

Thema der vorliegenden Arbeit:

# Einfluss der Sonne auf die Ionosphäre der Erde

von

Yuna Reinhardt, Laura Dammasch und Huyen Linh Nguyen

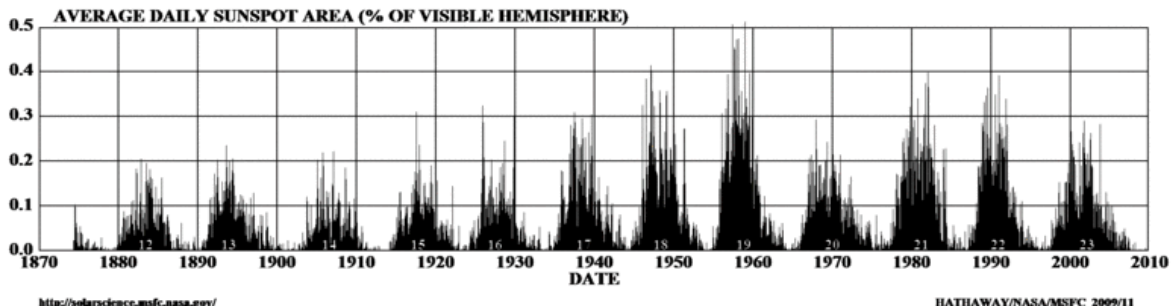
## Zusammenfassung

Wir untersuchten die Aktivität der Sonne und den Einfluss der Sonne auf die Atmosphäre der Erde. Wir wollten mit unseren Beobachtungen letztendlich Aussagen zum Einfluss der solaren Flares auf die Ionosphäre machen. Wir beobachteten den 24.Sonnenfleckenzyklus der Sonne. Durch eine Messstation im orbitall im Projekt SOFIE haben wir die Möglichkeit selbst den Einfluss solarer Flares auf die Ionosphäre zu untersuchen. Wir haben solare Flares detektiert, die wir mit denen von GOES und den veröffentlichten Warnungen verglichen haben. Die solaren Flares haben wir als C, M und P2 Flares Identifiziert. Unsere Messwerte werden im Projekt SOFIE der Ionospärenforschung zur Verfügung stehen.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung und Grundlagen	2
1.1 Aufbau der Atmosphäre und Weltraumwetter	2
1.2 Das Projekt „SOFIE“	3
Problemfrage	3
2. Experimenteller Teil und Ergebnisse	4
2.1 Die Empfangsantenne und der Funkwellenempfänger im orbitall	4
2.2 Eigene Messwerte	6
2.2.1 Übersicht solarer x-ray Flares in den Jahren 2013/2014	6
2.2.2 detektierter solarer Flare (R2) am 7.1.2014	7
3. Zusammenfassung	9
4. Anhang	10

# 1. Einleitung und Grundlagen

Die Sonne befindet sich im Moment im 24. Sonnenfleckenzyklus. Ein Zyklus dauert ca. 11 Jahre. In der Zeit hoher Sonnenaktivität kann man auf der Oberfläche der Sonne vermehrt Sonnenflecke beobachten.

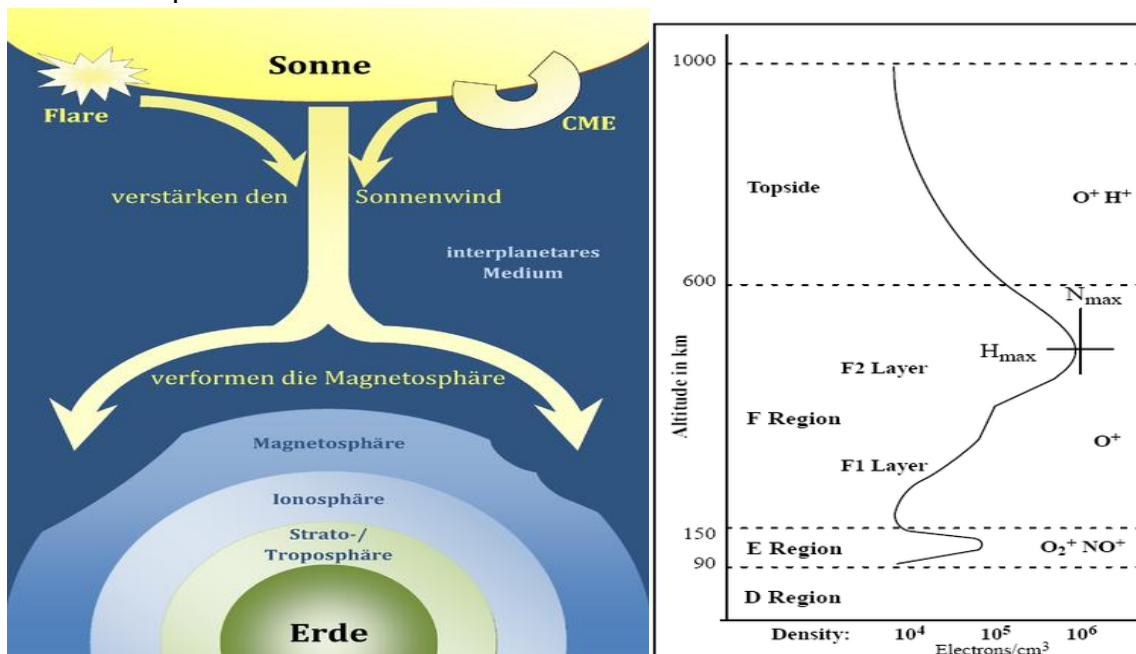


**Bild 1:** Sonnenfleckenzyklen (Quelle: Wikipedia)

Bei hoher Sonnenaktivität stößt die Sonne an den Stellen der Sonnenflecke Materie "Solar Flares" aus, die mitunter in Richtung Erde unterwegs ist. Trifft die Materie auf die Atmosphäre der Erde, so wird diese beeinflusst. Die Ionosphäre ist eine ionisierte und leitfähige Schicht der hohen Erdatmosphäre (ab 60km bis 700km). In ihr werden durch UV-Strahlung und Röntgenstrahlung der Sonne Gasmoleküle (Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Helium) ionisiert, das heißt ein Teil der Gasmoleküle der Luft werden durch die Strahlung in Elektronen und Ionen aufgespalten. Sie reagiert besonders empfindlich auf "solare Flares". Messbar ist der Effekt, wenn man die Signalausbreitung von Längstwellensender beobachtet. (Quelle: Wikipedia). Eine Empfangsstation dafür haben wir im orbitall.

## 1.1 Aufbau der Atmosphäre und Weltraumwetter

Die Ionosphäre stellt den ionisierten Teil der Erdatmosphäre dar und erstreckt sich in einer Höhe von 60 bis 700 km. Ihr Zustand ist abhängig vom Weltraumwetter, das heißt von der kosmischen Strahlung und insbesondere von der Aktivität der Sonne. Die Ionosphäre gliedert sich in mehrere Schichten (D-, E- und F-Schicht), deren Ausprägung mit der Tages- bzw. Nachtzeit variiert (Bild 3). Dank der elektrischen Leitfähigkeit können Radiowellen bis zu einer Frequenz von ca. 30 MHz reflektiert werden.



**Bild 2 :** Schema zum Aufbau der Atmosphäre und Erklärung des Weltraumwetters (Quelle: Wikipedia)

**Bild 3:** Ionenzusammensetzung in den oberen Ionosphärenschichten (Quelle: Wikipedia)

Sonnen Flares sind magnetische Eruptionen, die von Sonnenflecken ausgehen. Die Strahlungsausbrüche werden nach ihrer Stärke in Klassen aufgeteilt:

<u>Klasse</u>	<u>Röntgenflussdichte (W/m<sup>2</sup>)</u>
B	$10^{-7} \leq \emptyset < 10^{-6}$
C	$10^{-6} \leq \emptyset < 10^{-5}$
M	$10^{-5} \leq \emptyset < 10^{-4}$
X	$10^{-4} \leq \emptyset$

Die B-Klasse ist die kleinste und X-Klasse die größte Eruption. Kleinere Flares kommen meistens mehrmals täglich vor, M-Class-Flares ab und zu und X-Flares sind eher seltene Ereignisse. Ab Stärke M werden Warnungen über die Strahlungsausbrüche vom NOAA / Space Weather Prediction Center herausgegeben. Da gibt es auch noch weitere Unterteilungen:

<u>NOAA-Skala</u>	<u>Warnstufe</u>
>M5	(R2)
>X1	(R3)
>X10	(R4)
>X20	(R5)

Der größte Ausbruch ist >X20 mit der Warnstufe R5.

Bei einer Eruption wird Materie ausgeschleudert (koronale Massenauswürfe (CMC=coronal mass ejection)). Beim Zusammentreff dieser Materie mit der Ionosphäre wird diese gestört. Man kann sie registrieren und so auf das Auftreten und die Größe des Flares zurückführen. Diese können verschiedene Störungen verursachen, in dem sie z.B. einen großen störenden Einfluss auf die Satellitenkommunikation und -navigation haben. Andere Einflüsse sind:

- Einflüsse auf die Signalausbreitung von GNSS- und Handysignalen
- erhöhte Strahlungsmessung in Raumstationen und Flugzeugen
- Störung/Ausfall von Strom-Versorgungssystemen möglich
- Korrosionen von Pipelines
- Gewittertätigkeit nimmt bei hoher Sonnenaktivität zu (Quelle DLR Neustrelitz)

Während eines Flares wird kurzzeitig ein Anstieg der Röntgen- und UV-Strahlung gemessen. Diese wurde während eines Flares ausgestrahlt. Dadurch kommt es zu einem plötzlichen Anstieg der Elektronendichte der Ionosphäre (insbesondere der unteren Schichten). Dadurch werden auch die Ausbreitungsbedingungen für Funkwellen in diesem Zeitraum verändert. Diese Störung wird im Projekt „SOFIE“ genutzt, indem die Signalstärken verschiedener Längswellensender mit einem Funkwellenempfänger gemessen werden (Quelle Wikipedia). So ein Empfänger befindet sich ebenfalls in Berlin im orbital, Raumfahrtzentrum im FEZ-Berlin ([www.orbitall-berlin.de](http://www.orbitall-berlin.de), [www.spaceclub-berlin.de](http://www.spaceclub-berlin.de)).

## 1.2 Das Projekt „SOFIE“

SOFIE ist ein Projekt des DLR-Project Lab Neustrelitz. In diesem haben Schüler die Möglichkeit, sich aktiv mit dem Thema Weltraumwetter und Ionosphärenforschung auseinanderzusetzen. Das Ziel des Projektes ist, Strahlungsausbrüchen auf der Sonne (Solar Flares) auch vom Boden aus indirekt detektieren zu können.

Im Weltraum steht dafür der Satellit „GOES“ zur Verfügung. Er misst die Röntgenflussdichte (x-ray) in (W/m<sup>2</sup>), die von der Sonne Richtung Erde mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs ist.

Mit dem Sofie RX Empfänger können Strahlungsausbrüche der Stärke C, M und X nachgewiesen werden (Quelle DLR Neustrelitz). In dem Projekt „SOFIE“ liefern verschiedene Messstationen ihre Daten zum DLR nach Neustrelitz. Die verschiedenen Messstationen empfangen die Funkwellen von einem der jeweiligen Messstation zugeordneten Längswellensenders. Die Messstation im orbital empfängt die Funkwellen der Frequenz von 37,5 kHz von der Sendestation NRK auf Island.

**Problemfrage:** Wie beeinflussen solare Flares die Ionosphäre?

## 2. Experimenteller Teil und Ergebnisse

Um den Einfluss der solaren Flares auf die Ionosphäre messen zu können, beteiligt sich das orbitall an dem Projekt „SOFIE“. Die Empfangsanlage im orbitall besteht aus zwei Teilen, der Antenne und dem Funkwellenempfänger.

### 2.1 Die Empfangsantenne und der Funkwellenempfänger im orbitall

Die Funkwellen des Senders empfangen wir über eine selbst gebaute Rahmenantenne (Bild 4). Die Antenne im orbitall hat einen viereckigen Rahmen mit einer Kantenlänge von 1m und 75 Windungen aus einem 1,5 mm<sup>2</sup> starken Kupferdraht.

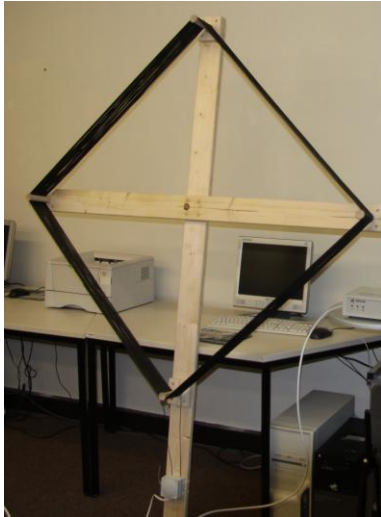


Bild 4: Empfangsantenne im orbitall



Bild 5: Funkwellenempfänger im orbitall

Der Funkwellenempfänger empfing am 19.11. 2013 im orbitall die ersten Signale (Frequenz von 37,5 kHz) von der Sendestation NRK auf Island.

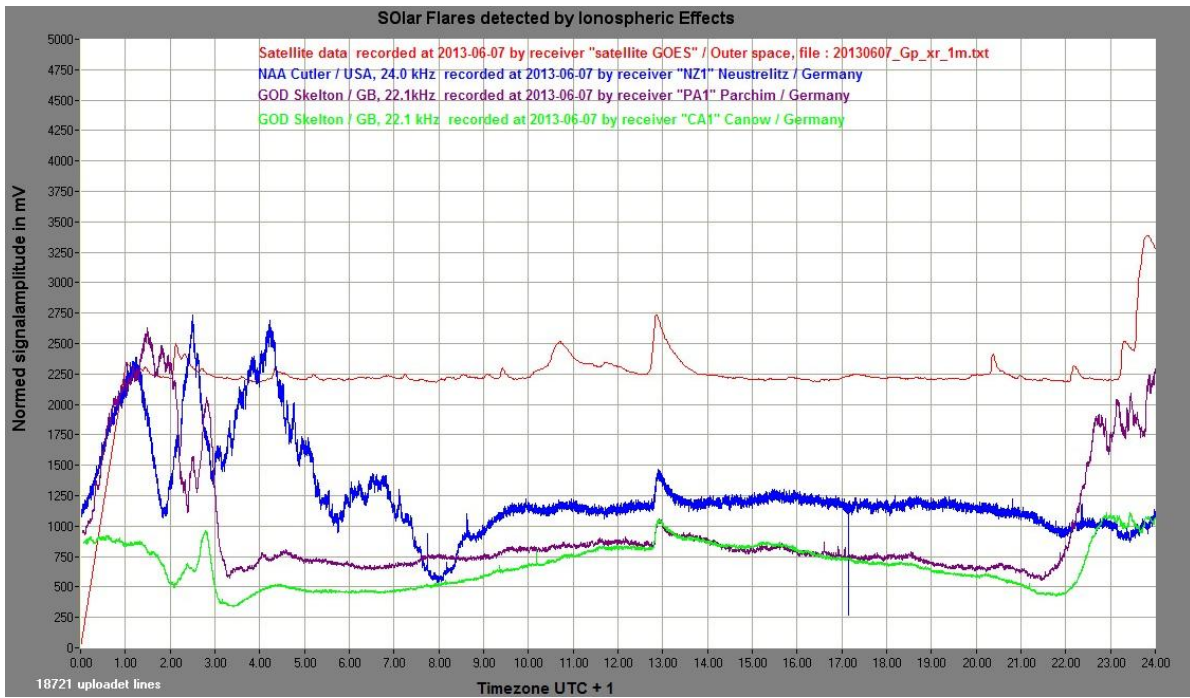
Andere Stationen empfangen die Signale anderer Sender. In der **Tabelle 1** sind einige Längswellensender, ihre Frequenzen, wo sie stehen und ihre Kennung zu sehen.

Frequenz	Sender	Ort	Kennung
22,1 kHz	Anthorn (NATO)	Großbritannien	GQD
23,4 kHz	Rhauderfehn	Deutschland	DHO
24,0 kHz	Cutler	U-Boot-Sender der US-Marine (ME) (USA)	NAA
37,5 kHz	Keflavik (U.S. Navy)	Island	NRK

Warum werden in verschiedenen Standorten verschiedene Funkwellen verschiedener Sender empfangen? Neben den solaren Flares können auch Störungen den Empfang der Funkwellen stören. Weil jeder Empfänger in den beteiligten Schulen auf verschiedene Frequenzen abgeglichen ist, können Flares von einzelnen Signalstörungen unterschieden werden und solare Flares eindeutig bestimmt werden. Solare Flares sind als plötzliche Änderungen der Signalstärke fast zeitgleich mit den Messdaten des Satelliten „GOES“ zu erkennen.

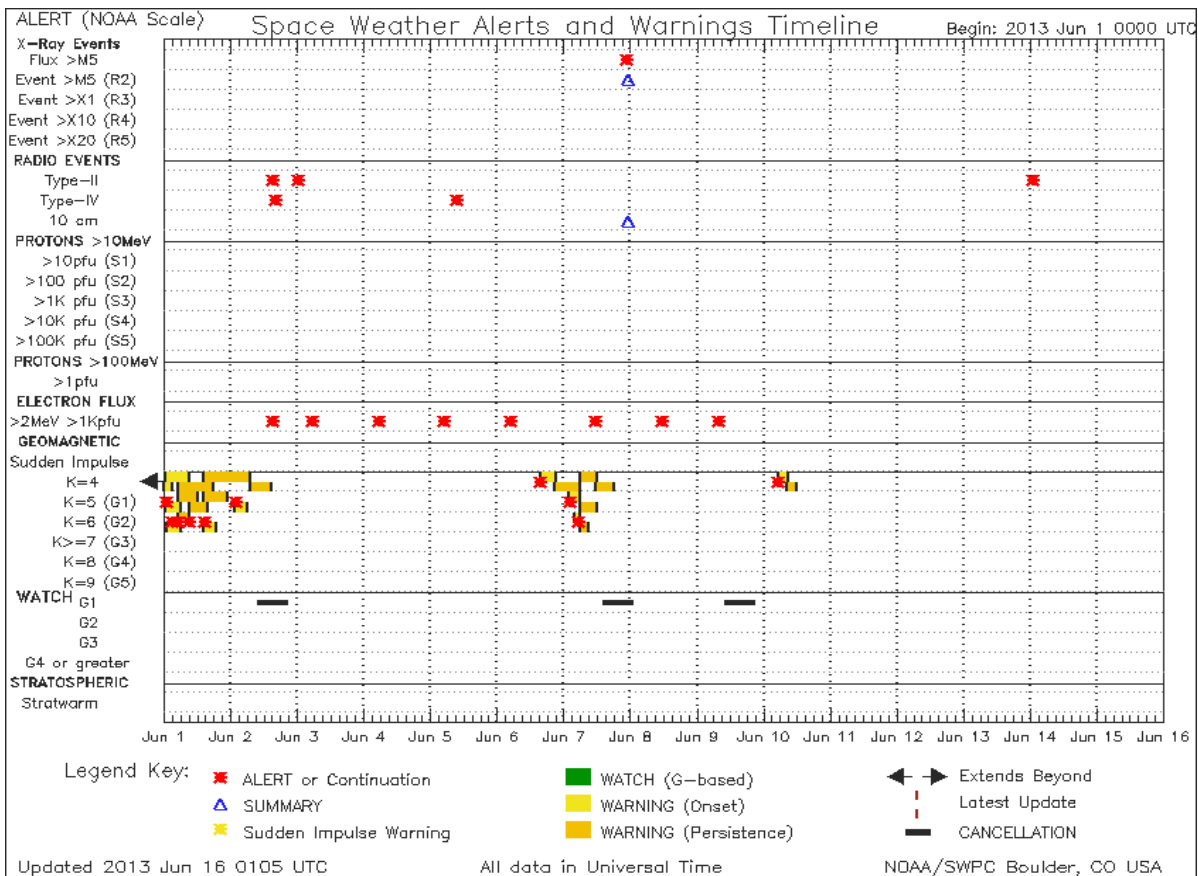
Die Messungen der Signalstärke sind nur tagsüber, zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, sinnvoll, weil sich bei Tagesbeginn die unteren Schichten der Ionosphäre ausbilden. In der Nacht sind die Signalstärken sehr groß, was sich in den nächsten Bildern zeigt. Das sind aber keine Anzeichen von solaren Flares.

Im Bild 6 wird gezeigt, wie ein solarer Flare am 7.6.2013 von verschiedenen Empfangsstationen (Neustrelitz, Parchim Canow) und von dem Satelliten „GOES“ detektiert wurde.



**Bild 6:** von verschiedenen Empfangsstationen (Neustrelitz, Parchim, Canow ) und von dem Satelliten „GOES“ am 7.6.2013 detektierter solarer Flare

Das NOAA / Space Weather Prediction Center gibt Warnungen heraus, wenn solare Flares in Richtung Erde unterwegs sind (<http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive.html>). Das Ereignis am 7.6.2013 führte auch zu einer solar Flare-Warnung (x-ray Event) (Bild 7)



**Bild 7:** solare Flare Warnungen (x-ray -Warnungen, Radio-Warnungen, Warnung vor geladenen Teilchen (Protonen und Elektronen) und geomagnetische Warnung)

## 2.2 Eigene Messwerte

Unsere Empfangsstation haben wir im orbital erst am 19.11.2013 in Betrieb genommen. Deshalb haben wir erst ab da eigene Messungen durchführen können. Um einen Überblick über die solaren Flares im Jahr 2013 zu bekommen, haben wir die Werte (detektiert von GOES) dem NOAA / Space Weather Prediction Center (<http://www.swpc.noaa.gov/alerts/archive.html>) und von SolarSoft Latest Events Archive ([http://www.lmsal.com/solarsoft/latest\\_events\\_archive.html](http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events_archive.html)) sowie bei ([http://www.polarlicht-vorhersage.de/goes\\_archive](http://www.polarlicht-vorhersage.de/goes_archive)) entnommen und in der Tabelle 2 zusammengestellt (koordinierte Weltzeit (UTC), Zeit in Deutschland UTC+1).

### 2.2.1 Übersicht solarer x-ray Flares in den Jahren 2013/2014

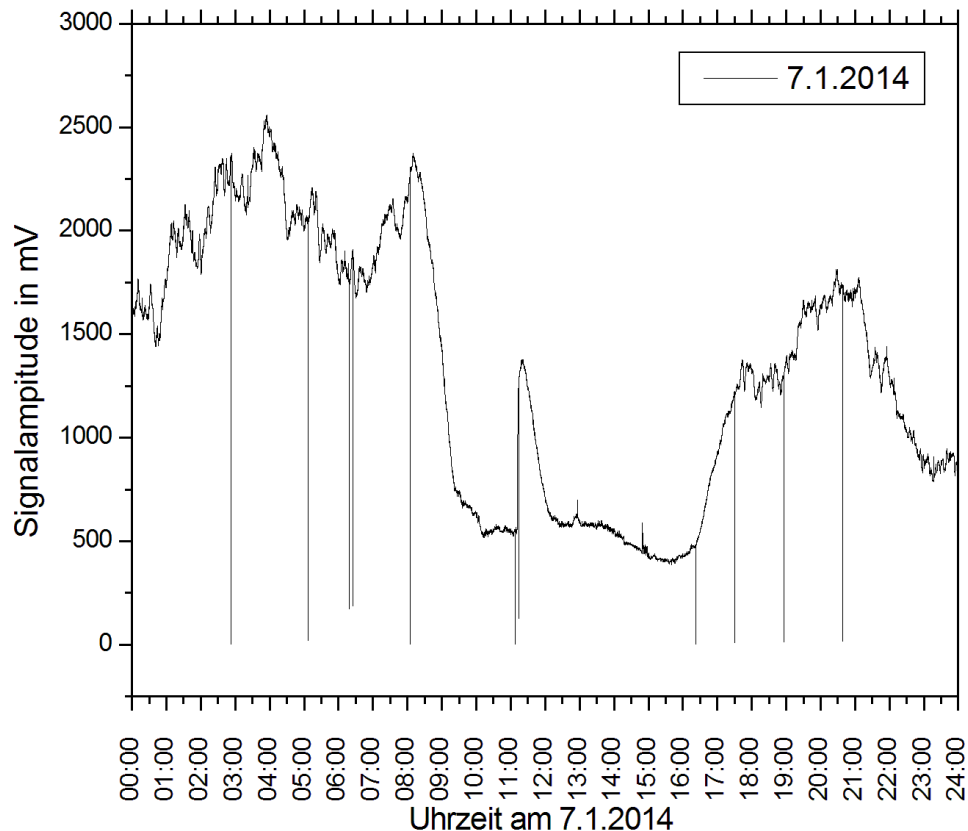
**Tabelle 2:** Datum, UTC-Zeit, NOAA-Skala-Warnungen, detektierte solare Flares (x-ray Flares (Röntgenstrahlung)) in Neustrelitz und im orbital

Datum	Zeit UTC	NOAA-Skala	Sonnen-aufgang	Sonnen-untergang	Neustrelitz (NZ1) UTC+1	Orbital UTC+1
<b>2013</b>						
11.4.	07:11 Uhr	R2	6:16 Uhr	19:58 Uhr	?	/
3.5.	17:29 Uhr	R2	5:30 Uhr	20:36 Uhr	?	/
10.5.			5:17 Uhr	20:48 Uhr	14:00 Uhr	/
13.5.	02:04 Uhr	R2	5:12 Uhr	20:52 Uhr	nachts nicht messbar	/
13.5.					13:00 Uhr	/
13.5.	15:57 Uhr	R2			?	/
14.5.	01:05 Uhr	R2	5:10 Uhr	20:54 Uhr	nachts nicht messbar	/
15.5.	01:41 Uhr	R2	5:09 Uhr	20:56 Uhr	nachts nicht messbar	/
22.5.	13:23 Uhr	R2	4:59 Uhr	21:06 Uhr	?	/
7.6.			4:45 Uhr	21:22 Uhr	13:00 Uhr	/
7.6.	22:48 Uhr	R2			nachts nicht messbar	/
24.6.			4:44 Uhr	21:33 Uhr	9:30 Uhr	/
24.6.					12:30 Uhr	/
24.10.	00:26 Uhr	R2	7:48 Uhr	17:52 Uhr	nachts nicht messbar	/
25.10.	07:58 Uhr	R2	7:50 Uhr	17:50 Uhr	?	/
25.10.	14:56 Uhr	R2			?	/
28.10.	01:58 Uhr	R2	6:56 Uhr	16:44 Uhr	nachts nicht messbar	/
28.10.	04:40 Uhr	R2			nachts nicht messbar	/
29.10.	21:48 Uhr	R2	6:57 Uhr	16:42 Uhr	nachts nicht messbar	/
1.11.	19:52 Uhr	R2	7:03 Uhr	16:36 Uhr		/
3.11.	05:22 Uhr	R2	7:07 Uhr	16:22 Uhr	nachts nicht messbar	/
5.11.	22:11 Uhr	R2	7:10 Uhr	16:29 Uhr	nachts nicht messbar	/
8.11.	04:24 Uhr	R2	7:16 Uhr	16:24 Uhr	nachts nicht messbar	/
10.11.	05:12 Uhr	R2	7:19 Uhr	16:20 Uhr	nachts nicht messbar	/
19.11.	10:22 Uhr	R2	7:35 Uhr	16:07 Uhr	?	SOFIE-Messstation wird aufgebaut
20.12.		M	8:14 Uhr	15:53 Uhr	?	11:55 Uhr
23.12.		M	8:15 Uhr	15:55 Uhr	?	9:49 Uhr
31.12.	21:56 Uhr	R2	8:17 Uhr	16:02 Uhr	nachts nicht messbar	nachts nicht messbar
<b>2014</b>						
1.1.	18:47 Uhr	R2	8:16 Uhr	16:03 Uhr	nachts nicht messbar	nachts nicht messbar
3.1.		C	8:16 Uhr	16:05 Uhr	?	13:54 Uhr
4.1.		M	8:16 Uhr	16:06 Uhr	?	11:25 Uhr
7.1.	10:12 Uhr	R2	8:14 Uhr	16:10 Uhr	?	11:19 Uhr
7.1.	18:17 Uhr	R2			nachts nicht messbar	nachts nicht messbar
8.1.		C	8:14 Uhr	16:12 Uhr	?	13:05 Uhr
11.1.		C	8:12 Uhr	16:16 Uhr	?	14:10 Uhr
26.1.	10:13 Uhr	C	7:56 Uhr	16:41 Uhr	?	11:17 Uhr
28.1.						Wird noch ausgewertet
30.1.	15:48 Uhr	R2				wird noch ausgewertet

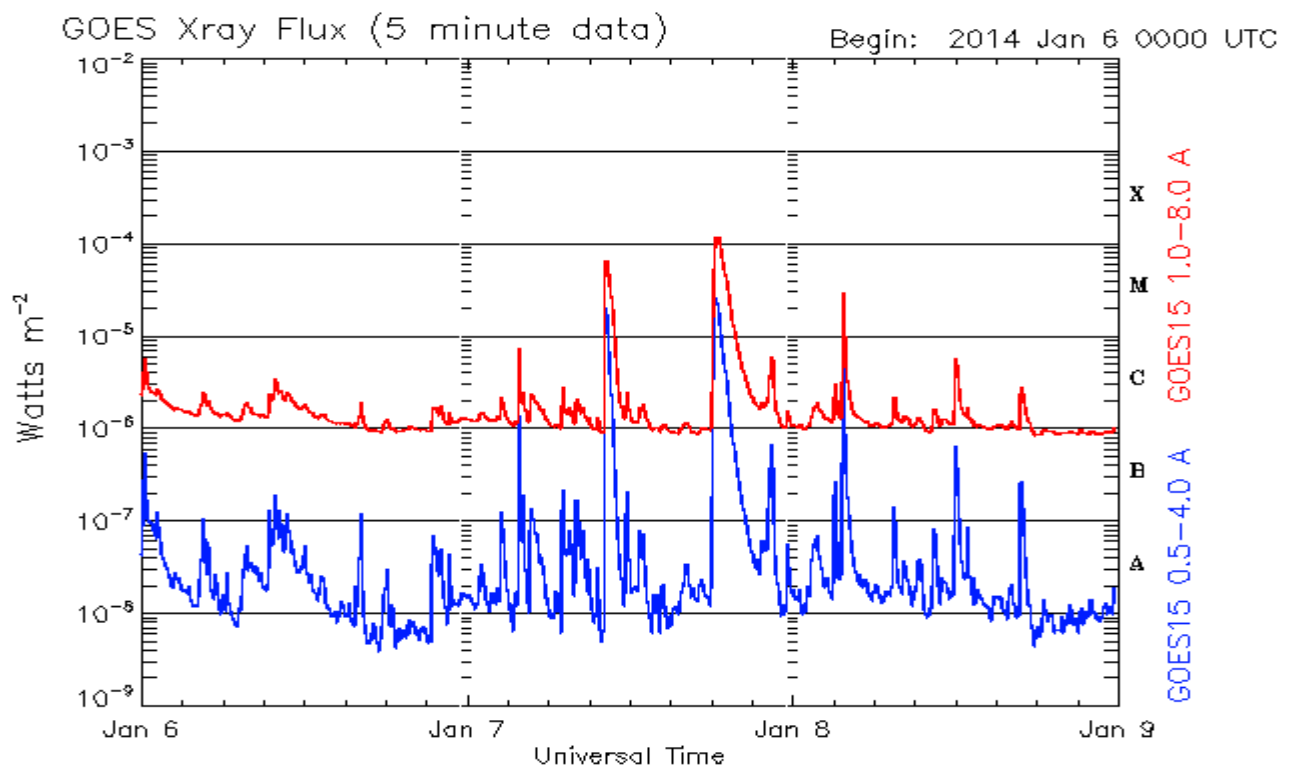
Die solaren Flares der Stärke C und M haben wir im orbital selbst identifiziert und mit den Daten von GOES verglichen. Bei solaren Flares der Stärke C bis M (<M5) werden keine Warnungen heraus gegeben. Im orbital konnten wir diese aber detektieren. Wir sind also in der Lage diese kleinen solaren Flares auch zu detektieren. Große solare Flares (ab R2) sind einfacher zu messen.

### 2.2.2 detektierter solarer Flare (R2) am 7.1.2014

Signalempfang (Frequenz von 37,5 kHz) von der Sendestation NRK auf Island am 7.1.2014. Am 7.1.2014 haben wir einen solaren Flare der Stärke R2 (Bild 8) detektiert und mit den Daten von GOES (Bilder 9 und 10) verglichen. Bei dieser Stärke wurde auch eine Warnung davor veröffentlicht.



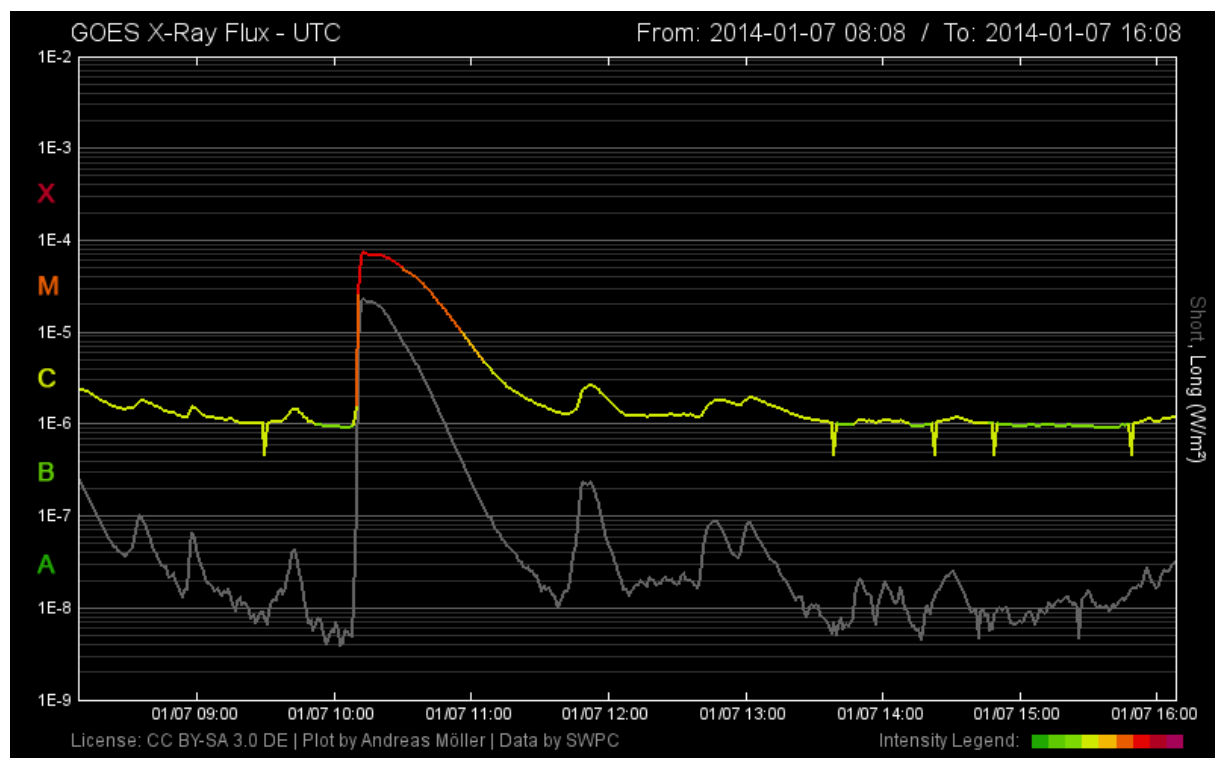
**Bild 8:** von der Empfangsstation im orbital am 7.1.2014 um 11.19 Uhr detektierter solarer Flare (Stärke R2)



Updated 2014 Jan 8 23:55:11 UTC

NOAA/SWPC Boulder, CO USA

**Bild 9 und 10:** von dem Satelliten „GOES“ am 7.1.2014 detektierte solare Flares  
(Bildquellen: [www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov) und [www.polarlicht-vorhersage.de](http://www.polarlicht-vorhersage.de))



Zu zwei solaren Flares gab es auch Warnungen (x-ray Event):  
Space Weather Message Code: ALTXMF  
Serial Number: 207 und 208  
Issue Time: 2014 Jan 07 1012 UTC und 1818 UTC



ALERT: X-Ray Flux exceeded M5

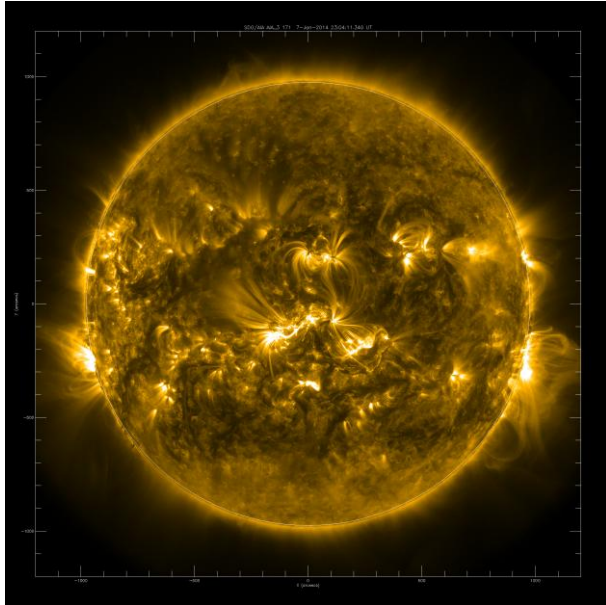
Threshold Reached: 2014 Jan 07 1012 UTC und 1817 UTC

NOAA Scale: R2 - Moderate

Potential Impacts: Area of impact centered on sub-solar point on the sunlit side of Earth. Extent of blackout of HF (high frequency) radio communication dependent upon current X-ray Flux intensity.

For real-time information on affected area and expected duration please see

<http://www.swpc.noaa.gov/drap/index.html>.



**Bild 11:** Foto von der Sonne aufgenommen am 7.1.2014

(Bildquelle: [www.lmsal.com](http://www.lmsal.com))

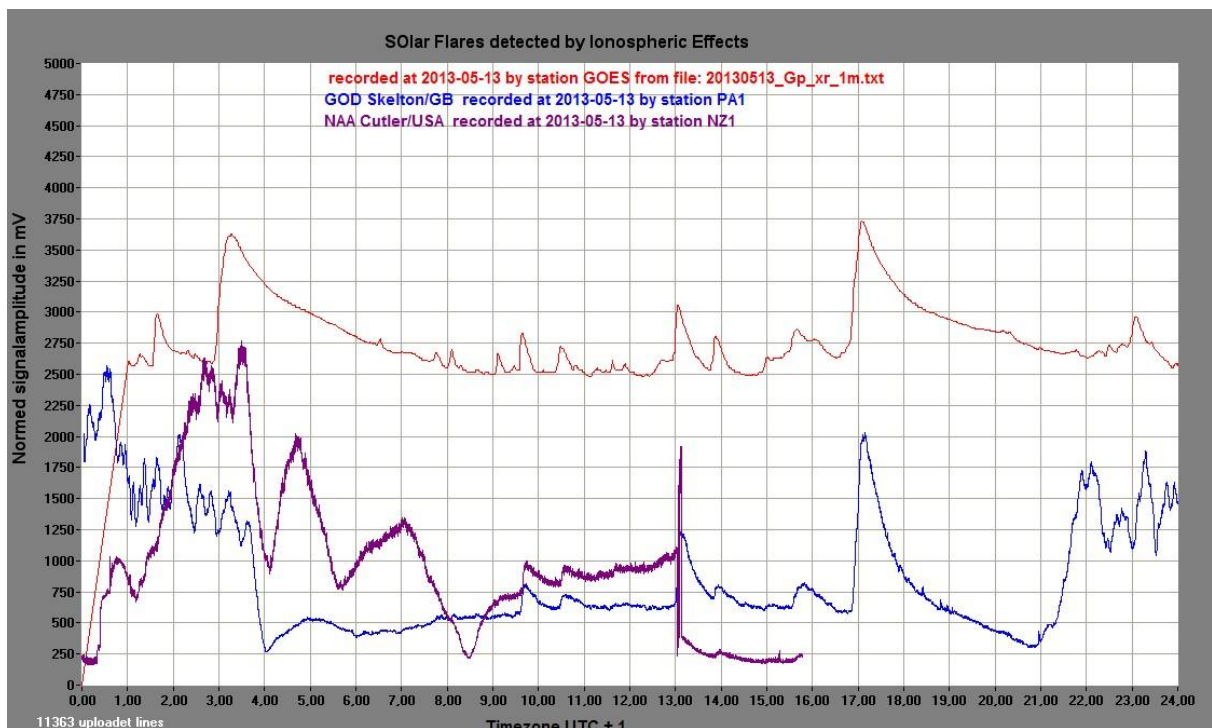
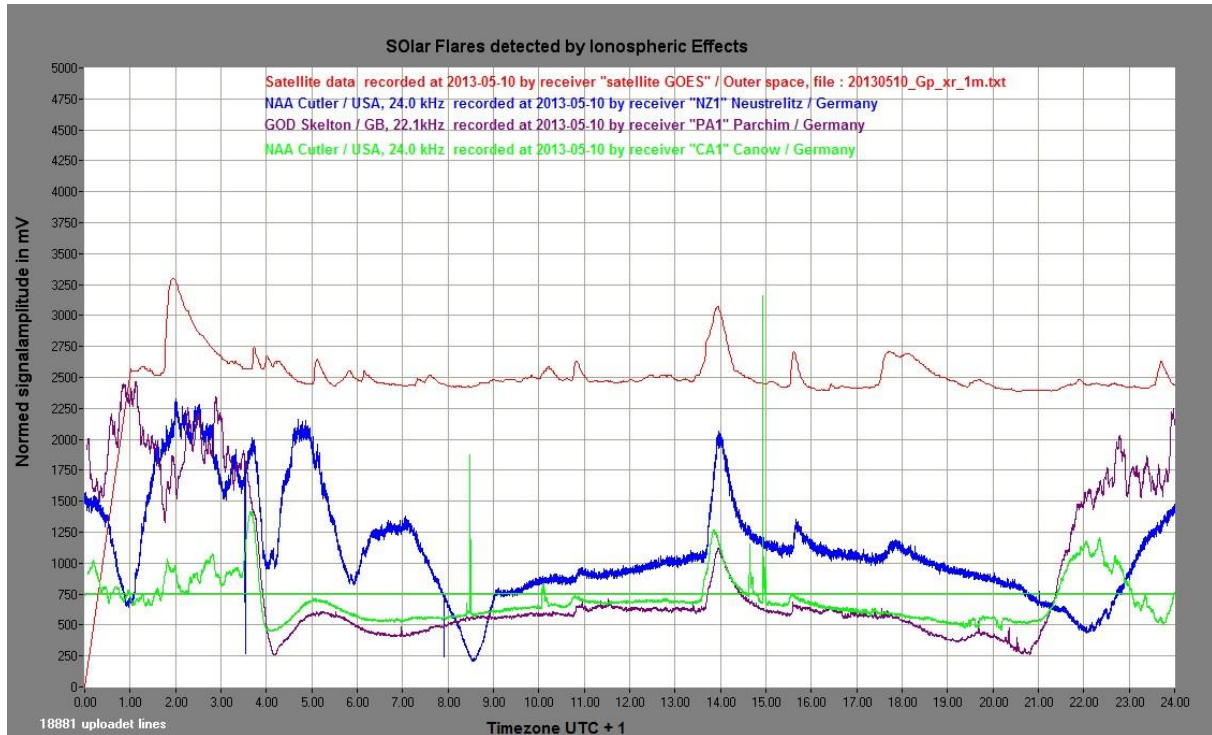
Auf dem Bild sind die Flares zu sehen. Wir haben also eigene Messwerte, die wir mit denen von GOES und den Warnungen verglichen haben und als C, M und P2 Flares identifiziert haben. Bilder von der Sonnenoberfläche zeigen auch die Bereiche der Sonne (Sonnenflecke), die für die solaren Flares verantwortlich sind. Unsere Messwerte werden im Projekt SOFIE der Ionosphärenforschung zur Verfügung stehen.

### 3. Zusammenfassung

Wir untersuchten die Aktivität der Sonne und den Einfluss der Sonne auf die Atmosphäre der Erde. Wir wollten mit unseren Beobachtungen letztendlich Aussagen zum Einfluss der solaren Flares auf die Ionosphäre machen. Wir beobachteten den 24. Sonnenfleckenzyklus der Sonne. Durch eine Messstation im Orbit im Projekt SOFIE haben wir die Möglichkeit selbst den Einfluss solarer Flares auf die Ionosphäre zu untersuchen. Wir haben solare Flares detektiert, die wir mit denen von GOES und den veröffentlichten Warnungen verglichen haben. Die solaren Flares haben wir als C, M und P2 Flares identifiziert. Unsere Messwerte werden im Projekt SOFIE der Ionosphärenforschung zur Verfügung stehen.

## 4. Anhang

### 4.1 Bilder zu Tabelle 2



Bilder: am 10.5.2013 und 13.5.2013 detektierte solare Flares (gemessen von drei SOFIE-Messstationen (Neustrelitz, Canow und Parchim) im Vergleich zu GOES (Werte in Tabelle 2)

## 4.2 Bilder zu unseren eigenen Messungen Solarer flare 20.12.2013

