

Fra Sputnik....

- til moderne iskortlægning

Af Rasmus T. Tonboe (DMI), Gorm Dybkjær (DMI), Bo Vinther (GFY/KU) og Henrik Hartmann (DMI)

Siden opsendelsen af den første satellit i 1957 er der sket en rivende udvikling inden for anvendelsen af satellitdata. I Danmark har man for eksempel brugt data til meteorologiske analyser på DMI. I de seneste år har kortlægningen af havis-udbredelsen med satellit været et væsentligt bevis på, at vores klima er under forandring.

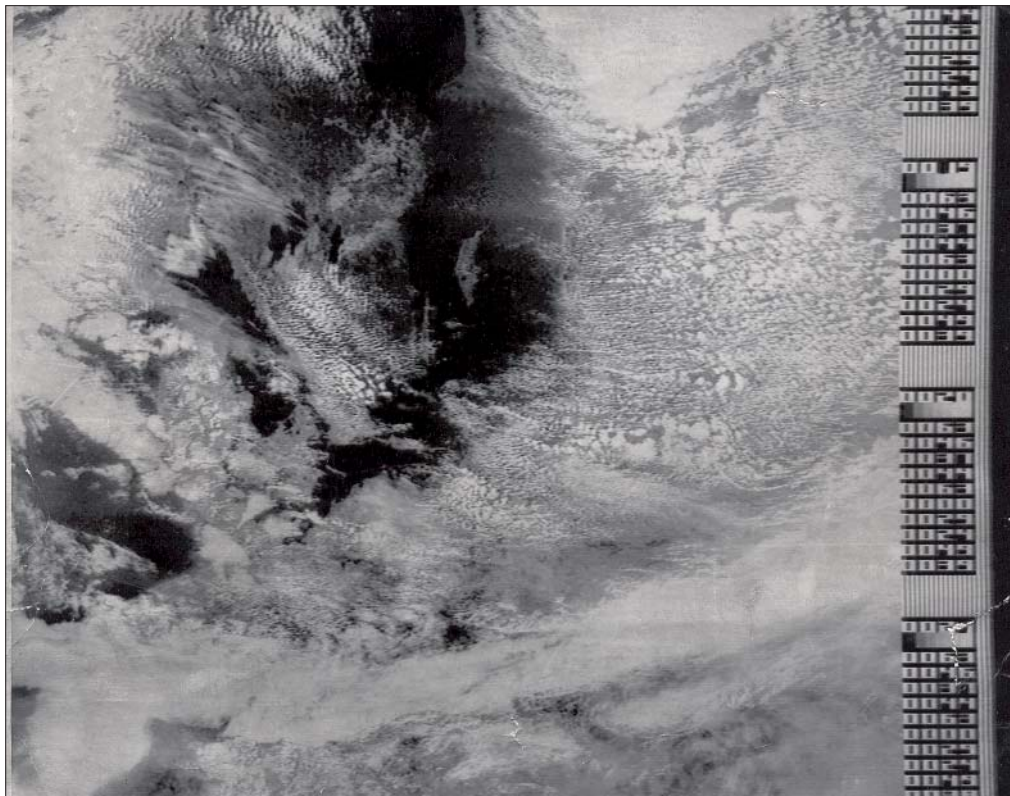
For 50 år siden den 4. oktober 1957 blev Sputnik som den første satellit sendt i kredsløb om Jorden. Satellitten var en del af Sovjetunionens bidrag til det internationale geofysiske år (IGY), og udviklingen var forgået i relativ ubemærkethed som del af et videnskabeligt raket-forskningsprogram.

Sputnik I og II

Amerikanernes ambitioner om at opsende en satellit i forbindelse med IGY var kendt af russerne, og opsendelsen blev derfor fremskyndet til lige før IGY for at sikre sig, at man vandt en væsentlig sejr i rumkapløbet. Dagen efter opsendelsen var der en mindre rapport fra Sovjetunionens nyhedsbureau TASS med tekniske detaljer omkring opsendelsen og satellitten. Det var først, da reaktionen i vesten blev kendt, at den sovjetiske leder Krustjov opfangede signalværdien og straks beordrede endnu en satellit i anledning af 40-års-dagen for revolutionen – kun en måned senere.

Lederen af Sputnik I-programmet Korolev forstod, at han var blevet sat på en næsten umulig opgave, og de planer, der var under udvikling for kommende satellitter, blev lagt til side. Planerne for Sputnik II lå fra nu af kun i hans hoved, og alle i hans gruppe måtte arbejde tæt sammen med ham for at konstruere en satellit på rekordtid. Der var ikke tid til at installere videnskabelige instrumenter, så i stedet blev satellitten konstrueret med plads til hunden Laika. Opsendelsen af Sputnik II lykkedes den 3. november 1957, og russerne førte dermed, 2-0.

Det blev dog amerikanerne, der med Explorer I, 31. januar 1958, blev de første til at sende videnskabelige instrumenter ud i rum-



Her er det lykkedes på Observatoriet for Rumforskning i Rude Skov at afkode en russisk ME-TEOR-2-datastrøm på en passage over Østersøen 12. september 1979. Selv om disse data kun havde videnskabelig interesse, offentliggjorde russerne ingen informationer om satellittens baneparametre eller dataformat, desuden blev satellitten slukket over vestlige lande. Midt i billedet kan man skimte Gotland. (Billede: Henrik Hartmann)

met. Med Explorers Geigertæller opdagede man Van Allen-bælterne. Rumkapløbet satte skub i udviklingen, og der kom hurtigt nye satellitter til kortlægning af Jordens overflade og sky-systemer. Den første TIROS-satellit kom i 1960, og den operationelle ESSA-serie fulgte i 1966.

Jordobservationsdata i Danmark

I Danmark har vi siden 1970'erne anvendt jordobservationsdata til forskellige formål. På Observatoriet for Rumforskning i Rude Skov blev data fra billeddannende jordobservationssatellitter modtaget og processeret. Billederne blev specielt brugt til meteorologiske analyser på Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Observatoriet for Rumforskning blev senere en del af DMI og den grønlandske istjeneste.

Det var fra begyndelsen klart, at satellitbilleder havde et stort potentiale i iskortlæg-

ningen omkring Grønland, som uden disse data næsten er en umulig opgave pga. det store geografiske område og de vanskelige vejrforhold. Iskortlægning er stadig en af de vigtigste operationelle anvendelser af satellitdata. Mens manuel fortolkning af satellitdata stadig spiller en rolle i operationel meteorologi og iskortlægning, anvendes langt de fleste data nu i numeriske modeller.

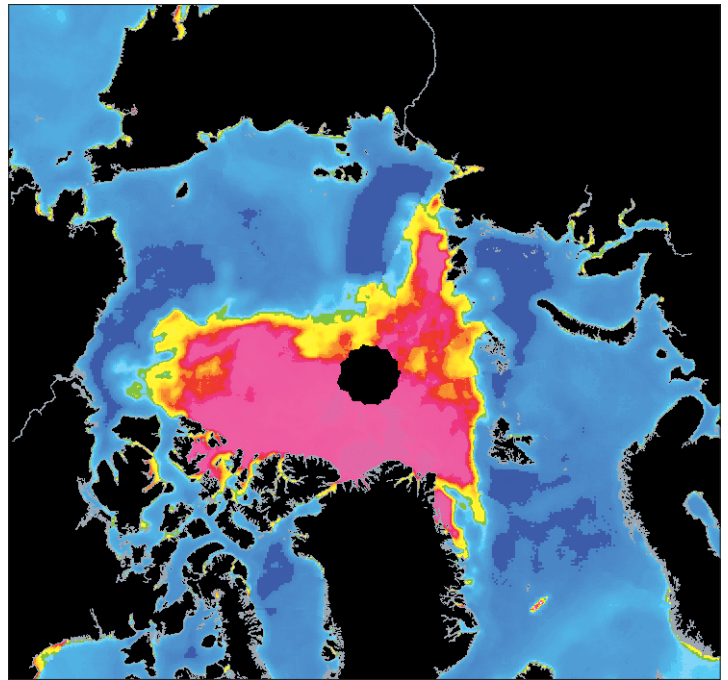
Data-assimilering

De seneste år har såkaldt data-assimilering været et meget dominerende område til at forbedre vejr- og havprognoser. Assimilering er en metode til at inkludere observationer i modeller, sådan at ikke bare den målte parameter bliver korigeret i modelfeltet, men også andre parametre, der afhænger af den målte parameter, bliver korigeret via modellen. Forskelligartede satellitmålinger kan samles i modellen og omsættes til al-

mindelige meteorologiske størrelser, huller i datastrømmen kan lukkes, og man kan simulere ikke målbare parametre.

Assimilering af satellitdata over de sidste 5-10 år har haft stor betydning for vejrmodellernes prognosesikkerhed. Fra 2000 til 2005 steg antallet af assimilerede satellitdatapunkter i ECMWF's vejrmodel fra ca. 500.000 til 5 millioner, samtidigt blev prognosen forbedret med ca. 1 dag sådan forstået, at en 3-dages prognose i 2005 var lige så god som en 2-dages prognose 2000. (ECMWF: European Center for Medium range Weather Forecast: Fælles europæisk vejrmodel-center der kører en global model med "state of the art"-assimilering).

Satellitter har nu kortlagt Jorden tilpas længe til, at man kan bruge dem til klimatiske tidsserier. Den arktiske havis er blevet kortlagt systematisk med mikrobølgeradiometer-satellitter siden 1970'erne. Mikrobølger har den fordel, at de ved bestemte frekvenser gennemtrænger atmosfæren (skyer), og man kan derfor lave en komplet kortlægning af isforholdene i de områder, som satellitten dækker. I slutningen af 1970'erne tog det 3 dage at dække hele Arktis, i dag er der tre satellitter, der hver dækker dagligt. I IPCC-rapporten 2007 er reduktionen i isudbredelsen målt med satellit et af de klare vidnesbyrd om, at der foregår klimatiske ændringer i Arktis.

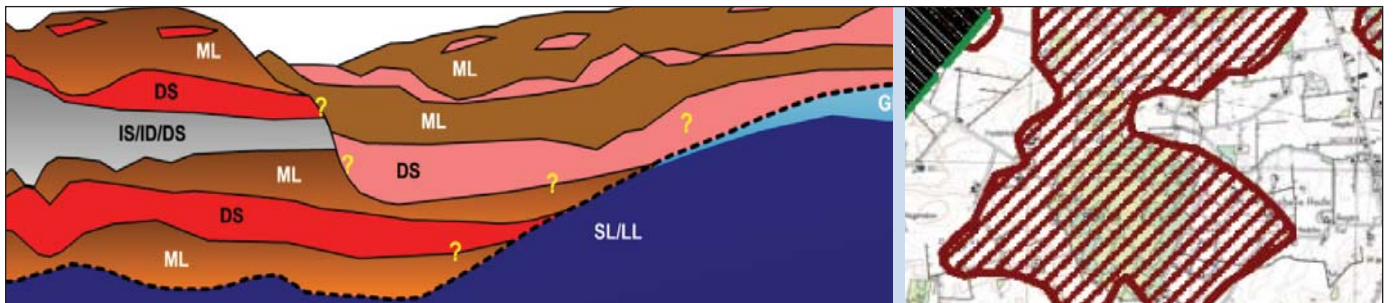


Iskoncentrationen i Arktis kortlagt med SSM/I. (Copyright: www.seaice.dk)

Kortlægning af is

Det første flerkanalradiometer SMMR blev opsendt i 1978 ombord på NIMBUS 7. Det målte både den horisontalt og vertikalt polariserede termiske mikrobølgeudstråling ved flere frekvenser, hvilket gav gode muligheder for iskortlægning. Her benytter man, at

den termiske mikrobølgeudstråling fra åbent hav er stærkt polariseret, det vil sige, at den vertikalt polariserede udstråling er meget større end den horisontalt polariserede udstråling. Over is er polarisationsforskellen meget mindre. Polariseringsforskellen kan derfor bruges til at kortlægge is/åbent vand,



Ingen sårbarhedsvurderinger uden geologi!

Hos Watertech involveres flere fageksperter i opgaveløsningen. Erfaringsmæssigt opnåes herved det bedste resultat.

Vi sammenstiller:

- Geofysiske data
- Boredata
- Topografiske data
- Hydrauliske data
- Geokemiske data

til GIS-baserede geologiske modeller - hvor forståelsen af den geologiske opbygning er i fokus!

Søndergade 53
8000 Århus C
Tlf.: 8732 2020

Algade 52
4000 Roskilde
Tlf.: 8732 2020

watertech.dk



men difference er desuden lineært aftagende med stigende andel af hav dækket med is. Ved at skalere polarisationsforholdet kan man dermed beregne iskoncentrationen fra 0-100 % isdække. Det er grundlæggende et eksempel på det, man kalder en iskoncentrations algoritme.

I gennem 1980'erne blev der udviklet en række forskellige algoritmer, der hver især og på forskellige måder minimerede følsomheden overfor faktorer, der ikke har med iskoncentration at gøre. Atmosfæren er tilnærmelsesvis gennemsnitlig for mikrobølger, men de bliver dog påvirket af skyer og vanddamp, over åbent hav giver den vindskabte overfladeruhed variationer i udstrålingen, og der findes forskellige sneforhold og istyper med forskellig udstråling. Disse faktorer giver små fejl på iskoncentrations-estimatet.

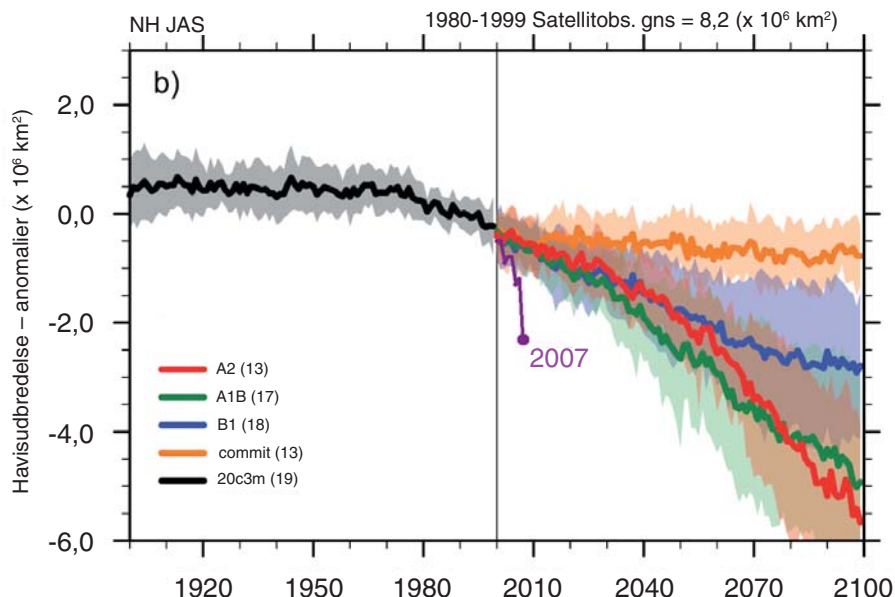
Det er dog ikke kun isen i Arktis, der er under forandring også atmosfærens sammensætning og vindsystemer, sneoverfladetemperaturen, sneforhold og fordelingen af istyper har ændret sig siden 1978. De forskellige iskoncentrations-algoritmers følsomhed overfor disse faktorer er ikke ens. Ved at beregne isareal og isudbredelses-trends med forskellige algoritmer får man faktisk 22 % forskel i den nedadgående trend i areal og 14 % i udbredelse. Det er svært at sige, hvilken algoritme der giver det rigtige svar, for de har alle en variabili-

Mikrobølge-radiometersatellitter til haviskortlægning

Både NIMBUS 5 opsendt i 1972 og NIMBUS 6 opsendt i 1975 havde et enkelt-kanals mikrobølgeradiometer-ESMR ombord. SMMR ombord på NIMBUS 7 i 1978 var det første flerkanalsradiometer. Det scannede en 780 km bane på Jorden under satellitten med en opløsning på 30-70 km afhængigt af kanal-frekvens.

SMMR var operationelt indtil 1987, hvor det første af SSM/I-radiometrene blev opsendt ombord på F-8. SSM/I har en scan-bredde på 1.400 km og en opløsning på 13-50 km. Det sidste SSM/I-instrument blev opsendt i 2000 ombord på F-15, og dets afløser SS-MIS blev opsendt i 2003 med F-16.

I dag er der tre af den type radiometre i omløb nemlig SSM/I, AMSR og SS-MIS. Alle de nævnte instrumenter er konisk scannende radiometre ombord på satellitter i polært kredsløb. Dette giver en særdeles god dækning af arktiske egne. Der findes også andre typer mikrobølgeradiometre rettet mod atmosfærisk kortlægning fx AMSU.



Figuren, der viser den simulerede prognose for isudbredelsen med forskellige klima modeller, er fra IPCC dog med tilføjelse af den lille kurve, der viser den observerede sommerudbredelse (juli-september) fra 2000 til 2007. Observationerne viser en langt mere drastisk reduktion i isudbredelsen, end nogen model har været i stand til at forudsige. (UVH modificeret efter Bo Vinther, figur 10.13b, kapitel 10 fra IPCC AR4WG1)

ter, der ligger over den naturlige iskoncentrations variabilitet. DMI deltager netop nu i et fælles amerikansk-europæisk projekt, der skal analysere mikrobølgeradiometer-tids-serien igen. Undervejs i beregningen bliver der taget højde for de fejlkilder, der påvirker iskoncentrations-estimatet. På den måde kan man angive en usikkerhed på iskoncentrationsbestemmelsen og dermed give et bedre bud på den virkelige isudvikling. Det skal siges, at den usikkerhed, der er på isudbredelsesbestemmelsen, er lille sammenlignet med den faktiske trend.

Med den gradvist længere tidsserie af radiometerdata får vi langsomt et større overblik over klimaets konsekvenser for den Arktiske is. Reduktionen fortsatte i 1990'erne med et areal på størrelse med Danmark om året og accelererede fra 2000 til i dag. Den observerede is-reduktion i dag er væsentligt mere drastisk, end nogen klimamodel har været i stand til at forudsige.

Nyttige links:

<http://saf.met.no/p/quick.html>

<http://www.seaice.dk>

Ordforklaringer

isudbredelsen: arealet af det område, der er afgrænset af iskanten typisk mere end 15 % isdække.

isarealet: arealet af det isdækkede område; i modsætning til isudbredelsen tager isarealet højde for områder, der kun er delvist isdækkede.

polarisation: Udstrålingen fra Jorden er polariseret. De nævnte satellitter har siden 1978 målt udstrålingen i to kanaler ved hver bølgelængde nemlig i samme plan som jordoverfladen (horisontalt) og vinkelret på overfladen (vertikalt).

algoritme: model der omsætter fx satellitmålinger til fysiske størrelser så som iskoncentration.

SMMR: Scanning Multichannel Microwave Radiometer. Det første

flerkanals mikrobølge-radiometer (1978-1987). Amerikansk instrument til måling af vand, is, hav.

SSM/I: Special Sensor Microwave/Imager. Flerkanals mikrobølge-radiometer (1987-) ombord på en serie af amerikanske satellitter til måling af vand, is, hav.

AMSR: Advanced Microwave Scanning Radiometer. Amerikansk flerkanals radiometer (2002-), instrument til måling af vand, is, hav.

AMSU: Advanced Microwave Sounding Unit. Amerikansk radiometer-instrument ombord på en serie af NOAA-satellitter til måling af atmosfærens temperatur og vanddamp-profiler.