

This pdf  
circulated  
in Vol. 3,  
Number 66,  
on 9 July  
2011.



# Projekt SIMONE

am E. M. Arndt-Gymnasium in Bergen auf Rügen

von  
Karl-Heinz Eckelt  
(Dipl.-Fachlehrer für Mathematik und Physik)



1. Einführende Bemerkungen	S. 2
2. Die Ionosphäre	S. 6
3. Der typische Tagesgang	S.10
4. Die Reflexion der Raumwelle	S.13
5. Zur Abschätzung des Gangunterschieds für das 3.Minimum am Morgen	S.20
6. Der Oktober-Effekt	S.22
7. Flares im Tagesplot	S.24
8. Störungen des Signals	S.25
9. Einige Auswirkungen der Flares	S.28
10. Werden Photovoltaik-Anlagen durch Flares beeinflusst?	S.29
11. Besondere Ereignisse	S.35
12. Phasenmessungen in Juliusruh	S.37

## 1. Einführende Bemerkungen

Im **Februar 2007** erhielt unsere Schule von der Außenstelle des DLR in Neustrelitz die Anfrage, ob wir uns an einem Projekt zur Erforschung der Ionosphäre (im Rahmen des internationalen heliophysikalischen Jahres, kurz IHY) beteiligen möchten.

Dieses nationale Projekt erhielt den Namen SIMONE (**S**onnen und **I**onosphären **M**onitoring **N**etzwerk).

Im **April 2007** nahmen wir dann bei einer Einführungs-Veranstaltung in Neustrelitz einen Empfänger (Monitor) mit dem notwendigen Zubehör kostenlos entgegen. Dieser Monitor mit einer speziellen Kennung wurde von der Universität Stanford / USA angefertigt (ca.200 US-Dollar) und durch die Firma Astrium in Friedrichshafen gesponsert.



Auf Initiative von Dr. Volker Bothmer aus Göttingen und Dr. Norbert Jakowski (im Bild 1.Reihe, 3.v.r.) aus Neustrelitz beteiligen sich mehrere Schulen aus Norddeutschland an diesem weltweiten Projekt. Die Schulen stellen die Computer zur Verfügung und bauen entsprechende Empfangsantennen.



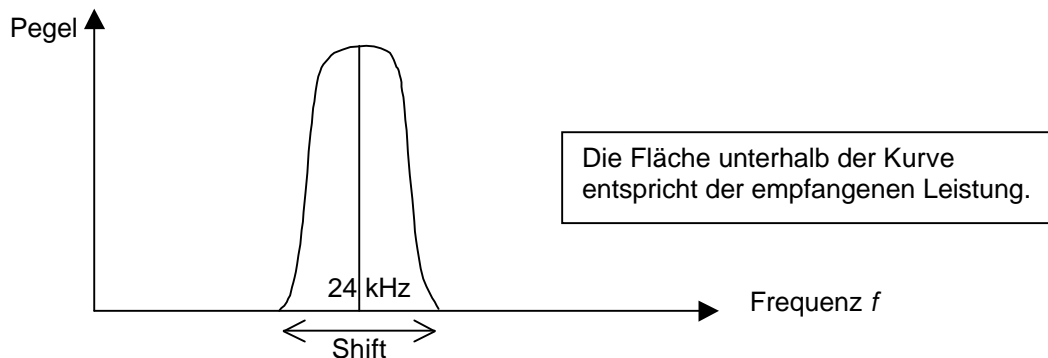
Schüler des Gymnasiums Bergen auf Rügen



SID-Monitor. (SID: Sudden Ionospheric Disturbance)

Der Kontakt zu U-Booten kann weltweit nur mit Hilfe von elektromagnetischen Langwellen erfolgen, weil andere Wellen nicht ins Wasser eindringen.

Seit Anfang **Mai 2007** empfangen wir die Sendefrequenz des Senders Cutler an der nordamerikanischen Ostküste, der mit 1000 kW zu den stärksten Langwellen-Sendern der Erde gehört. Er ist ein Fernschreibsender und sendet 200 Zeichen pro Sekunde (200 baud) mit 112 Hz Shift (Frequenzabweichung von der mittleren Frequenz 24 kHz) und einer Bandbreite von 334 Hz (Berechnungsformel:  $Bandbreite(in\ Hz) = baud - Zahl + 1,2 \cdot (shift - Zahl)$ ).



Der U-Boot-Sender Cutler (Maine / USA; Identifikation: NAA (bzw. F1B) ; Koordinaten: 44°39'N und 67°17'W)

sendet mit einer Frequenz von 24,0 kHz; daraus ergibt sich eine Wellenlänge von  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{24,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 12,5 \text{ km}$ .

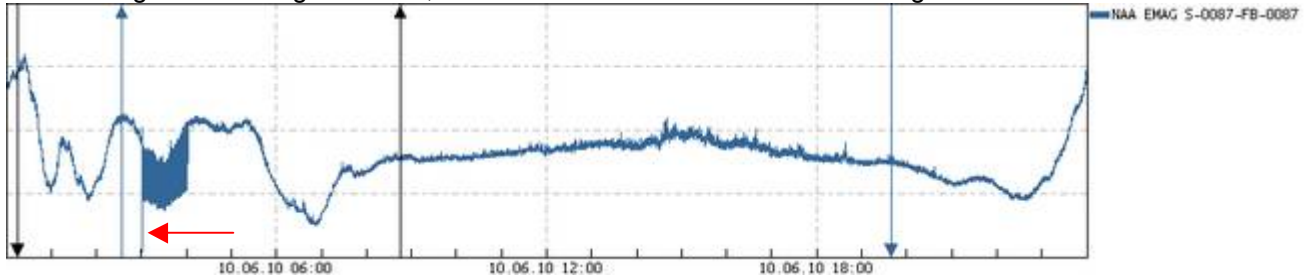
Somit werden Längstwellen (Abkürzung VLF: very low frequency) ausgesendet.

Pro Sekunde werden (bei einer Frequenz von 24 kHz) 24 000 Schwingungen ausgeführt. Bei 200 Zeichen pro Sekunde werden deshalb 120 Schwingungen pro „Zeichen“ ausgeführt. Für jedes „Zeichen“ werden also 120 Schwingungen verwendet. Pro „Zeichen“ wird deshalb 1/200 s benötigt. Nach dieser Zeit kann wieder dasselbe Zeichen gesendet werden. Dann würde der zusammenhängende Wellenzug aus 240 Schwingungen bestehen. Wenn ein anderes „Zeichen“ gesendet werden soll, wird nach 120 Schwingungen die Phasenlage um 180° gedreht.

Somit können zwei „Zeichen“ gesendet werden. Die Information besteht dann in der Zusammensetzung mehrerer „Zeichen“. Dieses Verfahren für die Informationsübertragung wird „Phasenumtastung“ bzw. „Bi-Phasenmodulation“ genannt.

Somit ist auch keine „einfache“ Phasenmessung wie beim Sender Alloys möglich (siehe Kapitel 12).

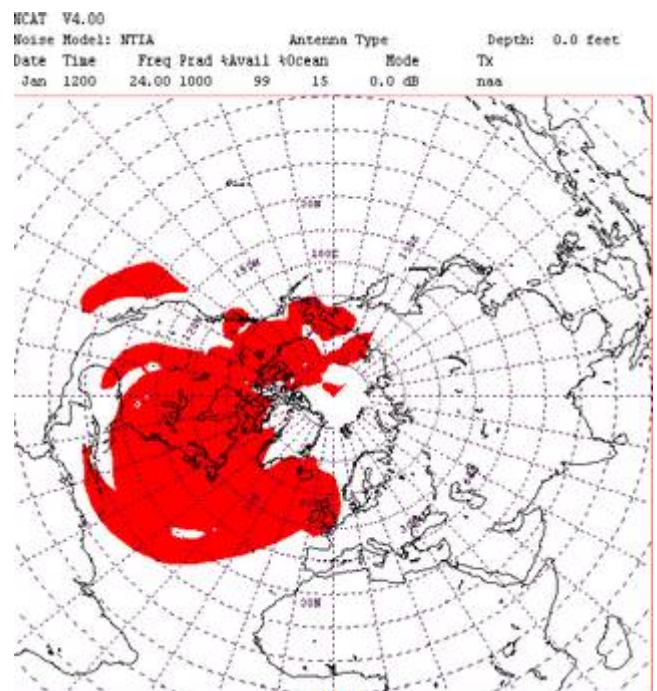
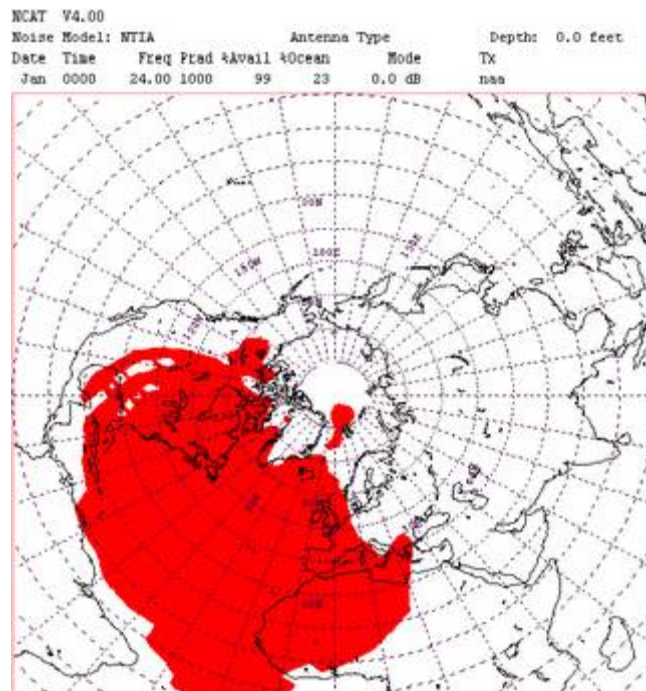
Damit die U-Boote die Informationen auch entschlüsseln können, ist eine genaue zeitliche Synchronisation notwendig. Oft kann man in den täglichen Plots zur selben Tageszeit einen zeitlich sehr kurzen (negativen) nadelförmigen Ausschlag erkennen, der weltweit von allen SID-Monitoren registriert wird.



Hin und wieder gibt es diese (negativen) „Spikes“ auch mehrfach während des Tages. Wenn sie bei allen anderen Monitoren, die Cutler (NAA) empfangen, ebenfalls auftreten, werden sie durch den Sender verursacht und sind kurzzeitige Sendeausfälle.

Die Empfangreichweite für die U-Boote ändert sich während des Tages und auch jahreszeitlich.

Die linke Abbildung zeigt die Empfangsqualität (0 dB) im Januar um Mitternacht und die rechte während der Mittagszeit (Modellrechnung nach NCAT 4.0).



Unsere Empfangsposition auf dem Dachboden des Gymnasiums ist: 54°25'15,11''N und 13°25'37,64''E. Somit ist Cutler ist von uns etwa 5590 km entfernt.

(Den genaueren Wert 5593,4 km haben wir mit einem Programm der Bundesnetzagentur in Berlin ermittelt.)

Das Signal der Antenne wird über ein Koaxialkabel dem Monitor zugeführt, ein digitaler Messwandler leitet das analoge Signal des Monitors zu einem Computer, der alle 5 Sekunden den entsprechenden Messwert (Spannungen im Bereich von -5 bis +5 Volt) in eine spezielle Excel-Datei schreibt. Der Computer läuft ununterbrochen und schreibt jeden Tag ab 0 Uhr (Universalzeit UT) eine neue Datei. Diese Dateien senden wir dann an die Universität Stanford. Dort werden die Daten weiter genutzt und im Internet unter <http://sid.stanford.edu/database-browser/browse.jsp> in grafischer Form veröffentlicht.

Die nachfolgenden Erläuterungen beruhen hauptsächlich auf der vereinfachten Annahme, dass sich die Funkwellen als **Bodenwelle** und über die Reflexion an der Ionosphäre als **Raumwelle** ausbreiten.

Welchen Ursprung die Raumwelle bzw. Bodenwelle in Wirklichkeit haben, kann man jedoch nicht mit Sicherheit sagen. Es kann sein, dass die Raumwelle von Cutler, die uns mit Sicherheit als relativ schwaches Signal bezüglich der starken europäischen Sender erreicht, mit anderen Wellen interferiert und damit das typische Tagesdiagramm entsteht. Vielleicht ist es auch nur die Raumwelle allein, die auf ihrem Weg sowohl an der Wasseroberfläche als auch kurz unterhalb reflektiert wird und damit das Interferenzmuster erzeugt.

Nach Klawitter / Herold ist die elektrische Feldstärke nach der folgenden Formel zu berechnen:

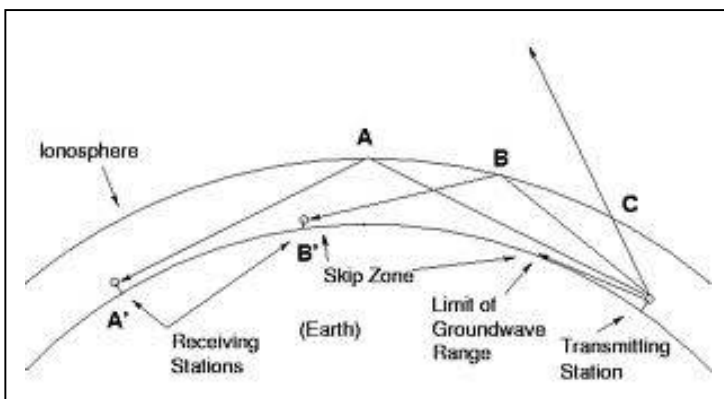
$$E = \frac{300 \cdot \sqrt{\text{Leistung(in kW)}}}{\text{Entfernung(in km)}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}} ;$$

z.B. Cutler – Bergen:  $E = \frac{300 \cdot \sqrt{2000}}{5600} \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}} \approx 2,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}}{\text{m}} .$

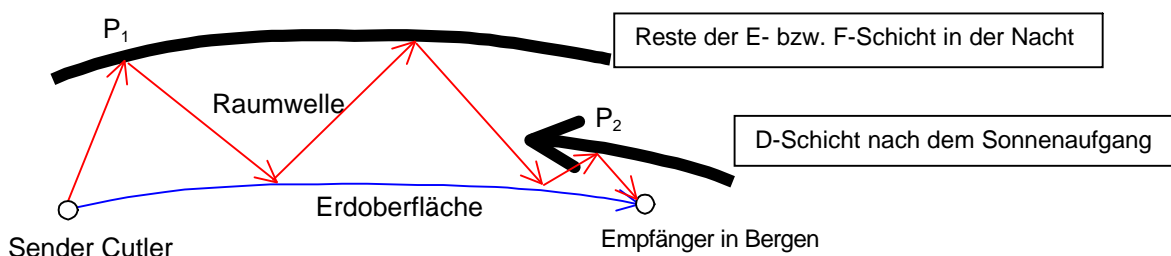
<http://www.elektroniktutor.de/techno/elmagwel.html> „Sie (die Bodenwelle) folgt dabei der Oberflächenstruktur der Erde und ist verschiedenen absorbierenden Einflüssen ausgesetzt. Die Dämpfung ändert sich mit der elektrischen Leitfähigkeit der Erde. Die Reichweite der Bodenwelle ist über Feuchtgebiete und Wasserflächen größer, da die Leitfähigkeit im Vergleich zum normalen Erdboden und Felsen besser ist. Die Absorption ist zudem von der Sendefrequenz abhängig, wobei höhere Frequenzen sehr viel stärker bedämpft werden.“  
(Aus älteren Darstellungen der Marine ist zu entnehmen, das die Bodenwelle nur einige 100 km weit reicht.)

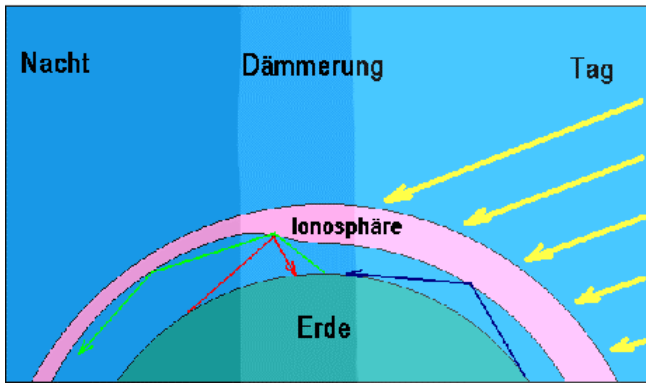
Die Funkwellen von Cutler können (nach Meinung von Deborah Dscherrer / Projekt-Leiterin von „Space Weather Monitors“ in Stanford, USA) praktisch jeden Punkt der Erde erreichen. Nach ihrer Vorstellung ist es aber nicht die Bodenwelle sondern nur die Raumwelle, die das Wasser durchdringt und die U-Boote in großen Entfernungen erreicht.

Die Informationsübertragung für die U-Boote erfolgt im Bereich der **Nahfeldzone** durch die Bodenwelle und in der **Fern-Empfangs-Zone** durch die Raumwelle. Dazwischen liegt die **Tote Zone** im Bereich von 1 – 1000 km. (siehe nachfolgende Abbildung)  
Mit steigender Frequenz wird diese „Tote Zone“ („Skip Zone“), in der man keinen Empfang hat, größer.



Nach Meinung des leitenden Technikers des deutschen Marinesenders Rhaderfehn (DHO) Herrn De Vries gibt es jedoch keine derartige „Tote Zone“.



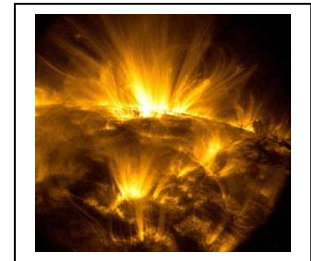


Während der Morgendämmerung ändert sich der Reflexionswinkel der Raumwelle ständig.

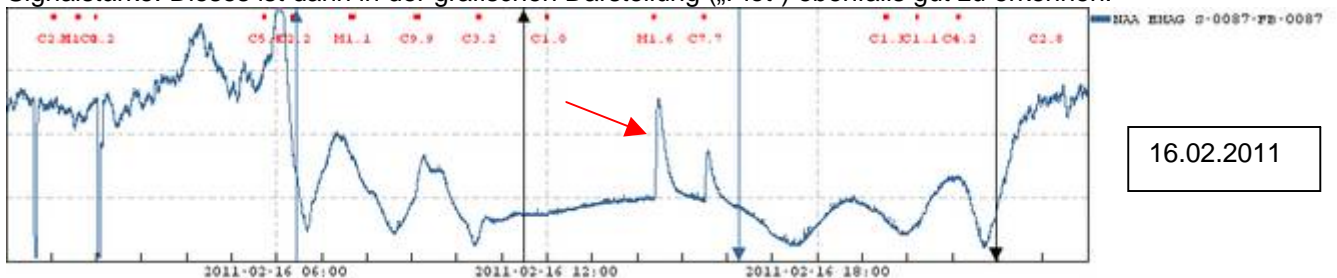
Wenn man **nicht** die Bodenwelle von Cutler als Ursache für die Interferenz mit ihrer Raumwelle betrachten kann, weil ihre Reichweite nicht bis Europa reicht, muss das Interferenzmuster durch die Raumwelle und einer anderen (unbekannten) Welle hervorgerufen werden, die während der Zeit des „Tagesplateaus“ eine feste Phasenbeziehung haben. In unserer Empfangsantenne wird hierdurch eine entsprechende Spannung induziert.

Änderungen in der Ionosphäre durch die Sonneneinstrahlung verändern dann den Gangunterschied zwischen Raum- und Bodenwelle und damit auch unsere Signalstärke.

Durch Strahlungsausbrüche auf der Sonne („Flares“) kann es durch die zusätzliche UV- und Röntgenstrahlung kurzzeitig zu einer sehr starken zusätzlichen Ionisierung kommen, so dass auch die unterste D-Schicht sehr plasmahaltig wird und die Reflexion der Raumwelle dann schon in tieferen Schichten erfolgt als es normalerweise der Fall ist.

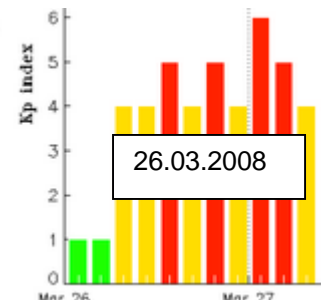
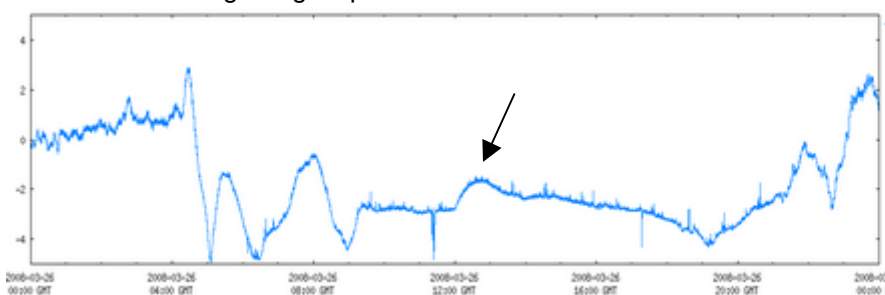
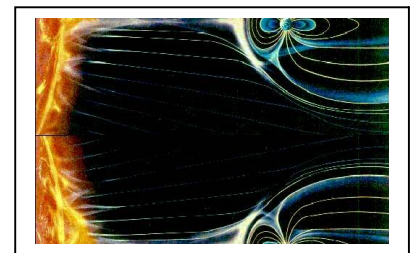


Dann kommt es zu sehr deutlichen Gangunterschieden und Änderungen der Signalstärke. Dieses ist dann in der grafischen Darstellung („Plot“) ebenfalls gut zu erkennen.



16.02.2011

Die **Flares** auf der Sonne können häufig mit koronalen Masseauswürfen (**CME = coronal mass ejection**) verbunden sein. Nach solchen Massenauswürfen auf der Sonne erreichen die zugehörigen Sonnenwinde (je nach Geschwindigkeit) etwa 1 – 4 Tage später die Erde. Dabei kann das Magnetfeld der Erde stark deformiert werden. (Die Magnetfeldschwankungen auf der Erde werden z.B. auch in Juliusruh auf Rügen mit einem Magnetometer ständig erfasst.) Die Energie der solaren Teilchen wird teilweise über das Magnetfeld in die Ionosphäre eingekoppelt und führt ebenfalls zu starken Änderungen in der D-Schicht. Dieses äußert sich wiederum in starken **Abweichungen** vom normalen Verlauf im aktuellen Tagesplot bzw. scheinbar erst einige Tage später.



26.03.2008

Die hochenergetischen elektrisch geladenen Teilchen können z.B. die Elektronik von Satelliten zerstören; ein Außeneinsatz der Astronauten wäre tödlich. Auch die Bordelektronik von Flugzeugen sowie die Computer von

Kraftwerken u.s.w. sind gefährdet. In Hochspannungsleitungen werden zusätzliche Stromstöße induziert, die zum Ausfall von Transformatoren führen können.

Auch Gas- und Ölpipelines sind wegen der Induktionswirkungen gefährdet.

Mit diesen wenigen Beispielen ist angedeutet, dass eine weitere Erforschung der Sonne und ein rechtzeitiger Schutz vor ihren Strahlungsauswirkungen notwendig ist.

## **2. Die Ionosphäre**

(mit Auszügen aus den nachfolgenden Publikationen)

[http://www.mps.mpg.de/dokumente/publikationen/pa/pa\\_9808\\_ionosphaere.pdf](http://www.mps.mpg.de/dokumente/publikationen/pa/pa_9808_ionosphaere.pdf)

<http://www.afu-sh.de/lokal/vortrag/VortragKWA.pdf>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Ionosph%C3%A4re#Entstehung\\_der\\_Ionosph.C3.A4re](http://de.wikipedia.org/wiki/Ionosph%C3%A4re#Entstehung_der_Ionosph.C3.A4re)

„Langwellen- und Längstwellenfunk“ von Gerd Klawitter und Klaus Herold

[http://www.diss.fu-](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000000584/02_kap2.pdf?hosts=)

[berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_00000000584/02\\_kap2.pdf?hosts=](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000000584/02_kap2.pdf?hosts=)

Betrachtet man die Atmosphäre unter dem Aspekt ihrer elektromagnetischen Wirkung, so gelangt man zu einer Unterteilung in eine neutrale und eine ionisierte Schicht. Der Teil der oberen Atmosphäre, welcher aufgrund seiner Ionisation die Ausbreitung von Radiowellen spürbar beeinflusst, wird als Ionosphäre definiert.

Die Ionosphäre der Erde ist ein Teil der hohen Atmosphäre, der durch Ionisation gekennzeichnet ist, und in etwa 70 – 90 km Höhe beginnt. Unter Ionisation versteht man die Aufspaltung von Gasmolekülen der Luft in Elektronen und Ionen durch die Ultraviolett- und Röntgenstrahlung der Sonne.

Die häufigsten Gasmoleküle der Luft sind molekularer Stickstoff ( $N_2$ ) und molekularer Sauerstoff ( $O_2$ ), oberhalb von 200 km atomarer Sauerstoff (O).

Ab 600 km Höhe besteht die Luft im wesentlichen nur noch aus Wasserstoff (H) und Helium (He).

Die Wellenlängen der solaren Ultraviolettstrahlung, welche die Ionisation bewirkt, liegen bei etwa 10 bis 100 nm.

Die Konzentration frei beweglicher Ladungsträger in der Ionosphäre resultiert aus einem Gleichgewicht zwischen Ionisations- und Rekombinationsprozessen, wobei die Intensität der ionisierenden Strahlung und die Dichte des Gases von besonderer Bedeutung sind. Neben den fotochemischen Prozessen der Ionisation und Rekombination spielen auch Transportprozesse aufgrund neutraler Winde oder elektromagnetischer Felder eine bedeutende Rolle für die Größe lokaler Elektronenkonzentrationen.

Innerhalb eines bestimmten Volumens des ionosphärischen Gases befindet sich jeweils die gleiche Anzahl von positiven und negativen Ladungen, so dass das Medium als ganzes elektrisch neutral ist

Obwohl nur weniger als 1 % der Gasmoleküle ionisiert sind, erhält die Luft durch die elektrisch geladenen Teilchen (Ionen, Elektronen) eine völlig neue Eigenschaft: sie wird elektrisch leitfähig.

Dadurch können in der Ionosphäre Ströme fließen und Radiowellen werden reflektiert, abgelenkt und gestreut.

Auf geladene Teilchen, die sich nicht parallel zum Magnetfeld bewegen, wirkt die Lorentzkraft. Daher beeinflusst das Erdmagnetfeld die Bewegung von Ionen und Elektronen und hat Auswirkungen auf ionosphärische elektrische Ströme und die Drift des Plasmas.

Eine Reihe von Wechselwirkungen, Instabilitäten und Wellenphänomenen, die im Bereich der neutralen Atmosphäre nicht auftreten, resultieren aus der Anwesenheit der Ladungsträger.

Die Namensgebung der Schichten hat historische Gründe.

Marconi hatte im Jahre 1901 mit seinen Versuchen zur Radiowellen-Übertragung zwischen Europa und Amerika bewiesen, dass es in etwa 100 km Höhe eine elektrisch leitfähige Schicht geben muss.

Der englische Physiker Sir Edward Appleton, der sich besondere Verdienste um die Ionosphärenforschung erwarb, und dafür auch den Nobelpreis erhielt, bezeichnete diese Schicht im Jahre 1927 daher als E(lektrische)-Schicht. Später entdeckte man unter und über dieser E-Schicht noch weitere Schichten, die man dann dem Alphabet entsprechend, D- und F-Schicht nannte.

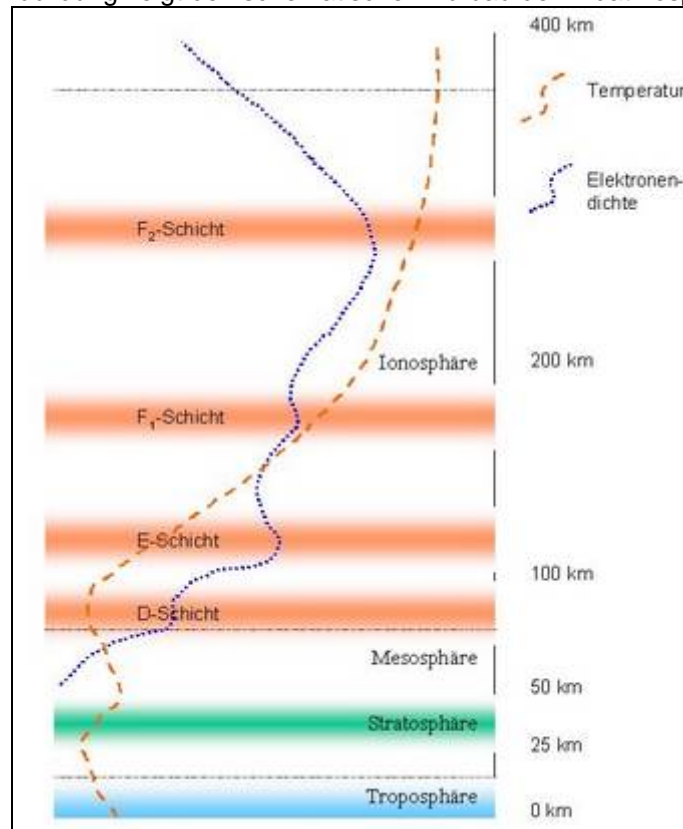
Bei Tage spaltet sich (im Sommer) die F-Schicht häufig in zwei Unterschichten auf, die F1- und die F2-Schicht. Letztere ist auch in der Nacht vorhanden.

Historische Messungen mit der Ionosonde in Juliusruh auf Rügen ergaben, dass die E-Schicht nachts ebenfalls noch geringfügig vorhanden ist.

Die einzelnen Schichten sind nicht nur eine Folge der direkten Ionisation sondern auch ihres Umkehrprozesses, der Rekombination. Dabei schließen sich ein Elektron und eines der verschiedenen Ionen wieder zu einem neutralen Gasatom oder Gasmolekül zusammen.

Außerdem spielen bei der Schichtbildung (besonders der F2- Schicht) auch Transportprozesse (Diffusion, Winde) eine große Rolle. Die Ionosphäre erstreckt sich bis in etwa 600–700 km Höhe.

Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau der Erdatmosphäre:



Wie alle anderen Schichten der Ionosphäre wird auch die **D-Schicht** (Höhenbereich zwischen 70 und 90 km) von den Einflüssen der Sonne bestimmt. Sie ist nur am Tage vorhanden und jahreszeitabhängig.

Die Plasmadichte der D-Schicht nimmt vom Sonnenaufgang bis zu zwei Stunden nach der lokalen Mittagszeit langsam zu und danach bis zum Sonnenuntergang langsam wieder ab. Ihre Ionisation wird hauptsächlich durch harte Röntgenstrahlen bewirkt.

Durch die hohe Atmosphärendichte ist die Rekombination groß, weshalb sie sich bei Sonnenuntergang binnen weniger Minuten nahezu auflöst. Die D-Schicht liegt der Erde am nächsten.

Die Kollisionsfrequenz zwischen Elektronen und anderen Teilchen ist wegen der hohen Atmosphärendichte sehr hoch, sie liegt bei ca. 10 Millionen Kollisionen pro Sekunde. In die D-Schicht eindringende Radiowellen erleiden deshalb eine starke Dämpfung.

Die ionosphärische D-Schicht besitzt die Eigenschaft, Kurzwellen insbesondere im unteren Kurzwellenfrequenzbereich zu dämpfen bzw. zu absorbieren. Diese Absorption wird durch die Kollisionen von Ladungsträgern hervorgerufen, die durch die Radiowelle zur Oszillation angeregt werden. Wenn die Ladungsträger mit neutralen Partikeln kollidieren, wird die Energie der Radiowelle gestreut. Da die Atmosphäre im Bereich der D-Schicht eine im Vergleich zu den oberen ionosphärischen Schichten hohe Dichte aufweist, sind die Kollisionen häufig und die Dämpfung entsprechend stark.

Nach Sonnenausbrüchen, sogenannten Solar-Flares, kann die für die Ionisation der D-Schicht verantwortliche energiereiche Strahlung (hauptsächlich harte Röntgenstrahlung) so stark und die Ionisation im Bereich der D-Schicht so hoch werden, dass es zu einer nahezu vollständigen Absorption der Kurzwellen kommt. Dadurch kann der gesamte Kurzwellenfunkverkehr schlagartig zum Erliegen kommen. Nach Sonnenuntergang nimmt die Ionisation im Bereich der D-Schicht rapide ab und die absorbierende Wirkung vermindert sich entsprechend stark. Dies macht sich auch beim Mittelwellenempfang bemerkbar, der nachts deutlich besser und über größere Entfernungen möglich ist als am Tage.

Die D-Schicht dämpft die durch sie hindurchgehenden Wellen auf dem Hin- und Rückweg zur E und F-Schicht.

Längstwellen mit ca. 10 kHz werden vollständig von der D-Schicht reflektiert.

Die **E-Schicht** ist die mittlere Ionosphärenschicht, die sich in einer Höhe zwischen 100 und 130 km ausbildet. Sie weist eine mittlere Elektronenkonzentration von etwa 100.000 je cm<sup>3</sup> auf. Die E-Schicht bildet sich auf der Tagseite der Erde aus und erreicht ihr Ionisationsmaximum ebenfalls nach der Mittagszeit.

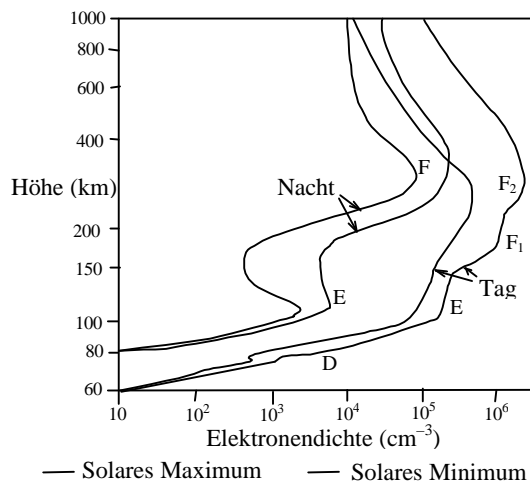
Nach Sonnenuntergang lösen sich innerhalb einer Stunde Teile der E-Schicht fast vollständig auf.

Für Kurzwellen, welche die D-Schicht durchdrungen haben, ist auch die E-Schicht nachteilig, da sie ähnlich wie die D-Schicht diese bedämpft, dies jedoch weit weniger stark. Sie eignet sich kaum für Reflexionen, da ihre kritische Frequenz im Normalzustand nur zwischen 2 und 4 MHz liegt.

Schicht	Höhe	Ionisierende Strahlung	Typische $N_e$ -Werte je $cm^3$	Ionisierte Moleküle und Atome
D	< 90 km	Ly- $\alpha$ ( $\lambda = 121,6$ nm), Röntgenstrahlung, kosmische Strahlung	100 – 10 000	NO
E	90 – 130 km	$\lambda < 14$ nm, $80$ nm $< \lambda < 102,7$ nm	100 000	$N_2, O_2, O$
F <sub>1</sub>	130 – 200 km	$14$ nm $< \lambda < 80$ nm	$10^5 - 10^6$	O, N <sub>2</sub>
F <sub>2</sub>	> 200 km	$14$ nm $< \lambda < 80$ nm	1 000 000	O, N <sub>2</sub>

Die Ionisation erreicht im Allgemeinen gegen etwa 14 Uhr Ortszeit ihr Maximum, während das Minimum zwischen Mitternacht und 6 Uhr morgens eintritt.

**Der Jahrgang der Ionosphäre ist durch relativ hohe Ionisationsgrade in den Wintermonaten und Übergangsjahreszeiten sowie vergleichsweise geringe Ionisationsgrade in den Sommermonaten gekennzeichnet.** („Jahresanomalie“)



Typische vertikale Profile der Elektronendichte in mittleren Breiten bei Tag und Nacht sowie minimaler und maximaler solarer Aktivität (nach Hargreaves, 1992).

Die in hohen Breiten anzutreffenden maximalen Elektronendichten sind deutlich geringer als die in niedrigeren Breiten. Ursachen dafür sind zum einen der flache Einfallswinkel der ionisierenden Strahlung, der zu einer vergleichsweise geringen Ionisationsrate führt, und zum anderen das Erdmagnetfeld, dessen in diesem Bereich offene Feldlinien den Verlust des durch Ionisation entstandenen Plasmas in den interplanetaren Raum ermöglichen.

Die Gestalt des Erdmagnetfeldes ermöglicht in hohen Breiten auch ein vergleichsweise tiefes Vordringen energiereicher Teilchenstrahlung der Sonne in die Erdatmosphäre und bewirkt damit das häufige Auftreten von Polarlichtern in diesen Gebieten. Durch Wechselwirkungen werden Luftmoleküle in Höhen ab etwa 100 km zum Leuchten angeregt und es kommt zur Entwicklung der prächtigen Polarlichter. Trotz der relativ geringen Elektronendichten in hohen Breiten ist dieses Gebiet sehr reich an Instabilitäten des Plasmas, d.h., kurzzeitige Schwankungen der Elektronendichte treten hier deutlich häufiger auf als in niedrigeren Breiten.

**Einige Bemerkungen zur Elektronendichte und Temperatur:**

Die kritische Frequenz ist die Frequenz, bei der ein senkrechter ausgestrahltes Signal gerade noch total reflektiert wird. Diese Frequenz ist gleich der sogenannten „Plasmafrequenz“. Wenn die Sendefrequenz höher als diese Plasmafrequenz ist, können die schwingenden Elektronen das Signal nicht schnell genug wieder abstrahlen, eine Reflexion ist dann nicht möglich.

Man berechnet sie mit der Gleichung:

$$f_{krit} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{e^2 N_e}{m_e \epsilon_0}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As})^2 \cdot N_e}{9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As} \cdot (\text{Vm})^{-1}}} = 8,978 \cdot \sqrt{N_e} \text{ s}^{-1}$$

Für eine mittlere Elektronenkonzentration  $N_e$  von etwa  $100.000 \text{ je } cm^3 = 10^{11} \text{ je } m^3$  erhält man:

$$f_{krit} = 8,978 \cdot \sqrt{10^{11}} \text{ s}^{-1} = 2,839 \cdot 10^6 \text{ Hz} \approx 2,8 \text{ MHz}$$

Für eine mittlere Elektronenkonzentration von etwa  $1.000.000 \text{ je } cm^3 = 10^{12} \text{ je } m^3$  erhält man:

$$f_{krit} = 8,978 \cdot \sqrt{10^{12}} \text{ s}^{-1} = 8,978 \cdot 10^6 \text{ Hz} \approx 9,0 \text{ MHz}$$

Da nahezu alle Ionen der Ionosphäre einfach positiv geladen sind, entspricht die Ionendichte weitgehend der Elektronendichte.

Die Ionosonde in Juliusruh auf Rügen sendet Signale im Bereich von 1MHz bis 9,5 MHz aus und bestimmt aus der Laufzeit des Radar-Echos die entsprechenden Höhen der einzelnen Schichten der Ionosphäre.



Auf diese Weise kann aus der Laufzeit des Signals und der entsprechenden Frequenz mit Hilfe der obigen Gleichung auf die Elektronendichte in einer bestimmten Höhe geschlossen werden.

Die Höhe der D-Schicht kann mit diesen Frequenzen jedoch **nicht** bestimmt werden.

(Messungen des Kühlungsborner Instituts mit Raketen in Wolgograd ergaben für die D-Schicht in ca. 80 km Höhe Elektronenkonzentrationen im Bereich von 400 bis 500 pro  $\text{cm}^3$ .)

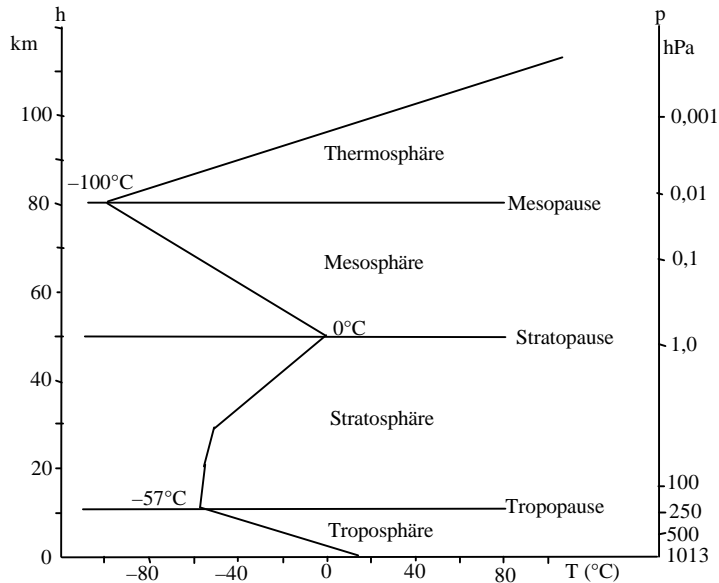
Um die **Temperatur** zu ermitteln, wird ein Laser-Strahl senkrecht in die Atmosphäre gerichtet.

(LIDAR = **L**ight **D**etection and **R**anging). Das gestreute Licht dieser Lichtpulse wird aufgezeichnet. Aus der Laufzeit kann ebenfalls auf die Höhe geschlossen werden. Solche Messungen werden z.B. in Kühlungsborn im Institut für Atmosphärenforschung (zu dem auch die Außenstelle Juliusruh gehört) durchgeführt.

Mit Hilfe der Dichtebestimmung kann dann auf die Temperatur geschlossen werden.

Auf diese Weise können Temperaturen im Bereich von 1 bis 105 km Höhe ermittelt werden.

(Vortrag am 4. März 2008 im Rahmen des Rostocker Physiktages 2008 an der Universität von Dr. Monika Rauthe)



Vertikaler Temperaturverlauf der Atmosphäre (nach Malberg, 1994)

Bis zu einer Höhe von etwa 70 km ist die Ionisation der Atmosphäre so gering und die Dichte des Neutralgases so hoch, dass der ionisierte Anteil im Wesentlichen den Bewegungen des Neutralgases folgt. Der Einfluss des Magnetfeldes ist hier noch verschwindend gering.

In einem darüber befindlichen Bereich (etwa 70 – 130 km Höhe) beeinflusst das Magnetfeld der Erde jedoch bereits die Bewegung der Elektronen, während die Ionen noch weitgehend dem Neutralgas folgen. Daher kommt es in diesem auch als *Dynamosphicht* bezeichneten Bereich zur Ladungstrennung und folglich zur Entstehung elektrischer Ströme und Felder.

Während die Brechung von Radiowellen in der Troposphäre praktisch frequenzunabhängig ist, stellt die Ionosphäre für diese Wellen bis etwa 10 GHz ein frequenzabhängiges Ausbreitungsmedium dar.

Auf Signale mit Frequenzen kleiner als 10 GHz übt die Ionosphäre grundsätzlich einen störenden Einfluss aus.

(GPS-Trägerfrequenzen:  $f_1 \approx 1,57 \text{ GHz}$ ,  $\lambda_1 \approx 19 \text{ cm}$ ;  $f_2 \approx 1,23 \text{ GHz}$ ,  $\lambda_2 \approx 24 \text{ cm}$ )

Die Brechung von Radiowellen durch die Ionosphäre beeinträchtigt die Genauigkeit der satellitengestützten Navigation und macht deshalb eine Ionosphärenkorrektur der Navigationssignale erforderlich.

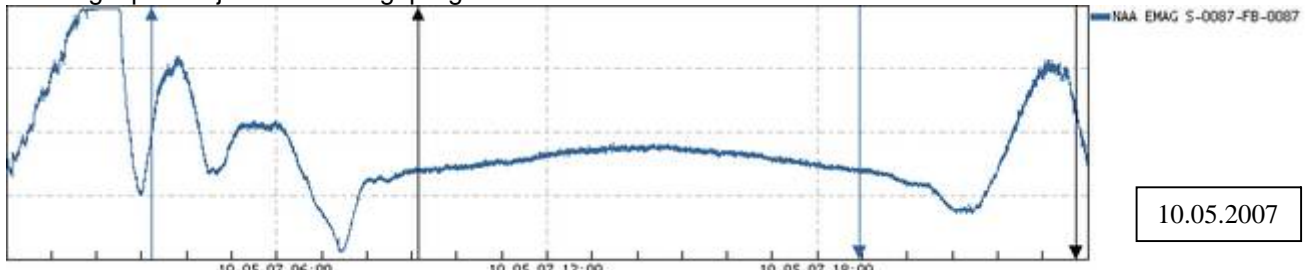
Sollen dagegen zwei auf der Erde befindliche Orte durch Radiowellen „verbunden“ werden, ist die Anwesenheit der Ionosphäre sehr hilfreich. Ursache dafür ist die Eigenschaft der Ionosphäre, Radiowellen mit Frequenzen unterhalb der kritischen Frequenz der Ionosphäre zu reflektieren.

Abhängig von der Sonnenaktivität kann der Aufbau der Ionosphäre stark schwanken.

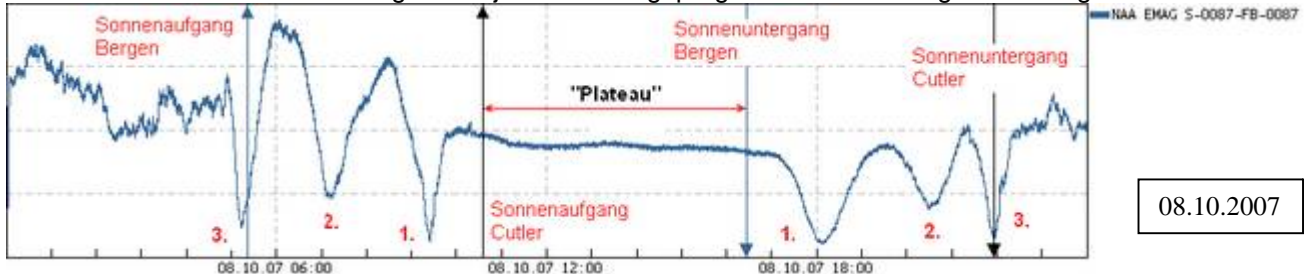
Durch Strahlungsausbrüche (sog. Flares) kann es zu einer so starken Ionisierung kommen, dass die unterste D-Schicht sehr plasmahaltig wird.

### 3. Der typische Tagesgang

Der Tagesplot ist jahreszeitlich geprägt.

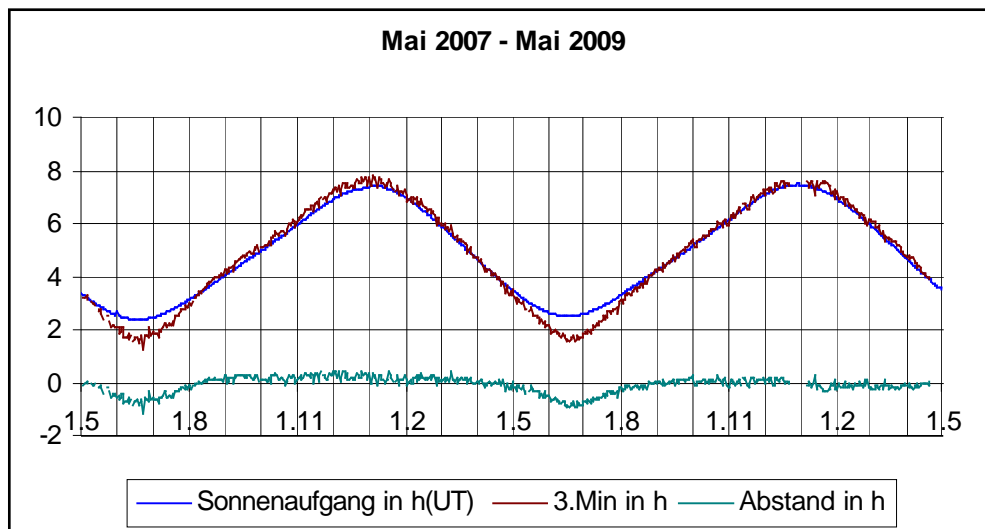


normaler Verlauf von Mai bis August mit jeweils 3 ausgeprägten Minima zu Beginn des Tages



normaler Verlauf im Oktober mit jeweils 3 ausgeprägten Minima morgens und abends

Das zeitlich erste Minimum (im nachfolgenden Diagramm als „3.Minimum morgens“ bezeichnet, weil es vom „Plateau“ aus betrachtet das dritte Minimum ist) bildet sich jeden Tag (außer in den Sommermonaten) fast zeitgleich mit dem Sonnenaufgang in Bergen heraus.



In den Sommermonaten liegt das zeitlich erste Minimum bis zu einer 3/4 Stunde vor dem Sonnenaufgang in Bergen.

#### Warum entsteht das zeitlich erste Minimum annähernd zeitgleich mit dem Tagesbeginn?

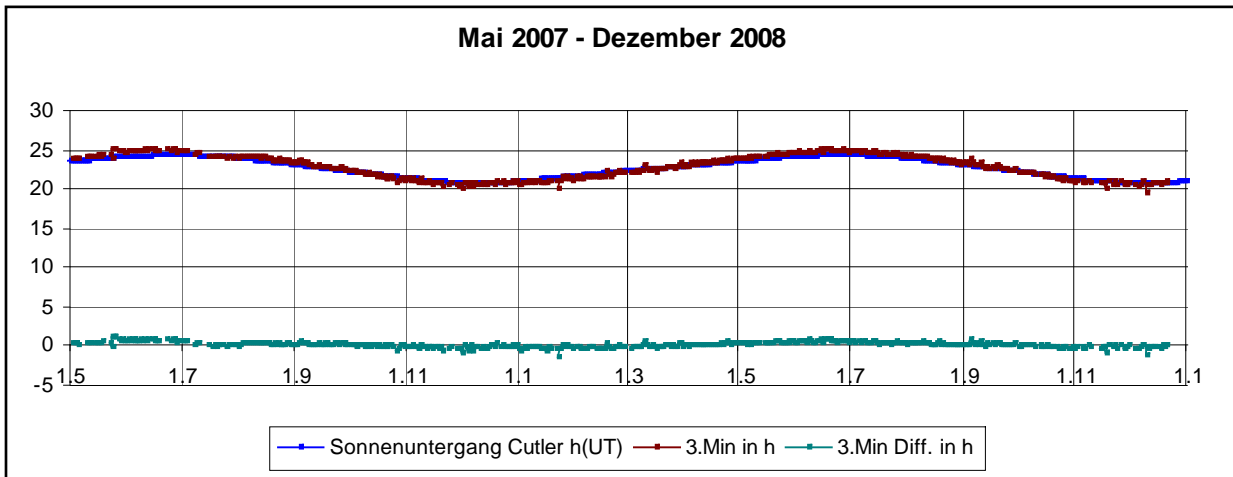
In den Plots ist erkennbar, dass der Signalpegel während der Nacht sehr hoch ist. Dieses bedeutet, dass die elektromagnetischen Wellen kaum gedämpft werden und die Energieübertragung damit ebenfalls günstig ist. Eine Dämpfung erfolgt im wesentlichen nur an den Resten der E-Schicht in 100 -150 km Höhe und darüber. Bei Tagesbeginn bilden sich jedoch die unteren Schichten der Ionosphäre heraus und dämpfen damit den Signalpegel sehr stark; somit entsteht das zeitlich erste „3.Minimum“ am Morgen. Während des Sommers ist die Phase der Morgendämmerung länger als in der übrigen Jahreszeit. Deswegen erfolgt eine Ionisierung der tieferen Schichten auch schon vor dem eigentlichen Sonnenaufgang.

Eine weiterer Grund kann in dem stark veränderten Reflexionsverhalten der Raumwelle während der Morgendämmerung liegen.

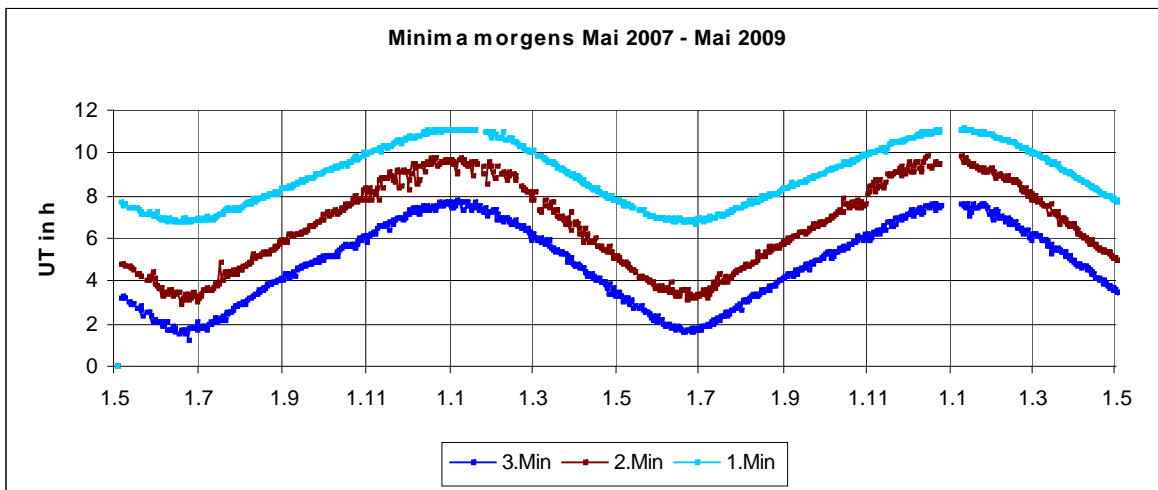
Nach dem Sonnenuntergang in Bergen bis zum Sonnenuntergang in Cutler erfolgt der „Rückbau“ der E- bzw. D-Schicht. Hiermit ist wiederum eine Änderung der Phasenbeziehung und des Gangunterschieds ähnlich wie am Morgen verbunden.

Ein ganz ähnliches Verhalten wie morgens beim Sonnenaufgang in Bergen ist deshalb auch abends beim Sonnenuntergang in Cutler zu erkennen.

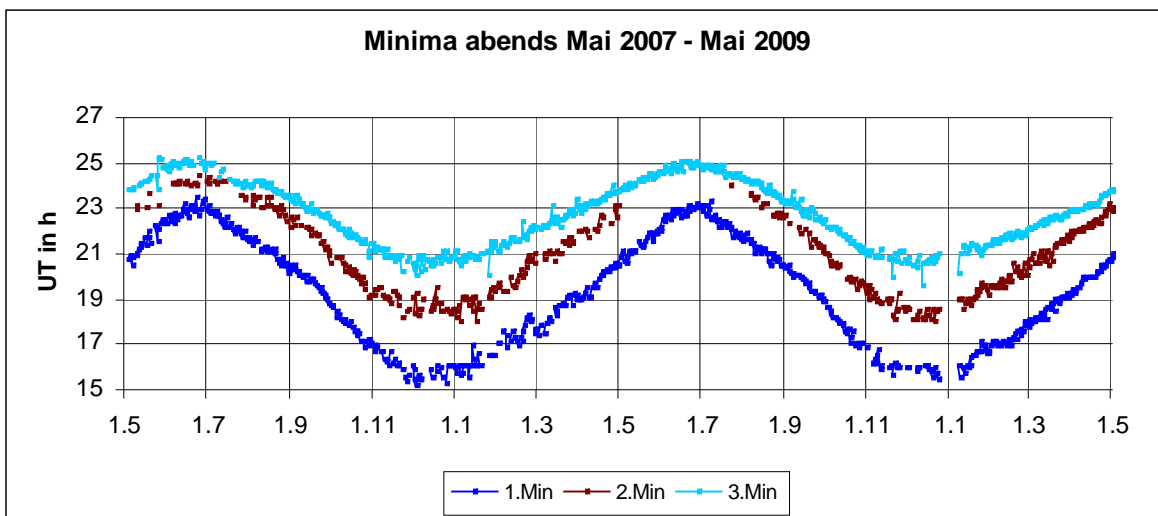
Wegen der Änderung der Phasenbeziehung zwischen der Boden- und Raumwelle entsteht fast zeitgleich mit dem Sonnenuntergang in Cutler ein Minimum (im nachfolgenden Diagramm als „3.Minimum abends“ bezeichnet).



Die **Minima morgens** sind das ganze Jahr über stark ausgeprägt vorhanden. Dieses deutet auf drei Reflexionen (3 „Hops“) der Raumwelle hin.



Die drei **Minima abends** sind nicht immer vorhanden. Das 2. und 3. während der Monate Mai bis August ist kaum zu unterscheiden. Es kommt auch zu größeren zeitlichen Schwankungen als bei den Minima am Morgen.



Insbesondere von Mitte Oktober bis Mitte März bilden sich morgens und auch abends hin und wieder **vier** ausgeprägte **Minima** aus.

Dieses deckt sich mit der „Jahreszeitlichen Anomalie“, dass trotz einer geringeren Sonneneinstrahlung die Elektronendichte im Winter größer als im Sommer ist. Auf die D-Schicht bezogen müsste sie jetzt so tief liegen, dass 4 Reflexionen möglich sind.

Dieses Verhalten passt auch zur sogenannten „**D-Schicht Winteranomalie**“ oberhalb 35° nördlicher Breite, wobei die Absorptionsfähigkeit und damit die Reflexionsfähigkeit sporadisch wesentlich höher ist, als es der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung begründen würde.

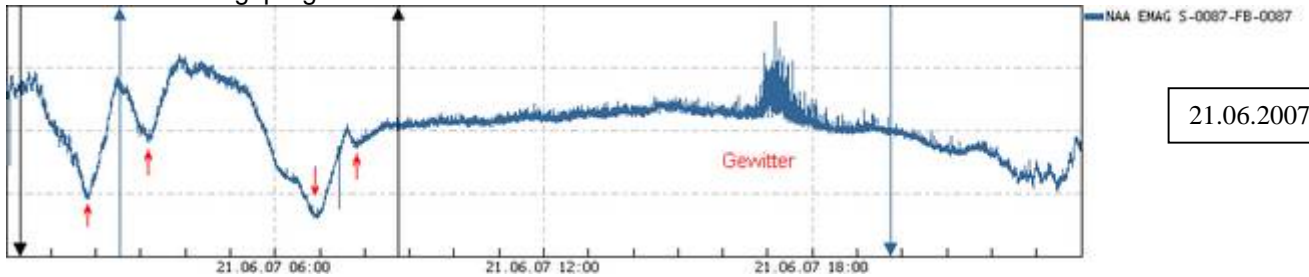
Zur Erklärung dieses Effekts (nach Dr. Günter Entzian):

Oberhalb von 75 km nimmt die NO-Dichte zu. Durch die Lyman-a-Strahlung der Sonne erfolgt die Ionisierung der NO-Moleküle. Durch dynamische Abwärtsbewegungen dieser NO -Ionen steigt dann auch die elektrische Leitfähigkeit im unteren Gebiet der D-Schicht. Dieser Effekt ist jedoch nur hin und wieder vorhanden.

(Dieses wirft die Frage auf, ob das Signal während dieser Zeit **mindestens viermal** an der Ionosphäre reflektiert wird.)



An vielen Tagen ab Ende Mai – Mitte September ist außerdem vor dem Sonnenaufgang in Cutler neben den normalen stark ausgeprägten drei Minima noch deutlich eine 4. „Delle“ zu erkennen.



#### 4. Die Reflexion der Raumwelle

(Die nachfolgenden Ausführungen beruhen auf der Annahme, dass die Bodenwelle von Cutler auch Bergen erreicht. Diese Annahme kann falsch sein.)

Der Sonnenaufgang in Cutler erfolgt 5–6 Stunden später als in Bergen. Während dieser Zeit verschiebt sich auch die Ausbildung der E- und D-Schicht von Bergen auf Cutler zu.

Gleichzeitig ändert sich die Phasenbeziehung zwischen der Boden- und Raumwelle, weil die Raumwelle mehrfach zwischen der Ionosphäre und der Erdoberfläche hin und her reflektiert wird.

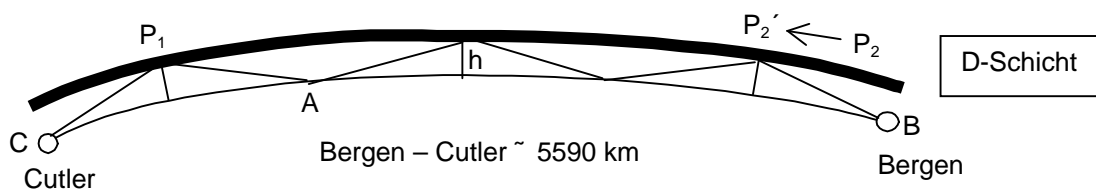
Im Laufe des Vormittages verschiebt sich der Reflexionspunkt  $P_1$  in immer tiefer liegende Schichten, bis der Gangunterschied zwischen Boden- und Raumwelle in Bergen das zeitlich letzte Minimum 1 – 2 Stunden vor dem Sonnenaufgang in Cutler bewirkt.

In der nachfolgenden Skizze haben sich die Verhältnisse dann nach dem Sonnenaufgang in Cutler stabilisiert.

(Wie viele Reflexionen während der stabilen Phase des „Plateaus“ stattfinden, ist jedoch ungewiss.)

Zur Zeit des Sonnenaufgangs liegt  $P_2$  noch in unmittelbarer Nähe westlich (oberhalb) von Bergen. Danach „wandert“  $P_2$  weiter in Richtung Cutler.

$P_2$  liegt dabei auch schon **vor** dem Sonnenaufgang in Bergen etwas westlich von Bergen, weil sich die D-Schicht in ca. 70 km Höhe durch den schrägen Sonneneinfall schon vor dem eigentlichen Sonnenaufgang herausgebildet hat. (Das „3.Minimum“ kann deshalb auch schon vor dem Sonnenaufgang auftreten.)



Bei der Annahme von 3 „Hops“ nach dem Sonnenaufgang in Cutler ist der Abstand  $\overline{P_1P_2'}$  ungefähr gleich

$\overline{AB} = \frac{2}{3} \overline{BC}$ . Da sich die Position von  $P_2$  im Laufe des frühen Morgens aber in Richtung Cutler nach  $P_2'$  hin

verschoben hat, ist der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und letzten Minimum am Morgen jedoch wesentlich

länger, als der Distanz  $\overline{P_1P_2'}$  entspricht. Hieraus folgt:  $\frac{\overline{P_1P_2'}}{\overline{BC}} > \frac{2}{3}$ .

$P_1$  liegt während der frühen Morgenstunden noch weit über der D-Schicht, so dass es zur Zeit des Sonnenaufgangs in Bergen (vielleicht) nur drei Reflexionen gab. Wenn sich  $P_1$  der D-Schicht nähert, können unter Umständen auch mehr Reflexionen stattfinden.

Bei der Annahme von 4 „Hops“ während der stabilen Phasenlage wäre entsprechend der oberen Skizze

$$\overline{P_1P_2'} = \frac{3}{4} \overline{BC}.$$

Der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und letzten Minimum am Morgen ist aber auch hier wesentlich länger,

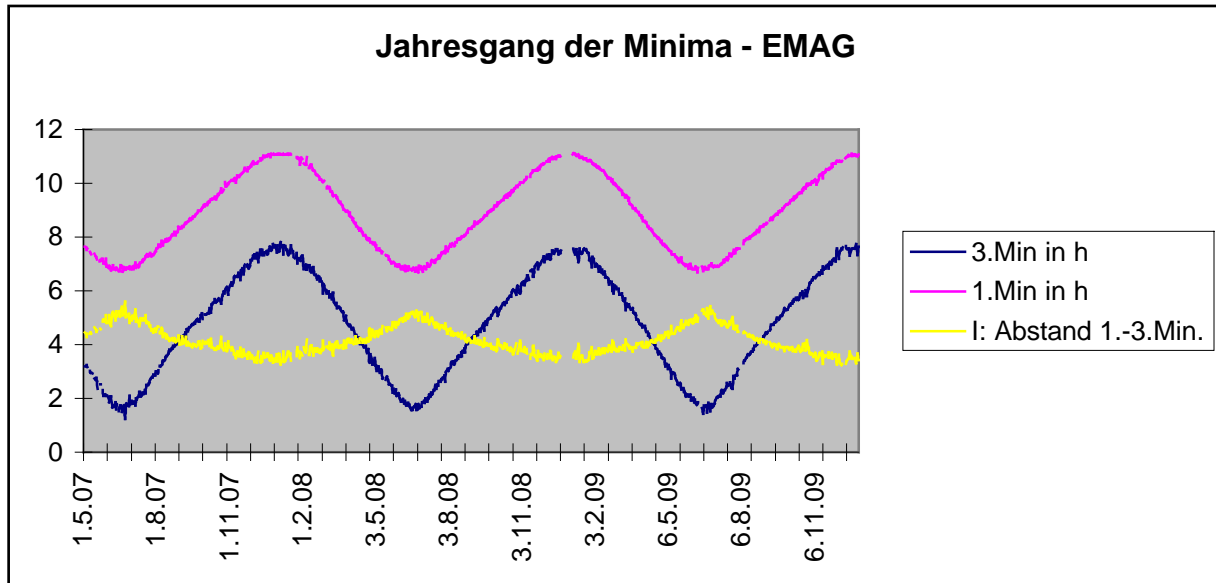
als es der Distanz  $\overline{P_1P_2'}$  entspricht. Hieraus folgt:  $\frac{\overline{P_1P_2'}}{\overline{BC}} > \frac{3}{4}$ , das Verhältnis müsste deutlich größer als 3/4 sein.

Dieses kann mit Hilfe der Messwerte für über 2-1/2 Jahre überprüft werden.

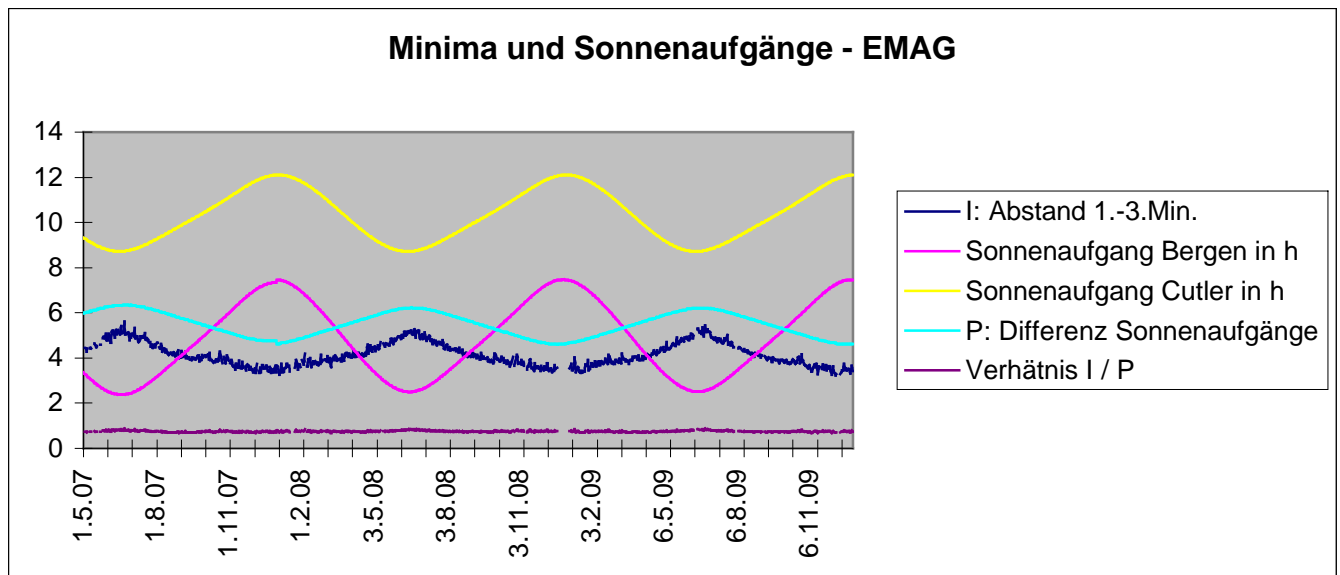
Datum	3.Min. in h		1.Min. in h		1.Differenz in h	Sonnenaufgang Bergen in h	Sonnenaufgang Cutler in h	2.Differenz in h		Verhältnis der Differenzen	
15.05.2007	2:44	2,73	7:23	7,38	4,65	2:54	2,90	9:02	9,03	6,13	0,76
16.05.2007	2:42	2,70	7:17	7,28	4,58	2:53	2,88	9:00	9,00	6,12	0,75
17.05.2007	2:46	2,77	7:15	7,25	4,48	2:51	2,85	8:59	8,98	6,13	0,73
18.05.2007	2:38	2,63	7:10	7,17	4,53	2:49	2,82	8:58	8,97	6,15	0,74

( Ausschnitt aus der Wertetabelle)

In der folgenden Abbildung sind die beiden Minima und ihr zeitlicher Abstand für den Zeitraum Mai 2007 – Dezember 2009 dargestellt.



In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass die Differenz der Sonnenaufgänge jahreszeitlich ähnlich variiert wie der zeitliche Abstand zwischen dem ersten und letzten Minimum am Vormittag.



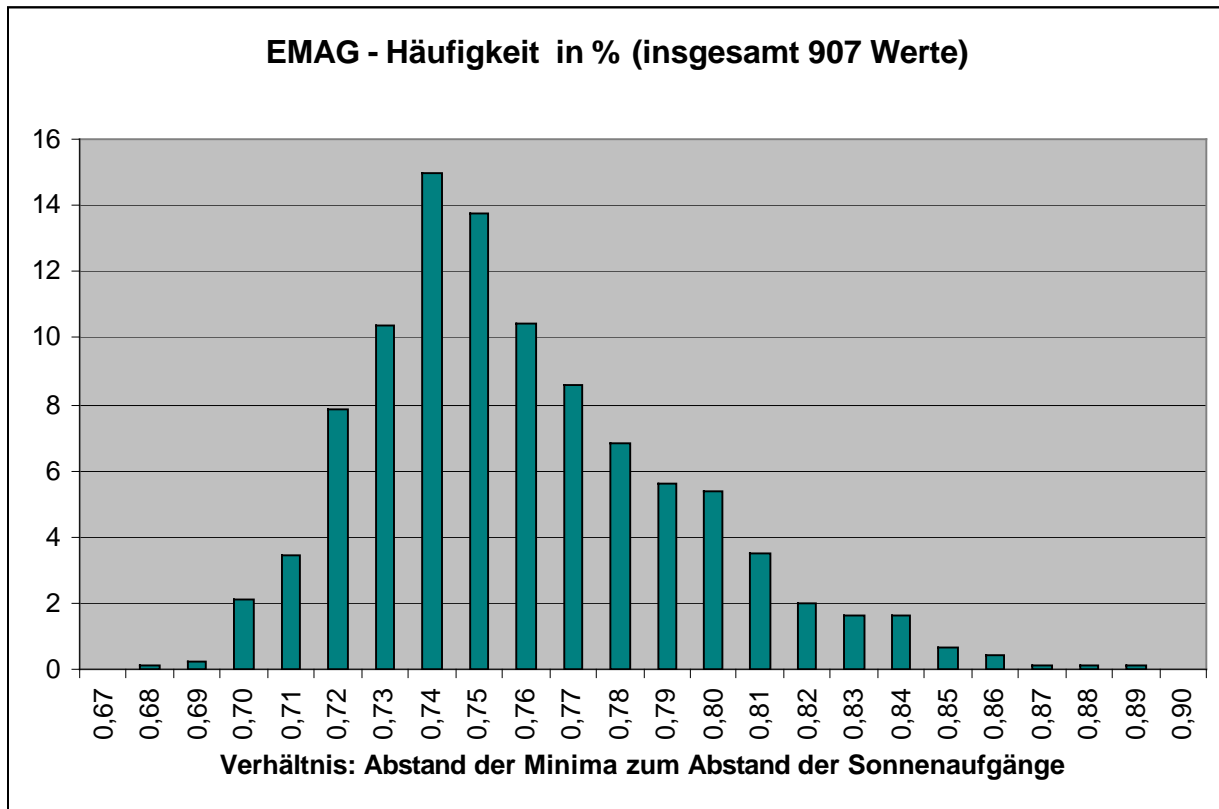
Das Verhältnis beider Differenzen ist für alle Tage durchschnittlich **0,754** und damit größer als  $\frac{2}{3}$ .

Die Werte variieren dabei zwischen 0,68 und 0,89.

Bei 4 Hops müsste das Ergebnis deutlich größer als  $\frac{3}{4}$  sein.

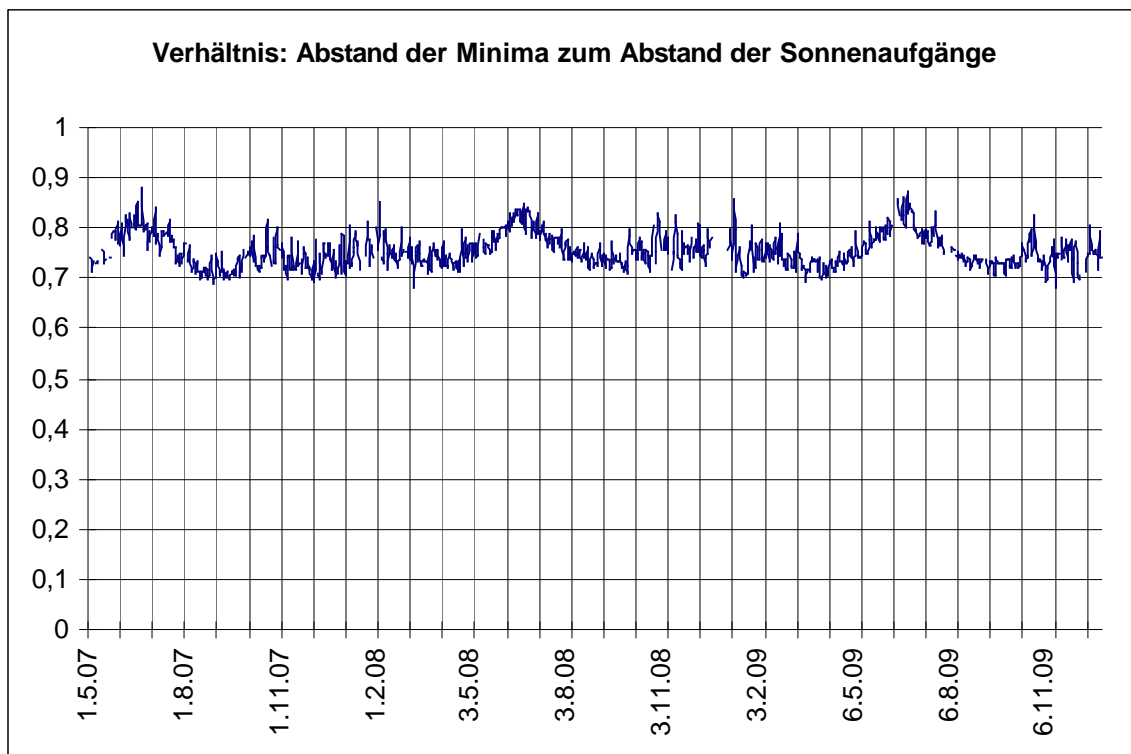
Dieses Ergebnis deutet auf mindestens **drei** Reflexionen tagsüber auf dem Weg von Cutler nach Bergen hin.

In diesem Diagramm ist zu erkennen, dass **deutlich** größere Werte als 0,75 nicht mehr so häufig auftreten. Deshalb überwiegt insgesamt die Anzahl mit **drei** Reflexionen gegenüber denen mit 4 „Hops“.



Warum es jedoch in der überwiegenden Mehrzahl drei und nicht vier Reflexionen sind, kann hier nur vermutet werden. Vielleicht hängt dieses mit Anomalien der Ionosphäre zusammen.

Eine gewisse Häufung für größere Werte kann man im Juni erkennen. Dann liegt das „3.Minimum“ bis zu mehr als einer  $\frac{3}{4}$  Stunde auch deutlich vor dem Sonnenaufgang in Bergen.



Im Juni ist die Sonneneinstrahlung im Bereich Cutler – Bergen stärker als in den anderen Monaten. Die D-Schicht erreicht dann auch sehr niedrige Werte. Dieses könnte wiederum der Grund für vier Reflexionen während der stabilen Phasenlage sein.

Für eine grobe Übersichtsrechnung (**ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung** und unterschiedlicher Ausprägung der D-Schicht) kann man in der oberen Skizze sechs rechtwinklige Dreiecke betrachten.

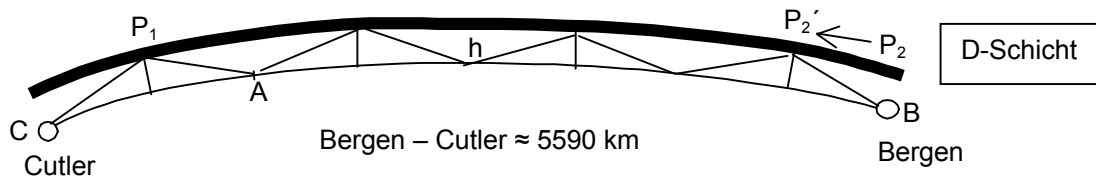
Für die nachfolgende Rechnung wurde extra **kein** ganzes Vielfaches von  $\lambda$  gewählt, weil die Plateauhöhe im Plot tagsüber ebenfalls nicht maximal wie beispielsweise bei einem Flare ist. Der Gangunterschied darf bei 3 „Hops“ nicht allzu groß gewählt werden, weil sich die D-Schicht im Bereich 70 – 90 km ausbildet.

Wenn sich der Gangunterschied  $\Delta s$  nach dem letzten Minimum von  $\frac{3}{2}\lambda$  dann wegen der zunehmenden Sonneneinstrahlung weiter auf beispielsweise  $1,4 \cdot \lambda = 17,5 \text{ km}$  verkürzt, beträgt der Abstand der D-Schicht etwa

$$h = \sqrt{\left(\frac{5590 \text{ km}}{6} + \frac{17,5 \text{ km}}{6}\right)^2 - \left(\frac{5590 \text{ km}}{6}\right)^2} \approx 74 \text{ km}.$$

Bei starker Röntgenstrahlung steigt bei uns die Signalstärke sprunghaft an. Dabei sinkt die D-Schicht kurzzeitig wegen der ionisierenden Wirkung der Röntgenstrahlung auf geringere Höhen ab. Für die Rechnung kann man für diese maximale Verstärkung als Gangunterschied  $\Delta s = \lambda = 12,5 \text{ km}$  wählen. Die Höhe verringert sich dann bei diesem Gangunterschied während der Dauer des Flares bis auf ca. 62 km.

Bei 4 „Hops“ kann man in der Skizze acht rechtwinklige Dreiecke betrachten. Die D-Schicht hat sich hierbei etwas weiter abgesenkt, so dass 4 Reflexionen notwendig sind.



Der Gangunterschied ist jetzt größer als bei 3 „Hops“. Wenn sich der Gangunterschied  $\Delta s$  nach dem letzten Minimum von  $\frac{5}{2}\lambda$  dann wegen der zunehmenden Sonneneinstrahlung weiter auf beispielsweise  $2,4 \cdot \lambda = 30 \text{ km}$

verkürzt, beträgt der Abstand der D-Schicht etwa  $h = \sqrt{\left(\frac{5590 \text{ km}}{8} + \frac{30 \text{ km}}{8}\right)^2 - \left(\frac{5590 \text{ km}}{8}\right)^2} \approx 72 \text{ km}.$

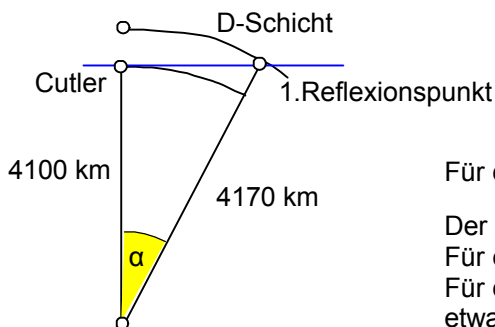
**Eine weitere Überlegung zur Anzahl der Reflexionen**

Bergen mit  $54^\circ 25' \text{ N}$  und  $13^\circ 25' \text{ E}$  sowie Cutler mit  $44^\circ 39' \text{ N}$  und  $67^\circ 18' \text{ W}$  liegen jeweils 3707 km bzw. 4532 km von der Erdoberfläche entfernt ( $r_B = 6371 \text{ km} \cdot \cos 54,42^\circ = 3707 \text{ km}$ ;  $r_C = 6371 \text{ km} \cdot \cos 44,65^\circ = 4532 \text{ km}$ ).

Dabei schließen sie einen Winkel von etwa  $13^\circ + 67^\circ = 80^\circ$  ein.

Für den nachfolgenden Überschlagn soll eine mittlere Entfernung von rund 4100 km von der Erdoberfläche angenommen werden.

Das Signal von Cutler breitet sich im Reflexionsmodell tangential bis zur D-Schicht in etwa 70 km Höhe aus.



Für das rechtwinklige Dreieck gilt dann  $\cos \alpha = \frac{4100}{4170} = 0,983.$

Der zugehörige Winkel bis zum 1. Reflexionspunkt ist  $\alpha = 10,5^\circ.$

Für eine Reflexion wäre der Winkel  $21^\circ$  anzunehmen.

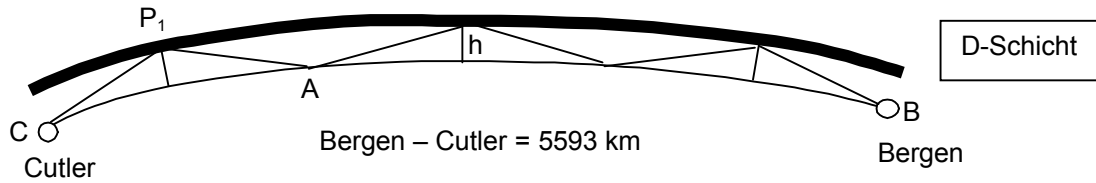
Für diese Höhe von 70 km kämen demnach für insgesamt  $80^\circ$  etwa 4 Reflexionen in Betracht.



**Geometrische Berechnung der Reflexionshöhe  $h$**

(nach Anregungen von Dr. Günter Entzian aus Kühlungsborn)

Hierbei soll angenommen werden, dass sich das Signal als Boden- und Raumwelle ausbreitet und dreimal an der D-Schicht reflektiert wird (3 Hops).



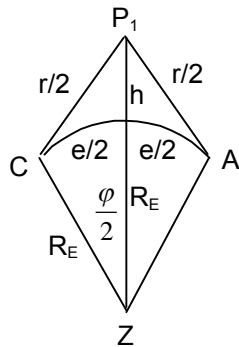
Betrachtet wird das Dreieck  $CAP_1$  unter Berücksichtigung der Erdkrümmung.

Die Entfernung für die Bodenwelle beträgt somit  $e = \overline{CA} = \frac{5593\text{km}}{3} \approx 1864,3\text{km}$ .

Die Raumwelle legt den Weg  $r$  zurück. Der Gangunterschied gegenüber der Bodenwelle ist  $\Delta r = r - e$ .

Betrachtet man das Bogenstück  $\frac{e}{2} = 932,1\bar{6}\text{ km}$ , erhält man entsprechend der Formel  $b = \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot 2\pi \cdot r$  für den

Winkel:  $\frac{\varphi}{2} = \frac{e}{2} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi \cdot R_E}$ ; im Bogenmaß:  $\text{arc}\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{e}{R_E} = \frac{e}{2 \cdot R_E}$  bzw.  $\text{arc}\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{3e}{6 \cdot R_E} = \frac{\overline{CB}}{6 \cdot R_E}$ .



Für das Dreieck  $ZP_1C$  gilt nach dem Kosinus-Satz:  $\left(\frac{r}{2}\right)^2 = R_E^2 + (R_E + h)^2 - 2 \cdot R_E \cdot (R_E + h) \cdot \cos \frac{\varphi}{2}$

$$\left(\frac{r}{2}\right)^2 = R_E^2 + R_E^2 + 2 \cdot R_E \cdot h + h^2 - 2 \cdot R_E^2 \cdot \cos \frac{\varphi}{2} - 2 \cdot R_E \cdot h \cdot \cos \frac{\varphi}{2}$$

bzw.  $\left(\frac{r}{2}\right)^2 = 2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right) + 2 \cdot R_E \cdot h \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right) + h^2$ .

Man kann  $A = 2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)$  und  $B = 2 \cdot R_E \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)$  setzen und erhält die quadratische Gleichung:

$$\left(\frac{r}{2}\right)^2 = A + B \cdot h + h^2. \text{ Durch Umformen erhält man: } r = 2 \cdot \sqrt{h^2 + B \cdot h + A}.$$

Hieraus folgt mit  $\Delta r = r - e$ :  $\Delta r = 2 \cdot \sqrt{h^2 + B \cdot h + A} - e$ . Diesen Gangunterschied („Laufwegdifferenz“) kann man ins Verhältnis zur Wellenlänge  $\lambda$  setzen:  $C = \frac{\Delta r}{\lambda}$ . Wenn dieses Verhältnis eine **ganze Zahl** ergibt, erhält man bei der Interferenz der beiden Wellen eine **maximale Verstärkung**.

$C = \frac{\Delta r}{\lambda} = \frac{2 \cdot \sqrt{h^2 + B \cdot h + A} - e}{\lambda}$ . Aus dieser Gleichung eliminiert man die unbekannte Variable  $r$ , indem man für  $C$  ganze Zahlen  $n$  bei maximaler Verstärkung bzw.  $n + 0,5$  bei maximaler Auslöschung einsetzt.

Aus dem oberen Ausdruck folgt nach Umformung:  $\frac{C \cdot \lambda + e}{2} = \sqrt{h^2 + B \cdot h + A}$  bzw.  $\left(\frac{C \cdot \lambda + e}{2}\right)^2 = h^2 + B \cdot h + A$ .

Die quadratische Gleichung  $0 = h^2 + B \cdot h + A - \left(\frac{C \cdot \lambda + e}{2}\right)^2$  ist nach  $h$  aufzulösen mit der Lösungsformel für

quadratische Gleichungen:

$$h = -\frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} - \left[ A - \left( \frac{C \cdot \lambda + e}{2} \right)^2 \right]}$$

Für C = 0 und h = 0 erhält man die Bedingung  $A = \left(\frac{e}{2}\right)^2$  und somit  $2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right) = \left(\frac{e}{2}\right)^2$  bzw.

$$2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos \frac{e}{2 \cdot R_E}\right) = \left(\frac{e}{2}\right)^2 \text{ oder } 2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos \frac{\overline{CB}}{6 \cdot R_E}\right) = \left(\frac{\overline{CB}}{6}\right)^2, \text{ wenn man den Winkel im Bogenmaß angibt,}$$

Es muss damit auch gelten:  $\frac{\overline{CB}^2}{72 \cdot R_E^2} = 1 - \cos \left(\frac{\overline{CB}}{6 \cdot R_E}\right).$

$\overline{CB}$ in km	$R_E$ in km	$a = \frac{\overline{CB}^2}{72 \cdot R_E^2}$	$b = 1 - \cos \left(\frac{\overline{CB}}{6 \cdot R_E}\right)$	Differenz: a - b
5593,4	6365	0,0107256209	0,0107064615	$1,91594 \cdot 10^{-5}$
5593,4	6370	0,0107087898	0,0106896904	$1,90994 \cdot 10^{-5}$
5592,8	6365	0,0107233200	0,0107041688	$1,91512 \cdot 10^{-5}$
<b>5593</b>	<b>6365</b>	<b>0,0107240869</b>	<b>0,0107116515</b>	<b><math>1,24354 \cdot 10^{-5}</math></b>
5593	6368	0,0107139850	0,0106948671	$1,91179 \cdot 10^{-5}$
5593	6370	0,0107072582	0,0106881643	$1,90939 \cdot 10^{-5}$
5590	6365	0,0107125856	0,0106934726	$1,91129 \cdot 10^{-5}$

Die geringste Abweichung erhält man für  $\overline{CB} = 5593$  km und mit dem geozentrischen Radius für Mitteleuropa  $R_E = 6365$  km. (Deshalb werden diese Werte für die nachfolgende Rechnung verwendet.)

Folgende Größen sind bekannt:  $e = \overline{CA} = \frac{5593 \text{ km}}{3} \approx \underline{\underline{1864,3 \text{ km}}}$ ; für Cutler gilt  $\lambda = \underline{\underline{12,5 \text{ km}}}$ ;  $R_E = 6365$  km.

Bergen – Cutler:  $\overline{CB} = 5593$  km

$R_E$ in km	$\frac{\varphi}{2} = \frac{e \cdot 360^\circ}{2 \cdot 2\pi \cdot R_E}$ in °	A in km <sup>2</sup>	$\frac{B}{2}$ in km	$\frac{B^2}{4}$ in km <sup>2</sup>	h in km für C = 1	h in km für C = 1,5	h in km für C = 2
6365	8,391	867382,7	68,14	4642,6	65,5	<b>85,9</b>	104,0

Die Höhe  $h \approx 86$  km ist somit die erste Möglichkeit für ein Minimum bei Herausbildung der D-Schicht nach dem Sonnenaufgang.

**Ergebnis:**

**Das zeitlich erste Minimum (beim Sonnenaufgang in Bergen) entsteht, wenn die Reflexionshöhe ca. 86 km beträgt.**

**Das letzte Minimum (beim Sonnenuntergang in Cutler) entsteht ebenfalls bei dieser Reflexionshöhe.**

Messungen mit Hilfe des Senders Allois (f = 162 kHz) am 16.03.2004 durch das Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik Kühlungsborn ergaben für die Höhe des zeitlich ersten Minimums (am Morgen) mit 86,4 km einen fast gleichen Wert.

Bei diesem Minimum wäre der Gangunterschied für die gesamte Wegstrecke von Cutler bis Bergen mit der Reflexionshöhe von 86 km dann auch dreimal so groß, also  $4,5 \cdot \lambda = 4,5 \cdot 12,5 \text{ km} = 56,25 \text{ km}$ .

Dieser Fall kann jedoch nach Ausbildung der D-Schicht (zwischen Cutler und Bergen) tagsüber nicht mehr eintreten, weil die D-Schicht durch die Sonneneinstrahlung tiefere Schichten erreicht hat.

(Die Messungen mit Hilfe des Senders Allois (f = 162 kHz) am 16.03.2004 ergaben eine minimale Höhe von ca. 75 km um die Mittagszeit.)

**Reflexionshöhe und Feldstärkeregistrierung in Kühlungsborn am 16.03.2004 (von Dr. Günter Entzian)**

Entfernung: Sender Allois (Frankreich) – Kühlungsborn (Deutschland)  $e = \overline{AK} = 1023 \text{ km}$  (bzw. 1023,3 km)

Sendefrequenz:  $f = 164 \text{ kHz}$ ;  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{164} \text{ km} \approx \underline{\underline{1,829 \text{ km}}}$ ;

(im Diagramm ist die neue Sendefrequenz 162 kHz angegeben)

Geozentrischer Radius für Mitteleuropa:  $R_E = 6365$

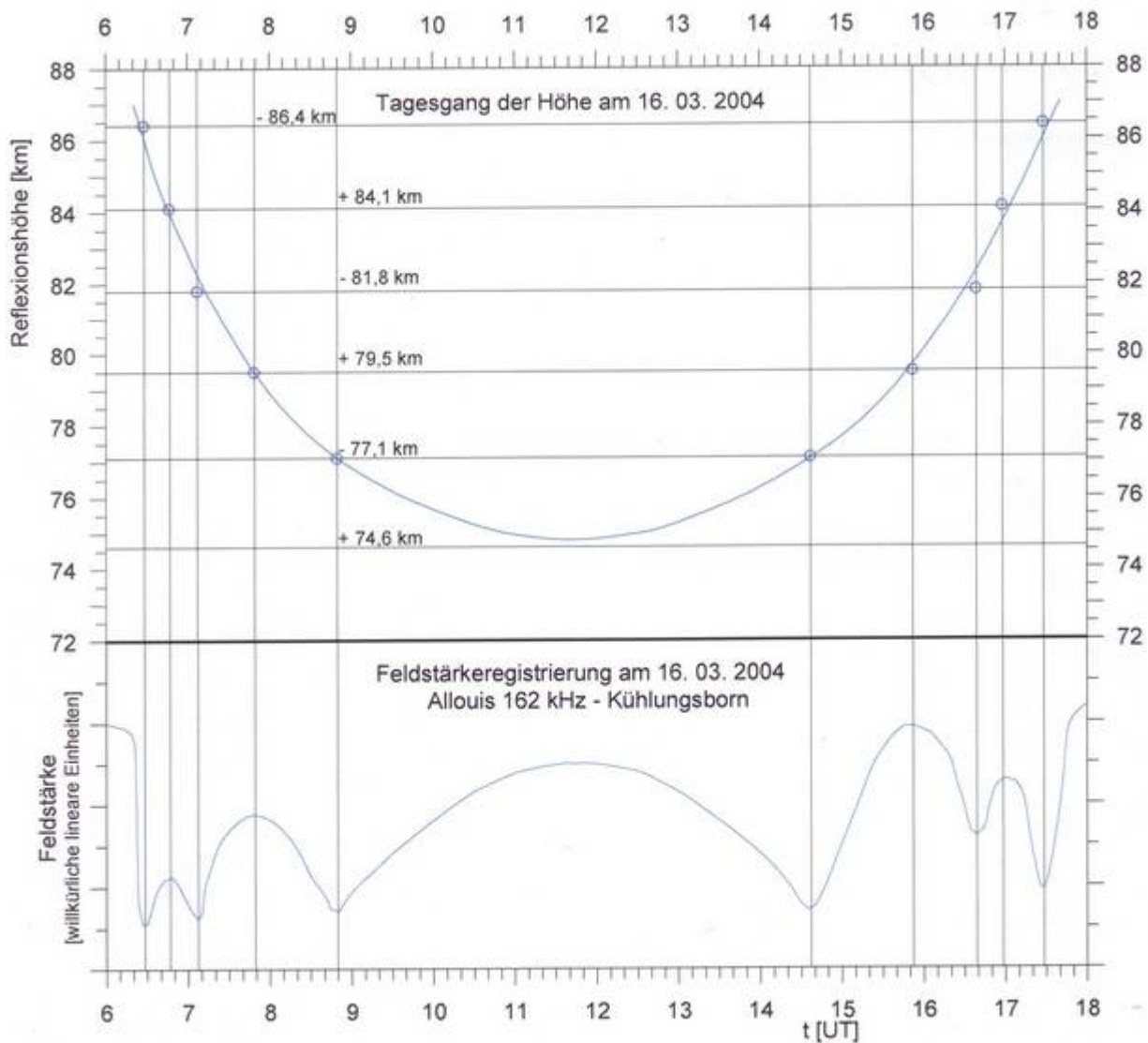
Für  $R_E = 6365 \text{ km}$ ,  $e = 1023 \text{ km}$ :  $\frac{\varphi}{2} = \frac{\frac{e}{2} \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot R_E} = \frac{511,5 \text{ km} \cdot 360^\circ}{2\pi \cdot 6365 \text{ km}} \approx 4,604^\circ$ ; oder  $\arcsin\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{511,5}{6365} \approx 0,0803613511$

$$A = 2 \cdot R_E^2 \cdot \left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) = 2 \cdot (6365 \text{ km})^2 \cdot (1 - \cos 4,604^\circ) = 261491,4797 \text{ km}^2$$

$$B = 2 \cdot R_E \cdot \left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right) = 2 \cdot 6365 \text{ km} \cdot (1 - \cos 4,604^\circ) = 41,0827 \text{ km}; \quad \frac{B^2}{4} = 421,947 \text{ km}^2$$

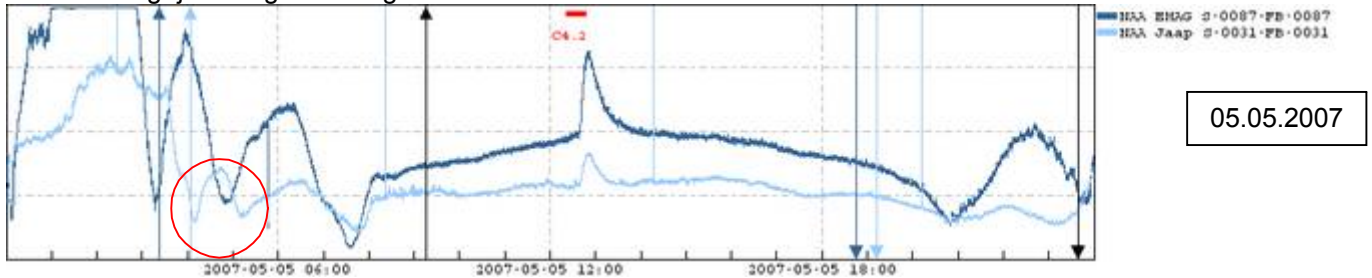
$$h = -\frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} - \left[A - \left(\frac{C \cdot \lambda + e}{2}\right)^2\right]}; \quad h(\text{in km}) = -\frac{41,083}{2} + \sqrt{421,95 - \left[261491,5 - \left(\frac{C \cdot 1,82927 + 1023}{2}\right)^2\right]}$$

e in km	$R_E$ in km	f / 2	C	9	9,5	10	10,5	11	11,5
1023	6365	4,604366°	h in km	74,6	77,1	79,5	81,8	84,1	86,4



### 5. Zur Abschätzung des Gangunterschieds für das 3. Minimum am Morgen

Die Empfängerstation „Jaap“ (52°22'25,72''N , 4°53'27,42''E) befindet sich in Amsterdam und sendet seit September 2006 regelmäßig die Daten nach Stanford. Diese Station ist 5157,5 km von Cutler entfernt. Unsere Station „EMAG“ (54°25'15,11''N , 13°25'37,64''E) ist mit 5593,4 km deutlich weiter von Cutler entfernt. Die Ausbildung der Minima ist auf Grund des späteren Sonnenaufgangs in Amsterdam deutlich gegenüber Bergen verschoben, wie die nachfolgende Abbildung vom 05.05.2007 zeigt. Der Signalanstieg auf Grund des Flares gegen 13 Uhr erfolgt jedoch gleichzeitig bei beiden Monitoren

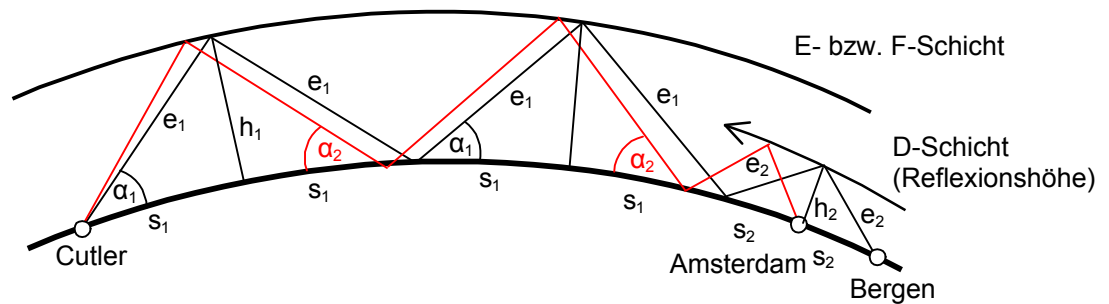


(Der Kreis zeigt jeweils das „3.Minimum“ am Morgen für Bergen und Amsterdam.) Die Ausbildung der drei Minima am Vormittag deutet darauf hin, dass die Raumwelle dreimal an der Ionosphäre reflektiert wird.

Für die nachfolgende Abschätzung des Gangunterschieds wird das vereinfachende (und anschauliche) Reflexionsmodell für elektromagnetische Wellen angewendet.

(Dabei sind die Verbindungslinien vom Boden bis zur reflektierenden Schicht in Wirklichkeit nicht geradlinig sondern wegen der sich ändernden Brechzahl sicherlich etwas gekrümmt.)

Die Höhe der reflektierenden Schichten wird dabei für beide Stationen als gleich angenommen. Des Weiteren wird angenommen, dass der Gangunterschied bei der Ausbildung des „3.Minimums“ für Bergen und Amsterdam jeweils gleich  $(2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$  ist, so dass sich Boden- und Raumwelle weitestgehend auslöschen. (Diese Bedingung wird nur selten erfüllt.)



Der Reflexionswinkel  $\alpha$  (gegenüber der Erde) ist für Amsterdam ein wenig größer als für Bergen;  $\alpha_2 > \alpha_1$ . Bei der nachfolgenden Rechnung wird auch die Krümmung der Erde vernachlässigt. (Dieses ist für Langwellen eigentlich nicht akzeptabel.) Die Dreiecke werden für diese Abschätzung hier als rechtwinklig angesehen.

Der Abstand von Cutler bis Bergen ( $\overline{CB}$ ) ergibt sich zu:  $\overline{CB} = x = 4 \cdot s_1 + 2 \cdot s_2 = 5593,4$  km;

Dabei gilt also näherungsweise:  $\tan \alpha_1 = \frac{h_1}{s_1}$  und  $\tan \alpha_2 = \frac{h_2}{s_2}$ ; daraus folgt:  $s_1 = \frac{h_1}{\tan \alpha_1}$  sowie  $s_2 = \frac{h_2}{\tan \alpha_2}$ ;

somit gilt:  $x = 4 \cdot s_1 + 2 \cdot s_2 = 4 \cdot \frac{h_1}{\tan \alpha_1} + 2 \cdot \frac{h_2}{\tan \alpha_2}$ ; daraus folgt: (I)  $x \cdot \tan \alpha_1 = 4 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2$

Analog ergibt sich für den Abstand von Cutler bis Amsterdam ( $\overline{CA}$ ):  $\overline{CA} = 5157,5$  km =  $y = 4 \cdot \frac{h_1}{\tan \alpha_2} + 2 \cdot \frac{h_2}{\tan \alpha_2}$ ;

daraus folgt: (II)  $y \cdot \tan \alpha_2 = 4 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2$ .

Aus beiden Gleichungen folgt:  $y \cdot \tan \alpha_2 = x \cdot \tan \alpha_1$  sowie  $\tan \alpha_2 = \frac{x}{y} \cdot \tan \alpha_1$  bzw.  $\tan \alpha_2 = 1,0845177 \cdot \tan \alpha_1$

Der Gangunterschied zwischen Boden- und Raumwelle ergibt sich für Bergen zu  $\Delta s = (4 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2) - x$ .

Dabei gilt näherungsweise:  $\sin \alpha_1 = \frac{h_1}{e_1}$  und  $\sin \alpha_2 = \frac{h_2}{e_2}$ ; daraus folgt:  $e_1 = \frac{h_1}{\sin \alpha_1}$  sowie  $e_2 = \frac{h_2}{\sin \alpha_2}$ ;

somit gilt:  $\Delta s = (4 \cdot e_1 + 2 \cdot e_2) - x = (4 \cdot \frac{h_1}{\sin \alpha_1} + 2 \cdot \frac{h_2}{\sin \alpha_2}) - x$ ; daraus folgt: (III)  $(x + \Delta s) \cdot \sin \alpha_1 = 4 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2$ .

Analog ergibt sich bei gleichem Gangunterschied für Amsterdam: (IV)  $(y + \Delta s) \cdot \sin \alpha_2 = 4 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2$

Aus den Gleichungen III und IV folgt:  $(x + \Delta s) \cdot \sin \alpha_1 = (y + \Delta s) \cdot \sin \alpha_2$  und  $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{x + \Delta s}{y + \Delta s}$

Der Reflexionswinkel  $\alpha$  ist nicht besonders groß. Wenn man als Höhe der D-Schicht ca. 80 km annimmt und für den Abstand von Cutler bis Bergen (ca. 6000 km) sechs Dreiecke betrachtet, erhält man für

$\tan \alpha = \frac{80 \text{ km}}{1000 \text{ km}} = 0,08$ ; somit wäre  $\alpha \approx 4,6^\circ$ . Da die ersten beiden Reflexionen morgens jedoch an einer höheren Schicht erfolgen, ist  $\alpha$  sicherlich größer als  $4,6^\circ$  zu wählen.

Für die Abschätzung werden die Gleichungen  $\tan \alpha_2 = 1,0845177 \cdot \tan \alpha_1$  und  $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{x + \Delta s}{y + \Delta s}$  benötigt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Winkel zusammengestellt, für die  $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{x + \Delta s}{y + \Delta s}$  annähernd erfüllt ist.

Aus der Gleichung  $x \cdot \tan \alpha_1 = 4 \cdot h_1 + 2 \cdot h_2$  folgt:  $h_1 = \frac{1}{4} \cdot (x \cdot \tan \alpha_1 - 2h_2)$  mit  $x = 5593,4 \text{ km}$ .

Die Reflexionshöhe für die Langwelle ist wahrscheinlich im Bereich 75 – 90 km anzunehmen.

$\alpha_1$ in °	$\tan \alpha_1$	$\tan \alpha_2$	$\alpha_2$ in °	$\sin \alpha_1$	$\sin \alpha_2$	$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$	$(2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$	$\Delta s$	$\frac{x + \Delta s}{y + \Delta s}$	geschätzte Höhe $h_2$ der Reflexion	$h_1$ der E- bzw. F-Schicht
Bergen	Bergen	Amsterdam	Amsterdam	Bergen	Amsterdam			in km		in km	in km
n.l.							$0,5 \cdot \lambda$	6,25	1,084415		
n.l.							$1,5 \cdot \lambda$	18,75	1,084212		
n.l.							$2,5 \cdot \lambda$	31,25	1,084009		
4,9	0,086	0,093	5,3	0,085	0,093	1,083821	$3,5 \cdot \lambda$	43,75	1,083807	[60]	[90]
5,6	0,098	0,106	6,1	0,098	0,106	1,083609	$4,5 \cdot \lambda$	56,25	1,083606	60	107
6,2	0,109	0,118	6,7	0,108	0,117	1,083405	$5,5 \cdot \lambda$	68,75	1,083406	60	122
6,7	0,117	0,127	7,3	0,117	0,126	1,083220	$6,5 \cdot \lambda$	81,25	1,083207	60	134
7,2	0,126	0,137	7,8	0,125	0,136	1,083020	$7,5 \cdot \lambda$	93,75	1,083009	60	147
7,7	0,135	0,147	8,3	0,134	0,145	1,082807	$8,5 \cdot \lambda$	106,25	1,082812	60	159
8,1	0,142	0,154	8,8	0,141	0,153	1,082626	$9,5 \cdot \lambda$	118,75	1,082615	60	169
8,5	0,149	0,162	9,2	0,148	0,160	1,082437	$10,5 \cdot \lambda$	131,25	1,082420	60	179
8,9	0,157	0,170	9,6	0,155	0,167	1,082238	$11,5 \cdot \lambda$	143,75	1,082226	60	189

Eine erste Lösung ist für  $\alpha_1 = 4,9^\circ$  möglich.

**Deshalb ist morgens der kleinste mögliche Gangunterschied  $\frac{7}{2} \lambda = 43,75 \text{ km}$ .**

Wahrscheinlicher sind jedoch noch viel größere Gangunterschiede, weil sich die D-Schicht durch die Sonneneinstrahlung ja erst bildet und in der Nacht nur Reste der E- bzw. F-Schicht in größeren Höhen vorhanden sind.

Für kleinere Winkel als  $4,9^\circ$  ist  $\frac{x + \Delta s}{y + \Delta s}$  deutlich kleiner als  $\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1}$ .

(z.B. für  $\alpha_1 = 4,6^\circ$  erhält man  $\alpha_2 = 5,0^\circ$ ;  $\frac{\sin 5,0^\circ}{\sin 4,6^\circ} = 1,086745$ )

$\alpha_1$ in °	$h_2$	$h_1$	$h_2$	$h_1$	$h_2$	$h_1$	$h_2$	$h_1$	$h_2$	$h_1$	$h_2$	$h_1$
Bergen	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km	in km
5,6	65	105	70	102	75	100	[80]	[97]	[85]	[95]	[90]	[92]
6,2	65	119	70	117	75	114	80	112	85	109	90	107
6,7	65	132	70	129	75	127	80	124	85	122	90	119
7,2	65	144	70	142	75	139	80	137	85	134	90	132
7,7	65	157	70	154	75	152	80	149	85	147	90	144
8,1	65	167	70	164	75	162	80	159	85	157	90	154

Einige Werte sind in Klammern gesetzt, weil die E-Schicht sich oberhalb von 100 km befindet.

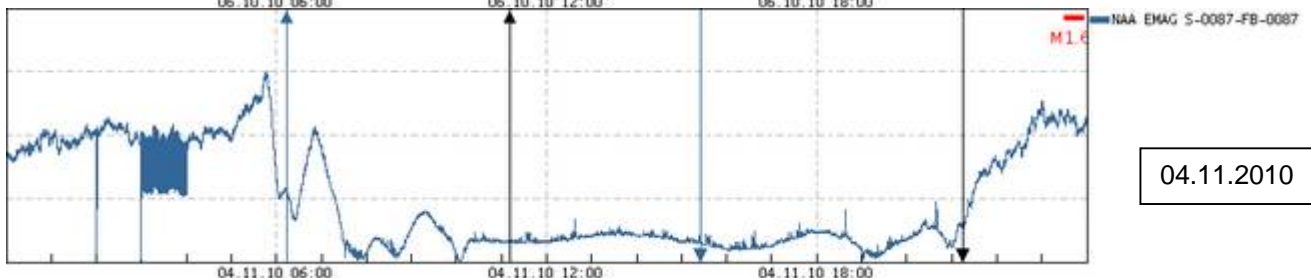
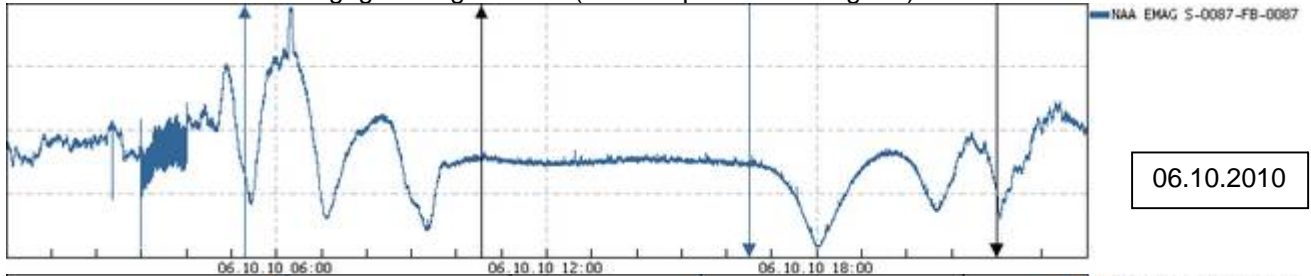
### 6. Der Oktober-Effekt

Die stabile Phasenbeziehung zwischen der Raum- und Bodenwelle führt während der Zeitspanne zwischen dem Sonnenaufgang in Cutler und dem Sonnenuntergang in Bergen zur Ausbildung des täglichen „Plateaus“.

Die Höhe dieses Plateaus ändert sich allmählich im Laufe des Jahres und erreicht im August bis Anfang September die größten Werte.

Die Höhe der D-Schicht hat sich offenbar geändert und erreicht dann einen geringen Abstand zur Erdoberfläche. Nach dem **10. Oktober** ändert sich diese Phasenbeziehung jedoch sprunghaft.

Beide Wellen löschen sich gegenseitig fast aus (-5V entspricht "kein Signal").



Der Grund hierfür könnte sein, dass sich die D-Schicht im Oktober kontinuierlich noch etwas weiter senkt, bis anstelle der 3 Hops dann vier Reflexionen auftreten.

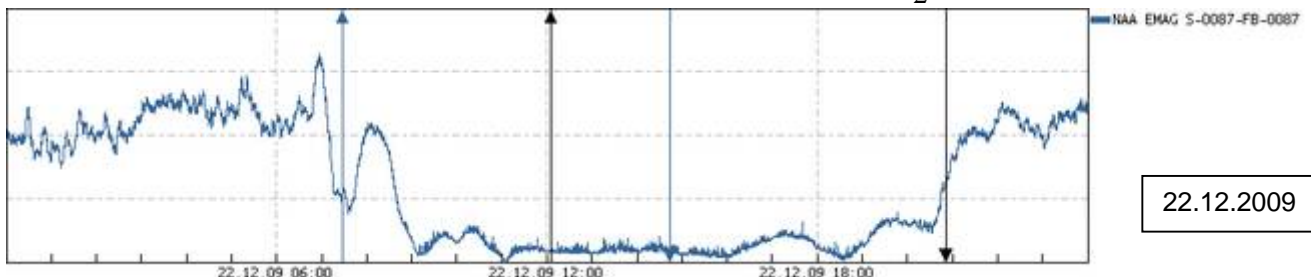
Der Gangunterschied ist jetzt insgesamt aber größer als bei 3 Hops.

Der Gangunterschied ist tagsüber durch die geringe Sonneneinstrahlung auch kaum kleiner als  $\frac{5}{2} \lambda$ .

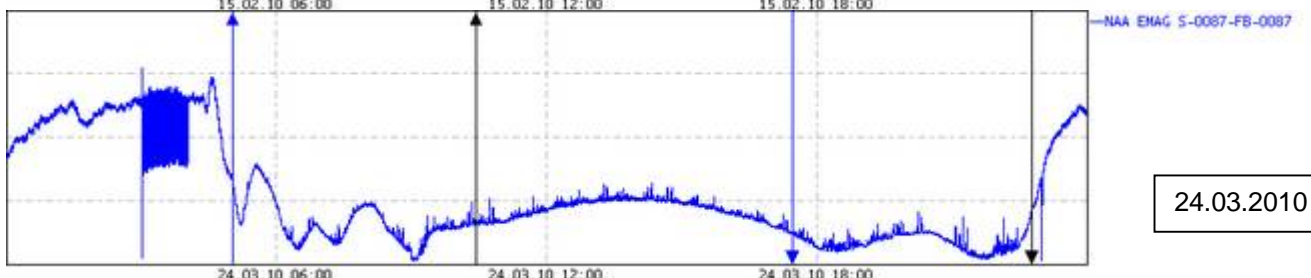
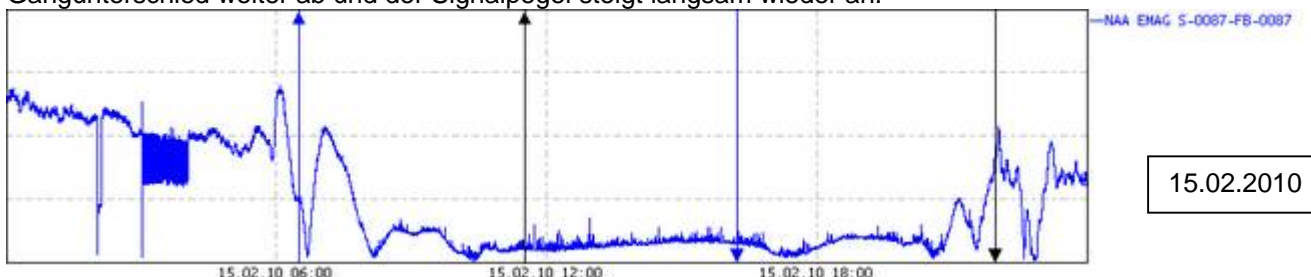
Damit ist das Plateau innerhalb weniger Tage sehr niedrig geworden..

Bis zum kürzesten Tag des Jahres und der damit verbundenen geringsten Sonneneinstrahlung nähert sich der

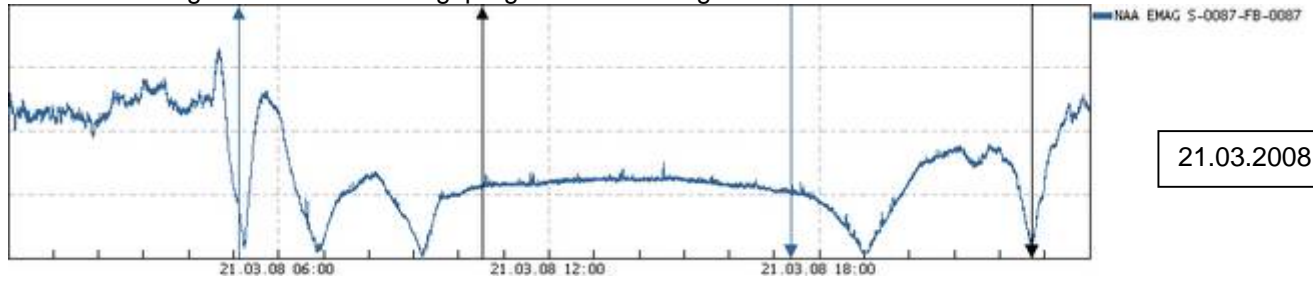
Gangunterschied dann noch weiter bis auf einen Wert, der in der Nähe von  $\frac{5}{2} \lambda$  liegt.



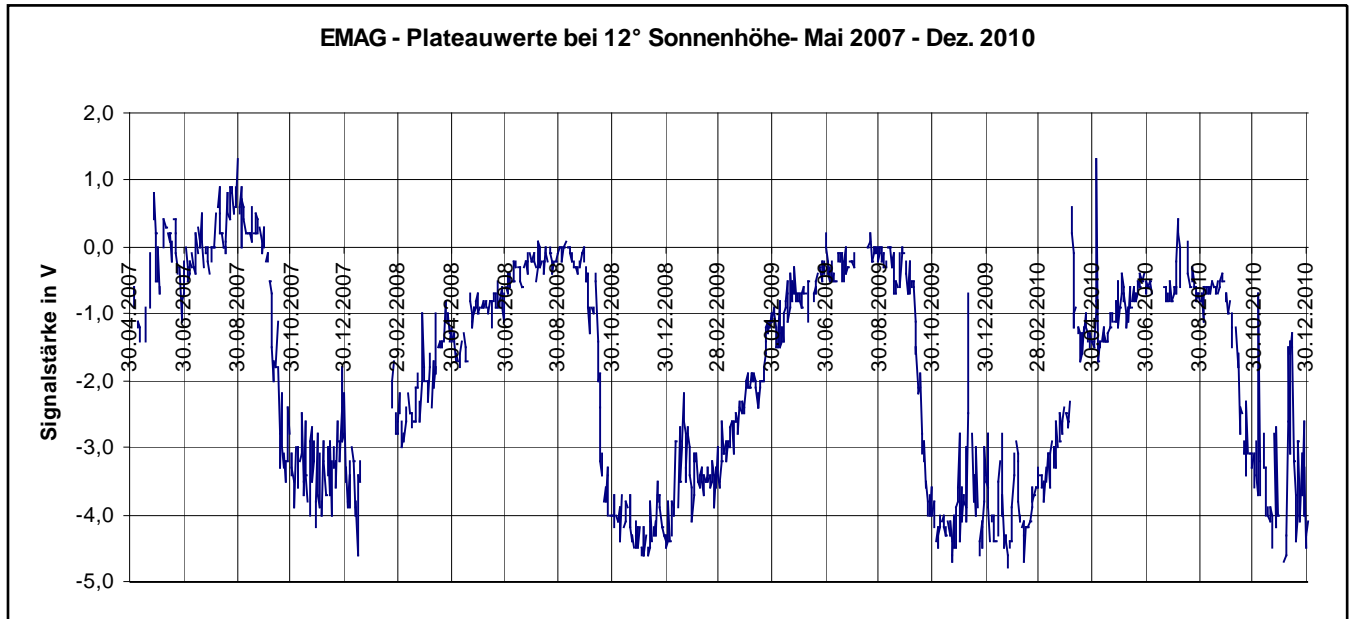
Anschließend nimmt mit zunehmender Sonnenscheindauer während des Tages nach dem letzten Minimum der Gangunterschied weiter ab und der Signalpegel steigt langsam wieder an.



Ein Umschwung zurück auf drei ausgeprägte Minima erfolgte mehrmals ab Mitte März.



Für den Vergleich wurde (nachmittags) die Sonnenhöhe von 12° gewählt; dieses ist der Sonnenstand, der an allen Tagen während des Jahres in Bergen erreicht wird.



Der Plateauwert sank von 2007 – 2010 in der Zeit vom 09. – 13. Oktober viermal in Folge stark ab.

**Schlussfolgerung:**

Überwiegend treten drei Reflexionen in 7 Monaten von Mitte März bis Mitte Oktober auf; vier Reflexionen treten in 5 Monaten von Mitte Oktober bis Mitte März auf.

### 7. Flares im Tagesplot

Sobald stärkere Extrem-Ultraviolett (EUV)- und Röntgenstrahlung die Ionosphäre erreicht, vergrößert sich die Elektronenkonzentration insbesondere im untersten Bereich der D-Schicht.

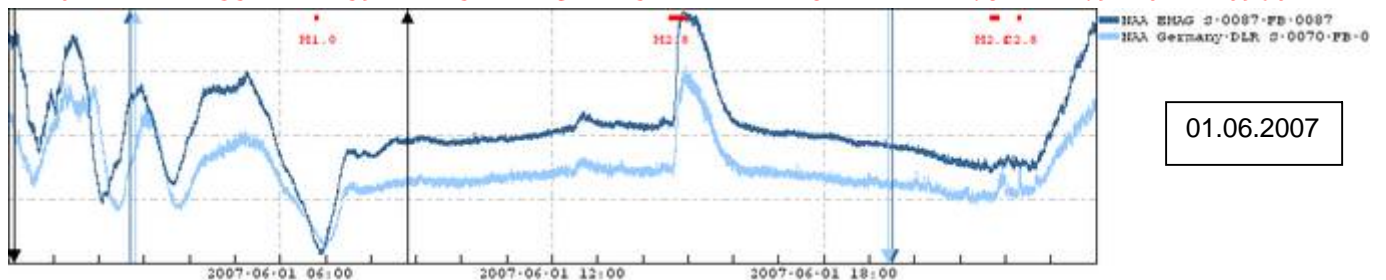
Somit ändert sich bei uns die Phasenbeziehung zwischen Raum- und Bodenwelle. Die Signalstärke verändert sich sprunghaft und steigt in unserem Falle manchmal stark an.

Diese Änderung erfolgt entsprechend der Dauer des Strahlungsereignisses zeitgleich auf der Erde bei allen Monitoren, die sich auf der sonnenzugewandten Seite befinden

Ausschnitt (Tagesbericht, amerikanischer Wettersatellit GOES 11):

2007 Jun 01

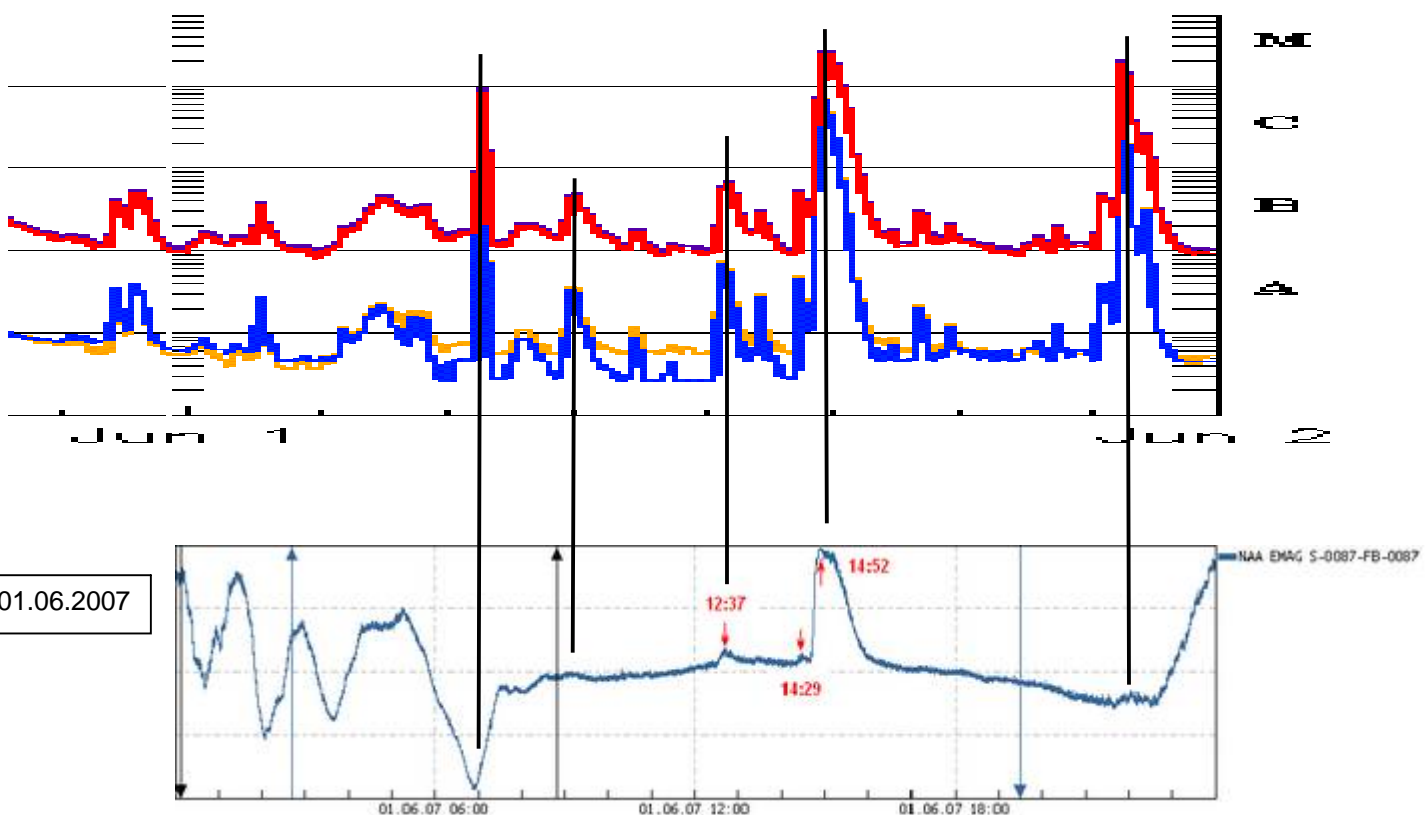
#Event	Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars	Reg#
1380 +	12:24	12:35	12:50	G11	5	XRA	1-8A	B6.9 7.8E-04	0960
1400 +	14:17	14:22	14:27	G11	5	XRA	1-8A	B6.6 2.5E-04	0960
1410 +	14:35	14:59	15:11	G11	5	XRA	1-8A	M2.8 2.9E-02	0960



zeitgleicher Anstieg des Signals durch Röntgenstrahlung in EMAG Bergen und DLR Neustrelitz

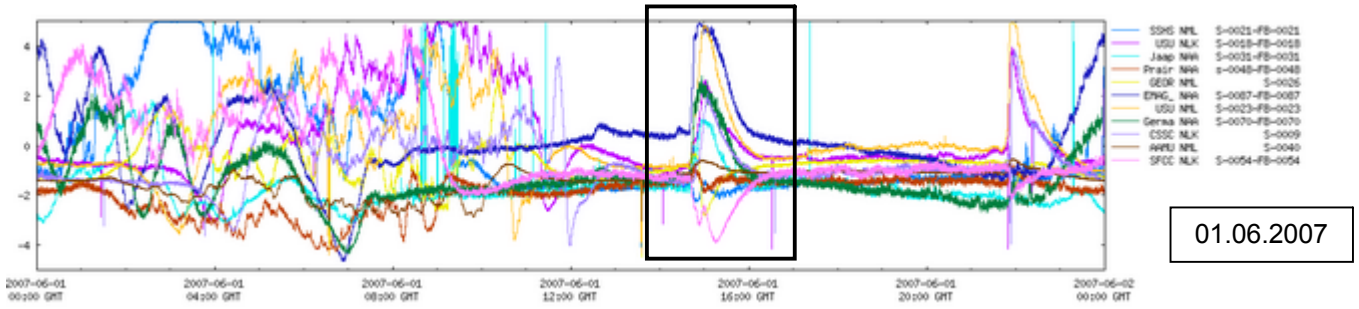
Ein Vergleich mit den Satellitenangaben im nachfolgenden Bild zeigt, dass es nur während des Tagesabschnitts nach dem Sonnenaufgang in Cutler (08:47 UT) bis zum Sonnenuntergang in Bergen (19:22 UT) möglich ist, Flares zu registrieren.

Ein Signalanstieg zu einem anderen Zeitpunkt ist selbst bei starker Röntgenstrahlung oft nur unbedeutend. Gar nicht feststellbar ist für dieses Beispiel das erste starke Flare, weil es zeitlich weit vor dem Sonnenaufgang in Cutler stattfand.

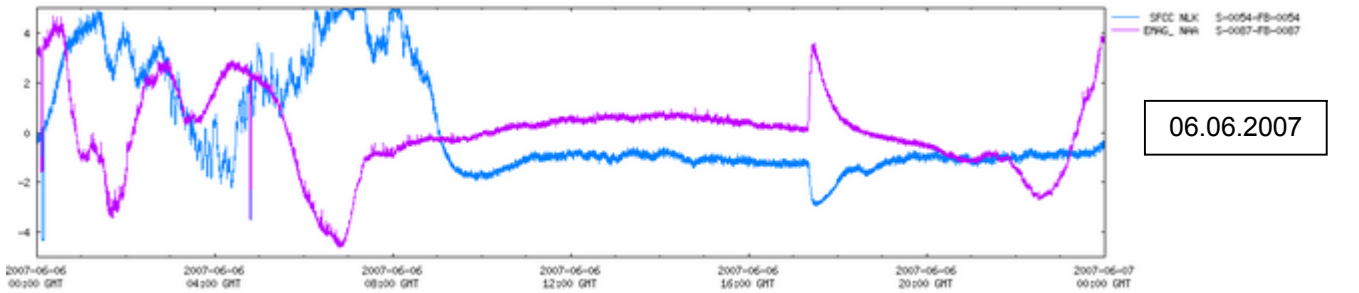


Das Flare am 01.06.2007 um 15 Uhr wurde von verschiedenen Stationen der Erde registriert. Bei diesen Empfängern kommt es zeitgleich zu Signalveränderungen. Bei einigen Stationen sinkt die Signalstärke; bei den meisten steigt sie an.





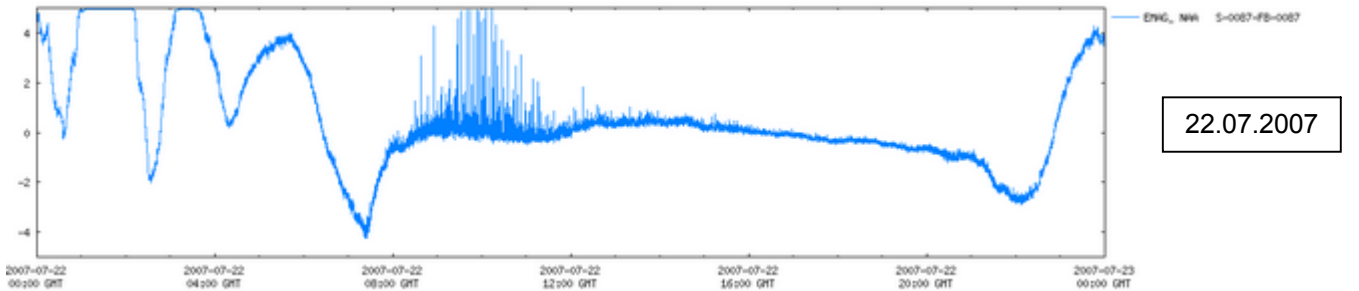
Eine mögliche Erklärung für das Absinken der Signalstärke wäre die folgende Überlegung:  
Für einige Empfänger ändert sich bei einem Flare der Gangunterschied zwischen Boden- und Raumwelle insofern, dass der Gangunterschied sich einem ungeraden Vielfachen von  $\lambda/2$  nähert; die Signalstärke nimmt im Vergleich zu EMAG Bergen nicht zu sondern stark ab.



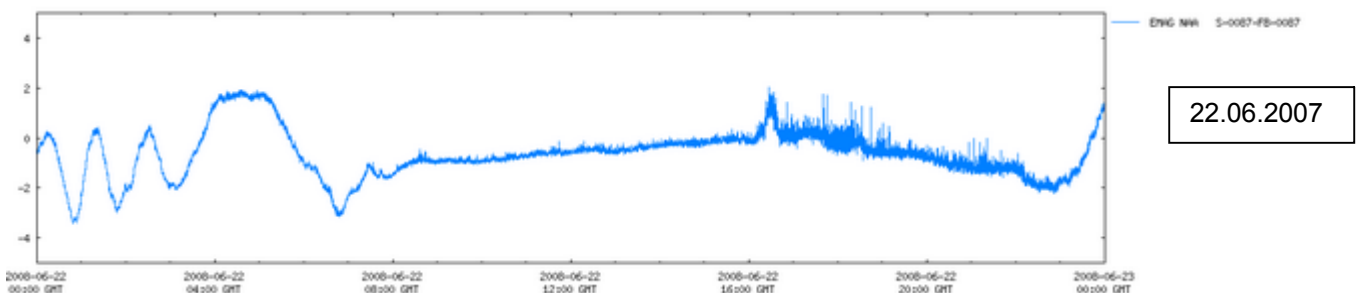
### 8. Störungen des Signals

#### Gewitter

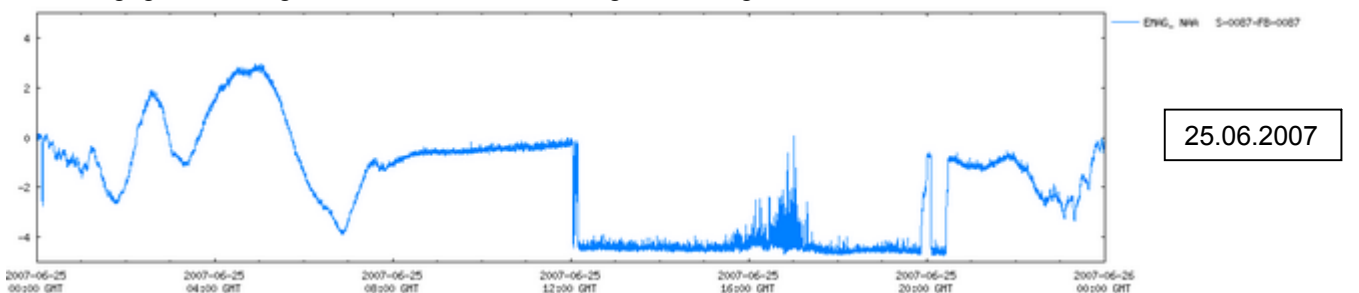
Eine natürliche Ursache sind vor allem im Sommer **Gewitter**, die tagsüber den Kurvenverlauf stören.  
Am Sonntag, 22.07.2007 gab es in Bergen (auf Rügen) Gewitter. Typisch sind die (positiven) Spikes.



Am Sonntag, 22.06.2008 gab es nachmittags ebenfalls leichte Gewitter über Bergen.  
Die Satelliten haben jedoch keine stärkere Röntgenstrahlung gemessen, so dass der Anstieg um 16.30 UT auch keinem Flare zuzuordnen ist.

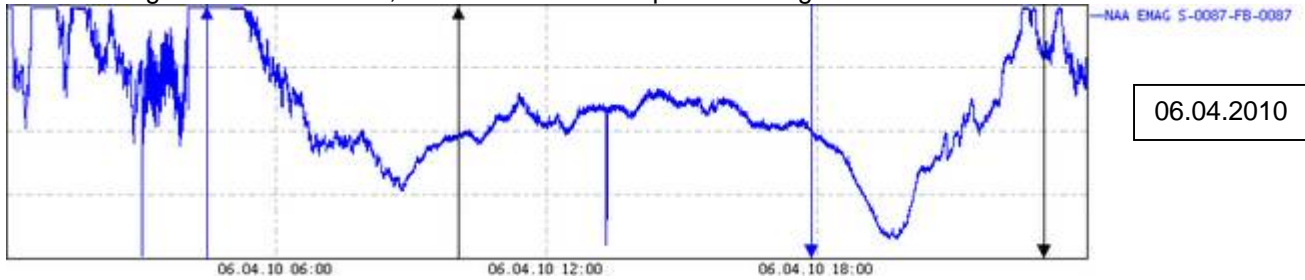


Montags wird der Sender regelmäßig ab 12 Uhr (UT) abgeschaltet. Trotzdem sind die Gewitterstörungen erkennbar, wie es am Mo – 25.06.2007 zu sehen ist. An diesem Tag war es schwül und überwiegend stark bewölkt; gegen Abend gab es auch Gewitter in Bergen auf Rügen.



### Sonnenwinde

Am 5. April 2010 erreichten sehr energiereiche **Sonnenwinde** das Magnetfeld der Erde. Dieses führte dann zur Einkopplung von Energie in die Ionosphäre, die nach einiger Zeit auch die unterste D-Schicht erreichte und eine zusätzliche Ionisation bewirkte. Offensichtlich führten diese Störungen aber auch zu sehr unterschiedlichen Veränderungen in der D-Schicht, wie der Plot vom 6. April 2010 zeigt:



Das Magnetfeld der Erde wurde gleichzeitig stark gestört.

Bis zum 11.04.2010 waren starke Unregelmäßigkeiten auf dem „Plateau“ im Tagesplot erkennbar. Der Signalpegel für das Tagesplateau war auch insgesamt deutlich angestiegen.

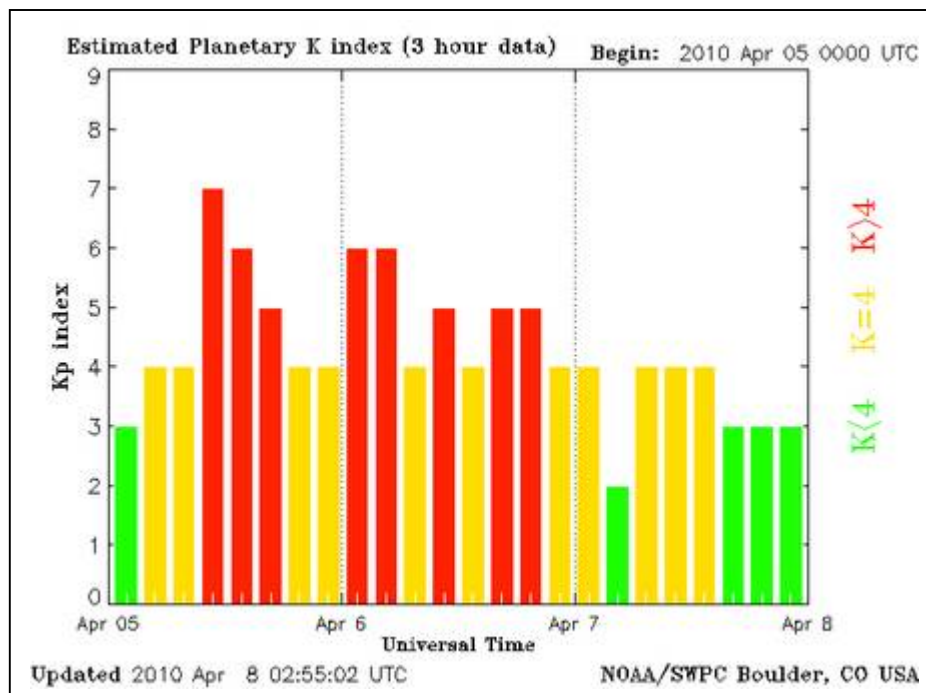
(Dieser „Nachwirkungseffekt“ von meist 3–5 Tagen wurde in Kühlungsborn wissenschaftlich untersucht.)

Mit dem Kp-Wert („Kennziffer planetarisch“) werden Schwankungen des Erdmagnetfeldes gekennzeichnet, die von 13 Messstationen (meist auf der nördlichen Hemisphäre) im Abstand von jeweils drei Stunden ermittelt werden.

Die Schwankung der magnetischen Flussdichte beträgt 70 – 120 nT beim Kp-Wert: 5, 120 – 200 nT bei Kp. 6 und 200-330 nT bei Kp: 7.

Das Magnetfeld der Erde hat dabei an der Oberfläche eine Stärke um  $40 \mu T = 40\,000 \text{ nT}$ .

Gemessen wird jeweils die x-, y- und z-Komponente mit Hilfe eines sehr empfindlichen Magnetometers.



05.-07.04.2010

Wenn in unserer Breite (54°N) der sehr seltene Kp-Wert 9 (mit Schwankungen von mehr als 500 nT) gemessen wird, sind auch bei uns Polarlichter zu erwarten.

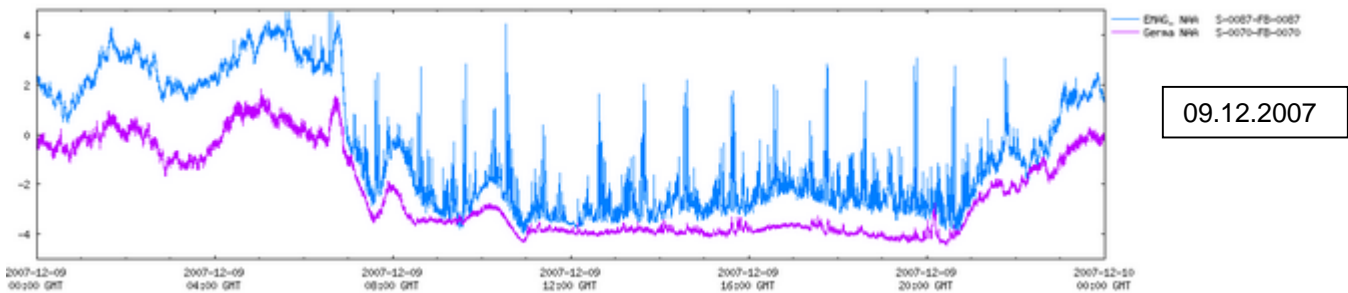
In der Nebenstelle Juliusruh auf Rügen des Leibniz-Instituts für Atmosphärenforschung wird ebenfalls das Magnetfeld gemessen. Die Messeinrichtung hierzu befindet sich auf einem Betonsockel dicht unterhalb der Erdoberfläche und weit entfernt von Erschütterungen und Eisenkörpern. (Selbst ein Spaten, der versehentlich einmal an der Holzhütte lehnte, hatte schon einen deutlichen Einfluss auf die Messwerte.)

Sehr starke Störungen des Magnetfeldes mit einem Kp-Wert 7 gab es von Mai 2007 – Oktober 2010 allerdings nur selten (am 11.10.2008 und 05.04.2010).

### Künstliche Störungen

Ab dem 5. November 2007 stellten sich von Montag bis Freitag bei uns regelmäßige Störungen ein, die es in Neustrelitz nicht gab. An den Wochenenden gab es zunächst keine Störungen.

Ab dem 8. Dezember 2007 waren die Störungen bei uns die ganze Woche über feststellbar.



Auffällig sind die regelmäßig auftretenden Spitzen.

In Neustrelitz ist das (untere) Signal nur mit leichten Störungen versehen.

Daraufhin haben wir die Anlage etwa 1,5 Kilometer von der Schule entfernt aufgebaut, die Störungen blieben jedoch.

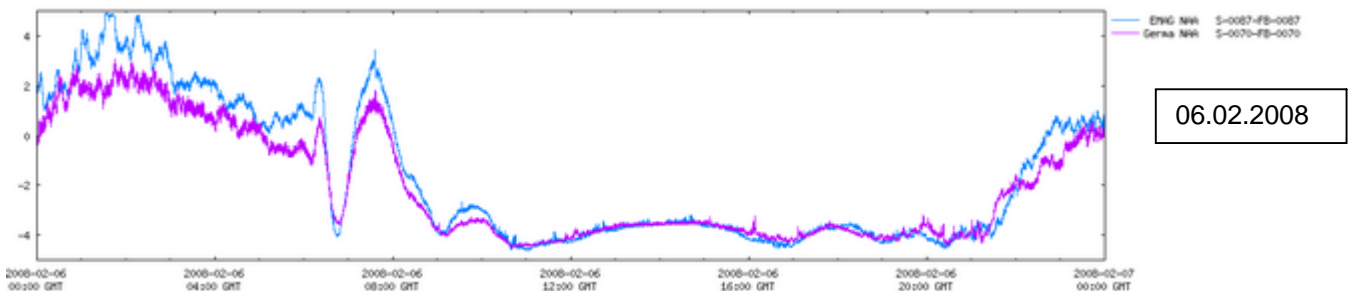
Als nächstes haben wir die Anlage über 20 Kilometer entfernt im Leibniz-Institut für Atmosphärenforschung in Juliusruh ausprobiert. Auch hier gab es Störungen, die erwartungsgemäß z.T. durch die Ionosonde verursacht wurden.

In dieser Notsituation haben wir uns deswegen an die Bundesnetzagentur gewandt. Zwei Mitarbeiter kamen am 5. und 6. Februar 2008 aus Berlin mit ihrer Messtechnik. Sie meinten aber auch, dass sie in diesem Frequenzbereich mit ihrer Technik an der Grenze ihrer Möglichkeiten angelangt sind.

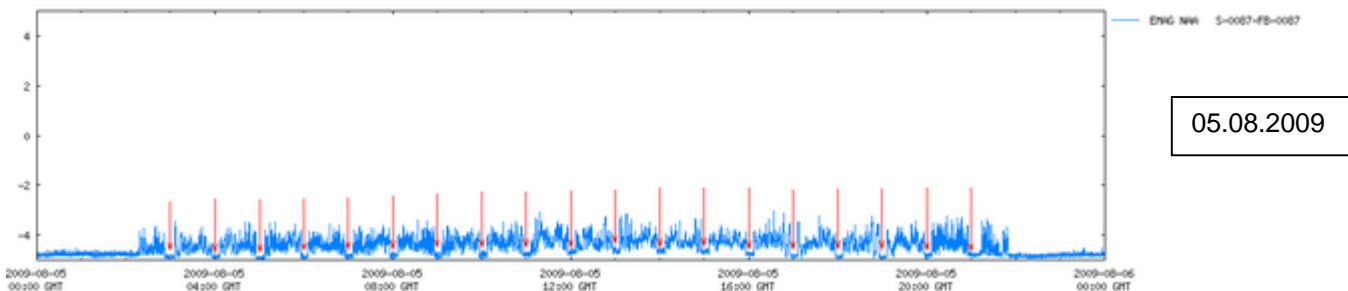
Sie haben herausgefunden, dass die Störungen wohl aus dem nahe gelegenen Krankenhaus (Luftlinie weniger als 300 Meter Entfernung von unserer Antenne) stammen könnten.

Für diesen Wellenbereich, den wir empfangen, gibt es leider keine exakt vorgeschriebenen Grenzwerte, die ab ca. 300 m Entfernung vom Sender eingehalten werden müssen. Störungen im normalen Kurz- und Langwellenbereich sind offensichtlich nicht vorhanden, jedenfalls wurden keine nachgewiesen.

Wir haben die Antenne um ca. 90° gedreht, das ergab eine gewisse Entkopplung zum Störsignal. Das kann man im Plot für den 06.02.2008 auch gut erkennen, die Störungen sind aber trotzdem weiterhin geringfügig vorhanden.

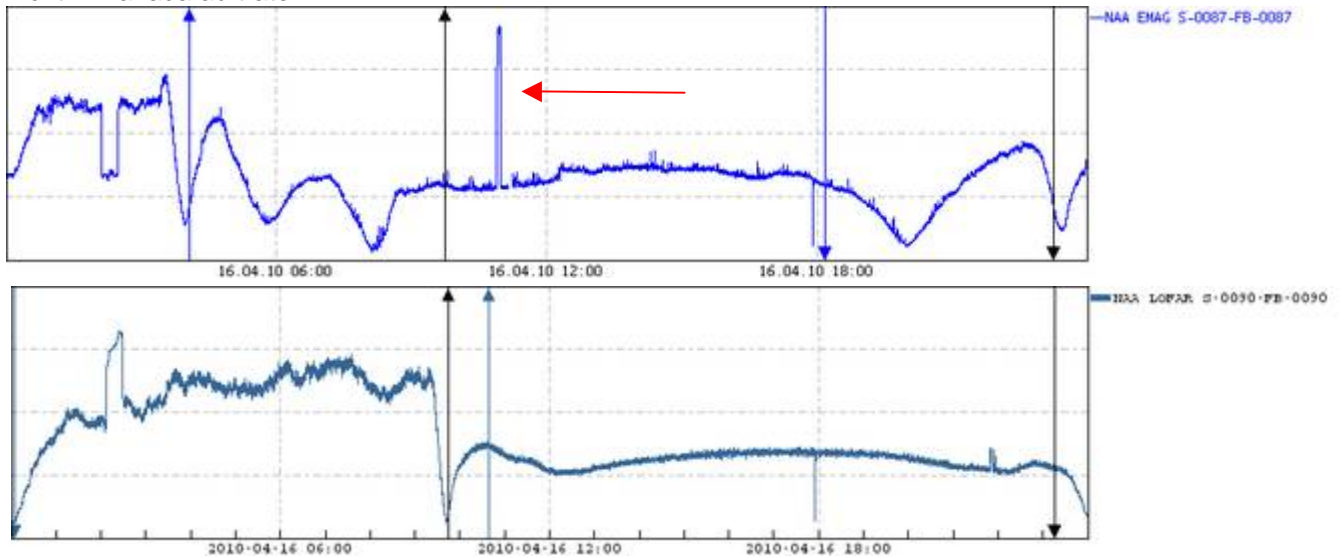


Im nachfolgenden Diagramm ist zu erkennen, dass bei Abschaltung des Senders immer zur vollen Stunde etwa 10 Minuten lang das Signal nicht gestört wird (etwa von 2.15 – 22 Uhr UT). Offensichtlich gehen die Störungen von einer frequenzgesteuerten Anlage aus. Während der Nacht wurde die Anlage ca. 4 Stunden abgeschaltet.



### Unbekannte Störungen

Am 04.05.2007 (10:29-10:35) / 27.08.2007 (12:13-12:20 und 12:34-12:36) / 09.11.2008 (11:57-12:01) / 11.03.2009 (07:49-07:51) / 08.07.2009 (11:32-11:35) / 16.04.2010 (10:52-10:57) / 29.06.2010 (06:57-06:59) / 01.03.2011 (07:16-07:19) gab es kurzzeitig (2 – 6 Minuten) z.T. starke positive Spikes, die nur in Europa und z.B. nicht in Kanada auftraten.



### 9. Einige Auswirkungen der Flares

Wenn der Monitor einen sehr starken Flare registriert, wird im allgemeinen 1 - 4 Tage später ein starker elektrischer Teilchenstrom („Sonnenwind“) die Erde erreichen. Dann werden auch Polarlichter erzeugt.

Die Elektronik von Satelliten kann hierdurch zerstört werden und Weltraumeinsätze der Astronauten sind wegen der tödlichen Strahlenbelastung untersagt.

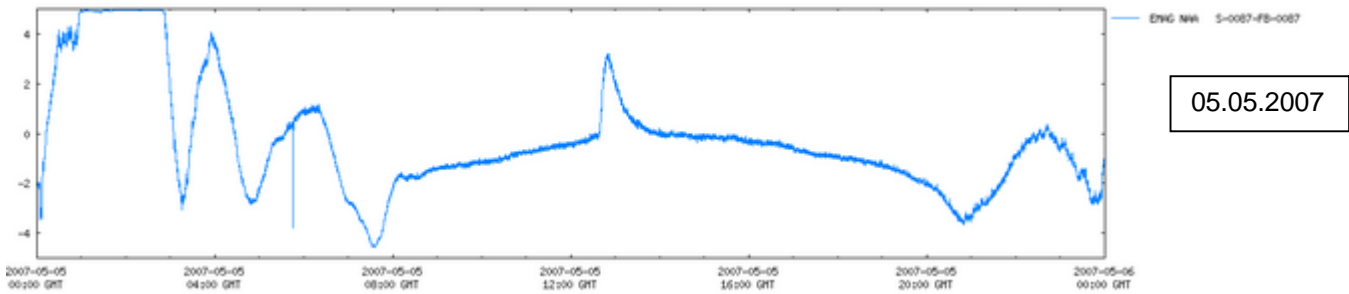
Die Strahlenbelastung von Flugzeugbesatzungen und Passagieren ist unter Umständen ebenfalls so hoch, dass es besser wäre, deswegen sogar einen Flug zu verschieben. (Zur Sicherheit werden zu Zeiten erhöhter Polarlichtaktivität im Flugverkehr die Kurse von Flugzeugen weiter zum Äquator oder in geringerer Höhe geflogen.)

Empfindliche Kommunikationsanlagen auf der Erde sind ebenfalls gefährdet und eventuell abzuschalten. Selbst Stromnetze und Pipelines in polnahen Regionen (Kanada, USA, Skandinavien, Russland) sind wegen der Induktionswirkungen in elektrischen Leitungen gefährdet. So ist z. B. der neunstündige Stromausfall in Kanada (Quebec) im März 1989 auf Induktionswirkungen eines starken Sonnenwindes zurückzuführen.

(Die derzeitige Schwächung des Magnetfeldes der Erde birgt zusätzliche Risiken für das Eindringen der Teilchen des Sonnenwindes in die unteren Schichten der Atmosphäre.)

### 10. Werden Photovoltaik-Anlagen durch Flares beeinflusst?

Diese Frage stellten wir uns sofort, nachdem wir am 5.Mai 2007 einen Röntgenstrahlenausbruch registrierten.



Flare am 5.Mai 2007 (erkennbar am starken Signalanstieg)

Könnte es sogar sein, dass uns diese Strahlung am Erdboden erreicht?

Mittlerweile wissen wir, dass unsere Atmosphäre zuverlässig vor extremer UV- und Röntgenstrahlung schützt. Die Energie wird im wesentlichen für eine zusätzliche Ionisation der Ionosphäre verwendet.

Es scheint jedoch auch Effekte zu geben, die zeitlich übereinstimmend zu einer Leistungssteigerung der Photovoltaik-Module am Erdboden führen.

Auf Rügen gibt es mehrere große Photovoltaik-Anlagen.

In Karnitz wurde z.B. auf einem ehemaligen Stallgebäude eine 91,43 kWp – Anlage errichtet.

Die Daten für ihre durchschnittliche Leistung werden alle Viertelstunde auf einem Daten-Logger abgespeichert.

Das ist nicht besonders genau, kann uns aber als Orientierung für weitere Vergleiche dienen.

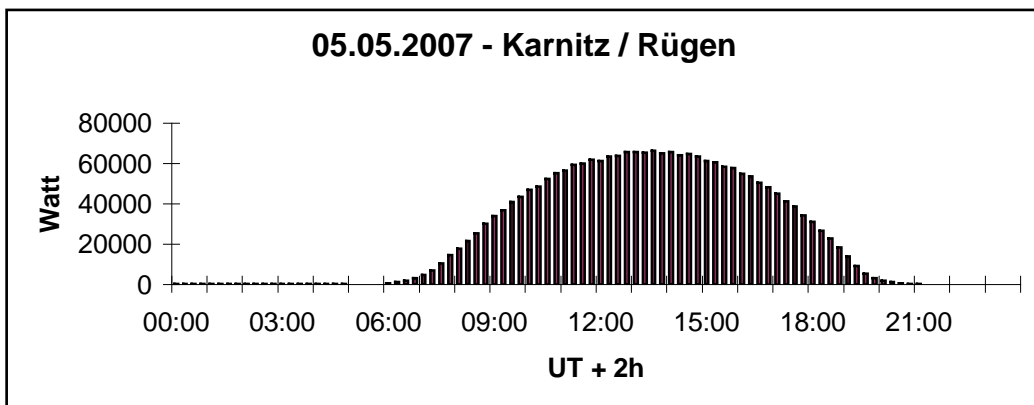
Wir erhielten Zugang zu einigen Daten von Karnitz; so konnten wir Vergleiche anstellen, die oftmals eine Übereinstimmung zwischen der stärkeren Röntgeneinstrahlung und einem geringen Anstieg der Leistung ergab.

#### 05.05.2007

Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars	PV-Anlage
12:20	12:47	12:57	G11	5	XRA	1-8A	C4.2 4.1E-03	Karnitz
Karnitz / UT		Leistung in W		Mpp Spannung in V		Leistungssteigerung		Zuwachs in kWh
12:15		64269		539,0				16,1
12:30		64889		541,9		vorhanden		16,2
12:45		63672		540,1				15,9

(Die Angaben in der oberen Zeile stammen von GOES 11.)

Den ganzen Tag über war es auf Rügen wolkenlos, so dass es keine störenden Einflüsse durch Wolken gab. Dieses erkennt man auch im nachfolgenden Diagramm, das einem perfekten Tagesverlauf entspricht:



Leistungskurve (bzgl. der Mitteleuropäische Sommerzeit) für die Photovoltaik-Anlage in Karnitz

Ein wesentlicher Anstieg in der Leistungskurve durch den Flare ist jedoch nicht erkennbar.

Der Tagesertrag für die eingespeiste Elektroenergie betrug insgesamt 562,4 kWh.

Die Steigerung durch den Einfluss des Flares auf den Tagesertrag beträgt für dieses Beispiel geschätzt deutlich weniger als 1% .

Bei stärkerer Sonnenaktivität ist der Effekt damit wohl nur geringfügig ertragssteigernd.

Im **Juni 2007** wandten wir uns mit der Anfrage, ob Röntgenstrahlung die Photovoltaik-Module beeinflusst, an die Sharp Solar Business Group in Deutschland.

Hier ist die Antwort:

[Sehr geehrter Herr Eckelt,](#)

[vielen Dank für Ihre sehr interessante Anfrage.](#)

[Einen direkten Effekt gibt es vermutlich nicht, da die Solarmodule eine hohe spektrale Empfindlichkeit im sichtbaren Lichtspektrum aufweisen.](#)

Möglich wären Auswirkungen, die durch Sekundäreffekte verursacht werden, wie die Wellenlängen ändernde Auswirkung von Atmosphärgasen.

Wenn Sie uns Ihre gemessenen Daten zur Verfügung stellen und keine Einwände an die Weiterleitung der Daten haben, dann würden wir das Phänomen gerne mit einigen relevanten Instituten besprechen und Sie natürlich auch über das Ergebnis informieren. Vom Zeitrahmen könnte es ca. einen Monat dauern, bis Sie eine Antwort erhalten.

Mit freundlichen Grüßen  
Sharp Solar Business Group

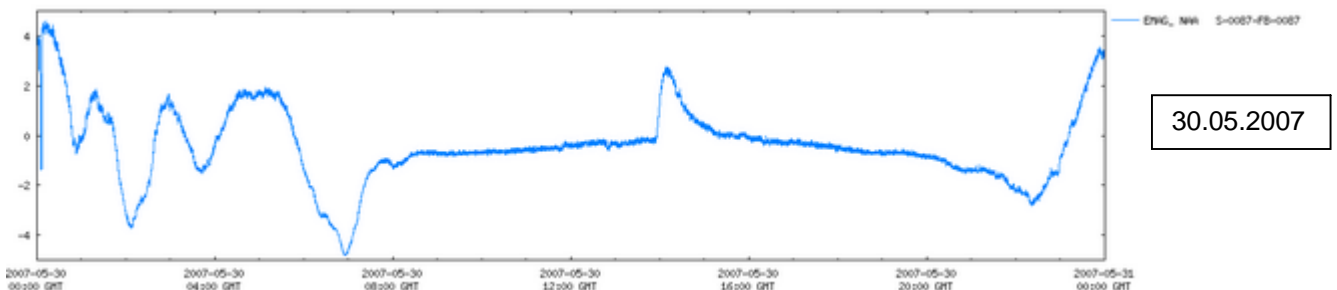
Dies war der Beginn einer sehr guten Zusammenarbeit.

Man ermöglichte uns weitere genauere Vergleiche mit Solarmodulen, die zu Forschungszwecken in Kassel installiert sind.

An einigen Versuchsanlagen sind Pyranometer montiert, die im Spektralbereich von 300 nm bis 2800 nm die Strahlung jede Minute mittels Thermosäule monitoren. Auf diese Weise wird die einfallende Strahlung pro m<sup>2</sup> ermittelt. Gleichzeitig wird der „Ertrag“ eines 30° geneigten kristallinen Moduls ermittelt.

Die minütlich gemessenen Werte werden auf jeweils 10 Minuten gemittelt.

Im nächsten Beispiel ist zu erkennen, dass zeitgleich mit der Röntgenstrahlung auch die Globalstrahlung an dem Modul in Kassel stark ansteigt. Gleichzeitig steigt auch in der über 430 km entfernten PV-Anlage in Karnitz auf Rügen die Leistung.



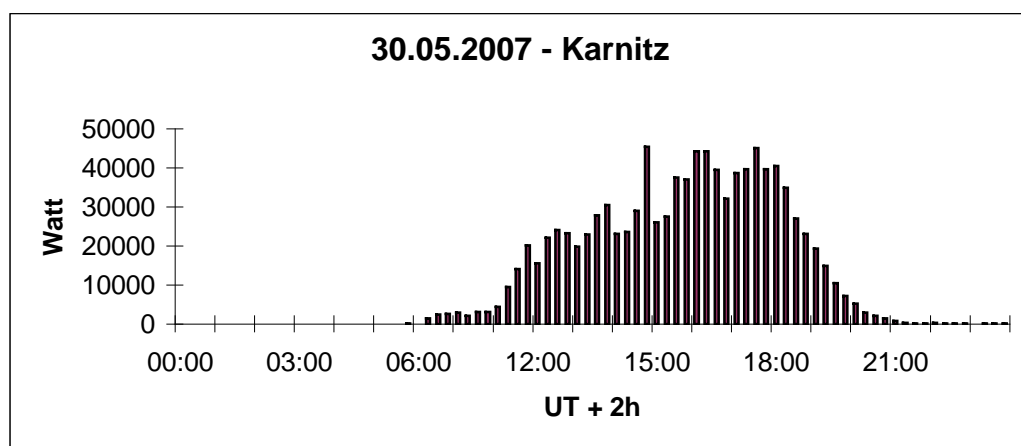
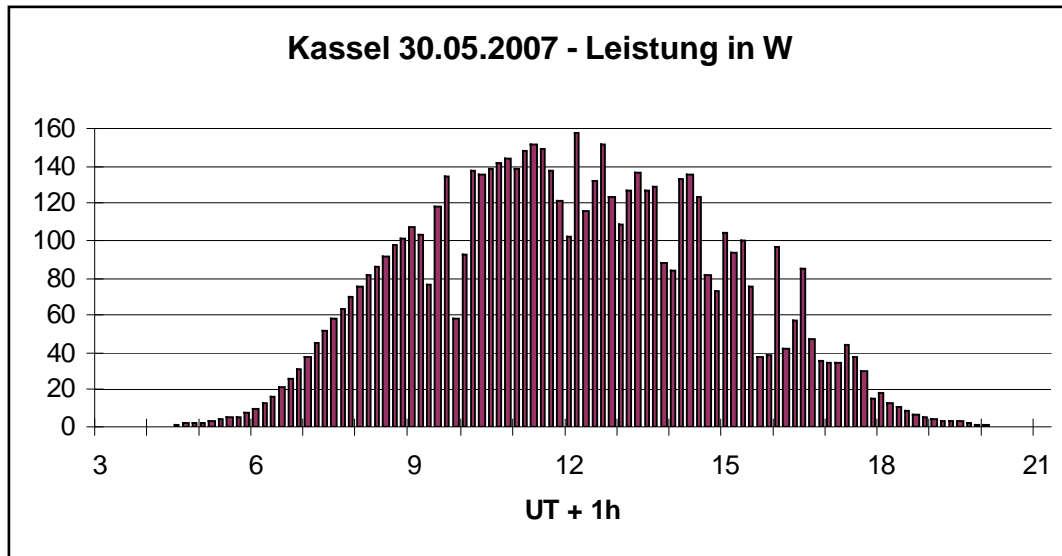
Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars	PV-Anlage
13:49	14:15	14:54	G11	5	XRA	1-8A	C2.0 5.9E-03	<b>Kassel, Karnitz</b>
<b>Kassel</b>	Globalstrahlung	Direktstrahlung	Global 30°	kristallines Modul 30°				
Zeit in UT	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	Spannung in V	Strom in A	Leistung in W		
13:50	505,58	211,82	511,12	21,03	3,490	73,40		
14:00	706,98	217,05	728,02	20,89	4,992	104,31		
14:10	651,52	204,47	663,35	20,55	4,533	93,17		
14:20	665,73	172,12	675,22	21,06	4,718	99,38		
14:30	518,23	146,98	523,89	20,94	3,582	75,00		
<b>Karnitz / UT</b>	Leistung in W	Mpp Spannung in V	<b>Leistungssteigerung</b>	Zuwachs in kWh				
13:45	37051	591,1		9,2				
14:00	44199	581,5	vorhanden	11,1				
14:15	44149	582,4	vorhanden	11,0				
14:30	39540	576,3		9,9				
14:45	32167	583,6		8,0				

Der Tagesertrag für die eingespeiste Elektroenergie betrug in Karnitz insgesamt 253,5 kWh; das ist allerdings deutlich weniger als die Hälfte des Ertrags an einem wolkenlosen Tag.

Der Einfluss der Röntgenstrahlung auf den Tagesertrag ist deshalb etwas größer und beträgt für dieses Beispiel geschätzt mehr als 1% , weil der Zuwachs während des Flares um mindestens 3 kWh über dem zeitlichen Mittel liegt.

An diesem Tag war es in Kassel überwiegend gering bewölkt; auf Rügen war es dagegen vormittags stark und erst nachmittags überwiegend leicht bewölkt.

Entsprechend sehen die nachfolgenden Tagesdiagramme aus:



Seit August 2007 können wir den Tagesverlauf einer kleinen 2,4 kWp-Anlage in Bergen auf Rügen mit einem handelsüblichen „Sunny Beam“ elektronisch per Funk aufzeichnen. Die Genauigkeit ist zwar nicht besonders hoch, weil nur die Mittelwerte für einen Zeitraum von jeweils 10 Minuten gespeichert werden, dieses ermöglicht uns aber einen weiteren unabhängigen Vergleich.

Für die folgenden Monate gab es in Karnitz und hauptsächlich in Kassel eine ganze Reihe von Übereinstimmungen (öfter als 26 mal) zwischen den Flares und einer geringen Leistungssteigerung der PV-Anlagen.

Leistungssteigerungen bei Flares mit geringer Röntgenstrahlung (z.B. der Klasse B4.2) sind in der folgenden Tabelle nicht aufgelistet. (Ein Vergleich mit Karnitz erfolgte auch nur bis zum 11.06.2007.)

An Hand der nachfolgenden Tabelle erkennt man, dass es während des Tages **nicht immer** mit einem stärkeren Röntgenstrahlen-Ausbruch auch eine Leistungssteigerung der PV-Anlagen gibt. Wahrscheinlich stört dann meistens die lokale Bewölkung.

In der Tabelle sind alle Ereignisse für stärkere Röntgenstrahlenausbrüche während des Zeitraumes ab Mai 2007 August 2007 zusammengestellt:

Energie im cgs-system:  $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  (A:  $< 10^{-4}$  ; B:  $10^{-4} = x < 10^{-3}$  ; C:  $10^{-3} = x < 10^{-2}$ ; M:  $10^{-2} = x < 10^{-1}$ : M:  $10^{-1} = x$ )  
 Es gilt:  $1 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} = 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$

Datum	Röntgenstrahlung (Klasse / Energie)		Dauer MEZ	zeitgleiche Leistungssteigerung der PV-Anlagen	Flare im Plot ausgeprägt
05.05.2007	C4.2	4.1E-03	13:20 – 13:57	Karnitz	stark
09.05.2007	B6.3	1.5E-03	14:36 – 15:28	Karnitz, Kassel	gering
15.05.2007	C1.0	6.7E-04	16:27 – 16:44	-	deutlich
16.05.2007	C2.9	3.5E-03	18:19 – 18:53	-	deutlich
19.05.2007	B9.5	1.3E-03	13:48 – 14:19	Karnitz, Kassel	gering
20.05.2007	B6.7	1.5E-03	05:52 – 07:20	Kassel	-
30.05.2007	C2.0	5.9E-03	14:49 – 15:54	Karnitz, Kassel	stark
31.05.2007	C1.1	8.4E-04	13:43 – 14:02	-	deutlich
01.06.2007	B6.9	7.8E-04	13:24 – 13:50	Karnitz	gering
01.06.2007	B6.6	2.5E-04	15:17 – 15:27	Karnitz	gering
01.06.2007	M2.8	2.9E-02	15:35 – 16:11	Kassel	sehr stark
02.06.2007	M2.5	2.0E-02	06:25 – 07:19	Karnitz	-
02.06.2007	B7.8	3.7E-04	09:21 – 09:38	Karnitz	gering
02.06.2007	M1.0	4.3E-03	11:28 – 11:41	Kassel	sehr stark
03.06.2007	C5.3	1.2E-03	10:23 – 10:31	-	deutlich
04.06.2007	B5.6	2.8E-04	08:08 – 08:18	Kassel	-
04.06.2007	B5.5	3.6E-04	16:55 – 17:10	Kassel	-(Sender abgeschaltet)
05.06.2007	C6.6	7.8E-03	16:29 – 17:25	Karnitz, Kassel	stark
06.06.2007	C9.7	7.2E-03	17:55 – 18:35	-	stark
07.06.2007	C3.9	2.2E-03	07:22 – 07:50	-	sehr gering
07.06.2007	C1.1	2.4E-03	11:10 – 12:07	Karnitz	gering
08.06.2007	C2.3	9.2E-04	05:10 – 05:15	-	-
08.06.2007	C1.4	4.4E-04	05:55 – 06:05	-	-
08.06.2007	C2.9	4.5E-03	09:22 – 10:00	Kassel	deutlich
08.06.2007	C1.5	2.6E-03	15:09 – 15:52	Kassel	deutlich
09.06.2007	M1.0	1.4E-02	14:30 – 15:05	-	stark
10.06.2007	C1.9	5.6E-04	12:01 – 12:14	-	deutlich
27.06.2007	C1.3	4.8E-04	18:49 – 19:03	Kassel	-
07.07.2007	B9.1	2.0E-03	11:56 – 12:51	Kassel	-
07.07.2007	C1.9	3.0E-03	15:00 – 15:52	Kassel	deutlich
08.07.2007	C1.8	1.4E-03	17:48 – 18:06	Kassel	deutlich
09.07.2007	C1.7	1.7E-03	06:34 – 07:22	Kassel	-
09.07.2007	B6.9	1.7E-04	17:15 – 17:22	Kassel	-(Sender abgeschaltet)
10.07.2007	C4.4	2.3E-03	04:29 – 04:43	-	-
10.07.2007	B7.0	2.6E-04	05:32 – 05:39	Kassel	-
10.07.2007	C1.2	9.3E-04	05:46 – 06:05	-	-
10.07.2007	C1.4	1.1E-03	07:17 – 07:39	-	-
10.07.2007	C7.4	4.8E-03	08:08 – 08:28	-	-
10.07.2007	C2.8	1.7E-03	08:39 – 08:52	-	-
10.07.2007	B5.4	4.6E-04	11:32 – 11:55	Kassel	-
10.07.2007	C1.9	1.2E-03	12:11 – 12:29	-	deutlich
10.07.2007	C8.2	3.1E-03	13:35 – 13:46	-	stark
10.07.2007	C5.2	3.3E-03	18:48 – 19:04	-	stark
06.08.2007	C1.5	8.5E-04	10:05 – 10:21	-	gering
06.08.2007	C1.1	1.0E-03	16:24 – 16:46	-	-(Sender abgeschaltet)
24.08.2007	C2.0	5.6E-04	08:49 – 08:58	Bergen auf Rügen	-



### Abschätzung der Ertragssteigerung des PV-Moduls in Kassel (Deutschland)

Für das Modul in Kassel können wir grob die Ertragssteigerung abschätzen, die bei Flares mit stärkerer Röntgenstrahlung bei einem oder mehreren Flares am Tage hervorgerufen wird.

Nr.	XRA Klasse	Dauer MEZ	Datum	Tagesertrag in Wh	geschätzter Mehrertrag in Wh	geschätzter Mehrertrag in %
1.	B6.3	14:36 – 15:28	09.05.2007	529,88	2	0,38
2.	B9.5	13:48 – 14:19	19.05.2007	652,03	8	1,23
3.	B6.7	05:52 – 07:20	20.05.2007	829,71	0,5	0,06
4.	C2.0	14:49 – 15:54	30.05.2007	1076,30	6	0,56
5.	M2.8	15:35 – 16:11	01.06.2007	944,68	5	0,53
6.	M1.0	11:28 – 11:41	02.06.2007	469,47	4	0,85
7.	B5.6 B5.5	08:08 – 08:18 16:55 – 17:10	04.06.2007	537,84	2 6	1,49
8.	C6.6	16:29 – 17:25	05.06.2007	505,79	1	0,20
9.	C2.9 C1.5	09:22 – 10:00 15:09 – 15:52	08.06.2007	971,11	3 6	0,93
10.	C1.3	18:49 – 19:03	27.06.2007	620,86	0,5	0,08
11.	B9.1 C1.9	11:56 – 12:51 15:00 – 15:52	07.07.2007	655,22	7 13	3,05
12.	C1.8	17:48 – 18:06	08.07.2007	1027,08	1	0,10
13.	C1.7 B6.9	06:34 – 07:22 17:15 – 17:22	09.07.2007	219,77	0,5 0,8	0,59
14.	B7.0 B5.4	05:32 – 05:39 11:32 – 11:55	10.07.2007	560,55	0,7 12	2,26

Aus diesen 14 Werten ergibt sich eine geschätzte durchschnittliche Steigerung des Tagesertrags von ca. 0,88% ~ 1%.

Die Werte variieren sehr stark, weil die Anzahl der Flares, die Tageszeit (und damit der Sonnenstand) sowie die Bewölkung die Einstrahlung (und damit den Ertrag) entscheidend beeinflussen.

In den Früh- und Abendstunden ist die Ertragssteigerung wegen des niedrigen Sonnenstandes nur gering.

Dieses Ergebnis deckt sich mit der Abschätzung für die PV-Anlage in Karnitz (Rügen).

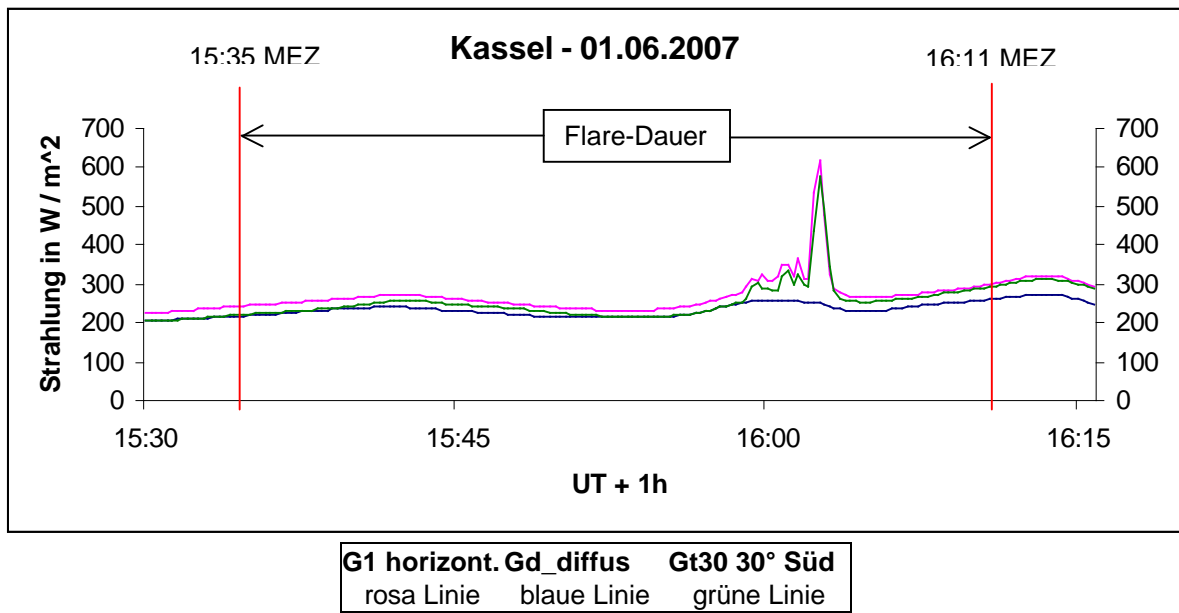
### Abschätzung der Ertragssteigerung der PV-Anlage in Karnitz

Nr.	XRA Klasse	Dauer MEZ	Datum	Tagesertrag in kWh	geschätzter Mehrertrag in kWh	geschätzter Mehrertrag in %
1.	C4.2	13:20 – 13:57	05.05.2007	562,4	0,5	0,09
2.	B6.3	14:36 – 15:28	09.05.2007	363,3	3	0,83
3.	B9.5	13:48 – 14:19	19.05.2007	231,7	2	0,86
4.	C2.0	14:49 – 15:54	30.05.2007	253,5	3	1,18
5.	B6.9 B6.6	13:24 – 13:50 15:17 – 15:27	01.06.2007	547,0	4 2	1,10
6.	M2.5 B7.8	06:25 – 07:19 09:21 – 09:38	02.06.2007	113,2	0,5 0,5	0,88
7.	C6.6	16:29 – 17:25	05.06.2007	257,5	2	0,78
8.	C1.1	11:10 – 12:07	07.06.2007	553,6	4	0,72

Aus diesen 8 Werten ergibt sich eine geschätzte durchschnittliche Steigerung des Tagesertrags von ca. 0,81% ~ 1%.

**Die Ertragssteigerung an Tagen mit Flares beträgt für PV-Anlagen ca. 1%.**

Eine genauere Messung der Strahlung erfolgt alle 15 Sekunden ebenfalls in Kassel an drei Sharp-PV-Modulen: Die Strahlungsleistung pro m<sup>2</sup> im horizontalen Modul (rosa Linie) steigt ebenso wie im 30° geneigten (nach Süden ausgerichteten) Modul (grüne Linie) zur Zeit der maximalen Strahlung. Die blaue Linie für die diffuse Strahlung zeigt dagegen kaum eine Veränderung.



2007 Jun 01

#Event	Begin	Max	End	Obs	Q	Type	Loc/Frq	Particulars	Reg#
1410 +	14:35	14:59	15:11	G11	5	XRA	1-8A	M2.8 2.9E-02	0960

Der Leistungsanstieg erfolgt hier zeitgleich mit dem Maximum der Röntgenstrahlung.  
(Die Uhrzeit im oberen Diagramm bezieht sich auf MEZ; die Zeitangabe des Satelliten ist in UTC.)

### Zur Deutung dieses Phänomens

(Mit Auszügen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Polarlicht> und Hinweisen von Dr. V. Bothmer und Dr. N. Jakowski )

Polarlichter entstehen, wenn Elektronen, die durch Instabilitäten im Schweif der Erdmagnetosphäre auf Energien im keV -Bereich beschleunigt wurden, auf die oberen Schichten der Erdatmosphäre treffen. Dort regen sie die vorhandenen Luftmoleküle zum Leuchten an. Der „Aufprall“ eines Teilchens bewirkt bei dem Molekül bzw. Atom eine Anregung.

Nach sehr kurzer Zeit wird die aufgenommene Energie in Form von Licht dann wieder ausgesandt.

Die gleiche Wirkung könnte (nach unserer Meinung) auch durch die zusätzliche energiereiche Gamma-, EUV- und Röntgenstrahlung während eines Flares eintreten.

Polarlichter können verschiedene Farben haben. Grünes und rotes Licht entsteht durch Sauerstoffatome verschiedener Anregungszustände. Angeregte Stickstoffatome senden violetteres bis blaues Licht aus. (Zur Anregung von Stickstoffatomen sind jedoch höhere Energien notwendig.)

Als Sekundäreffekt sind diese Farben allerdings während des Tages bei Sonnenlicht nicht zu erkennen.

Des weiteren wird bei einem Flare auch (zusätzliches) sichtbares Licht emittiert.

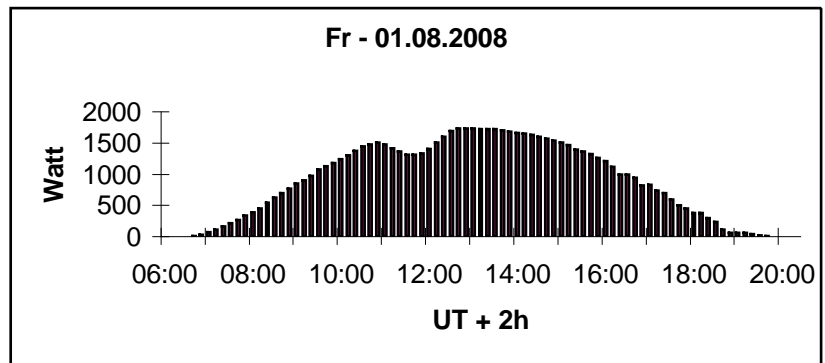
Einem Bericht des Deutschlandfunks vom 21.07.2008 (16.55 Uhr) zufolge wird bei einem Flare 0,1% mehr Energie von der Sonne abgestrahlt. Die Verteilung der Energie ist dabei nicht gleichmäßig.

Die Leistungssteigerung der PV-Module während eines Flares ist wahrscheinlich auf diesen Sekundäreffekt und die zusätzliche Lichtstrahlung zurückzuführen.

## 11. Besondere Ereignisse

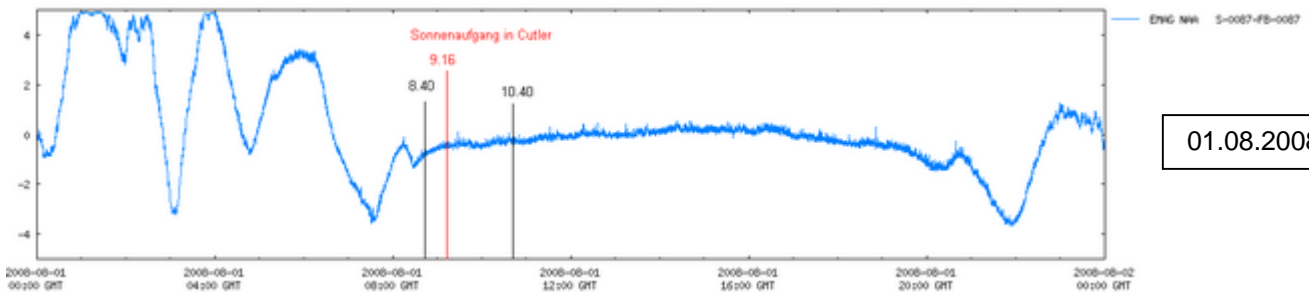
### Die partielle Sonnenfinsternis am 01.08.2008

In Bergen auf Rügen waren die Beobachtungsbedingungen ideal. Gegen 11.37 MESZ (UT + 2h) war die Bedeckung mit ca.25% maximal. Gegen 12.40 MESZ endete die partielle Sonnenfinsternis in Bergen.



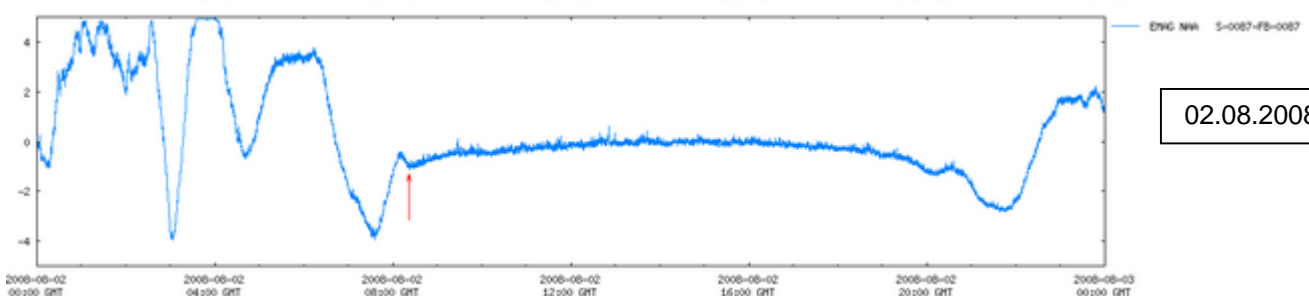
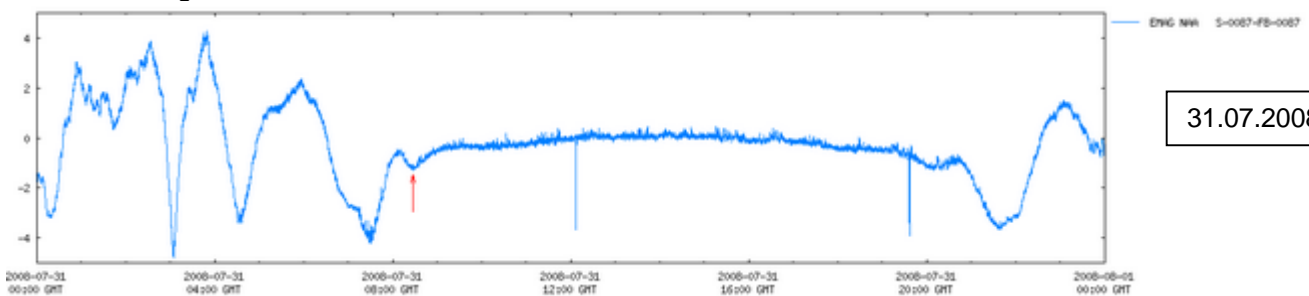
Die Leistungsminderung bei der PV-Anlage betrug um 11.40 Uhr (als Mittel der letzten 10 Minuten) ca.23%. (Die Delle ist deutlich erkennbar.) Beide Werte stimmen somit in der Größenordnung gut überein.

Im Plot vom 01.08.2008 sind jedoch keine nennenswerten Veränderungen während der zweistündigen Sonnenfinsternis von ca. 8.40 – 10.40 UT zu erkennen.



Die Reflexion der Raumwelle erfolgte während dieser Zeit (5593,4km / 6) etwa 930 km westlich von Bergen (wenn man 3 „Hops“ zu Grunde legt). Bei einer Geschwindigkeit des Mondschattens auf der Erde von ca. 2000 km/h entspricht dieses etwa 1/2 Stunde Zeitdifferenz.

Eine maximale Veränderung der Ionosphäre wäre also um 9.10 UT, ca. 90 Minuten vor dem Ende um 10.37 UT in Bergen, zu erwarten. Dieser Zeitpunkt liegt jedoch noch vor dem Sonnenaufgang um 9.16 UT in Cutler. Eine stabile Phasenbeziehung zwischen Boden- und Raumwelle bildet sich gerade erst heraus und eine Veränderung in der Ionosphäre durch den Mondschatten ist somit nicht eindeutig nachweisbar. Des weiteren streift der Mondschatten nur sehr kurzzeitig das Reflexionsgebiet der Raumwelle. Auffällig ist jedoch das ausgeprägte „scharfe“ Minimum im oberen Plot um 8.28 UT im Vergleich mit den Plots an den beiden Tagen zuvor und danach.

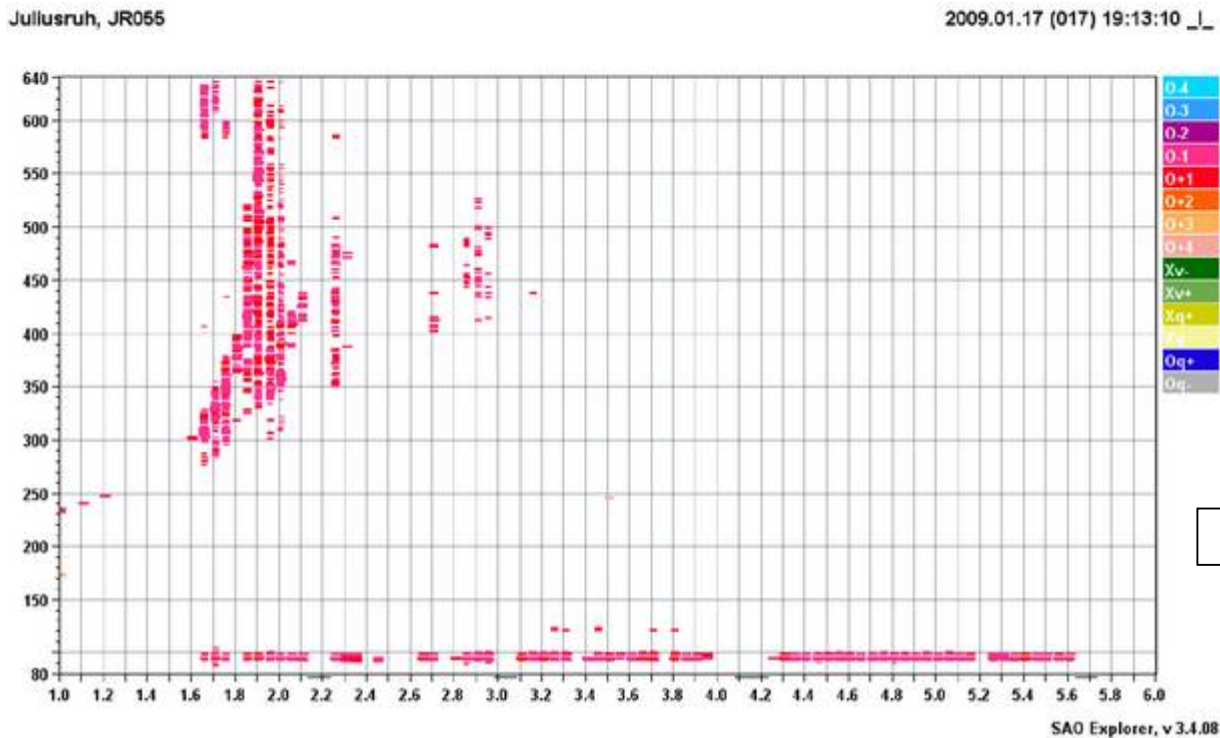


Dieses Minimum entsteht (wahrscheinlich) im Gebiet der letzten Reflexion der Raumwelle an der D-Schicht. Durch die Sonnenfinsternis könnte sich dort kurzzeitig die Ionosphäre stärker als üblich verändert haben.

### Meteoritenfall am 17.01.2009

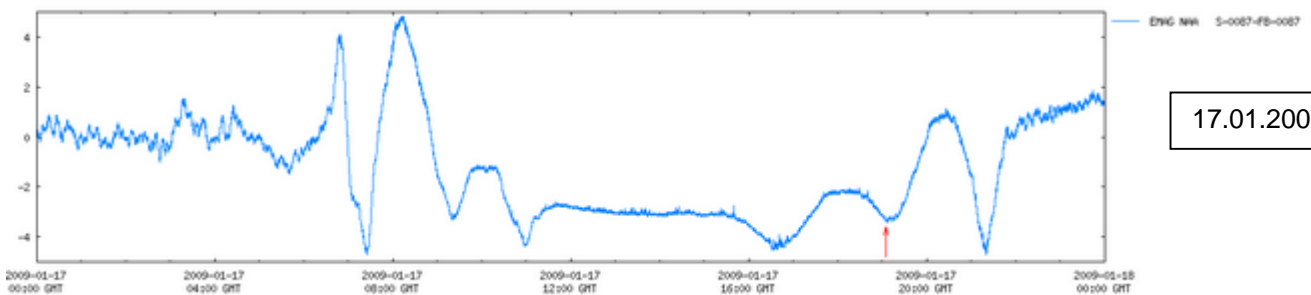
[http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-28/5934\\_read-15388/](http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-28/5934_read-15388/)

Am Sonnabend, 17. Januar 2009, wurde in Norddeutschland und Skandinavien kurz nach 20.08 Uhr (MEZ) eine sehr helle Feuerkugel beobachtet. Die Feuerkugel war heller als der Vollmond und etwa drei Sekunden lang sichtbar. Hinweise auf Spuren entlang der Feuerkugelbahn in der Atmosphäre - ähnlich einem Flugzeugkondensstreifen - wurden noch etwa fünf Minuten später mit der Ionosonde über Nord-Rügen gemessen. Schüler aus den 9. und 10. Klassen des E.M.Arndt-Gymnasiums (Bergen auf Rügen) sahen zu Hause (z.B. in Patzig) ein helles kurzes Aufleuchten des ganzen Himmels, ohne irgendeinen Donner zu hören. Manche empfanden das Licht bläulich, andere mehr blau-grünlich.



Die Funkwellen im Bereich von ca. 1,7 – 5,6 MHz wurden in 95 km Höhe reflektiert. Man erkennt dieses im unteren Abschnitt des Diagramms der Ionosonde.

Die beobachtete Feuerkugel bewegte sich von Schweden kommend in Richtung Mecklenburg-Vorpommern und wurde auf einem Video in Schweden und einem Foto in den Niederlanden aufgezeichnet. Abschätzungen aufgrund von Augenzeugenberichten deuteten auf einen möglichen Meteoritenfall in der Ostsee hin.



In unserer graphischen Darstellung vom 17.01.2009 ist (erwartungsgemäß) nichts Besonderes erkennbar, weil der Meteoritenfall in unserer Nähe stattfand und zu weit von unserem Reflexionsgebiet (900 km) westlich über dem Atlantik entfernt ist. Im Internet hieß es dann:

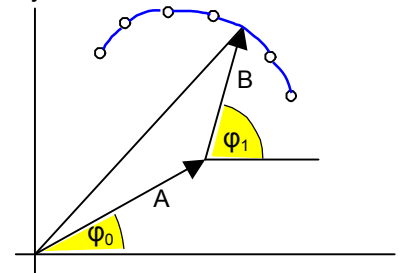
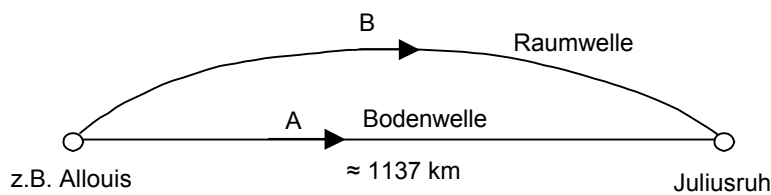
“Die Sensation ist perfekt: Ein Meteoritenjäger aus Berlin ([Thomas Grau aus Bernau bei Berlin](#)) hat auf der dänischen Insel Lolland Bruchstücke des Meteoriten gefunden, der Mitte Januar dort niedergegangen ist und dessen helle Feuerkugel von unzähligen Menschen gesichtet worden war. Ersten Analysen zufolge handelt es sich um einen seltenen und sehr interessanten Fund: einen kohligen Chondriten. Mehrere Wochen dauerte so auch die Suche. Schließlich wurde das fast nicht zu Glaubende Realität: Auf einer öffentlich zugänglichen Wiese auf der Insel Lolland [fand Grau die ersehnten Meteoritensplitter](#), eingebohrt in den feuchten Boden, zusammen kaum mehr als eine tischtennisballgroße Masse, etwa 30 Gramm schwer. Behalten durfte Grau "seinen" Meteoriten übrigens nicht. In Dänemark gibt es seit 1989 ein Gesetz, das es verbietet, solch extraterrestrische Funde zu behalten oder gar außer Landes zu bringen. Nun ist also das Gesetz zum ersten Mal zur Anwendung gekommen: Die Meteoriten wurden in das naturhistorische Museum des Landes nach Kopenhagen gebracht.“

## 12. Phasenmessungen in Juliusruh

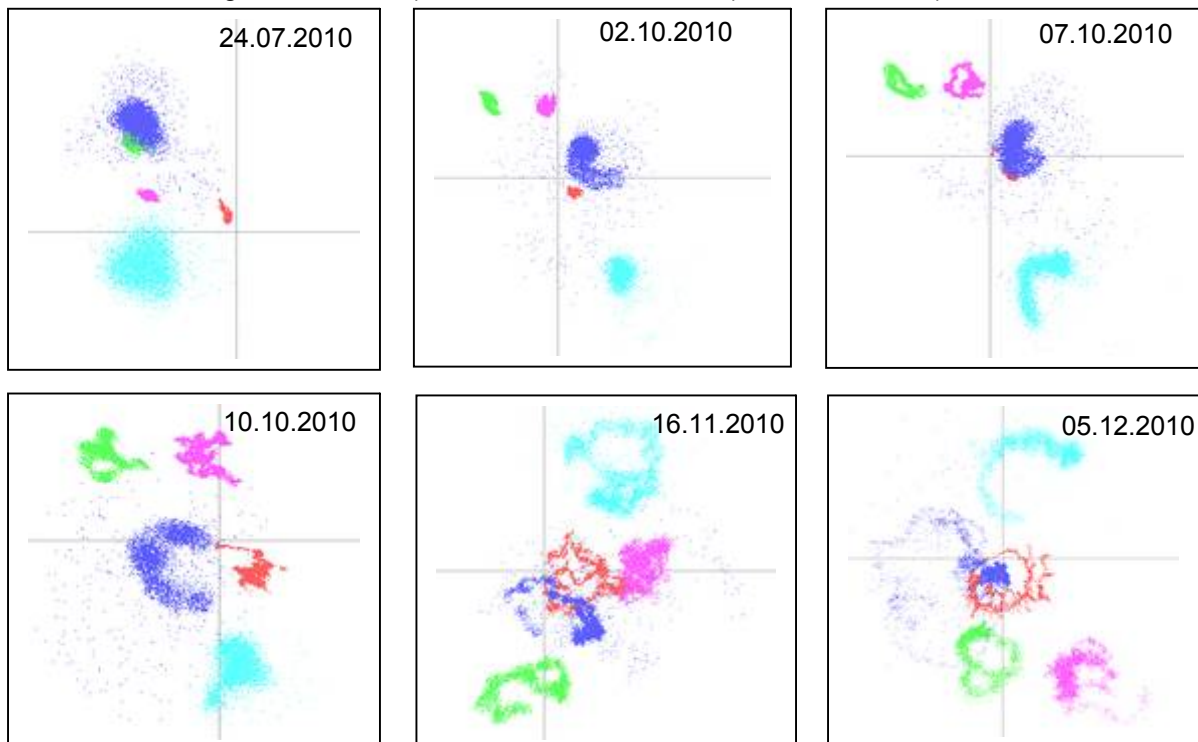
Seit Juli 2010 werden für einige europäische Langwellensender gleichzeitig Phasenmessungen in der Zeit von 8 – 12 Uhr UT im Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik in Juliusruh (auf Rügen / 54°38'43''N ; 13°22'26''E) vorgenommen. (Die Messungen beginnen somit meistens nach Sonnenaufgang von Sender und Empfänger.) Dabei ist die zeitliche Aussendung der Welle sowie der Empfang mit einer hohen Genauigkeit von oft weniger als 20 ns bekannt. Man geht davon aus, dass sich das Empfangssignal aus den Anteilen der Boden- und Raumwelle vektoruell zusammensetzt. (Wie dabei die Wege genau verlaufen, ist jedoch nicht bekannt.)

Jeder einzelne kleine Punkt im Diagramm kennzeichnet jeweils eine Messung. Von Juli – September 2010 liegen die Messwerte meist in einem kleinen begrenzten Gebiet. Ab Oktober entstehen jedoch kreisförmige Gebilde. Das Signal der Bodenwelle endet dabei jeweils im Mittelpunkt dieses „Kreises“. Die Raumwelle beschreibt den Kreisbogen. Bei einem vollen Kreis hat sich der Weg der Raumwelle auch um eine ganze Wellenlänge geändert. Da diese „Kreisbildungen“ ab Oktober auftreten, könnten sie im Zusammenhang mit dem „**Oktober-Effekt**“ stehen. Allerdings ist die Phasenverschiebung nicht mit dem „Hop-Modell“ zu erklären, weil sich z.B. der Sonnenaufgang in Juliusruh sehr oft zeitlich kaum vom Sonnenaufgang des Senders Allouis unterscheidet.

Die Messwerte müssten sich eigentlich alle auf dem „Tagesplateau“ befinden, wo sich eine feste Phasenbeziehung zwischen Boden- und Raumwelle herausgebildet hat. Offensichtlich ist dieses jedoch nicht der Fall.



- rot: France Inter, Allouis 162 kHz (47°10'17''N ; 02°12'17''E) – Frankreich (1137,3 km entfernt;  $\lambda = 1,85$  km)
- grün: DCF, Mainflingen 77,5 kHz (50°00'56''N ; 09°00'40''E) – Deutschland (591,8 km entfernt;  $\lambda = 3,87$  km)
- blau: GBR, Anthorn 60 kHz (54°54'42''N ; 03°16'43''W) – Großbritannien (1065,4 km entfernt;  $\lambda = 5,00$  km)
- violett: DLF, Donebach 153 kHz (49°33'37''N ; 09°10'38''E) – Deutschland (631,6 km entfernt;  $\lambda = 1,96$  km)
- türkis: HBG, Prangins 75 kHz (46°24'31''N ; 06°15'11''E) – Schweiz (1041,6 km entfernt;  $\lambda = 4,00$  km)



		Allois	Mainflingen	Anthorn	Donebach	Prangins	Juliusruh
		rot	grün	blau	violett	türkis	
24.07.2010	Sonnenaufgang / UT	04:30	03:42	04:08	03:43	04:07	03:03
02.10.2010	Sonnenaufgang / UT	05:50	05:25	06:17	05:24	05:35	05:10
07.10.2010	Sonnenaufgang / UT	05:56	05:33	06:27	05:32	05:41	05:20
10.10.2010	Sonnenaufgang / UT	05:59	05:38	06:32	05:36	05:45	05:25
16.11.2010	Sonnenaufgang / UT	06:48	06:38	07:46	06:36	06:38	06:38
05.12.2010	Sonnenaufgang / UT	07:10	07:06	08:19	07:03	07:02	07:11