31q_T &= 28, \\ 0,96q_0 + 0,07q_N + 1,50q_T &= 0,60. \end{aligned} \quad (5)$$

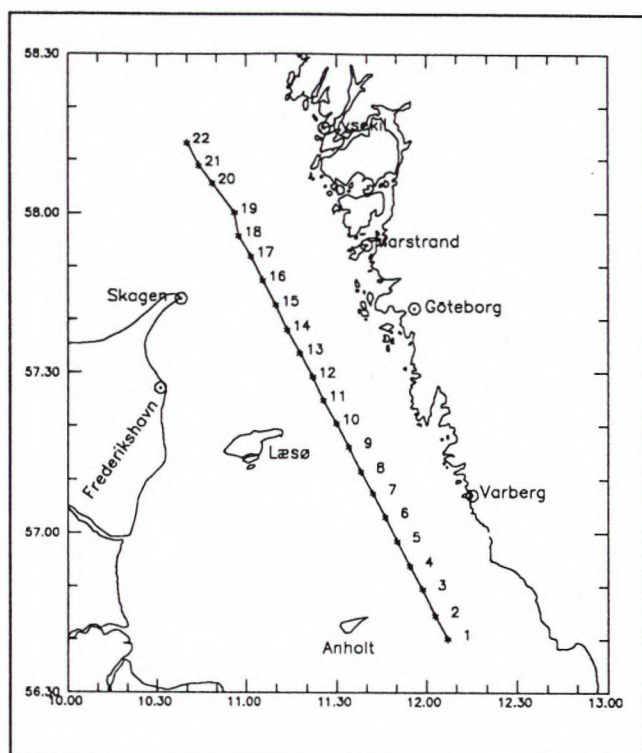
Disse 3 ligninger har løsningen:

$$\begin{aligned} q_0 &= 0,225(22,5\%), \\ q_T &= 0,230(23,0\%), \\ q_N &= 0,545(54,5\%). \end{aligned} \quad (6)$$

Man kan også ved hjælp af formel (4) beregne isolinier for q_0 , q_N og q_T , d.v.s. linier i S-gulstofdiagrammet hvor andelen af en given kernevandmasse



Figur 2. Salinitet-gulstofdiagram for marts 1992, Kattegat - Skagerak.



Figur 3. Kort over et snit i Kattegat/Skagerak

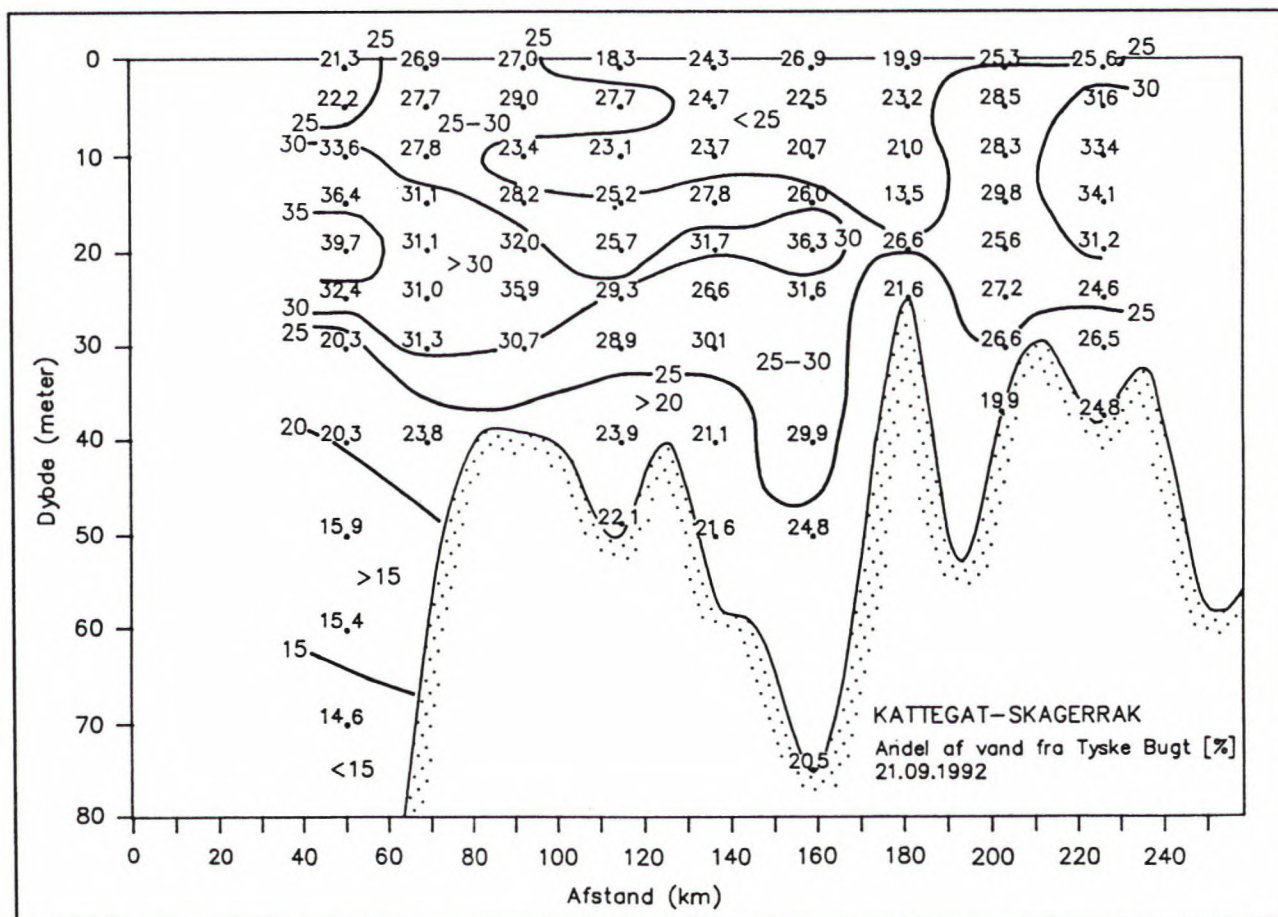
er konstant. I Figur 1 og 2 er isolinierne 10%, 30%, 50%, 70% og 90% optegnet for q_0 , q_N og q_T .

Ved hjælp af formel (4) er andelen af vand med oprindelse i Tyske Bugt beregnet for et snit fra den 21.09.1992 gående fra syd for Anholt til nord for Skagen, se Figur 3 og 4.

Det ses her, at den høje tyskebugtandel findes som et tungeformet mellemliggende lag omkring 20 meters dybde. Det ses også, at der har været en kraftig opblanding af dette vand, men at andelen ved bunden ligger på ca. 20-25 % for hele området. Det skal understreges, at $q_T(x,y,z)$ angiver pr. volumenenhed på en given lokalitet (x,y) i en given vanddybde z . Antag et vandlag i Kattegat med en tykkelse på dz omkring vanddybden z . Den samlede mængde tyskebugtvand bliver for dette vandlag:

$$V_T(z, z + dz) = q_T(x, y, z) dz dx dy \quad (7)$$

hvor integrationen i horisontalplanen foretages helt ud til Kattegats faste rande. Den samlede mængde vand fra



Figur 4. Andele af vand fra Tyske Bugt

Tyske Bugt i Kattegat bliver følgende:

$$V_T = \int_0^{z_{max}} V_T(z, z + dz) dz \quad (8)$$

hvor z_{max} er den maksimale vanddybde i Kattegat. Kattegats samlede rumfang kan herefter skrives som

$$V_K = \int_0^{z_{max}} dx dy dz \quad (9)$$

Den samlede andel af tyskebugtvand i hele Kattegat bliver dermed lig med $V_T/V_K \cdot 100\%$.

Det skal her anføres at selv om der endog kan forekomme store andele af tyskebugtvand, q_T , i Kattegats bundvand, så er det samlede mængdebidrag fra Tyske Bugt til Kattegat ikke betydeligt. Forklaringen herpå er den enkle, at bundvandets volumen kun udgør en brøkdel af den samlede kattegatvolumen, V_K , fordi havbunden falder jævnt fra kysten og udefter.

Indstrømning af jysk kyststrømsvand

For at beregne andelen af vand fra Tyske Bugt i Kattegats bundvand opstilles en simpel box-model, se Figur

5. Vi beskæftiger os i det følgende alene med volumenfluxene ind og ud af Kattegat.

Indstrømningen til Kattegats bundvand gennem den nordlige rand antages at komme fra Nordsøen/Atlantehavet (Q_N) og fra Tyske Bugt (Q_T). Udstrømningen fra Kattegats bundvand sker til Bælthavet og Øresund (Q_B), mens indstrømningen til Kattegats overfladevand sker fra Bælthavet og Øresund i forbindelse med, at udstrømningen derfra foregår til Skagerrak. Det bemærkes, at en kraftig vandblanding foregår henover skillefladen (også kaldet springlaget) i Kattegat, både opadrettet (Q_U) og nedadrettet (Q_D). Med krav om at gulstofkoncentrationen i Kattegats bundvand ikke må ændre sig i langtidsmiddel (taget over f.eks. en årelang periode) kan man opstille en helt sædvanlig bevarelsesligning for gulstofkoncentrationen (angivet som en absorptionskoefficient):

gulstofbidrag ind = gulstofbidrag ud

eller matematisk udtrykt:

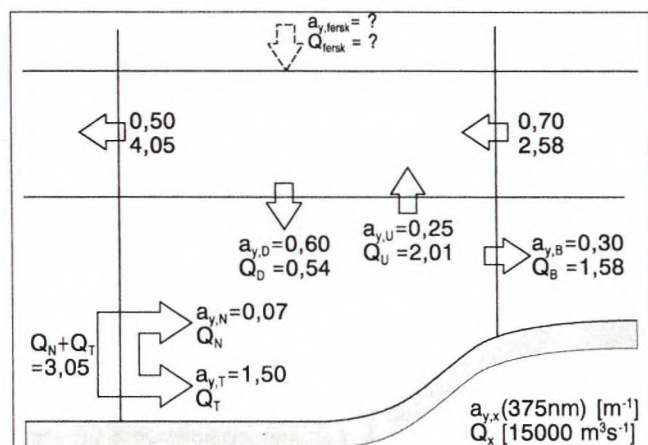
$$Q_N a_{y,N} + Q_T a_{y,T} + Q_D a_{y,D} = Q_U a_{y,U} + Q_B a_{y,B} \quad (10)$$

Med anvendelse af absorptionsværdierne og volumentransporterne fra Ref. 8 bliver resultatet:

$$(3,05 - Q_T) \cdot 0,07 + Q_T \cdot 1,5 + 0,54 \cdot 0,60 = 2,01 \cdot 0,25 + 1,58 \cdot 0,30 \quad (11)$$

og dermed

$$Q = 0,31[15.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}]. \quad (12)$$



Figur 5. Skitse for anvendt box-model, hvor $a_y [m^{-1}]$ er ved 375 nm. De nedre tal angiver vandtransporterne multipliceret med enheden $[15.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}]$, se Ref. 8. Desuden forekommer et mindre gulstofbidrag fra nedbør og afvanding til Kattegat.

D.v.s. at 90% af bundvandet i Kattegat kommer i middel fra Nordsøen og Atlanterhavet og dermed ikke fra Tyske Bugt. Dette fremgår af Figur 5, som viser at den samlede bundvandstransport fra nord og ind i Kattegat er lig med $Q_N + Q_T = 3,05 [15.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}]$, hvorved tyskebugtandelen bliver lig med $Q_T / (Q_N + Q_T) = 0,31/3,05 = 10\%$.

Med andre ord forurener Vesteuropæiske floder kun de indre danske farvande lidt.

Referencer:

- [1] Højerslev, N.K. (1989). "Vandbevægelser i kystnære områder (Systemet Østersøen-Nordsøen)". HCØ-tryk, 2. udg., side 1-234.
- [2] Højerslev, N.K. (1991): "Introduktion til Fysisk Oceanografi". HCØ-tryk, 3. udg., side 1-181.

- [3] Højerslev, N.K. (1988): "Natural occurrences and optical effects of gelbstoff". Rapport fra Geofysisk Afdeling, nr. 50, side 1-30.
- [4] Højerslev, N.K. (1971): "Tyndall and fluorescence measurements in Danish and Norwegian waters related to dynamical features". Rep. Inst. Phys. Oceanogr. Univ. Copenhagen, nr. 23, side 1-41.
- [5] Højerslev, N.K. (1982): "Yellow substance in the sea. I. The role of solar ultraviolet radiation in marine ecosystems", Ed. J. Calkins, Plenum Press, New York og London, side 263-281.
- [6] Højerslev, N.K. (1986): "Optical properties of sea water". Oceanography V/3, Ed. Af J. Sndermann, Landolt-Brnstein. Springer Int., New Ser, side 383-462.
- [7] Højerslev, N.K. (1989): "Surface water-quality studies in the interior marine environment of Denmark". Limn. Oceanogr., bind 34 nr. 8, side 1630-1639.
- [8] Hansen, I.S., Ærtebjerg, G., Jørgensen, L.A. og Pedersen, F.B. (1990): "Analyse af ilt-sænkning i Kattegat, Bælthavet og V. Østersø". Havforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 1, side 1-136.
- [9] Thorkild Aarup, Niels Holck og undertegnede har sammen skrevet i trilogi om alle disse ting i Continental Shelf Research, august 1996. Således kan den dybt interesserede læser fordybe sig yderligere i emnet på f.eks. forfatterens adresse.



Niels Kristian Højerslev er lektor ved Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Fysik, Astronomi og Geofysik.



Vacuum Generators NEW 'TRANSAX' bridges gap

Vacuum Generators has introduced the TRANSAX^{XYZ} translator to bridge the gap between their user friendly HPT and the very high stability Omniax. The Transax is a fully UHV compatible double bellows translator constructed following the principle of the Omniax but providing a more cost effective solution where large capacity and extreme stability are not necessary. The basic Transax combines a linear Z-slide with an XY-table joined by a rigid interface that eliminates strain from the mating flanges of the Z-slide.

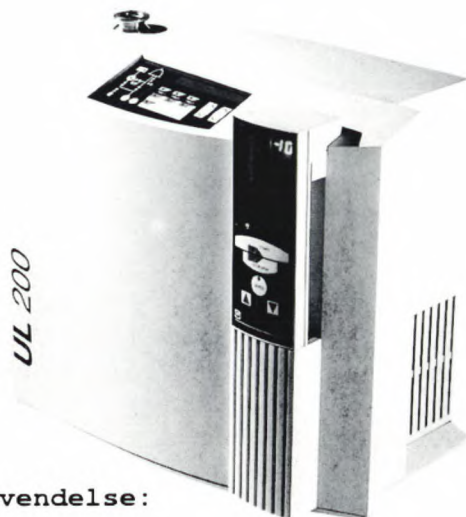
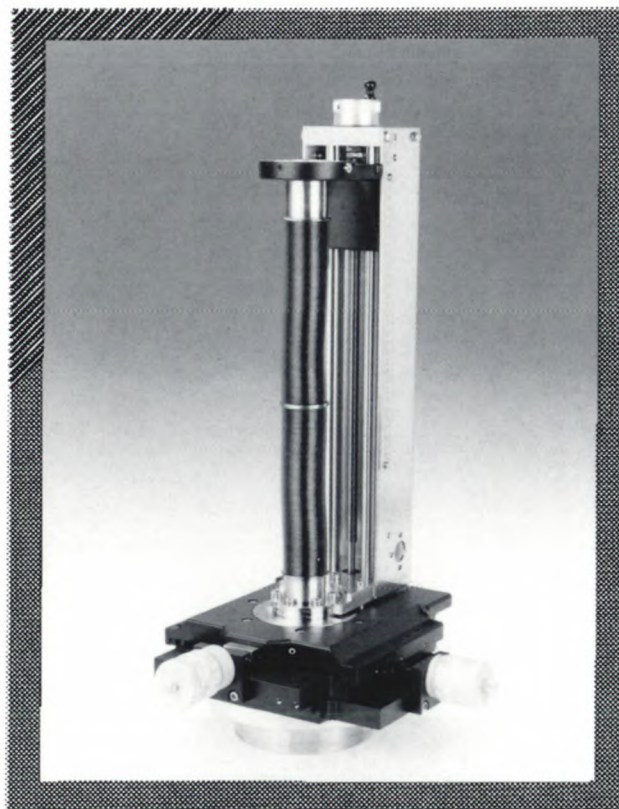
The design is thermally matched to allow repeated bakeout to 230°C in any orientation and has a support and guidance system that stabilises the sample and damps vibrations. Available with three standard Z travels with X and Y movements up to ± 25 mm the Transax is designed to accept the RD1 and RD2 rotary drives offered by Vacuum Generators and their range of sample handling equipment instrumentation and motorisation options.

For further information please contact Jonas Fång at

Thermo Instruments Nordic AB,

Gårdsfogdevägen 16, S-168 66 BROMMA, Sweden.

Tel. +46-8-629 24 00 Fax. +46-8-627 52 20, e-mail: jonasf@thinab.se



Anvendelse:

- ★ Kvalitetskontrol
- ★ Forskning og udvikling
- ★ Analyseudstyr
- ★ Høj -og ultrahøjvakuum

Læksøger på heliumbasis

Hvilke krav stilles der?

- ★ Hurtig
- ★ Nem og entydig betjening
- ★ Oliefri indsugning
- ★ Robust
- ★ Enkelt service
- ★ Prisbillig

Leybold ApS
Roskildevej 342A
2630 Tåstrup
Tlf.: 43996444
Fax: 43996544



Var et jordskælv årsag til eksplosionen i Tjernobyl-atomkraftværket?

Søren Gregersen, Kort & Matrikelstyrelsen

Den 26. april 1986 eksploderede en af reaktorerne på Tjernobyl-atom kraftværket. Den officielle forklaring om, at eksplosionen skyldtes menneskelige fejl under afprøvning af sikkerhedssystemerne, er udfordret af en påstand i en fjernsynsudsendelse for nylig om, at et lille jordskælv 22 sekunder før eksplosionen var årsagen. Inspektionen af seismogrammerne, som viser rystelsen, har overbevist denne forfatter om, at den lille rystelse, der ses på seismogrammerne enten er eksplosionen selv eller et jordskælv så lille, at det kun kan have været den sidste lille dråbe, der fik bægeret til at flyde over, hvis kraftværket var på randen af eksplosion i forvejen.

Den officielle forklaring på Tjernobyl-atomkraftværkets eksplosion var, at nogle sikkerhedsmekanismer var under afprøvning, og nogle af de ansatte blev anklaget og dømt for at være skyld i ulykken. Og siden ulykken har man været særdeles bekymret for sikkerheden på de tilbageværende reaktorer i Tjernobyl og andre steder, og de mulige årsager til eksplosionen og spredningen af radioaktivitet over et enormt område i Europa.

Nogle russiske fysikere, ingeniører og teknikere har på egen hånd fortsat undersøgelserne, idet de ikke tror på den officielle forklaring. Dette har resulteret i videooptagelser, som sidste år blev redigeret til en fjernsynsudsendelse hvori det påstås, at et jordskælv skulle have forårsaget sådanne rystelser, at det dårligt byggede kraftværk var blevet således beskadiget, at eksplosionen skete efter 22 sekunder. Denne fjernsynsudsendelse blev vist i Danmarks Radio i juni 1997, efter konsultation med geologer fra Damarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og med mig. Udsendelsen fik i juni 1998 EUs miljøpris. Det giver anledning til endnu en gang at gøre sig klart, hvad vi ved om eksplosionen og den "forudgående" rystelse, som mange vidner på kraftværket har berettet om.

Den gang i 1986 var der ingen tale om, at eksplosionen var optegnet på seismografer. Men seismograferne var også hemmelige. De var del af et net af seismografer, der skulle overvåge, om de internationale aftaler om prøvestop for atomvåben blev overholdt. Sådanne seismografer har USA og en stor del af den vestlige verden også, men her er disse seismografstationer optaget i de officielle globale stationsliste og udnyttes tillige til videnskabelige formål. På 3 af de den gang hemmelige seismografstationer i nærheden af Tjernobyl er der et signal fra en rystelse i nærheden af kraftværket tæt på det rette tidspunkt. Usikkerheden på lokaliseringen er omkring 10 km i horisontal retning. Dybden af jord-

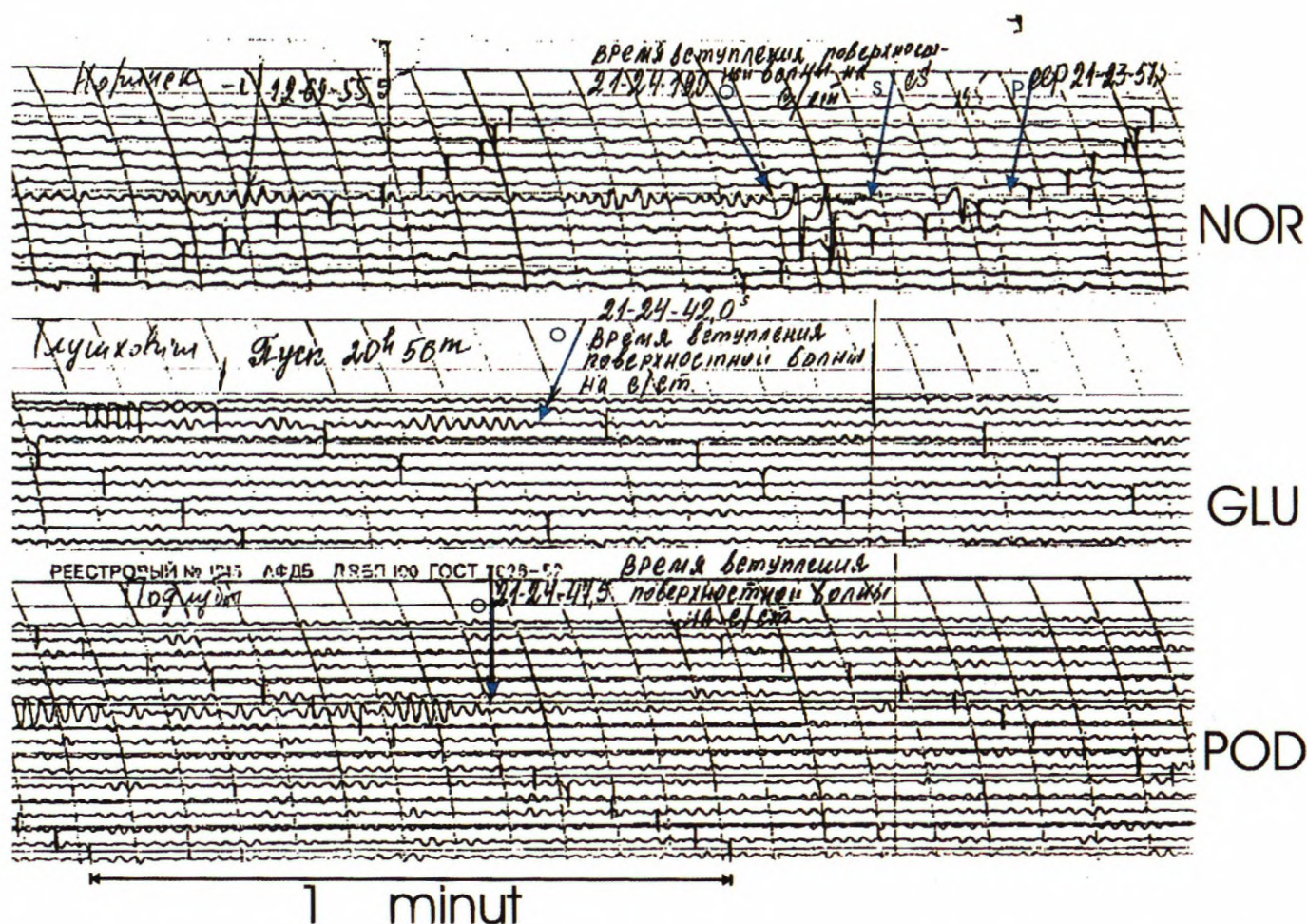
skælvet eller eksplosionen kan ikke beregnes, men det kan siges, at dybden nul km ikke er i uoverensstemmelse med seismogrammerne. Tiden er sådan, at rystelsen skal være sket 22 sekunder før end det tidspunkt, hvor værket eksploderede, ifølge værkets ur i kontrolrummet. Usikkerheden på denne tid er fra seismogrammerne ikke mere end 1-2 sekunder. Men den diskussion, der vil blive stående også i fremtiden, er, hvor nøje seismogrammernes ur og kraftværkets ur var kalibrerede. Det kan siges meget generelt, at alle seismologer ud over hele kloden ved, hvor vigtigt det er, at seismograf-urene er indstillet til en nøjagtighed af 1/10 sekund, sådan at signaler kan sammenlignes fra en seismograf til en anden. Men det forudsætter en kalibrering så tit som en gang i døgnet. Om kraftværkets ur kan man i hvert fald spørge, om det var indstillet med en nøjagtighed bedre end 22 sekunder? Denne forskel i tid på 22 sekunder er meget afgørende for troen på, at der skete et jordskælv.

Interpretationen af seismogrammerne, der er vist i Figur 1, er ikke indlysende. På det ene seismogram kan netop skelnes en svag P-bølge, en lidt tydeligere S-bølge og et efterfølgende længerevarende bølgetog. Dette bølgetog er det eneste, der kan skelnes på de 2 andre seismogrammer. Interpreterer man de 3 bølgetog som den samme overfladebølge, fra een og samme kilde, finder man den ovenfor omtalte lokalisering inden for 10 km af kraftværket. Ved interpretationen er man afhængig af, hvad de russiske teknikere, der passede seismograferne har noteret om tid, sted og forstørring for hvert seismogram. Med de forstørringer, som de russiske teknikere fortæller os, vil størrelsen af jordskælvet være omkring 2 på Richterskalaen. Når sådanne jordskælv optræder i den danske undergrund 5-10 km nede i jorden bemærkes det ikke af nogen mennesker. Kun seismograferne opdager det. Jordskælvet skal være helt oppe i overfladen for at være mærkbart, og selv da vil største effekt være en rystelse som en lastbil eller et tog, der passerer.

Vi kan naturligvis begynde at tvivle om forstørringen er rigtig, og altså om jordskælvet kunne være større. Man kan sige at det da godt kan være at jordskælvet var 1/2-1 enhed større på Richterskalaen. Men det kan ikke være meget. Ud fra erfaringen må man regne med, at jordskælvet var blevet observeret på finske, norske eller svenske array-seismografer med mange sensorer, hvis det havde været større end 3 på Richterskalaen.

Rystelsen var altså meget lille.

Hvad vi også kan spørge om er, om vi da ikke kan



Figur 1. Udsnit af seismogrammer fra tre forskellige seismografstationer, benævnt NOR, GLU og POD. Seismogrammerne læses fra højre mod venstre. Hvert minut er afsat et tidsmærke, markeringen af hvilke er afhængig af håndskrevne notater. Med blå pile er vist de aflæste signaler (P-, S- og overfladebølger), der kan interpreteres som stammende fra en og samme rystelse ca. 100 km fra seismograferne.

skelne i seismogrammerne, om der er et jordskælv og en efterfølgende eksplosion, eller blot en eksplosion. Alle kan se en ekstra gang på seismogrammerne. Jeg synes ikke man kan skelne et andet signal, efter at det første er begyndt.

Hvor stort et signal skulle man så forvente fra Tjernobyl-reaktorens eksplosion? Ja man ved det nok ikke, fordi det er afhængigt af de lokale geologiske (og tekniske) forhold. Det er en erfaring, at den lokale kobling til jorden af en eksplosion er meget varierende fra sted til sted. Og egentlig ved vi heller ikke, hvor meget energi, der blev frigjort som eksplosion. Fra den danske undergrund har vi erfaret, at 200 kg TNT under vand giver et netop skelneligt signal på seismografer 100-200 km fra eksplosionen. Var denne eksplosion meget større? Og koblede den dårligere til undergrunden? Vi kan ikke herud fra skelne, om signalerne på de 3 seismografer kan stamme fra Tjernobyl-atomkraftværkets eksplosion.

Alt står og falder med 2 ures tidsindstillinger med en nøjagtighed bedre end 22 sekunder. Jeg foreslår, at

det signal vi ser på seismograferne stammer fra eksplosionen selv, idet jeg også tager i betragtning, at det vil være mærkeligt, at et lille jordskælv ødelægger den ene reaktorbygning og ikke beskadiger de andre.

Lad det være sagt med eller uden pointering, at disse argumenter naturligvis ikke kan bruges til at frikende dårligt byggede "sovjetiske" atomkraftværker fra at være yderst farlige.



Søren Gregersen er statsseismolog, dr.scient., og ansat ved Kort- og Matrikelstyrelsen.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Fællesmøde med Videnskabernes Selskab

Dansk Fysisk Selskabs medlemmer inviteres til et fællesmøde med Videnskabernes Selskab, **torsdag den 19. november kl. 19.15** i Selskabets gamle mødesal, H.C.Andersens Blvd. 35, 1.sal, København.

Anledningen til mødet er halvtredsåret for udgivelsen af Niels Bohrs afhandling om 'Penetration of Atomic Particles through Matter' i Selskabets Matematisk-Fysiske Meddelelser (bind 18, nr. 8, 1948). Afhandlingen sammenfatter Bohrs tanker og erfaringer inden for et emneområde, der interesserede ham gennem hele hans professionelle liv. Historien om afhandlingens tilblivelse under anden verdenskrig er usædvanlig i sig selv, og dens indflydelse på et halvt århundredes forskning inden for atomare kollisioner, strålings- og materialefysik kan næppe overvurderes.

Ved fællesmødet vil afhandlingens tilblivelse og indflydelse blive beskrevet i tre indlæg ved

Jens Thorsen, Luxembourg: The penetration of charged particles through matter 1912-1948

Preben Hvelplund, Aarhus: Influence on research in experimental ion-atom collisions and particle penetration phenomena

Peter Sigmund, Odense: Particle stopping and radiation effects

Mødet afsluttes med en let anretning i den nye mødesal. Tilmelding sker ved henvendelse til Jørgen Maes, Videnskabernes Selskab, på email jm@royalacademy.dk senest den 16. november 1998.

Er der nogen grund til at undervise i fysik?

Dansk Fysisk Selskabs sektion for Uddannelse og Undervisning indbyder til konferencen "Er der nogen grund til at undervise i fysik?" **den 12.-13. november 1998** på Kursus- og Conferencecenter, Byggecentrum i Middelfart.

Konferencens overordnede formål er at samle fysiklærere fra alle undervisningsniveauer til diskussion af emner af fælles interesse.

Drøftelserne på konferencen vil samle sig om temaerne:

Hvilke almene kvalifikationer ønsker vi, at vore elever/studerende opnår gennem fysikundervisningen?

Hvilket dannelsesideale ligger bag udformningen af mål og indhold i fysikundervisningen?

Kan undervisningen give vore elever/studerende forståelse af naturvidenskaben som en del af vores kultur?

På konferencen vil fagkonsulenterne fra gymnasiet og folkeskolen give deres bud på baggrunden for beskrivelsen af fysikfaget i gymnasie og folkeskole, som den fremstår i dag, samt give begrundelser for

fagets placering og rolle i skolen. En række undersøgelser over unges livsstrategier og opfattelse af fysikundervisningen vil blive fremlagt. Endelig bliver uddannelsen af vordende fysikundervisere sat til debat. Det skal bl.a. drøftes, hvorledes uddannelsen tilrettelægges med henblik på, at de bedst muligt kan opfylde intentionerne med skolens fysikundervisning.

Prisen for konferencen, der starter torsdag kl. 14 og slutter fredag efter frokost er 1.075 kr.

Detaljeret program for konferencen kan fås ved henvendelse til Erik Both, Institut for Fysik, bygn. 307, DTU, 2800 Lyngby, tlf 45 25 31 51, e-mail both@fysik.dtu.dk.

Årsmødet 1998

Over 300 fysikere deltog Dansk Fysisk Selskab på Hotel Nyborg Strand i juni. Udover mange danske fysikere var der deltagere fra de øvrige nordiske lande samt de tre baltiske lande. Sammen med Dansk Fysisk Selskabs årsmøde afholdtes det årligt astronomimøde, et synkrotronmøde (Dansync) samt årsmøde i Dansk Geofysisk Forening og Netværk for Kvinder i Fysik. Endelig afholdtes en nordisk- baltisk workshop om scanning probe mikroskopi sammen med årsmødet.

Årsmødet indeholdt både plenarforedrag af almen fysisk interesse samt en række parallelsessioner med mere specielle emner. I alt blev der holdt 75 foredrag under hele årsmødet, mens 150 forskningsprojekter blev præsenteret i en stor posterudstilling.

På trods af den store tilslutning havde Dansk Fysisk Selskab haft en meget vanskelig opgave med at arrangere sit årsmøde i år på grund af de drastiske nedskæringerne i forskningsrådenes midler. Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd havde således ikke råd til at støtte videnskabelige kongresser i Danmark i 1998, og derfor måtte DFS anmode en række forskergrupper om at hjælpe med rejsepenge til de inviterede udenlandske foredragsholdere. På denne måde lykkedes derfor at sammensætte det omfattende program, ligesom DFS også kunne støtte over 40 studerendes deltagelse i årsmødet, ikke mindst takket være støtte fra en række firmaer.

Ny bestyrelse

Bestyrelsen for DFS har også konstitueret sig i forbindelse med: Jens Olaf Pepke Pedersen fra Center for Jordens Klima og Biogeokemiske Kredsløb har afløst Preben Alstrøm som formand og Dorthé Posselt, RUC, er valgt som ny næstformand. Som ny kasserer har Nis Bjerre, Aarhus Universitet, afløst Allan Sørensen. Preben Alstrøm fortsætter som formand for sektionen for Faststoffysik og dermed som medlem

af DFS's bestyrelse, som desuden består af Ole G. Mouritsen og Karsten W. Jacobsen, begge DTU, Peter Bodin fra NKT Research Center samt Poul V. Thomsen, Aarhus Universitet, der er formand for sektionen for Uddannelse og Undervisning.

DFS's generalforsamling blev afholdt under årsmødet. Den nyvalgte kasserer Nis Bjerre fremlagde regnskabet for 1997, der viser et lille underskud på 2.300 kr. Årsregnskabet og status pr. 31. december 1997 er gengivet på henholdsvis side 28 og 29 i dette nummer af Kvant.

Årsmødet 1999

Næste årsmødet afholdes den 3. og 4. juni 1999 på Hotel Nyborg Strand. En stor spørgeskemaundersøgelse har vist, at der er generel tilfredshed med arrangementet, men også at nogle af medlemmerne ønsker mere generelle foredrag, som f.eks. opsummerer årets arbejde i dansk fysik eller kommenterer fysikkens udvikling og vilkår i Danmark. Flere udtrykte også ønske om at DFS prøver at tiltrække deltagere fra bl.a. gymnasierne. Som et skridt i denne retning har Sektionen for Uddannelse og Undervisning besluttet at deltage i årsmødet 1999 med deres egen session.

DFS modtager gerne flere kommentarer til årsmødet. Årsmødeprogrammet fastlægges af DFS's sektioner, og man kan sende forslag til foredragsholdere til Preben Alstrøm, alstrom@cats.nbi.dk, (faststoffysik) og Jens Olaf Pepke Pedersen, jopp@dcass.ku.dk, (atomfysik og andre emner).

Netværket for Kvinder i Fysik (KIF) - nu også for mænd

KIF har fået nye vedtægter. En nyskabelse er, at mænd nu også har mulighed for at blive medlemmer af KIF, dog kun som støttemedlemmer. De nye vedtægter (og meget andet) kan ses på adressen www.nbi.dk/kif. Bestyrelsen for KIF består af Anja C. Andersen (formand), anja@astro.ku.dk, Eva Danielsen (næstformand), Liv Hornekaer, Maryanne Kmit, Susan Larsen, Christine Papadakis, Dorthe Posselt, Mia Stampe og Henriette Understrup.

International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP)

De nationale og internationale aktiviteter i IUPAP foregår i DFS's regi, og Danmark er for tiden repræsenteret i fem af IUPAP's udvalg. Det er John Hertz, Nordita, der er medlem af udvalget for statistisk fysik, Kurt N. Clausen, Risø, der er medlem af udvalget for magnetisme, Jakob Bohr, DTU, der er medlem af ud-

valget for struktur og dynamik af faste stoffer, Ole G. Mouritsen, DTU, der er medlem af udvalget for beregningsmæssige studier af fysikken, samt Gunnar Rasmussen, G.R.A.S., der er næstformand i udvalget for akustik.

IUPAP's generalforsamling afholdes hvert tredje år, næste gang i Atlanta i marts 1999, og DFS har her indstillet Kurt N. Clausen, Jakob Bohr og Ole G. Mouritsen til genvalg. John Hertz kan efter to perioder ikke genvælges og i stedet har DFS indstillet Hans Fogedby, Aarhus Universitet, som nyt medlem af udvalgt for statistisk fysik. Udvalget for akustik ændrer status og bliver fremover et associeret udvalg, og DFS kan derfor ikke længere indstille medlemmer hertil.

European Physical Society (EPS)



Preben Alstrøm (tv) og Piret Kuusk.

DFS's tidligere formand Preben Alstrøm har været initiativtager til dannelsen af en ny division i EPS, nemlig en division om statistisk og ikke-lineær fysik. Forslaget om den nye division blev vedtaget på et "council" møde i EPS i Leiden den 27.-28. marts, dog ikke uden modstand, idet flere council-medlemmer mente, at emnet allerede var dækket af flere af de andre divisioner. Men det lykkedes Preben at overbevise forsamlingen og den nye division blev oprettet. Det svenske fysiske selskab har i den anledning i deres medlemssblad "Fysik-Aktuellt" bragt ovenstående billede af den bredt smilende Preben Alstrøm (til venstre), der lykønskes af formanden for det fysiske selskab i Estland, Piret Kuusk. Kvant ønsker også tillykke.

Ny web-master

Michael Linden-Vørnle, mykal@dsri.dk, Dansk Rumforskningsinstitut, er ny web-master for DFS. DFS kan findes på adressen www.nbi.dk/dfs.

Melles Griot makes OPTICS, OPTO-MECHANICS, LASERS, INSTRUMENTS, and FIBER OPTICS



Contact Melles Griot for a fast response to your photonics needs. Our vast product selection described in our detailed product literature will provide solutions for a successful product or experiment.

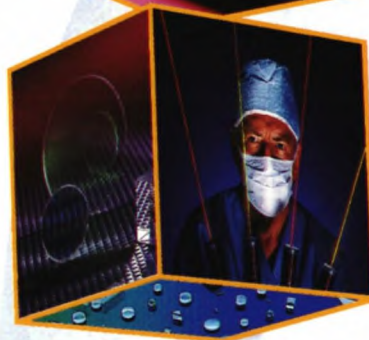
Whether you need a single lens, or thousands of laser assemblies, Melles Griot is ready to deliver. From a single prototype to full-scale production, we can ship to your schedule. Melles Griot has earned a 25 plus year reputation as a quality manufacturer of optics, opto-mechanics, lasers, instruments, and fiber optics.

We have facilities in North America, Europe, and the Asia Pacific staffed with applications engineers ready to fulfill your requirements. You can reach us by phone, FAX, or the INTERNET.

From simple lenses to advanced fiber optics — Melles Griot is your *first choice* in photonics!

**Call, FAX, or E-mail us today
for your photonics solutions!**

Melles Griot Danmark
Stenagervej 13 • DK-4100 Ringsted
Phone: 53 61 50 49 • Fax: 53 61 60 49
E-mail: 101456.567@compuserve.com



■ OPTICS

Beam Expanders
Beamsplitters
Coatings
Custom OEM Optics
Custom Optical Assemblies
Cylindrical Optics
Diode Laser Optics
Filters
Invaritar Lenses
Lenses
Micro Optics
Mirrors
Optical Design Software
Polarizers
Prisms
Shutters & Irises
YAG Lenses

■ OPTO-MECHANICS

Breadboards
Optical Tables & Isolators
Opto-Mechanical Mounts
Positioning Equipment
Workstations

■ LASERS

Diode Lasers & Assemblies
Helium Neon Lasers

■ INSTRUMENTS

Amplifiers
Beam Position Measurement
Beam Profilers
Diode Laser Drivers
Diode Laser Controllers
Optical Spectrum Analyzers
Power & Energy Meters
Power Supplies
Wavefront Analyzers

■ FIBER OPTICS

Reflective Fiber Gratings
Circulators
Isolators
Tree Couplers
Attenuators
Fiber Collimators

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Besøg på Tele Danmarks Telaboratorium

Selskabet for Naturlærens Udbredelse har arrangeret et virksomhedsbesøg på Tele Danmarks Telaboratorium, v/Direktør, professor Ole Mørk Lauridsen. Telaboratoriet tester udstyr og netværkskomponenter og deres kommercielle aktiviteter retter sig primært mod internationale kunder, mens danske kunder tegner sig for ca. 25%. De mange internationale aktiviteter sætter Telaboratoriet istand til at yde teknologisk bistand til Tele Danmarks forsknings- og udviklingsprojekter.



Direktør, professor Ole Mørk Lauridsen, Telaboratoriet.

Arrangementet foregår på adressen Telegade 2 i

Tåstrup den 7. oktober 1998 kl. 17.00. Tilmelding til virksomhedsbesøget gives til UNI-C, Bente Egaa, telefon 35 87 88 04.

Den kemiske revolution i Danmark 1794

Foredraget - med demonstrationsforsøg - holdes på Geologisk Museum den 28. oktober 1998 v/Dr.-techn. Ole Bostrup. Ole Bostrup er forfatter til bogen Dansk Kemi 1770-1807 - den kemiske revolution, der udkom på Teknisk Forlag i 1996 og blev forsvaret som disputats i november 1996.

Desuden afholdes et arrangement den 18. november 1998, hvor emne og foredragsholder ikke er endelig fastlagt.

Opdagelser og teorier i elektromagnetismens historie

Foredrag ved professor Bent Elbek den 9. december 1998.

Forespørgsler angående møderne kan rettes til Bente Egaa, UNI-C, Vermundsgade 5, 2100 København Ø. Tlf. 35 87 88 04. Selskabet minder om, at alle interesserede er velkomne til foredragene. Det er ingen forudsætning, at man er medlem.

Software
Windows
Image acquisition
Image display and data analysis
Control language

Platforme
Explorer
Discover
Aurora
Voyager
Universal

Elektronik
ECU
CPU
Electrochemistry
Networking
Experimenter's tool kit

Hardware
AFM STM MFM LFM EFM SNOM

Åben Arkitektur

TopoMetrix er en af de førende producenter af **Scanning Probe Microscopes** i Silicon Valley, USA. **TopoMetrix** har været på forkant med udviklingen lige siden starten.

Flexibilitet er nøgleordet blandt ingeniørerne hos **TopoMetrix**. Det modulære design gør det muligt for brugeren at tilpasse software og hardware til egne nutidige og fremtidige behov. Dette indebærer en optimal udnyttelse af investeringen.

AFM billede af multilags semi-conductor taget med TopoMetrix Voyager.

Fordele ved SPM: Mulighed for af se prøver ned til atomar størrelse. 3D-forstørrelse. Kan arbejde under vakuum, atmosfærisk tryk og i væsker. Ved SPM kræves der ingen forberedelse af prøverne.

Anvendelses områder: Biologiske undersøgelser under fysiologiske betingelser. Udvikling af mikroelektronik, elektrokemiske undersøgelser af materialer i deres oprindelige miljø. Materialeforskning, hvor der ses på fibre, ultraflade overflader, evaluering af overfladebehandling, etc.

E-mail: dkbuchol@ibmmail.com **Buch & Holm A/S**

Marielundvej 36 - 2730 Herlev ☎ 42 91 75 11 Fax 44 92 31 00

Dansk Fysisk Selskab, Årsregnskab 1997

INDTÆGTER

DFS og EPS kontingenter	135.355,00
Renter bankkonto	3.997,04
Renter girokonto	544,49
INDTÆGTER IALT	139.896,53

UDGIFTER

DFS administration:		
Medhjælp (KU+AU)	18.870,94	
Gebyrer, papir m.v.	2.525,82	
Tyveri af kassebeholdning	563,50	
Repræsentation	<u>605,00</u>	22.565,26
DFS diverse rejseudgifter		20.560,44
KIF mødeudgifter + porto		2.568,75
EPS:		
EPS indiv. medlemskab 1997	13.357,40	
EPS DFS-medlemskab 1997	25.424,44	
Europhysics News distribution	<u>12.000,00</u>	50.781,84
KVANT:		
KVANT 1997 (566 x 75)		42.450,00
DFS Årsmøde incl. KIF:		
Mødeindtægter	331.547,95	
Mødeudgifter	<u>356.695,08</u>	
Mødeunderskud	25.147,13	
Overskud overf. fra 1996	48.777,04	
Overskud overf. til 1998	<u>23.629,91</u>	0,00
USS Middelfart konference m.v.:		
Mødeindtægter	49.072,05	
Mødeudgifter	<u>50.825,55</u>	
Mødeunderskud	1.753,50	
Overskud overf. fra 1996	<u>1.335,10</u>	
Mødeunderskud		418,40
Østeuropa:		
Lith. Phys. Soc. bidrag til EPS-fee	1.831,43	
Latv. Phys. Soc. bidrag til EPS-fee	1.018,15	2.849,58
Rejser for unge fysikere:		
Rejselegat	4.000,00	
Overskud overf. fra 1996	16.289,00	
Overskud overf. til 1998	<u>12.289,00</u>	0,00
UDGIFTER IALT		142.194,27
UNDERSKUD		-2.297,74

139.896,53

Dansk Fysisk Selskab, Status 31. december 1997

AKTIVER

Indestående bank	232.322,33
Indestående giro	113.235,61
Kassebeholdning	0,00
AKTIVER IALT	345.557,94

PASSIVER

Skyldig porto KU (bet. i 98)	1.050,25
Skyldig repræsentation (bet. i 98)	605,00
Skyldige rejseudgifter (bet. i 98)	4.679,25
Skyldig distribution Europhysics News 1996+1997	24.000,00
Årsmøde overskud overført til 1998	23.629,91
Physica Scripta rejsetilskud overført til 1998	12.289,00
Fysisk Tidsskrift mellemregning	4.922,40
KVANT mellemregning (bet. i 98)	42.450,00
PASSIVER IALT	113.625,81

KAPITALKONTO

Saldo pr. 1. januar 1997	234.229,87
Underskud 1997	-2.297,74
KAPITALKONTO IALT	231.932,13
SUM=AKTIVER	345.557,94

27. april 1998



Allan H. Sørensen
Kasserer 1997

Bilag, kontoudtog og regnskab
gennemgået.
Ingen kritiske bemærkninger.
24. maj 1998



Poul Kerff Michelsen
Revisor for DFS

Læs i næste nummer:

Kvant nr. 3 udkommer ca. 15. november og bliver et temanummer om Jordens klima. Studierne af iskerner fra dybdeboringer på Grønland er et fremragende redskab til klimaforskning, og professor Claus Hammer vil afsløre, hvordan disse iskerner fortæller klimaets historie, mens cand.scient. Mia Stampe vil berette om et boreprojekt i 1300 m højde på Verdens nordligste iskappe, Hans Tausen Iskappen i det nordligste Grønland. Forskningslektor Peter Ditlevsen skriver om klimaets fysik og de mekanismer, der styrer vores klima, og forskningsadjunkt Jørgen Bendtsen skriver

om havets cirkulation og dets betydning for klimaet.

Årets sidste nummer (nr. 4) udkommer ca. 15. december og bliver et temanummer om lysfænomener i naturen. Artiklerne vil handle om brydningsfænomener i Jordens atmosfære, regnbuen, nordlys, lyn og torden. Vores opfattelse af disse lysfænomener - og af verden - afhænger af måden vi ser lys på, og derfor vil vi også se på øjets fysik. Blandt forfatterne er Lars Lindberg Christensen, Allan Bro Hansen, Henrik Leth, Anne Værnholt Olsen, Mike van der Poel og Martin Sundstrøm.

Gode tilbud:

Et årsabonnement på KVANT koster 135 kr. Nye abonnenter vil modtage eventuelle tidligere numre af den løbende årgang. Medlemmer af Dansk Fysiks Selskab (DFS) og Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) vil modtage Kvant som medlemsblad.

Unge under uddannelse kan blive ungdomsmedlem af et af de to selskaber og vil da modtage bladet som medlemsblad, dækket af årskontingentet på 75 kr. Det ordinære kontingentet til DFS udgør 325 kr. pr. år (dog 75 kr. for pensionister). Ordinært medlemsskab af SNU koster 150 kr. pr. år.

Indsend denne del af bladet til KVANT, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, og beløbet vil blive opkrævet pr. giro.

Navn: _____
Stilling: _____
Adresse: _____
Postnr. og by: _____
Telefon: _____
E-mail: _____

Jeg ønsker

_____ abonnement på Kvant
_____ medlemsskab af SNU
_____ medlemsskab af DFS

Ved DFS-medlemsskab: Angiv evt. ønske om tilknytning til sektionerne for:

_____ atomfysik
_____ faststoffysik
_____ uddannelse og undervisning
_____ netværk for kvinder i fysik

Jeg er:

_____ under uddannelse
_____ pensionist

Indmeldelse gælder for 1999, men man modtager gratis de resterende udgaver af Kvant i 1998.