

Optikbordsdata fra Galathea 3 København til Antarktis

Frank Bason, SolData Instruments (soldata@soldata.dk)
and Silkeborg Gymnasium (fb@silkeborg-gym.dk)

Indledning

Galathea 3 Ekspeditionen er i skrivende stund kommet to tredjedele af vejen rundt om jorden på sin opdagelsesrejse. Det er måske derfor på tide at beskrive nogle af de indsamlede data fra optikbordet, som vi i samarbejde med Danmarks Fiskeriundersøgelse (DFU) har monteret oven på hydrografilaboratoriet på Vædderen.



Figur 1: Efter at have holdt os parate til udrykning, kom Vædderen omsider til Aarhus Havn den 21. juli 2006, hvor vi fik mulighed for at montere optikbordet og dataloggeren på skibet [1].

Min enkeltmandsvirksomhed, SolData Instruments, råder over betydelige mængder måleinstrumenter, monteringsbjælker, skruer, kabler mm. Desuden har jeg i mange år haft et godt samarbejde med Frederiksen A/S i Ølgod, der fremstiller fysikudstyr til gymnasier og universiteter over hele verden. Da tilbuddet kom fra Dansk Ekspeditionsfond med assistance fra DFU om (for egen regning) at have udstyr med på Galathea 3, var det et enestående tilbud, som man ikke kunne sige nej til.

Optikbordet



Figur 2: *Optikbordet er en aluramme monteret på et stålboard, der er svejset fast ovenpå Vædderens Hydrografilaboratorium. Bordet ligger på skibets bagbordsside nær rælingen. Himmelluminanssonden peger direkte mod bagbord med en elevationsvinkel på 10 grader. (En stor tak til Tommy Nielsen og Lars Kolind for illustrationen. Palmerhalvøen, Antarktis, ses i baggrunden.)*

Dataloggeren, en CR10X fra Cambridge Scientific, giver mulighed for en halv snes analoge indgange samt et antal digitale kanaler. Datalogger, spændingsforsyning, mm. er monteret solidt på en væg i hydrografilaboratoriet og tilsluttet en "Skole PC" med et styreprogram til dataloggeren. Ca. 20 meter kabel forbinder dataloggeren med instrumenterne på optikbordet.

Tabel I giver et overblik over instrumenterne på optikbordet. I opstillingen er der et Kipp-Zonen CM11 pyranometer såvel som 2 stk. SolData 80spc fotovoltaiske pyranometre. De tre anvendes til indbyrdes kontrol, og overensstemmelsen er indtil videre udmærket. Desuden er der instrumenter til måling af illuminans (lux), himmelluminans (candela/m^2), UVB (UV-intensitet), barometrisk tryk (hPa) og radioaktiv baggrundsstråling. Det elektroniske barometer er monteret indendørs nede i laboratoriet, mens alle de øvrige instrumenter er på optikbordet, der står på skibets bagbordsside. Himmelluminansmåleren peger mod bagbord vinkelret ud over skibssiden med en elevationsvinkel på 10 grader. Et PAR (photosynthetically active radiation) instrument (einstein/ m^2) opstillet af andre deltagere er tilsluttet en kanal på CR10X-dataloggeren, og disse data kan også ses i vores database.

Instrument	Måler (enheder)	Sponsor
Kipp-Zonen CM11 pyranometer	Globalstråling på vandret flade W/m^2	SolData Instruments, Silkeborg
SolData 80spc, 2 stk.	Globalstråling på vandret flade W/m^2	SolData Instruments, Silkeborg
UVB sonde	Ultraviolet B-bånd stråling i UVI	Frederiksen A/S, Ølgod
LUX sonde	Illuminans på vandret flade i lux ($lumen/m^2$)	Frederiksen A/S, Ølgod
GM tæller	Baggrundsstråling i tællinger per 10 min.	Frederiksen A/S, Ølgod
Barometer (inde i laboratoriet)	Måler atmosfærisk tryk i hectopascal (hPa)	SolData Instruments, Silkeborg
Himmelluminans sonde	Himlens luminans i candella/ m^2	SolData Instruments, Silkeborg
PAR sonde	Photosynthetically Active Radiation ($einstein/m^2$)	Danmarks Miljøundersøgelser

Tabel I: Kort beskrivelse af instrumenteringen på optikbordet på Vædderen.

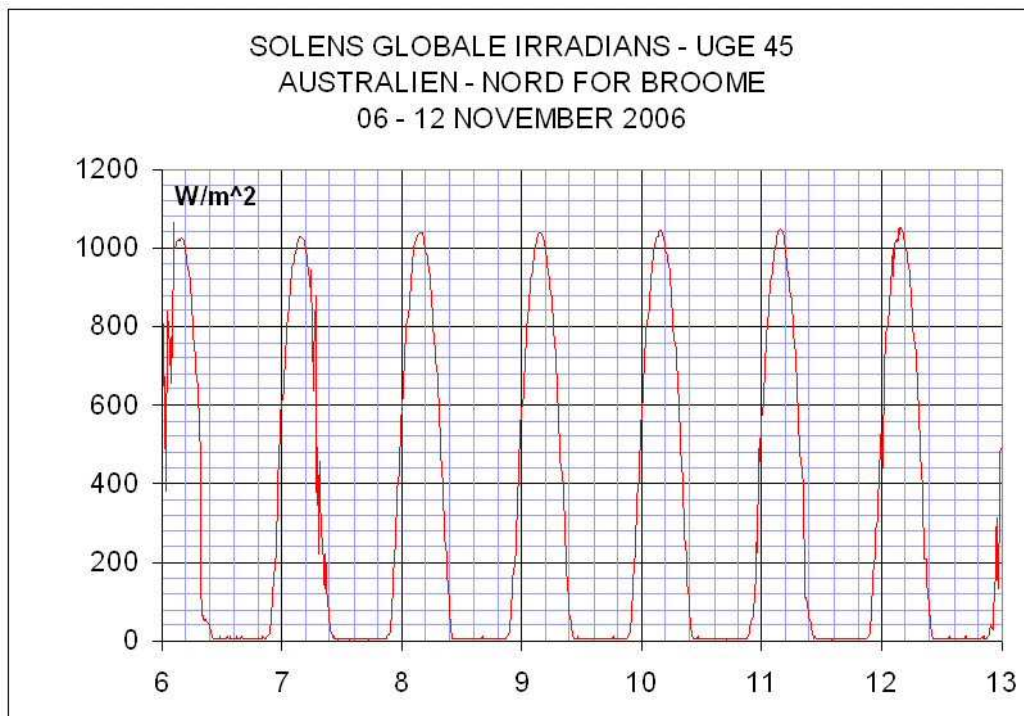
Dataopsamlingen

I lighed med proceduren, der ofte anvendes af DMI, registreres målingernes middelværdier (for GM tællerens pulser dog summen) hvert 10. minut. Data-loggeren danner en appendfil, der siden kan overføres til computeren om bord efter behov. Da skibet har en satellitopkobling til internettet, kan data overføres regelmæssigt til videre analyse. Vi har valgt at anvende data fra mandag kl. 0:00 til søndag kl. 24:00 UTC (universal time coordinated) også kaldet GMT (Greenwich Mean Time) eller zulu (luftfartssprog). Alt andet vil være meget besværligt, da skibet hele tiden skifter position og dermed tidzone. Appendfilen sendes vedhæftet af DFU's tekniker om bord på skibet i en e-mail til mig normalt hver mandag, når kommunikationsforbindelsen er i orden. Trods lejlighedsvis afbrydelser har vi indtil nu (januar 2007) modtaget data for hver eneste dag under sejladserne.

Instrumenterne var blevet kalibreret og testet sammen med dataloggeren i maj-juni 2006 hos SolData. Ugevisse datablokke overføres til Excel regneark med passende kalibreringsformler og omregninger, således at grafer og tabeller med de korrekte fysiske enheder hurtigt kommer frem, når først man har fat i de ugevisse rådata. Det er disse bearbejdede data, der vises i det følgende.

Alle inklusiv VEJRET's læsere har fri adgang til såvel PowerPoint filer med kommenterede data som Excel filer med de oprindelige data fra skibet samt grafik. De findes på hjemmesiden: www.soldata.dk klik på linket "Data week by week". Man skal vente nogle sekunder, mens filerne hentes fra databasen, hvor ventetiden afhænger naturligvis af internetforbindelsens hastighed.

Solens globalstråling



Figur 3: Vædderens rejse har budt på enestående gode betingelser for målinger af solens globalstråling (direkt plus diffust solindfald). Disse målinger stammer fra ét af de to SolData 80spc pyranometre, der jævnligt kontrolleres mod optikbordets Kipp-Zonen CM11 pyranometer.

Det har været interessant at notere sig, at der kun sjældent har været perioder med overskyethed. Mange dage har været "perfekte" altså klare dage, hvor solen har skinnet det mest af tiden fra morgen til aften. Figur 3 viser et eksempel herpå fra Australiens nordvestlige kyst nær byen Broome. Data fra optikbordet på Vædderen har givet klardagsindstråling på vandret fra et meget stort geografisk område under mange forskellige atmosfæriske forhold.

Gode, klare dage giver gode muligheder for at afprøve strålingsmodeller, der søger at forudsige globalstrålingen på en vandret flade som funktion af tiden dagen igennem. Viden herom er vigtig i forbindelse med design af anlæg, der udnytter solenergi, i landbrugsplanlægning, i beregninger af havets optag af CO_2 samt i analyser af den globale temperaturudvikling. Det første led i følgende formel tager hensyn til solens direkte indstråling, og det andet led I_F svarer til den diffuse stråling fra himlen og skyer.

$$I_G = I_0 F_J a^L \sin(V) + I_F$$

Læg mærke til, at leddet for den direkte indstråling indeholder solarkonstanten $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ multipliceret med tre faktorer:

- 1) F_J tager hensyn til, at jord-sol afstanden varierer i løbet af året. Solen er nærmest jorden omkring den 3. januar. (Dette er medvirkende til, at vintre i den nordlige halvkugle er noget mildere end vintre i lokaliteter på den sydlige halvkugle med tilsvarende breddegradstal.) Nedenstå-

ende formel giver et godt skøn af F_J , hvor "dag" er dages fortløbende numre i løbet af året. Dagnumrene kan findes i en Almanak [2] eller kalender.

$$F_J = 1 + 0,033 \cdot \cos[360 \cdot (\text{dag} - 3) / 365]$$

- 2) Faktoren a^L tager hensyn til den direkte solstrålings attenuation (absorption plus spredning) gennem atmosfæren, idet L er luftmassen (antal atmosfærelag), som de direkte stråler passerer [3].
- 3) Endelig tager faktoren $\sin(V)$ hensyn til geometrien, når solens elevationsvinkel over horisonten er lig med V . Elevationsvinklen kan til enhver tid beregnes, når man har kendskab til breddegradstallet B , jordens deklinationsvinkel D og klokkeslættet. Ligninger til dette formål findes blandt andet i *Skrive- og rejsekalender* [2, side 43].

Luftmassen L , som strålingen passerer, hænger naturligvis sammen med elevationsvinklen V . For vinkler $V > 25^\circ$ kan man ved hjælp af simpel geometri overbevise sig selv om, at luftmassen $L = 1/\sin(V)$, idet man da kan regne med, at atmosfæren er et fladt, tyndt lag uden væsentlig krumning. For eksempel er $V = 30^\circ$ bliver $L = 1/(\sin 30^\circ) = 2$ luftmasser. For vinkler V under 25° er man dog nødt til at tage hensyn til jordens krumning, temperaturgradienter i atmosfæren, mm., idet sammenhængen mellem luftmassen og elevationsvinklen bliver mere kompleks. Fritz Kasten og senere Andrew Young har udviklet en god, praktisk formel, der er velegnet til brug for de mindre elevationsvinkler [4]:

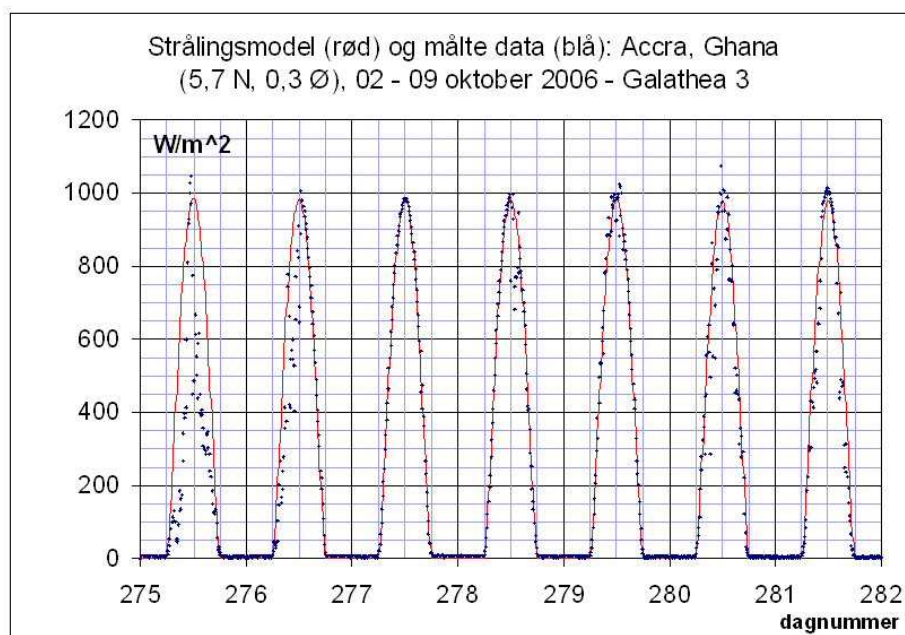
$$L = \frac{1,002432 \sin^2 V + 0,148386 \sin V + 0,0096467}{\sin^3 V + 0,149864 \sin^2 V + 0,0102963 \sin V + 0,000303978}$$

Youngs formel gælder ikke kun for små vinkler; den passer også fint for vinkler helt op til 90° , idet ovenstående udtryk faktisk er meget tæt på $1/\sin(V)$ for vinkler over 25° . For eksempel, hvis man indsætter $V = 90^\circ$ i ligningen, giver den da også $L = 1$, som den skal for solen i zenit. Youngs formel er anvendt i beregningerne, der følger her.

Til det første led (direkte indstråling) skal lægges I_F , der svarer til den diffuse stråling fra himlen og skyer. Der er naturligvis en sammenhæng mellem attenuationen af den direkte stråling og størrelsen af det diffuse bidrag, og i strålingsmodellen kan Linkes turbiditetsfaktor anvendes til at skabe denne sammenhæng. Det vil føre for vidt at gå i detaljer med denne sag her. Vi nøjes med at vise to figurer med data og beregninger.

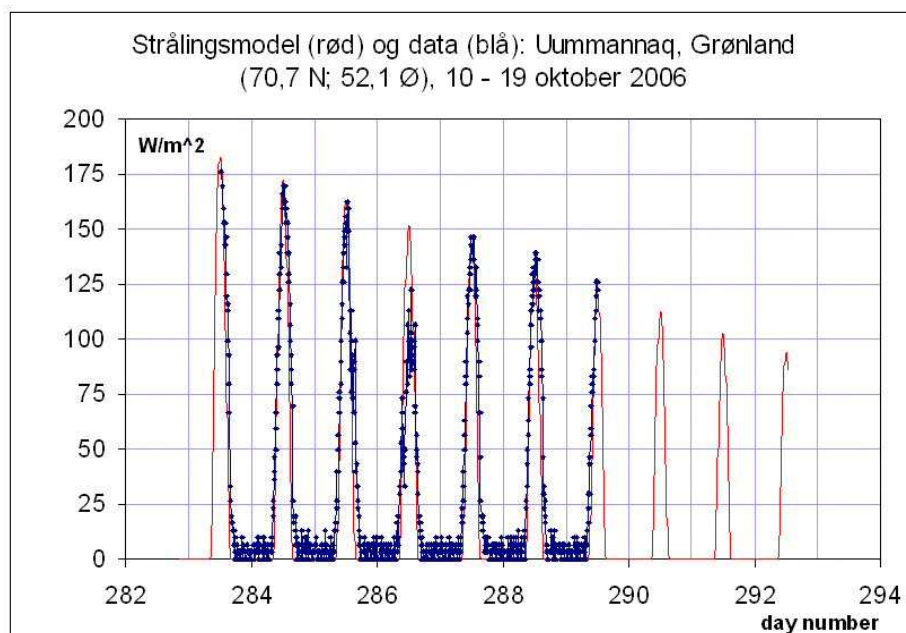
Figur 4 viser data samt modelberegninger fra en række klare dage i Accra, Ghana, optaget af optikbordet på Vædderen. Som indgangsparametre indgår breddegradstal og længdegradstal samt årets dagnummer. Hermed kan tidsaksen bestemmes. Jord-sol afstandsfaktoren følger umiddelbart af dagnummet. Deklinationsvinklen er bestemt af tidspunktet på året, og hermed kan solens elevationsvinkel bestemmes time for time, hver dag. Når elevationsvinklen er kendt, kan luftmassen L beregnes med Youngs formel. Eneste "justérbare" parameter er attenuationen a . Det har vist sig, at den attenuationsfaktor, der passer bedst til de målte data i de tropiske områder, har ligget i området 0,6 til 0,8. I arktiske områder, hvor der som regel er mindre dis og

færre atmosfæriske aerosoler, ligger attenuationen a , der passer bedst til observationerne, omkring 0,8 til 0,9.



Figur 4: Hermed vises data fra optikbordet på Galathea 3 (de blå prikker), der sammenholdes med en strålingsmodel for solens klardagsstråling. Himmelluminansen (ca. 10^0 over horisonten) måles også på optikbordet, og i Accra er den målt til omkring 3500 candela/m² midt på dagen.

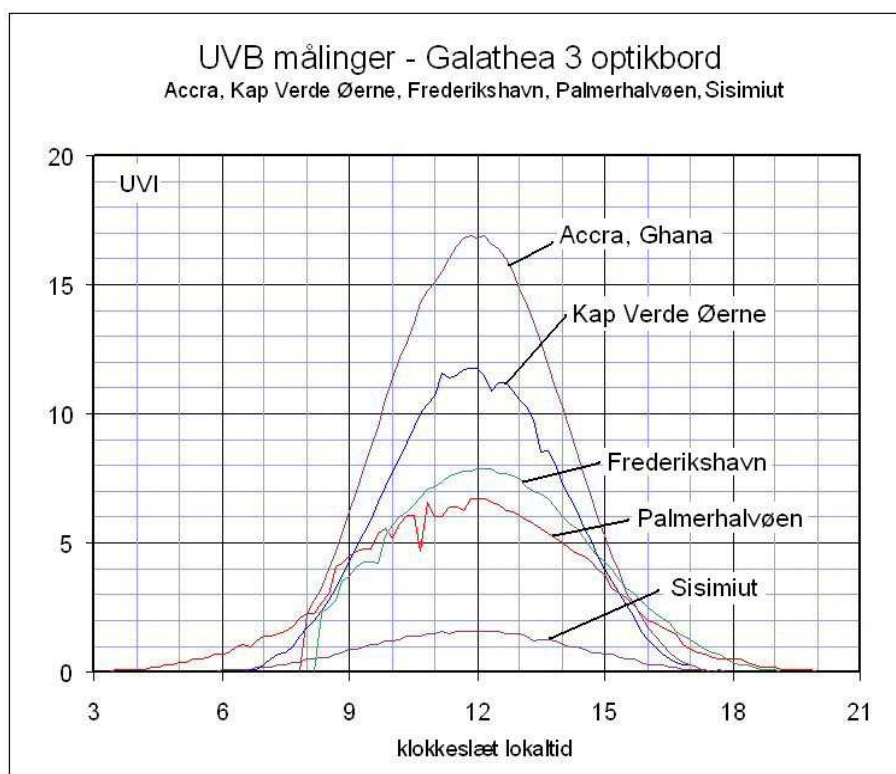
Samme model er anvendt til sammenligning med data fra Uummannaq i Grønland en uge senere, og med valget af en attenuation a svarende til klare dage fås en god overensstemmelse af teori og observationerne [5].



Figur 5: Strålingsmodellen, der blev udviklet på grundlag af data fra Galathea, afprøves her med data fra Uummannaq optaget med samme type pyranometer. Læg mærke til, hvordan indstrålingen falder dag for dag, idet den evige nat indtræffer kun få uger senere. (Væddere sejlede ikke så langt nordpå.)

UVB stråling

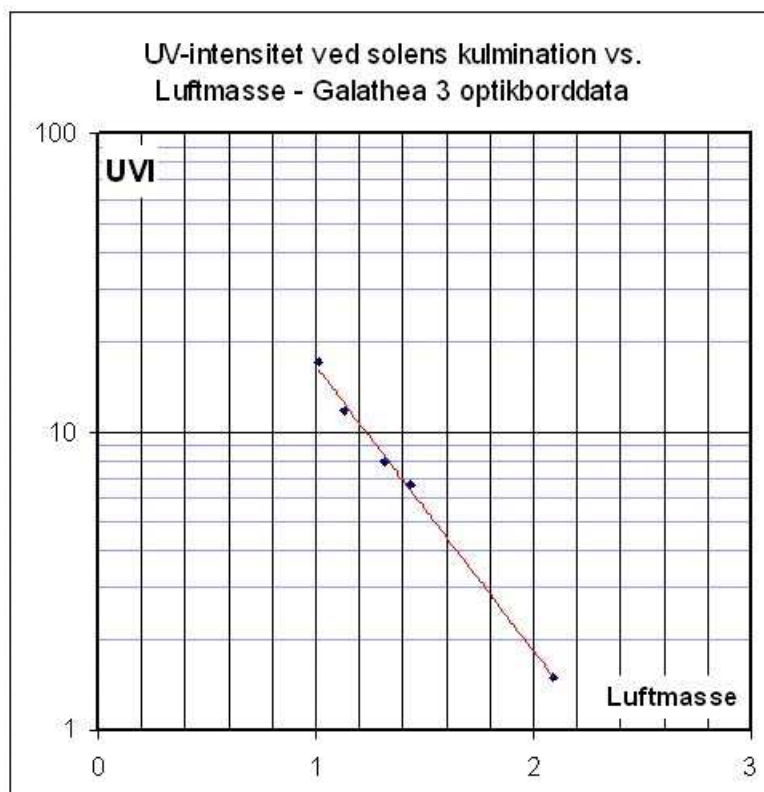
Variationen i solens ultraviolette stråler med solens elevationsvinkel er meget større end globalstrålingen, idet de korte bølgelængder (280-315 nm) spredtes kraftigt af Rayleigh-spredning. Figur 6 viser udvalgte data for 5 forskellige lokaliteter under Vædderens rejse. Bemærk, at UV intensiteten (UVI) er på ca. 8 UVI midt på en fin dansk sommerdag. I figur 6 ser vi, at UVB indstrålingen på en vandret flade midt på dagen i Accra, Ghana, der ligger tæt på ækvator, er omtrent dobbelt så stor. Det vil sige, at man kan blive solbrændt eller solskoldet midt på dagen ved dosering i halv så lang tid, som man kan herhjemme. Bemærk, at der også i Antarktis kan blive til en hel del UVB. Skibet lå på et breddegradstal på omkring 62° S ved Palmerhalvøen en antarktisk sommerdag, da disse data blev registreret. Ozonlagstykkelsen var da ca. 260 DU (Dobson units) i området [6].



Figur 6: Hermed en smagsprøve på nogle af optikbordets UVB data. Observationsbetingelserne for disse fem steder fremgår af Tabel II.

Sted	dato+dag		bredde	dekl.	elev.	luftmasse	UVI-max.
Sisimiut	09/09 06	252	$66,9^{\circ}$	$+5,4^{\circ}$	$28,5^{\circ}$	2,096	1,5
Palmer	27/01 07	27	$-64,2^{\circ}$	$-18,5^{\circ}$	$44,3^{\circ}$	1,432	6,6
Frederikshavn	06/08 06	218	$57,4^{\circ}$	$+16,7^{\circ}$	$49,3^{\circ}$	1,319	7,9
Kap Verde Øerne	23/09 06	266	$27,9^{\circ}$	0°	$62,1^{\circ}$	1,132	11,8
Accra, Ghana	04/10 06	277	$5,5^{\circ}$	$-4,3^{\circ}$	$80,2^{\circ}$	1,015	17,0

Tabel II: UVB observationer ved fem forskellige lokaliteter. Dato, dagnummer og breddegradstal er vist samt deklinationen. Disse muliggør beregningen af solens elevationsvinkel ved kulminationen og luftmassen. Desuden ser man UVI-værdien ved solens kulminationstidspunkt.



Figur 7: En foreløbig undersøgelse af UVB-målingerne viser denne eksponentielle sammenhæng mellem UVI-max. og luftmassen, som de direkte stråler passerer. Det bliver interessant at studere en bredere vifte af resultater for den samlede database fra optikbordet.

Det er fristende at lave en hurtig "Langley plot" af resultaterne (figur 7), idet vi hermed ser stort på andre variable end lige luftmassen (solens elevationsvinkel). Grafen ser interessant ud, men det er klart, at en grundig analyse af vores UVB data kræver hensyntagen til Rayleigh-spredning fra luftmolekyler, absorption fra ozon og andre atmosfæriske sporgasser samt fra vanddamp og aerosoler. Denne analyse må vente lidt endnu, men det bliver ganske interessant at se nærmere på sagen, når data foreligger for hele Galathea 3 ekspeditionen, og vi har haft lejlighed til at krydschecke UVB sensoren fra skibet med andre UVB instrumenter.

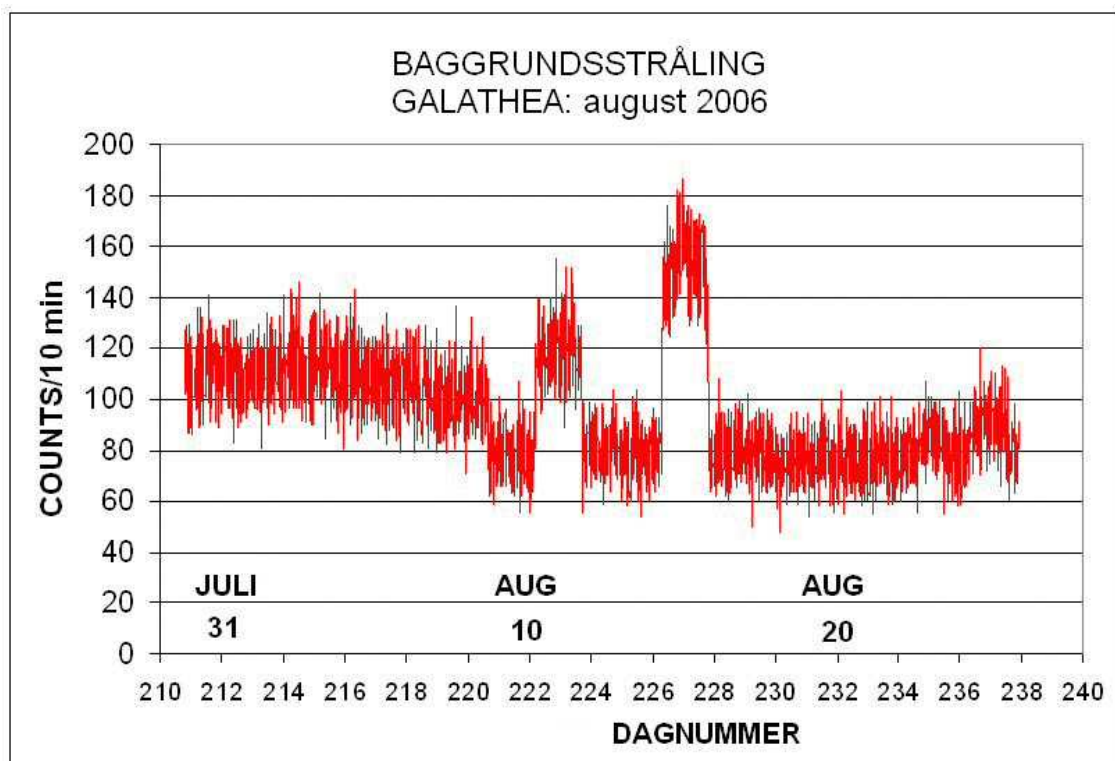
Barometriske trykmålinger og baggrundsstråling

De sidste parametre, der skal beskrives her, er vore målinger af barometrisk tryk og radioaktiv baggrundsstråling. I denne forbindelse var der tre interessante og lidt overraskende resultater, som fortjener kommentarer:

- 1) Den radioaktive baggrundsstråling er nogenlunde konstant, mens skibet er på havet. I havn og nær kyster kan der ske betydelige stigninger.
- 2) Der findes en interessant korrelation mellem det barometriske tryk og den radioaktive baggrundsstråling.
- 3) Der er observeret tegn på globale atmosfæriske tideluftsbølger især i områder under sejladsen mellem jordens to vendekredse.

Baggrundsstrålingen

Figur 8 viser målinger af den radioaktive baggrundsstråling i august 2006, mens skibet lå på værft i Frederikshavn, sejlede over Kattegat til København, lagde til ved Amalie-kajen og siden sejlede videre til Norge.



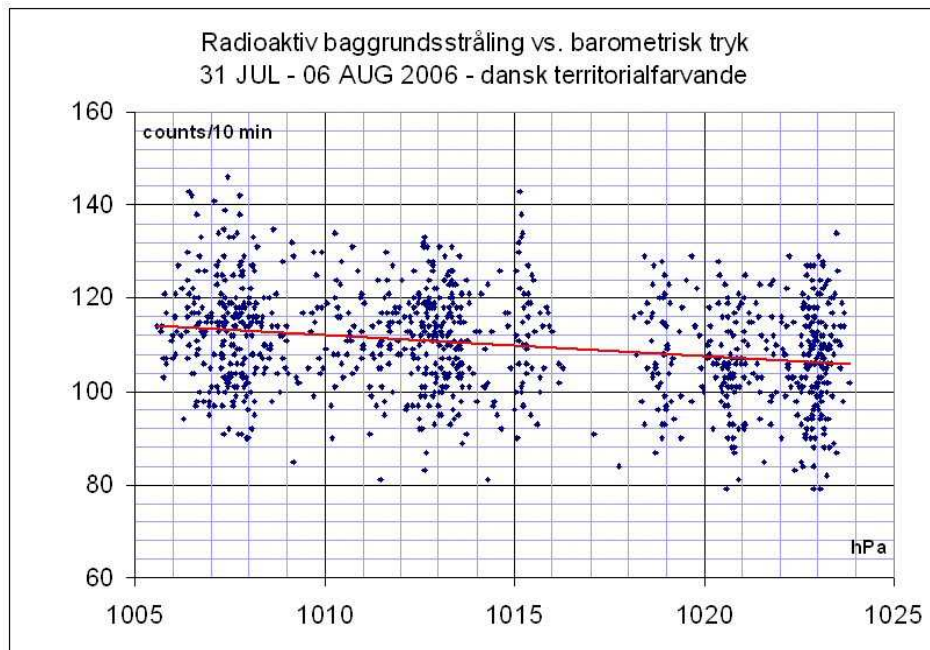
Figur 8: I Frederikshavn lå baggrundsstrålingen på omkring 110 tællinger hvert 10. minut. Under sejlads, da der ikke var bidrag til baggrundsstrålingen fra land, lå værdierne omkring 70-80 per 10. minut. Da skibet lagde til Amalie-kajen, røg tællertallet op på halvanden gange så meget og faldt straks tilbage igen, da skibet sejlede afsted den 11. august. Nogle dage senere målte vi en fordobling af baggrundsstrålingen, mens skibet lå i tørdok i Stavanger.

Forklaringen på observationerne i figur 8 ligger i, at Amalienborg slot er bygget af granit, og der ligger meget granit i slotspladsen og dens omgivelser. Granit indeholder radioaktive isotoper (uran-238 og datterkerner), og udstrålingen fra disse giver sig udslag i den forhøjede baggrundsstråling. Amalienborg slot er bestemt ikke den eneste offentlige bygning med forhøjet baggrundsstråling på grund af byggematerialet granit. Det samme gælder Grand Central Station, den velkendte togstation i New York.

Der var ikke nogen stigning i baggrundsstrålingen at spore, mens skibet sejlede i nærheden af Færøerne omkring den 17.-18. august, mens stigninger i baggrundsstrålingen godt kan spores, da Vædderen sejlede ind i fjordene i det sydligste Grønland sidst på måneden.

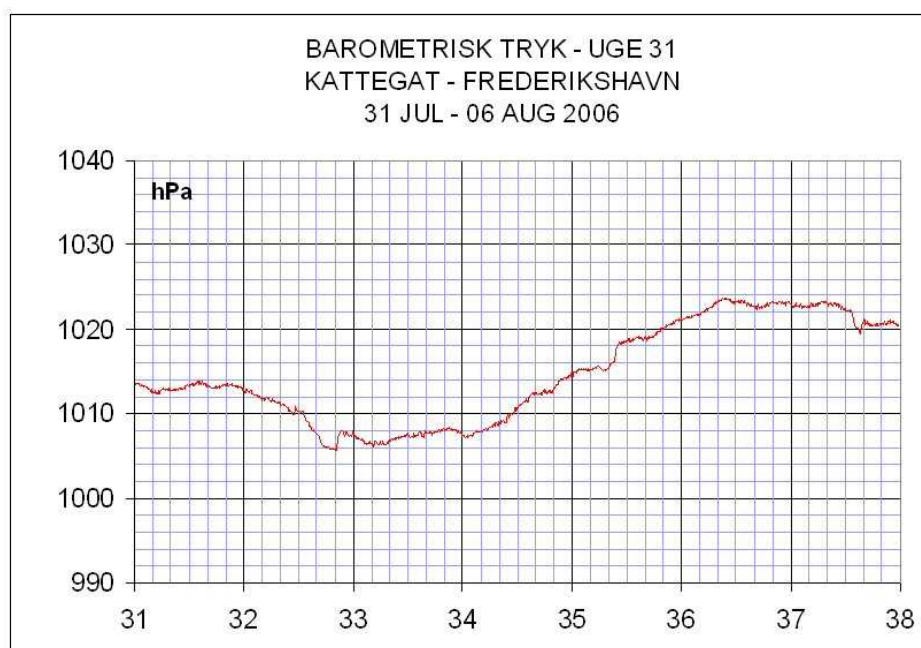
Tryk og baggrundsstrålingen

Figur 9 viser korrelationen mellem baggrundsstrålingen og det atmosfæriske tryk i en periode, hvor Vædderen var på værft i Frederikshavn, således at baggrundsstrålingen fra isotoper i undergrunden var konstant.



Figur 9: I uge 31 lå Vædderen på værft i Frederikshavn, således at bidraget til baggrundsstrålingen fra omgivelserne var konstant. Til gengæld var der en variation i det atmosfæriske tryk. Jo tykkere luftlaget over skibet, jo lavere baggrundsstråling.

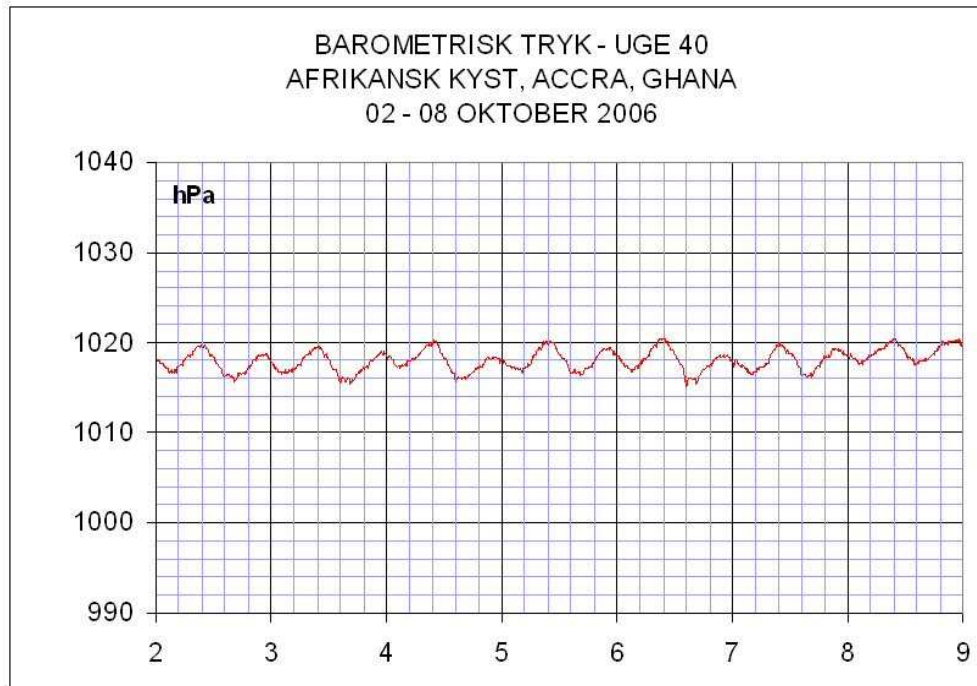
Observationer tilsvarende dem i figur 9 er gjort også i perioder, hvor Vædderen var langt fra land, og den væsentligste årsag til ændringen i baggrundsstrålingen var lufttrykvariationer. Også i litteraturen finder man eksempler på studier, der viser en sammenhæng mellem lufttrykket og den kosmiske baggrundsstråling [7]. Vi har desuden søgt efter en sammenhæng mellem nat og dag, idet bidrag fra solen og det øvrige himmelrum bør være til stede om dagen, mens der i det væsentlige kun forventes bidrag fra himmelrummet om natten. Vi har i første omgang ikke fundet nogle sammehæng. Her er der en opgave for nogle nysgerrige studerende!



Figur 10: Grafen viser den atmosfæriske trykvariation i perioden, der ligger til grund for korrelationen, der er vist i figur 9.

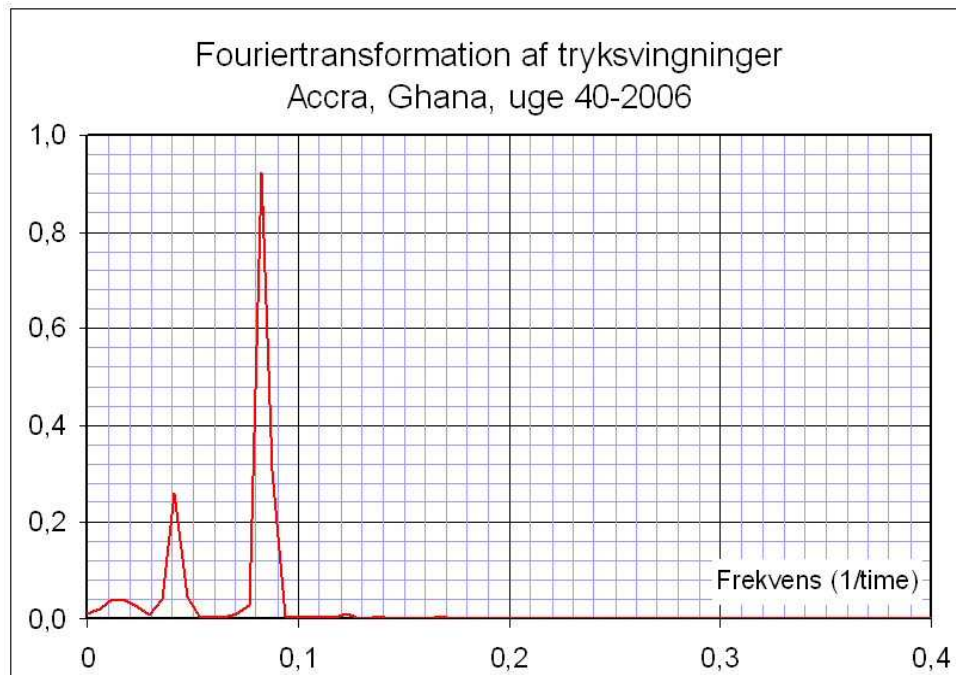
Globale tideluftsbølger

Et andet aspekt af de barometriske trykmålinger, der har givet nogle overraskelser, har været vore observationer af små trykssvingninger med en periode på 12 timer. Disse ses tydeligt i figur 11 optaget ved ækvator. I første omgang mistænkte vi instrumentfejl, trykændringer på grund af lokale temperaturudsving eller landbrise og søbrise i kystområder. Alle disse hypoteser viste sig at være forkerte!



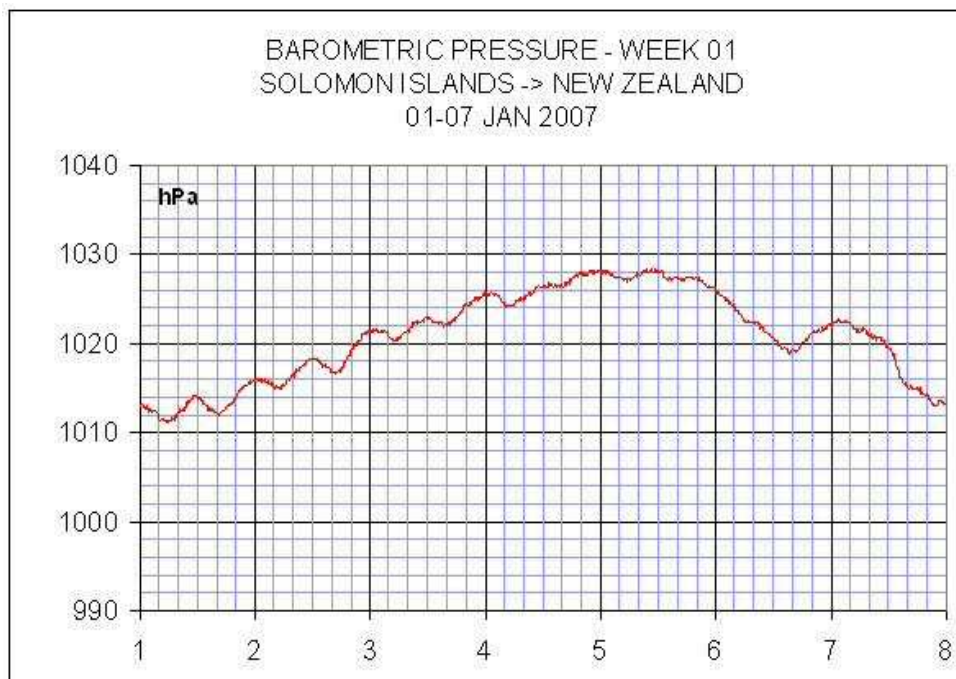
Figur 11: I perioder, hvor Vædderen har sejlet i områder mellem jordens vendekredse, har vi regelmæssigt observeret små variationer i det atmosfæriske tryk med en periode på ca. 12 timer. Bemærk, at der ser ud til at være en vis systematisk variation, idet hveranden bølgetop er lidt højere end forrige top.

Vore målinger har vist, at i trykmålingerne fra de højere breddegrader (jfr. figur 10) forekommer der ikke væsentlige småbølger. Derimod ser man i figur 11, der viser trykvariationer målt i nærheden af Accra, Ghana, nær ækvator, meget regelmæssige og markante trykssvingninger med en periode meget tæt på 12 timer. Det viser sig, at disse svingninger kan observeres mange steder på jorden især i et bredt bælte omkring ækvator. Ved jordens overflade har svingningerne en amplitude på 3-4 hPa, mens trykvariationerne menes at være større højt oppe i atmosfæren (30-50 km). De menes at stamme fra døgnvariationen i opvarmningen af blandt andet ozonlaget koblet med nogle interferensfænomener mellem bølger i atmosfæren [8]. At perioden på tideluftsbølger er tæt på 12 timer fremgår blandt andet af figur 12, der viser en Fourier-transformation af trykssvingninger observeret, mens Vædderen var nær Accra, Ghana, i uge 40. Heraf fremgår, at den dominerende svingningsfrekvens var tæt på $1/12 \text{ h} = 0,083 \text{ h}^{-1}$.



Figur 12: En FFT af trykdata for uge 40 i 2006 mens skibet lå nær Accra, Ghana, viser, at tideluftbølgenes frekvens var omkring $0,083 \text{ h}^{-1}$ svarende til en periode på 12 timer. Trykssvingningerne fremgår af figur 11.

At fænomenet netop optræder tydeligst i troperne og er væsentlig mindre ved højere breddegrader illustreres flot under Vædderens sejlads fra Solomonøerne mod New Zealand i begyndelsen af 2007.



Figur 13: Den 1. januar var Vædderen ca 13°S , og den 7. januar var skibet nået frem til Wellington ($41,5^{\circ}\text{S}$). Sejladsen foregik omtrent fra nord mod syd og sydøst med kun få tidszoneskift. Læg mærke til, hvordan amplituden af tideluftbølgerne langsomt klinger ud, mens skibet forlader troperne.

Databasen ligger på nettet

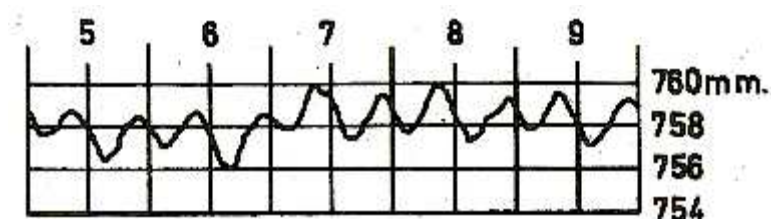
Det er mit håb, at denne smagsprøve har givet andre lyst til at gå på opdagelse i de mange data, der allerede er indsamlet, og som forhåbentlig fortsætter med at løbe ind uge for uge under resten af Vædderens rejse, indtil rejsen efter planen slutter i København den 25. april 2007. Jeg er sikker på, at der er mange meteorologiinteresserede og forskere blandt VEJRET's læsere med stor viden om meteorologi og som råder over langt flere ressourcer, end dem jeg har, der vil kunne få meget ud af de mange indsamlede data.

Som nævnt får man adgang til databasen ved at klikke på "Data week by week" på hjemmesiden www.soldata.dk. Her findes oversigtsfiler i PowerPoint såvel som til de faktiske data i Excel format. VEJRET's læsere er velkomne til at kontakt mig på soldata@soldata.dk, hvis der er spørgsmål til databasen, som jeg kan hjælpe med. God fornøjelse!

Litteraturhenvisninger og noter

- [1] Mange tak for dygtig teknisk assistance fra Tommy Nielsen og hans kolleger fra Danmarks Fiskeriundersøgelse med såvel opstilling som drift af optikbordet før og under ekspeditionen.
- [2] Nils Koudahl, *Almanak, Skrive- og rejsekalender*, Københavns Universitet, 2007.
- [3] En mere grundig analyse vil i stedet for a^L anvende $\exp(-T \cdot L)$, hvor T er summen af de optiske dybder for Rayleigh-spredningen (af ilt- og kvælstofmolekyler), absorptionen fra ozon og andre sporgasser, spredningen fra atmosfæriske aerosoler, osv. Her nøjes vi foreløbig blot med en sammensat attenuationsfaktoren a .
- [4] Andrew T. Young; *Air mass and refraction*, *Applied Optics*, 33, no. 6, s 1108-1110, 20 Feb 1994.
- [5] Fysiklærer Simme Eriksen på skolen i Uummannaq har ved hjælp af et SolData 80spc pyranometer og en Pasco datalogger målt globalstrålingen på vandret i efteråret 2006. Arbejdet blev foranlediget ARTEK /Nukissiofiit (Arktisk Teknologicenter) på Danmarks Tekniske Universitet.
- [6] Forskningsleder Paul Eriksen, DMI, har venligst assisteret med oplysninger om ozonlagsværdier ved Palmer og om forventede UVI-værdier i området.
- [7] T. Wibig, R. Pierzynski, R. Sobczak; *Educational studies of cosmic rays with a telescope of GM-counters*, *Physics Education*, nov. 2006, side 542-545.
- [8] Mange tak til Leif Rasmussen, Humlebæk, der besvarede min henvendelse til DMI om globale tideluftsølger. Han henviste mig blandt andet til en artikel af Niels Otto Jensen, fra *Vejret* 19, 1984 side 30-33. Denne artikel findes på nettet på netadressen:

NOJ var først inde på nogle af de samme (forkerte) overvejelser, som jeg selv var, og han når frem til, at en bølgeperiode, der skyldes tyngdetiltrækning fra månen, bør være på ca. 12:25, idet månen flytter sig lidt i sin bane omkring jorden hver dag. Han viser, at solens tyngdetiltrækningseffekter (periode 12 timer) er væsentlig mindre end månens. Dette ses blandt andet i, at havenes tidevande har en periode på 12:25 og ikke 12 timer, som bør være perioden for solens påvirkning. Ekstra høje havtidevande forekommer dog, når solens mindre påvirkning falder sammen med månens.



Figur 14: Målinger af det barometriske tryk i Jakarta (6° S) nogle dage i november 1919 viser tegn på tideluftsølger. Læg mærke til, at amplituden af hveranden bølge synes at være lidt større, ligesom målingerne fra Vædderen. Bemærk også toppen ved $f = 0,042 \text{ h}^{-1} = 1/24 \text{ h}$ i FFT'en vist i figur 12. (Illustration i figur 14 stammer fra NOJ's artikel.)

Da de observerede tideluftsølgers perioder alligevel er tættere på 12:00, slutter NOJ, at der alligevel må være tale om en påvirkning, der kan henføres til solen, der er årsagen. Han slutter, at det nok er opvarmningseffekter af solen på den øvre del af atmosfæren især ozonlaget koblet med nogle interferensfænomener blandt atmosfæriske bølger, der er hovedårsagen til de observerede svingninger i lufttrykket ved jordens overflade. NOJ nævner, at muligheden for tideluftsølger analog med tidevande i verdenshavene blev overvejet allerede af Isaac Newton i *Principia Mathematica* og senere af fysikerne Kelvin og Rayleigh.

- [9] For mere om tideluftsølger se, f.eks.
www.answers.com/topic/atmospheric-tide
www.franksingleton.clara.net/atmospheric_tides.html
Med tak til min god SG kollega Philip Jakobsen for linket.