

Bijlage Space Weather en het Noorderlicht versie 2024-03-29

Slide nr

- 3 Eerst kort toelichten hoe interesse in ruimteweer is ontstaan. Daarna volgt de agenda voor vandaag. 20 jaar actief met astrofotografie. 12 X Noorderlicht gezien.
- 4-9 Bij het fotograferen van fantastisch mooi **Noorderlicht in 2014** zat ik me af te vragen hoe het ontstaat. Informatie van het reisbureau (en Zenit september 2023 blz 18) is:
“Van de zon afkomstige deeltjes kunnen doordringen in de aardse magnetosfeer en botsen in de hoge atmosfeer rondom de polen op zuurstof en stikstof moleculen die daardoor licht uitzenden: het Noorder- of Zuiderlicht”.
- 10 **Nader onderzoek** was nodig. Zo kom je bij Ruimteweer / Space Weather terecht. Snel wordt duidelijk dat processen in **actieve gebieden op de zon (ARs)**, vooral rondom zonnevlekken, de drijvende kracht zijn achter Space Weather. **Geladen deeltjes van de zon veroorzaken het Noorderlicht wel, maar botsen NIET.** Er ontstaan steeds weer nieuwe vragen en je komt terecht in een verbazingwekkende wereld van **onbekende gebieden in de wetenschap, waar op scholen geen aandacht** aan wordt gegeven. De zon wordt een astrofotografie onderwerp.
- 11-13 **H-alpha foto's.** Time-lapse met 15 min interval waarin het heldere gebied met hoge activiteit tegen de klok in door de AR (Active Region) beweegt.
- 14 **Definitie** Space Weather. Als eerste worden effecten op “technological systems” genoemd, daarna volgt “de mens”.
- 15 **Agenda** Eerst de inleiding, waarbij we kennismaken met het actuele ruimte-weerbericht en de onderdelen waaruit het is opgebouwd. In hoofdstuk 2 ga ik nader in op verschillende processen die voor inzicht in de werking van Ruimteweer belangrijk zijn. Soms staat er

wat in de krant en in de Zenit staan regelmatig interessante artikelen. In de Zenit van september 2023 staat op blz 18: **“Energie die zit opgeslagen in magnetische lussen komt op een explosieve manier vrij”**.

Op blz 33 wordt **“Magnetische reconnectie” 2X genoemd en er staat dat het “een soort magnetische kortsluiting” is.**

Dat blijft vaag. Bij Space Weather draait alles om Magnetische Reconnectie. Om uit te leggen hoe dat werkt gaan we o.a. kennis maken met **Magneto Hydrodynamica**.

In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de organisatie die het ruimteweerbericht maakt, en de voor ruimteweer belangrijke satellieten. De opbouw van het ruimteweerbericht en het voorspellen van Noorderlicht wordt behandeld. Daarbij ook aandacht voor het Noorderlicht dat in 2023 in NL te zien was.

130 slides, waarvan 25 foto's. **Tempo is hoog**, maar wanneer iets niet duidelijk is, of je bent het er niet mee eens, direct vragen.

Mijn bedoeling is om op een interactieve manier een **niet alledaags, maar interessant**, onderwerp nader te verkennen.

- 16 **Actueel Ruimteweerbericht**. Wie kent het? Op aarde is info over temp, wind en neerslag voldoende. Wat speelt er in de ruimte?
- 17 **R S en G** – daar gaat het allemaal om. In de volgende slides zien we waar R S en G mee te maken hebben.
- 18 De zon straalt in **zichtbaar licht, UV, IR en radiostraling. Intensiteit is constant** (zonder effect van bewolking en seizoenen op aarde). Op de rechterkant van de slide komen R, S en G. Deze kunnen in een paar seconden met een factor 1.000 in kracht toenemen.
- 19-20 De zon zendt ook **Röntgen straling** uit: **R storm** bij hoge intensiteit.
- 21-23 **SEPs S** 50.000 km/sec is 1/6 lichtsnelheid!!

24-25 Zonnewind G

- 26 Overzicht **R S en G uit ruimteweerbericht** van 2023-02-27 met R, S en G stormen die het gevolg zijn van verhoogde activiteit op de zon in de avond van 25 februari. R komt met de lichtsnelheid onze kant op, S met een beetje vertraging en de G effecten uren later.
- 27 3 dagen overzicht R voor 27 feb – 01 mrt. Schaal rechts is vergelijkbaar met de **schaal voor orkanen** van R1 code geel tot R5 code rood. Röntgen straling veroorzaakt ionisatie (plasma vorming) en is schadelijk voor levende organismen.
- 28 Links staan de met R0 – R5 overeenkomende **Flare Classes** (Flare = plotseling heftig opvlammend). Röntgen straling flux (W/m²) voor M1=0,00001 en voor X20=0,002 (200 X zo sterk als M1). Het is geen goed idee om een ruimtewandeling te maken, of op de maan te staan, wanneer er een R-storm actief is.
- 29 De **ionosphere is ijl genoeg** om ionen en elektronen lang genoeg naast elkaar te laten bestaan. **X-Ray heeft voldoende energie** om moleculen of atomen te ioniseren. Elektronen in dit plasma beïnvloeden radiogolven.
- Nacht:** In **F-laag** is de meeste ionisatie en blijft in tact door de **lagere concentratie en ionisatie door kosmische straling**.
- Dag:** F1- laag ontstaat;
E- laag wordt hoger geïoniseerd;
D- laag ontstaat en wordt heel sterk geïoniseerd.
- Elektronen in de D-laag absorberen radiogolven.
- 30 **R-stormen geven extra hoge elektronen dichtheid in de D-laag**, met Radio black-outs als gevolg. GPS en satelliet communicatie gaat door de D-laag en wordt door D-region absorption gestoord.
- 31 **Effecten R:**

Astronauten: geen ruimtewandelingen, maar naar veilige plek;
 Satellieten: camera's en sensoren tijdelijk onbruikbaar (of stuk) als gevolg van elektrische ladingen;
 GPS: onbetrouwbaar;
 Satelliet verbindingen: tijdelijk gestoord;
 Radio: korte golf verbindingen tijdelijk onmogelijk.

32-33 **Foto's: R-flare** die in 30 sec een R-storm opleverde.

34 3 dagen overzicht S voor 27 feb - 01 mrt. Rechterkant S 0-5 schaal en links de bijbehorende aantal deeltjes/ml (logaritmische schaal).
SEPs botsen met de atmosfeer: dat levert een **fontein secundaire** hoog energetische deeltjes op die ook weer botsen. Straling op **12 km hoogte** is relatief gevaarlijk. Zeker voor de bemanning bij intercontinentale vluchten over de Noord pool.
 De op aarde levende natuur kan fouten in het DNA, die als gevolg van de natuurlijke achtergrond straling ontstaan, corrigeren. Een te hoge dosis is gevaarlijk.

35 **Effecten S:**

Astronauten: te hoge dosis straling;
 Elektronische apparatuur: permanent beschadigd (in vliegtuigen is alles drie-dubbel uitgevoerd maar in satellieten niet altijd);
 Bemanning (en passagiers) op routes over de pool: in 1 keer meer straling dan wat in een jaar is toegestaan, terwijl ze onder normale omstandigheden al aan het maximum zitten (**dosimeter** is nuttig);
 Bij super S-storm: data op hard disc / USB onbruikbaar (data flip: einde elke nacht back-up in Australia maken – en andersom).

Foto links is van een dark opname waar een spoor in zit dat, waarschijnlijk, het gevolg is van kosmische straling. Sporen in dezelfde richting zitten in nog 2 andere van de totaal 15 darks van 300 sec.

Astronauten rapporteren ook regelmatig lichtflitsen in de ogen.
 R- en S-activiteit ontstaan tegelijk, maar bij slechts 1 % van de R-stormen is er ook een S-storm (die op aarde waarneembaar is).

36 3 dagen overzicht G voor 27 feb - 01 mrt. Rechterkant G 0-5 schaal en links de bijbehorende **Kp (wereldwijde index voor G activiteit in een periode van 3 uur)**. Kp zegt niet veel. Kan 1,5 uur heel hoog en 1,5 uur heel laag zijn; hoge (of lage) Kp's op een rij zeggen wel wat. Magneetveld aarde zorgt er meestal voor dat zonnwind langs de aarde stroomt (anders zou de aarde na de nodige tijd de atmosfeer kwijt zijn).

Een G-storm veroorzaakt bij aarde een **sub-storm** met effect in elektrisch geleidend materiaal (ground current). Bij een ondergrond die niet geleidend is lopen hoogspanning systemen en pijpleidingen gevaar. Voedingskabels voor tussenstations onderzeese glasvezel-kabels zijn ook gevoelig.

37 **Effecten G.**

Satellieten kunnen neerstorten of er zijn extra baancorrecties nodig (atmospheric dragging). Satellieten van Elon Musk gingen verloren omdat ze niet genoeg vermogen hadden om naar de beoogde hogere baan te gaan.

Na een incident in 1989 in Canada gaan hoogspanningssystemen over op **handbediening** bij verhoogde kans op G-activiteit. Zo wordt het domino effect voorkomen waarbij in een heel korte tijd transformatoren door kortsluiting uitvallen.

Richard Carrington linkte de verschijnselen op 1 september 1859 aan de **zonnevlekken** die hij onderzocht. Noorderlicht tot in Florida en Morse verbinding over honderden km afstand terwijl de stroom was uitgeschakeld.

G-activiteit ($Kp > 3$): "enkele keren per week". Is dat 1 x overdag en 2 x met bewolking in de nacht dan heb je pech met 1 week Noorderlicht vakantie.

38 **Hoofdstuk 2** Processen zon & aarde / Magnetische reconnectie. Om te kunnen begrijpen hoe Magnetische reconnectie werkt eerst een **beetje natuurkunde**. Begint gemakkelijk.

39 **Plasma**. In het zonnestelsel komt verreweg de meeste materie voor als plasma.

UV en Röntgen straling hebben voldoende energie om plasma te maken. In **ijl plasma botsen elektronen bijna niet** met positieve ionen en blijft het plasma langere tijd bestaan.

- 40 **Magnetische velden.** IJzer vijlsel laat zien hoe de magnetische veldlijnen lopen. Rondom magneten en elektrische stromen is er een magnetische veld: vector veld (met een pijl wordt de richting en sterkte van het effect van het magnetisch veld aangegeven). Lorentz kracht ontstaat wanneer elektrisch geladen deeltjes door een magnetisch veld bewegen. Deeltjes met lading q bewegen met snelheid v . Magnetische veldlijnen staan loodrecht op het scherm. Neutrale deeltjes gaan rechtdoor; negatieve deeltjes naar boven en positieve deeltjes naar beneden.
Hendrik Lorentz: Nobelprijs in 1902 (samen met Pieter Zeeman).

- 41 **Sterkte** magnetische velden in nT (nanotesla).
De **naald van een kompas beweegt** wanneer er een magneet in de buurt komt. Sterkere magneet = sterker effect. Magnetische veldlijnen van het magneetveld aarde worden plaatselijk opzij geduwd door het magneetveld van de magneet. Magneetveld aarde is opgegeven voor de sterkte aan het oppervlak van de aarde. Diameter van de zon is 1,4 miljoen km. Het magneetveld van de zon is dus heel veel sterker dan het magneetveld van de aarde.

Sterkte van het magneetveld van de aarde neemt af naarmate je verder van het oppervlak weggaat.

Op een afstand van **50.000 km is de sterkte gedaald naar 10 nT**. Wanneer het magneetveld van de zon op dezelfde plaats 25 nT is, dan hebben we een G-storm.

- 42-45 **Magnetohydrodynamica.** Kwik is een voorbeeld van vloeistof die geleidend is.
- 46 Magnetische reconnectie niet alleen belangrijk voor astrofysica, maar ook voor de ontwikkeling van **kernfusie (Tokamak)**.

47 Pas in **1985** ging Alfven het werk van Sweet en Parker waarderen.

48-52 Magnetische reconnectie volgens **Sweet Parker**.

53 **Stochastic Plasmoid Chains** is een variant op SP.

Stochastic = kansberekening dat een willekeurige situatie zich in een reeks van gebeurtenissen voordoet.

Plasmoid chains = ketens van bellen plasma.

Uitgangspunten:

- **Geen ideaal MHD**, maar een systeem met weerstand;
- Plasma stromen in "Diffusion region" zijn **niet stabiel**.

Met computermodellen worden scenario's doorgerekend. Daar wordt al sinds de jaren 1990 aan gewerkt. Vanaf **2010** worden er resultaten gepubliceerd dat 2D modellen van Stochastic Plasmoid Chains werken wanneer er in de Plasmoids relatief **veel elektronen** zitten die via de gesloten magnetische veldlijnen met een snelheid van 1/3 lichtsnelheid worden afgevoerd én wanneer het systeem **groot genoeg** is. Dan werkt het met een snelheid die klopt met waarnemingen op de zon.

54 **MMS**

55 **Zon**

56-59 **Foto's zonsverduistering 2017 en 2019**. Bij een zonsverduistering wordt de **rood gekleurde buitenrand** van de zon, met protuberansen, en de omgeving van de zon zichtbaar. In de **Corona** zijn, net als met het ijzervijlsel bij een magneet, de **magnetische veldlijnen zichtbaar: de Coronal streams**.

60 **Kern** - Kernfusie volgens proton-proton cyclus (600 miljoen ton/sec).

61 **Stralingszone** – plasma met een hoge dichtheid. Geen stroming van plasma – dat zou lokaal sterke elektrische stromen en de bijbehorende magneetvelden opleveren.

- 62 **Tachocline** Er is nog veel onderzoek nodig om erachter te komen hoe het magnetisch veld van de zon ontstaat en zich ontwikkelt. Het magnetisch veld is bepalend voor de R, S en G-activiteit van de zon. Een **zonnecyclus** duurt $11 \times 2 = 22$ jaar. In de jaren met lage activiteit van de zon is het een uitzondering wanneer er een zonnevlek te zien is. **Nu zitten we bijna in het maximum** van de cyclus (2026) en zijn er regelmatig 5 - 10 ARs te zien waarin ongeveer 100 zonnevlekken kunnen zitten. De oorsprong van de 11 / 22 jarige zonnecyclus is de Tachocline.
- 63 **Convectiezone en fotosfeer.** Buitenkant van de zon is vacuum. Fotosfeer is een 450 km dikke schil van **doorzichtig plasma**.
- 64 **Chromosfeer.** Zichtbaar in H-alpha (656 nm) en 2.500 km dik.
- 65 **Corona**
Waarom de temperatuur verder van de zon af stijgt, is nog niet bekend.
In de eerste spectra die van de Corona bij een zonsverduistering zijn gemaakt zaten onbekende lijnen: **“Coronium” - het is Fe13+**.
- 66 **Corona Eugene Parker** kwam op het idee van de **zonnewind** na bestuderen van de staarten van kometen: stofstaart volgt de baan van de komeet en de ionstaart is altijd van de zon af gericht.
- De **grens** van het **IMF** (Interplanetary Magnetic Field) is ook de **grens** van het **zonnestelsel**. Daarbuiten wordt de zonnewind onderdeel van de **Sterrenwind**.
De **Voyagers** zijn inmiddels de grens van de **Heliosphere** gepasseerd.
- 67-70 **Animatie ontstaan CME** door magnetische reconnectie.
- 71 **Structuur magnetisch veld van de zon** is heel dynamisch. Dit is de structuur op een dag in 2011. De kleuren geven de richting van de magneetvelden weer. Er zijn gebieden die dicht bij elkaar liggen en met magnetische veldlijnen zijn verbonden. Soms overspannen deze

gesloten veldlijnen grote afstanden. Ook open veldlijnen die vanaf de zon direct de ruimte ingaan: **CH HSS**. Een Coronal hole kan langer dan 1 omwenteling van de zon bestaan, dit is een manier om een Noorderlicht tour te plannen: 25 tot 30 dagen later (afhankelijk van de hoogte) is de kans groot dat dezelfde CH er weer is. *Moet dan wel een CH bij de evenaar zijn.*

Een CH HSS kan fraai Noorderlicht opleveren (CME is niet altijd nodig). Coronal hole is relatief koel en kleurt zwart op UV opnamen.

- 72 Rondom de zon volgen de magnetische veldlijnen van de zonnwind een typisch patroon: **Parker Spiral**. De banen van Venus, Aarde, Mars en Jupiter zijn ingetekend. Met 400 km/sec staat de Parker Spiral onder 45 graden met de as zon-aarde.
- 73 De manier waarop de Parker **Spiral wordt geconstrueerd**. Uitgegaan wordt van een actief gebied waar gedurende een aantal dagen het magnetisch veld ongewijzigd blijft. Voor 7 dagen is getekend welke baan de van de zon vertrokken deeltjes afleggen. Ze zijn allemaal met magnetische veldlijnen verbonden, dus de magnetische veldlijn is de rode lijn.
- 74 **CIR / CH HSS** In werkelijkheid lopen er verschillende magnetische veldlijnen door elkaar. Mooi voorbeeld is de Co-Rotating Interaction Region die ontstaat door een CH HSS: een plaatselijke concentratie van zonnwinddeeltjes. Erachter is de ruimte schoongeveegd.
- 75 **Foto van de fotosfeer in groen licht**. Twee ARs. De zonnevlekken hebben een donker midden (**Umbra**) met daaromheen een lichtere rand (**Penumbra**). Zonnevlekken zijn gebieden waar het veel minder warm is en waar magnetische veldlijnen loodrecht op het oppervlak van de zon staan. De magnetische veldlijnen lopen van de ene zonnevlek naar een andere. Sterkte magnetisch veld is er hoog. Diameter aarde is kleiner dan een zonnevlek.
Granulatie is ook te zien: licht = heet materiaal komt omhoog; donker = afgekoeld materiaal beweegt de zon weer in.

- 76 Hetzelfde gebied in **H-alpha: Chromosfeer** is nu zichtbaar. Structuur van de chromosfeer is totaal anders dan de fotosfeer. Centrum van zonnevlekken (umbra) is goed te zien; penumbra toont ook de streperige structuur, maar is wat minder prominent te zien. **Plages** zijn in H-alpha heel heldere structuren met materiaal dat onder invloed van het magneetveld sterk wordt versneld en heel heet is.
- 77 Dezelfde **H-alpha opname maar nu in valse kleuren.**
- 78 Midden boven een Actief gebied met **zonnevlekken**. Links en midden onder **filamenten**. Dat zijn hogere gebieden met iets koeler materiaal waar het licht uit de fotosfeer meer wordt tegengehouden dan in de omringende gebieden omdat minder materiaal geïoniseerd is. Rechts een **protuberans**: hetzelfde als een filament maar als doorsnede aan de rand van de zon.
- 79 Ander voorbeeld van activiteit waarbij het heftig verloopt. Rechts zijn **spiculen** te zien: **dunne omhoog schietende uitstulpingen** waarvan het meeste plasma weer terugvalt. Spiculen kunnen ontstaan door opwekking en dissipatie van magnetische golven. Activiteit op de zon is niet altijd alleen maar tot magnetische reconnectie terug te voeren.
- 80-81 **Recente missies** voor nader onderzoek van de zon. Eugene Parker was bij de lancering aanwezig. Er zijn nog heel veel vragen.
- 82 **Aarde** Op de zon **voldoende elektronen** voor magnetische reconnectie. Zijn ze er **ook bij aarde?** Antwoord volgt.
- 83 **Aarde** Wanneer de **aarde niet in de invloedsfeer van de zon** zou staan, dan ziet het magneetveld er op deze manier uit. Magnetische as aarde valt niet samen met de geografische as.
- 84 **Magnetisch veld aarde.** Schokgolf ontstaat door de supersone zonnwind. Door de constante vervorming zit er **veel energie in het**

magneetveld van aarde opgeslagen. Wordt zonnwind sterker, dan wordt magnetisch veld van aarde aan de dagkant verder ingedrukt. *Magnetische veldlijnen zijn rood.*
Afstand aarde – maan is $60 \cdot R_{aarde}$.

85 Ander plaatje magnetosphere.

Magnetosheath (**sheath = omhulsel**) beschermt tegen zonnwind. De meeste zonnwind gaat er langs. Een deel van de passerende ultrasone zonnwind gaat door de schokgolf, waarbij de snelheid sterk afneemt en de richting verandert.

Magnetopauze is het gebied waar de druk van het IMF gelijk is aan de druk van het magneetveld aarde.

Onder invloed van magnetische en elektrische velden is het plasma altijd in beweging. In magnetosfeer zijn er verschillende elektrische stromen die onderling gekoppeld zijn.

Plasma sheet (**sheet = dunne laag**). Deze ontstaat als volgt:

De zonnwind die tegen de dagkant van de magnetopauze stroomt bestaat uit deeltjes met positieve en negatieve lading. De Lorentz kracht stuurt de positieve deeltjes naar rechts en de negatieve elektronen naar links. Deeltjes die in het vlak van de evenaar botsen blijven in dit vlak en volgen de magnetopauze. Losse stromen van positieve en negatieve deeltjes kunnen niet bestaan. In het plasma sheet stromen daarom elektronen in een richting loodrecht op het vlak van de tekening naar de positieve deeltjes. De richting van de elektrische stroom: naar rechts aan de zichtbare kant van de tekening; naar achteren in het plasma sheet en naar links aan de onzichtbare kant van de tekening. Deze **elektrische stromen**, zijn in **1976** aangetoond op basis van metingen door satellieten.

Boven de polen een gebied met lage sterkte van het magneetveld: Polar Cusps. Deeltjes worden er gemakkelijk in de magnetosfeer ingevangen. Aantal deeltjes per cm^3 :

- | | |
|---------------------------------------|-------|
| • Zonnwind | 1 – 5 |
| • Dagkant buitenste deel magnetosfeer | 1 |
| • Plasma sheet | 0,5 |
| • Tail lobes | 0,01 |

De elektronen in de dagkant van het magneetveld aarde en in het plasma sheet zijn belangrijk voor Noorderlicht (i.v.m. reconnectie).

- 86 De **Van Allen Radiation belt** is ontdekt door James van Allen. In **1958** liet hij een **Geigerteller in Explorer 1** inbouwen. Stralingsmeters en magnetometers waren daarna standaard onderdelen van satellieten. Hij wilde het effect van kosmische stralen onderzoeken en voorspelde enkele ionen per cm³. Er werden er heel wat meer gevonden..... Dit is de schets die Van Allen maakte.
- 87 **Satellieten** zitten bij voorkeur **niet in de Radiation belts**. Ook bij het lanceren van missies wordt een traject gevolgd dat zo veel mogelijk langs de Radiation belts loopt. Vanuit Florida kom je dan over onze omgeving. Veel elektronen en protonen cirkelen om de aarde.
- 88 **Van Allen Probes**: 2 dezelfde satellieten die vlak bij elkaar opereren zodat er altijd duplo resultaten zijn om, bij vreemde resultaten, toeval uit te sluiten.
- 89 **Dungey cycle** – werking Noorderlicht.
- 90 CME met magnetische veldrichting tegengesteld aan aarde.
- 91 **Resultaat**: versnelde elektronen botsen aan de nachtkant op de atmosfeer met poollicht als gevolg.

Alle hiervoor besproken theorie wordt bij het bespreken van dit plaatje gebruikt.

Hierna volgt nog een animatie om het duidelijker te laten zien.

Plaatje begint met 3 CME veldlijnen. Pijlen geven de richting van het magnetisch veld van de veldlijnen aan.

Veldlijnen passeren de schokgolf, waarbij de zonnwind deeltjes worden vertraagd, en gaan door de magnetosheath.

Reconnectie aan dagkant op de magnetopauze. Er ontstaan open veldlijnen.

Open veldlijnen, die nog steeds met aarde zijn verbonden met footprints in het hoge Noorden en Zuiden, worden door de zonnwind meegesleurd naar de nachtkant.

Door steeds meer open magnetische veldlijnen in de opgerekte staart van het magnetisch veld van aarde neemt de hoeveelheid plasma en magnetisch flux toe. De tegengesteld gerichte veldlijnen bewegen naar elkaar toe en komen in het plasma sheet bij elkaar: reconnectie aan de nachtkant.

Via de nieuwe gesloten magnetische veldlijn van aarde worden elektronen versneld afgevoerd richting het Noorden en Zuiden. Daarbij zijn er voldoende botsingen met moleculen in de atmosfeer zodat het Noorderlicht zichtbaar wordt. Tegelijk wordt een bel plasma, met nieuw gevormde IMF veldlijn, afgevuurd naar de ruimte.

Groen Noorderlicht met atomair zuurstof op 100-200 km.

Rood: atomair Zuurstof hoger dan 200 km.

Donker rood: Stikstof 80 – 100 km.

Blauw: geïoniseerd Stikstof 80 – 100 km.

Terug naar magnetische reconnectie aan de dagkant.

De Polar Cusps zijn er altijd, maar de vorm en plaats zijn afhankelijk van de richting van het magneetveld van de zonnwind. Bij een G-storm zijn de open magnetische veldlijnen de grens van de Polar Cusps: de OCB (Open Closed Border). Bij de reconnectie aan de dagkant worden er ook elektronen versneld richting N & Z pool, en stromen er zonnwind deeltjes (uit de Magnetosheath) via de Polar Cusps richting aarde. Hoger dan 200 km botsen ze op Zuurstof waardoor er een zwak rood Noorderlicht ontstaat.

De naar de aarde toestromende deeltjes komen niet op het aardoppervlak terecht, maar worden onderdeel van de elektrische stromen die in de magnetosfeer lopen. *Details in de volgende slide.*

92 Elektrische stromen boven N- pool (zelfde situatie boven de Z-pool).

De Birkeland currents verbinden de Magnetosfeer met de Ionosfeer. Birkeland currents zijn er altijd. Bij Noorderlicht neemt de sterkte van de Region 1 current sterk toe: aan de dag-kant stromen elektronen en protonen richting aarde. Aan de nachtkant veel elektronen. De Noor **Kristian Birkeland** deed in **1908** Noorderlicht onderzoek in het Noorden van Noorwegen en voorspelde dat elektrische stromen een rol spelen omdat de naald van zijn kompas bij Noorderlicht ging bewegen.

In de magnetosfeer bestaan er verschillende elektrische stromen. Wanneer positieve en negatieve ladingen van elkaar weg bewegen, ontstaat een elektrische veld. Bewegende lading veroorzaakt een magnetisch veld. Alle plasma deeltjes bewegen met een bepaalde snelheid. Elektrische stromen kunnen niet zomaar stoppen. Alles moet met elkaar in evenwicht zijn. Het plasma als totaal (zoals de magnetosfeer) is elektrisch neutraal, maar er zijn gebieden met een positieve of negatieve lading (pseudo neutraal).

93 Dagkant Noorderlicht of Cusp Aurora. Het is alleen midden in de winter op de hoogte van Spitsbergen te zien, omdat het daar overdag donker genoeg is. 2026 totale zonsverduistering IJsland? OCB = Open Closed Border.

De Aurora ovaal geeft aan waar Noorderlicht zichtbaar is. Plaats en breedte zijn afhankelijk van de sterkte van de G-storm.

De Aurora ovaal komt bij het ruimteweerbericht weer terug.

94-99 **Dungey cycle – animatie.**

De animatie laat de Dungey cycle zien voor 3 IMF veldlijnen.

100 Noorderlicht wordt ingedeeld in 3 soorten. Dit is een voorbeeld van de **Noorderlicht boog**. Sterkte is “gemiddeld”. Onderrand is scherp

omdat atomair zuurstof onder 100 km hoogte niet voorkomt. Bogen zijn meestal langer dan een half uur te zien.

- 101 **Diffuus Noorderlicht** – het zwakke Noorderlicht.
- 102 Derde soort Noorderlicht: **krachtig en beweeglijk Noorderlicht.**
Hoofdstuk 3 – Ruimteweerbericht
- 103 **SWPC & NOAA** SWPC control room
- 104 **Satellieten in L1** Voor G-stormen is er voldoende tijd om te waarschuwen en preventieve maatregelen te nemen. Meestal kan er, gebaseerd op constante evaluatie van de activiteit op de zon, wel een **inschatting** gemaakt worden van de **kans op een R of S storm**. Ze kunnen als een **volkomen verrassing** langs komen. SWPC kan dan niet anders dan met een **Alert** informeren wat er speelt.
- 105 **ACE** is het Space Weather werkpaard in L1. Magnetometers zitten zo ver mogelijk van de overige apparatuur.
MAG – Magnetometers;
SEPICA – Solar Energetic Particle Ionic Charge Analyser;
SWEPAM – Solar Wind Electron, Proton and Alpha Monitor.
- 106 **GOES** GOES 16 EAST, 18 WEST; 14/15/17 SOUTH (stand by)
- 107 **Ruimteweer. Voorbeeld 3-day forecast.**
- 108 Screenprint **bovenkant ruimteweerbericht**, met bij “Space Weather Conditions”: 24 hr observed maximums, Latest observed en Forecast “vandaag” (met pijltje volgen “morgen en overmorgen”). Hieronder: Speed, Bt en Bz (worden constant aangepast met actuele L1 data); Noon Radio flux – wordt dagelijks gemeten in Canada.
- 109 **Bt en Bz** Totale sterkte en Z-component Interplanetair Magnetic Field. Bt en Bz kunnen gelijk zijn en bij hoge Bt kan Bz=0 zijn.
X-as is de lijn tussen zon en aarde;

Y-as is de lijn loodrecht op X in het vlak van baan van de aarde;
 Z-as is de lijn loodrecht op het vlak van de baan van de aarde.
 Bx en By worden niet gebruikt. Bz negatief betekent dat de richting van de Z-component van het IMF “naar beneden is gericht” en tegengesteld is aan het magnetisch veld van aarde.
 We blijven bij het “Space Weather Enthusiasts Dashboard” (via de tab “Dashboard” is o.a. naar “Aviation” of “Electric Power” te gaan).

- 110 Links **“Space Weather Overview”** met **data voor 3 dagen historie**, zoals we bij de inleiding al gezien hebben.
 In het vak aan de **rechter kant staat de “3-day forecast” in tekst**. Elke dag om **12:30 UT een update**. Bij verhoogde activiteit ook om **00:30 UT** of telkens wanneer de omstandigheden het nodig maken.
 Hoofdstuk A: Details voor **G**.
 Om 12:30 werd $K_p=2,67$ voorspeld voor 12-15UT.
 Het bleef $K_p < 1$ (zie de blauwe pijl). **Ruimteweerbericht is dus ook maar een weerbericht dat niet altijd klopt**.
 Hoofdstuk B: Details voor **S**.
- 111 Hoofdstuk C: Details voor **R**.
- 112 **ACE MAG & SWEPAM** met data van de afgelopen 24 uur:
 Bt/Bz
 Phi = hoek Bt t.o.z.v. lijn aarde-zon in vlak ecliptica
 Aantal deeltjes per cm^3
 Snelheid;
 Temperatuur.
 Dit is belangrijk bij het bepalen van de kans op Noorderlicht (121).
- 113 **Aurora forecast is een mooi bijproduct**. Het wordt een paar keer per uur gewijzigd en de tijd waarvoor het geldig is wordt bepaald door de zonnwind snelheid (forecast leadtime: rechts boven en tijdstip waarvoor het geldig is: links). Kleuren spreken voor zich. Let ook op de breedte van de ovaal en de kleine kans op Cusp aurora overdag.

Rechts staat het **3-dagen overzicht van GOES** metingen met o.a. de data van de magnetometers, die het effect meten van de zonnwind op het magnetisch veld van de aarde (rood = GOES East; blauw = West). Veranderende G effecten zijn te zien als pieken en dalen.

114 **Noorderlicht voorspellen.** Alleen de **Aurora forecast** kijken is prima, maar wat te simpel. Met een paar **eenvoudige richtlijnen** is het zelf op te stellen én kan de **ontwikkeling in de komende periode goed** ingeschat worden. Belangrijk wanneer je op Noorderlicht jacht bent en wil weten of het de **moeite waard is om naar een foto-genieke locatie te gaan.** 2 websites zijn echt belangrijk (er zijn er meer).

115 **Eerste vraag is: waar** wil ik Noorderlicht zien. Hier is **Kp** belangrijk. In de omgeving van de Poolcirkel is nauwelijks activiteit nodig, maar in NL is G3 een must (TV weerberichten hebben de afgelopen jaren al een paar keer gemeld dat de kans op Noorderlicht hier groot is).

Lokale omstandigheden zijn niet onbelangrijk om Noorderlicht te kunnen zien: **Vrij uitzicht** op de omgeving (dus niet vanuit stad); **Donker en niet te veel bewolking;** **Fase van de maan** is een kwestie van smaak (met maanlicht aurora foto's met verlicht landschap). Ook met volle maan is Noorderlicht goed te zien.

116 We weten hoe Noorderlicht ontstaat en welke factoren daarbij een rol spelen. Noorderlicht voorspellen is niets anders dan kijken wat de waarde is van de **variabele** factoren en een "totaal score" maken.

Meer energie in de magnetosfeer brengen betekent een hogere kans op Noorderlicht. Effect eerste 4 variabelen spreekt voor zich. Zonnwind snelheid is heel belangrijk. Range is **250 – 1.000** km/sec. "**Gewone zonnwind**" (dus zonder CME, CIR of of CH HSS) is soms al snel genoeg. Bz, Bt, en dichtheid doen ook mee. De sterretjes geven het belang van de factoren aan als een soort van weegfactor. Is de werkelijke waarde veel hoger of lager dan in de tabel genoemd, dan extra sterren toekennen of sterren in mindering brengen.

117 De tijd in het jaar is belangrijk. Eind september 2021 was ik eind september 10 nachten in Noord IJsland: 3 nachten was het totaal bewolkt met regen en sneeuw. 7 nachten Noorderlicht!!
Equinox Aurora is het gevolg van een voor magnetische reconnectie gunstige stand van het magnetische veld van de aarde.
 *** voor de week met Equinox; ** voor de 2 weken voor en na en * voor de week daar weer voor en na.
 Een **gunstige trend** het afgelopen uur voor snelheid, Bt, Bz en dichtheid is ook belangrijk. ** voor 3 onderdelen en * voor 2.

Hoge Kp afgelopen 3 (**) en 12 (***) uren is belangrijk (zeker in NL), omdat er dan heel veel extra energie in het magnetisch veld van de aarde is opgeslagen.

Wanneer omstandigheden gunstig worden, duurt het enige tijd tot Noorderlicht zichtbaar wordt. Ook het uitdoven duurt even. Door in het geomagnetisch veld opgeslagen energie kan het bijvoorbeeld bij tijdelijk positieve Bz voortkabbelen en daarna weer opflakkeren.

Totaal >12 sterren: 30 min Aurora forecast lichtgroen (40 % kans);
 >20 sterren: 30 min Aurora forecast geel/rood.

Dit voorspellingsmodel is gemaakt op basis van analyse van de Space Weather omstandigheden bij de in 2021 gemaakte foto's in IJsland.

118 **2022-10-02**

Datum	OK voor Equinox Aurora	**
Speed	OK	****
Bt	OK	**
Bz	Prima	***
Dichtheid	Laag	
Trend Bt/Bz/dichtheid		*
Kp	Niet hoog	

Overall ziet dit er goed uit met 12 sterren.

- 119 Aurora **forecast** opgesteld door de **professionals** is **geen verrassing**.
- 120 Fraai **Noorderlicht in NL** op 2023-02-27 (strand 's-Gravenzande).
Op 2023-02-26 was er in het **BBC nieuws** veel aandacht voor Noorderlicht dat in heel de UK zichtbaar was. Nog nooit zulke hoge snelheid, Bt en negatieve Bz waarden gezien (Bt 25 en Bz -25).
- 121 Op **maandag ochtend** was de snelheid afgenomen, maar Bt en Bz waren nog heel mooi.
- 122 **Eind van de middag** was de snelheid weer heel hoog, maar Bt en Bz waren veel minder. Aurora forecast zag er heel goed uit. Naar het strand gegaan. Eerst was er in het NW alleen nauwelijks zichtbaar zwak Noorderlicht te fotograferen. Ineens werd het beter en was er een half uur beweeglijk Noorderlicht dat ook goed te zien was. Zowel groen als rood.
- 123 Op 2023-02-27 werd er in de 12:30 UTC forecast gesproken over G3 voor de maandag. Een **combinatie van CH HHS met 2 CME's én wat Equinox effect komt niet vaak voor**. Kp was al 24 uur heel hoog.
- 124 2022-10-09 **R / ARs 3112 & 3116.**
- 125 Forecast Oct 09: **R1-R2 50%** **R3 10%**
ARs worden aangeduid met een volgnummer. Na 9999 volgt 0000.
Dagelijkse update met locatie op de zon om 00:00 UT, aantal zonnevlekken (met het aantal dat er de afgelopen 24 uur is bijgekomen of afgegaan), de oppervlakte en gegevens over het magnetisch veld.
- 126 Detail overzicht **AR3112**. Dit wordt telkens ge-updated wanneer er wijzigingen zijn. Links een foto in H-alpha. Rechts is het magnetisch veld ingetekend, waarbij de kleuren de richting aangeven.
ROOD = Negatief; BLAUW = Positief. Dit wordt gebruikt om de kans op flares of CMEs te bepalen.
Richting wordt gemeten middels het Zeeman effect (1896 - Pieter Zeeman, samen met Lorentz de Nobelprijs).

Onderaan **opsomming van de R-flares** uit dit gebied op deze datum.

127 **Overzicht Solar flares.** AR 3112 was deze dag heel actief. Van **10:17 tot 10:24 UTC foto's gemaakt** waarop de ontwikkeling van de C1.6 flare fraai te zien was.

128 10:17 UTC 129 10:20 UTC 130 10:23 UTC

131 END

Misc.

Plasma is de vierde aggregatietoestand (vast, vloeibaar, gas).
Aan onderkant T-schaal: Bose-Einsteincondensaat (geen visc.).

Eugene Parker was in de jaren 1970 gasthoogleraar in Utrecht.

Ontsnappingsnelheid zon: 618 km/sec (bij fotosfeer).

GPS satellieten draaien in 12 uur om de aarde in een baan die door de binnenste laag van de Outer Van Allen Radiation Belt gaat. Geo-stationaire satellieten volgen een baan die door de buitenste laag van de Outer Van Allen Radiation Belt gaat.

UV breekt O₂ af tot O. O₃ ontstaat en wordt door UV omgezet in O₂ en O. O en O wordt O₂. CFK's halen O uit cyclus.

Phi = hoek Bt tozv lijn aarde-zon in vlak ecliptica.

Phi is measured in the GSM (geocentric solar magnetospheric) coordinate system. In this system the X-axis points from the Earth to the Sun and the Z-axis is pointing along the direction of the Earth's north magnetic pole. This puts the Y-axis roughly pointing to the left as one looks at the Sun from the Earth. Phi is the angle made by the field in the XY plane.

Theta = hoek Bt tozv lijn aarde-zon in vlak loodrecht op ecliptica.

Tijdens een gewoon zonnevlekken maximum is de zonne-instraling op aarde ongeveer 0,1% sterker dan tijdens een minimum: te gering om merkbare invloed op de aardse temperatuur te hebben. Bij lage activiteit van de zon zit er minder energie in het aardmagnetisch veld. Kosmische straling kan dan iets gemakkelijker de dampkring binnenkomen en condensatiekernen voor wolken maken.

Wanneer er 1 ion en 1 elektron in de buurt van elkaar bewegen, dan is er geen netto elektrische stroom. Ionen zijn groter dan elektronen en hebben een grotere kans om met neutrale moleculen te botsen. Daarbij verliezen ze meer energie dan de minder botsende elektronen. Hall en Pedersen Currents zijn het gevolg.

Cees Ooms

cees.ooms@planet.nl