

ERNST-MORITZ-ARNDT-UNIVERSITÄT
GREIFSWALD
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT
INSTITUT FÜR PHYSIK



Untersuchung der globalen Morphologie leuchtender Nachtwolken mittels SCIAMACHY Satellitenmessungen

Dokumentation

zum Forschungsprojekt in der Arbeitsgruppe Umweltphysik

eingereicht von: Merlin Christopher Köhnke

geboren am: 19.03.1991

geboren in: Heide (Holstein)

Betreuer: Prof. Dr. Christian von Savigny

Inhaltsverzeichnis

	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1 Vorwort	1
2 Ergebnisse	2
2.1 NLC Auftretensrate	2
2.1.1 Geographische Verteilung der NLC Auftretensrate	2
2.1.2 Zeitliche Verteilung der NLC Auftretensrate	3
2.1.3 11-Jahres-Signatur	4
2.1.4 27-Tages-Signatur	6
2.1.5 Interhemispheric Coupling	7
2.1.6 Solare Protonenereignisse	8
2.1.7 Lunare Gezeiten	8
2.2 NLC Tangentenhöhe	10
2.2.1 Interhemisphärische Unterschiede in der NLC Tangentenhöhe . .	10
2.2.2 Zeitliche Verteilung der NLC Tangentenhöhe	10
2.2.3 11-Jahres-Signatur	12
2.2.4 27-Tages-Signatur	12

Abbildungsverzeichnis

2.1	Geographische Verteilung der NLC Auftretensrate	2
2.2	Breitenaufgelöste Zeitserie der NLC Auftretensrate	3
2.3	Saisonale Variation der NLC Auftretensrate	4
2.4	Zeitliche Variabilität des Mg-II-Index	5
2.5	11-Jahres-Signatur in der NLC Auftretensrate	5
2.6	27-Tages-Signatur in der NLC Anomalie	7
2.7	Breitenaufgelöste 27-Tages-Signatur in der NLC Anomalie	7
2.8	Zusammenhang zwischen Nordpolstratosphärentemperaturen und NLC Auftretensrate	8
2.9	Zusammenhang zwischen NLC Auftretensrate und ausgewählten Solaren Protonenereignissen	9
2.10	Zusammenhang zwischen NLC Anomalie und lunarer Zeit	10
2.11	Geographische Verteilung der NLC Tangentenhöhe	11
2.12	Breitenaufgelöste saisonale Verteilung der NLC Tangentenhöhe	11
2.13	11-Jahres-Signatur in der NLC Tangentenhöhe	12
2.14	27-Tages-Signatur in der NLC Tangentenhöhe	13
2.15	Breitenaufgelöste 27-Tages-Signatur in der NLC Tangentenhöhe	14

Abkürzungsverzeichnis

AR Auftretensrate

LZ Lunare Zeit

NH Nordhemisphäre

NLC leuchtende Nachtwolke

SH Südhemisphäre

SPE Solares Protonenereignis

TH Tangentenhöhe

1 Vorwort

Diese Dokumentation bezieht sich auf das Forschungsprojekt, welches ich im Hinblick auf meine Bachelorarbeit in der Arbeitsgruppe Umweltphysik an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, durchgeführt habe.

Die Ergebnisse sollen im Folgenden nicht interpretiert oder diskutiert werden.

Ich habe mich während meines Forschungsprojektes mit der Untersuchung der globalen Morphologie leuchtender Nachtwolken (NLC, aus dem Englischen: noctilucent cloud) mittels SCIAMACHY Satellitenmessungen beschäftigt. Hierbei wurde neben der Abhängigkeit der NLC Auftretensrate von geographischer Breite und der Zeit auch die Abhängigkeit von der solaren Aktivität und der lunaren Zeit untersucht. Des Weiteren wurde die Variabilität der NLC Tangentenhöhe betrachtet.

2 Ergebnisse

2.1 NLC Auftretensrate

2.1.1 Geographische Verteilung der NLC Auftretensrate

In Abb. 2.1 ist die geographische Verteilung der NLC Auftretensrate (AR) dargestellt. Es ist erkennbar, dass NLCs nur in hohen Breiten auftreten. In der Nordhemisphäre (NH) ist die AR nördlich von 60° praktisch überall größer als 5%, wohingegen in der Südhemisphäre (SH) erst zwischen -65° und -70° ein vergleichbarer Wert erreicht wird. In der geographischen Länge ist keine klare Variation der AR erkennbar. Die Lücke in der SH zwischen 60° West und 120° West wurde vor der Auswertung herausgefiltert, da diese Messungen von der Südatlantischen Anomalie kontaminiert sind.

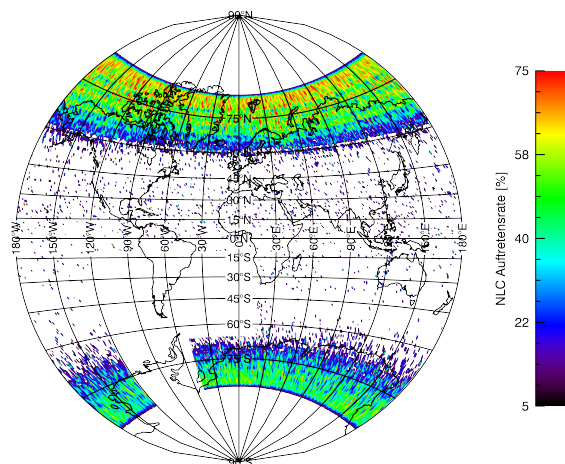


Abbildung 2.1: Die geographische Verteilung der NLC Auftretensrate ist farbcodiert dargestellt. Es wurde für die jeweilige Hemisphäre nur die jeweilige NLC-Saison berücksichtigt. Auftretensraten kleiner als 5% werden in dieser Abbildung als nicht vorhanden betrachtet.

2.1.2 Zeitliche Verteilung der NLC Auftretensrate

Abb. 2.2 zeigt die zeitliche Verteilung der NLC AR. Es ist erkennbar, dass NLCs nur in den Sommermonaten der jeweiligen Hemisphäre auftreten. Des Weiteren variiert die AR von Jahr zu Jahr. In Abb. 2.3 sind die NLC AR für verschiedene Breiten in

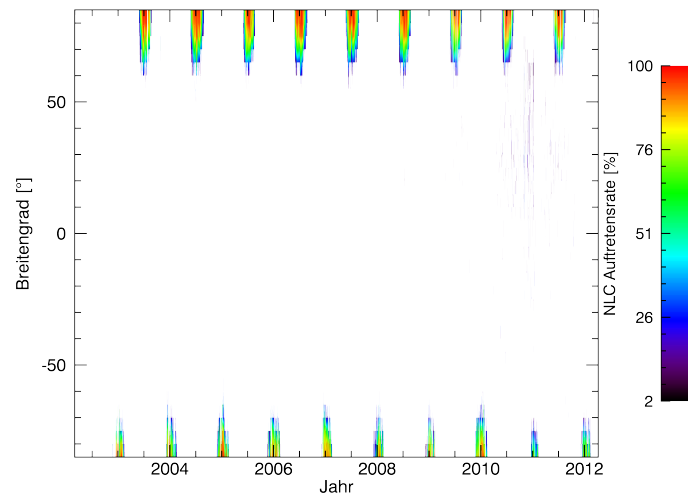


Abbildung 2.2: Die geographische Breite aufgetragen über der Zeit. Die Jahresmarker beziehen sich auf den Jahresbeginn. Farbcodiert ist die NLC Auftretensrate dargestellt. Die SCIAMACHY-Messungen reichen ca. von -83° bis 83° . Werte kleiner als 2% werden hier nicht berücksichtigt, da die mittleren Breiten nach 2010 relativ verrauscht sind.

Abhängigkeit vom Tag relativ zur Sommersonnenwende dargestellt. Diese tritt in der NH um den 21.06. und in der SH um den 21.12. eines jeden Jahres auf.

In beiden Hemisphären liegt das Maximum der AR über die Breiten gemittelt um Tag 20 nach der Sonnenwende.

In der NH beginnt die NLC-Saison ca. 28 Tage vor der Sonnenwende und endet ca. 72 Tage nach dieser. Die AR nimmt kurz nach der Sonnenwende zwischen 80° und 85° nahezu 100% an und bleibt bis Tag 40 auf diesem Niveau. Zwischen 75° und 80° ist das Maximum nahezu genauso stark ausgeprägt. Je niedriger die geographische Breite, desto geringer ist der Wert des Maximums der AR. Außerdem scheint das Maximum in niederen Breiten weniger stark ausgeprägt zu sein. Der maximale Wert der AR setzt für jeden Breitenbereich ca. zur Sonnenwende ein. In den niederen Breiten nimmt die AR allerdings früher wieder ab.

In der SH setzt die NLC-Saison ca. 32 Tage vor der Sonnenwende ein und endet ca. 64 Tage nach dieser. In der SH erreicht das Maximum zwischen -80° und -85° einen Wert zwischen 80% und 90%. Dieses setzt kurz nach der Sonnenwende ein und hält

für ca. 20 Tage an. Zwischen 55° und 60° ist die AR nur an wenigen Tagen der Saison größer als 0%. Der Betrag der Steigung der AR ist in der SH vor dem Maximum kleiner als nach dem Maximum.

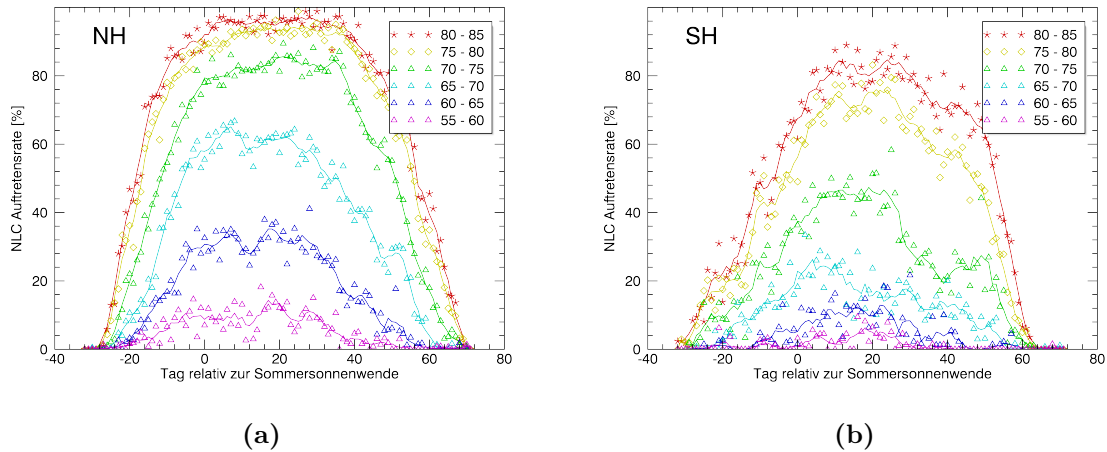


Abbildung 2.3: NLC Auftretensraten aufgetragen über dem Tag relativ zur Sommersonnenwende. Die unterschiedlichen Farben stellen unterschiedliche Breitenbereiche dar. Die durchgezogenen Linien stellen eine Glättung mit einem 5-Tages-Fenster der jeweiligen Einzelwerte dar. Der dem Pol nächste Breitenbereich endet auf Grund der Messungen schon bei ca. -83° bzw. 83° .

2.1.3 11-Jahres-Signatur

Die NLC AR werden hinsichtlich einer 11-Jahres-Signatur der solaren Aktivität untersucht. Hierfür wird der Mg-II-Index als Proxy für die solare Aktivität herangezogen. Abb. 2.4 zeigt den Mg-II-Index aufgetragen über den Jahren. Es ist erkennbar, dass die solare Aktivität zu Beginn der betrachteten Zeitserie aus dem Maximum kommt und dann zwischen 2007 und 2010 ein Minimum aufweist. Diese Schwankung tritt in einem Zeitraum von durchschnittlich 11 Jahren auf. Daher wird sie 11-Jahres-Sonnenzyklus (auch: Schwabe-Zyklus nach Samuel Heinrich Schwabe) genannt. Die kleinskaligen Schwankungen stellen den 27-Tages-Zyklus der solaren Aktivität dar, wobei die roten Kreuze die lokalen Maxima dieses 27-Tages-Zyklus darstellen. Es werden hier nur die Maxima berücksichtigt, bei denen eine ungefähre 27-Tages-Signatur (24-30 Tage) erkennbar ist. Außerdem muss die Amplitude mindestens $5 \cdot 10^{-4}$ betragen. Abb. 2.5 zeigt die für die jeweilige Saison gemittelten NLC AR und den dazugehörigen ebenfalls saisonal gemittelten Wert des Mg-II-Indexes.

In der NH ist - wie schon in Abb. 2.4 - eine 11-Jahres-Signatur im Mg-II-Index zu erkennen. Die NLC AR schwankt zwischen ca. 51% 2004 und 2008 und ca. 40% im Jahre

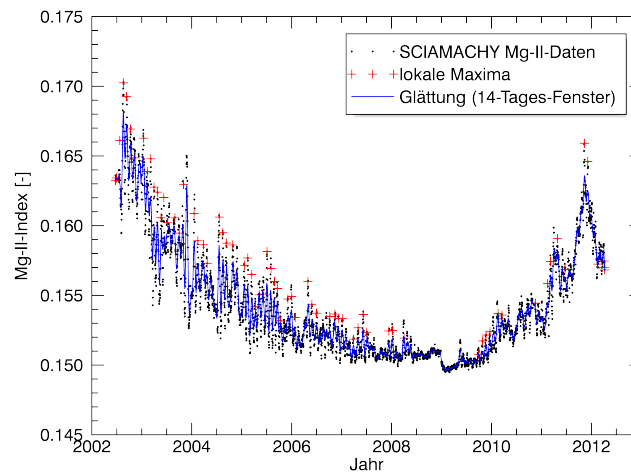


Abbildung 2.4: Der Mg-II-Index als Proxy für die solare Aktivität aufgetragen über der Zeit. Die Marker der Jahreszahlen stehen für den Jahresbeginn. Die schwarzen Punkte stellen die täglichen Messwerte dar. Die blaue Linie ist eine Glättung mit einem 14-Tages-Fenster.

2010. In der SH ist die 11-Jahres-Signatur im Mg-II-Index ebenfalls klar erkennbar. Die NLC AR schwankt hier zwischen ca. 45% im Jahre 2010 und knapp 15% im Jahre 2011.

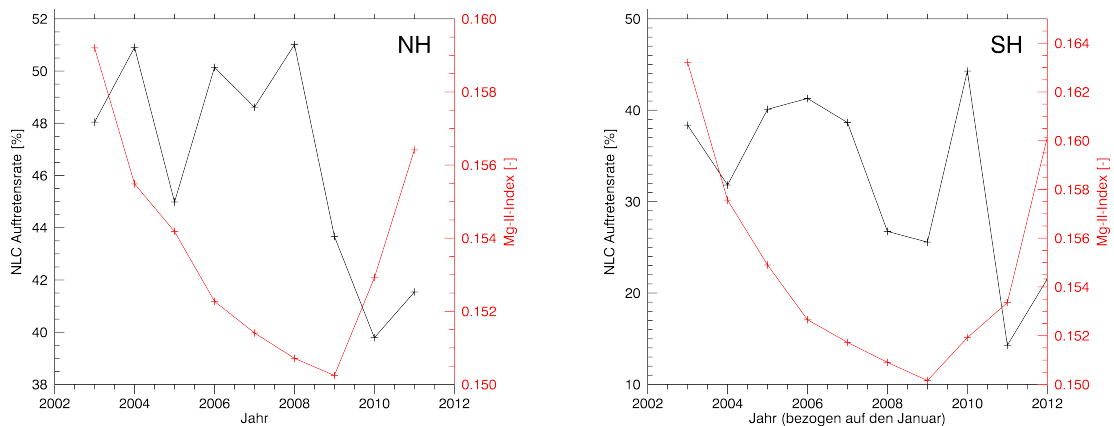


Abbildung 2.5: Gemittelte NLC AR und gemittelter Mg-II-Index aufgetragen über den Jahren. Die Markierungen der Jahreszahlen beziehen sich in der NH auf den Nordsummer und in der SH auf den Januar (Südsommer).

2.1.4 27-Tages-Signatur

In Abb. 2.6 ist der Zusammenhang zwischen NLC Anomalie und Mg-II-Index dargestellt. Für die NLC Anomalie wird von den NLC AR eine 35-Tages-Glättung subtrahiert. Die daraus resultierenden Daten werden dann wiederum mit einem 5-Tages-Fenster geglättet, damit Ausreißer in der Analyse nur wenig ins Gewicht fallen.

Um den Zusammenhang zwischen dem 27-Tages-Sonnenzyklus und der NLC AR zu ermitteln, wird eine sogenannte Superposed Epoch Analyse verwendet. Hierfür werden die in Abb. 2.4 ermittelten Daten der lokalen Maxima jeweils am Tagesbin 0 eingeordnet. Daraufhin wird die Mg-II-Index Anomalie für diese Daten gemittelt. Die entsprechenden Werte der NLC AR werden ebenfalls am Tagesbin 0 eingeordnet und gemittelt. Dies wird für jeden Tag bis Tag 26 nach dem lokalen solaren Maximum gemacht. In Abb. 2.6 ist das Ergebnis dargestellt. In der NH weist die solare Aktivität an Tag 0 ein Maximum auf. An Tag 13 hat die solare Aktivität ein Minimum und geht dann wieder in ein Maximum an Tag 26. Die Amplitude des Mg-II-Index beträgt ca. $1,6 \cdot 10^{-3}$. Die NLC Anomalie verhält sich gegenteilig. Sie beginnt im Minimum, hat an Tag 13 ein Maximum und geht dann erneut ins Minimum. Die Amplitude der NLC Anomalie beträgt ca. 5,5%.

In der SH ist für die solare Aktivität ein ähnlicher Zusammenhang erkennbar. Das Maximum liegt hier um den Tag 13 und die Amplitude beträgt ca. $1,5 \cdot 10^{-3}$. Die beobachtete NLC Anomalie in der SH hat ein Minimum an Tag 1, ein Maximum an Tag 15 und erneut ein Minimum an Tag 22. Die Amplitude der NLC Anomalie beträgt in der SH ca. 4,5%. Außerdem ist der Fehler des Mittelwertes in der SH für die NLC Anomalie größer als in der NH ($\bar{\sigma}_{mNLC SH} \approx 1,3 \cdot \bar{\sigma}_{mNLC NH}$). Der Fehler der Anomalie des Mg-II-Index ist in NH größer als in der SH ($\bar{\sigma}_{mMg NH} \approx 1,7 \cdot \bar{\sigma}_{mMg SH}$). Abb. 2.7 zeigt die 27-Tages-Signatur in der NLC AR breitenauflöst. In der NH ist für alle Breitenbereiche ein klares Maximum zwischen Tag 10 und Tag 16 relativ zum lokalen solaren Maximum zu erkennen. Zwischen 65° und 75° ist die Amplitude am größten. Das Maximum scheint ab ca. 65° mit höheren Breiten früher aufzutreten.

In der SH ist nördlich von -65° kaum eine Variation zu erkennen. Polwärts von -80° ist eine Variation mit einem Maximum um den Tag 15 relativ zum lokalen solaren Maximum am deutlichsten sichtbar. Ab Tag 22 steigt die NLC-Anomalie nördlich von -80° mit Ausnahme von $(70 \pm 2)^\circ$ wieder leicht an.

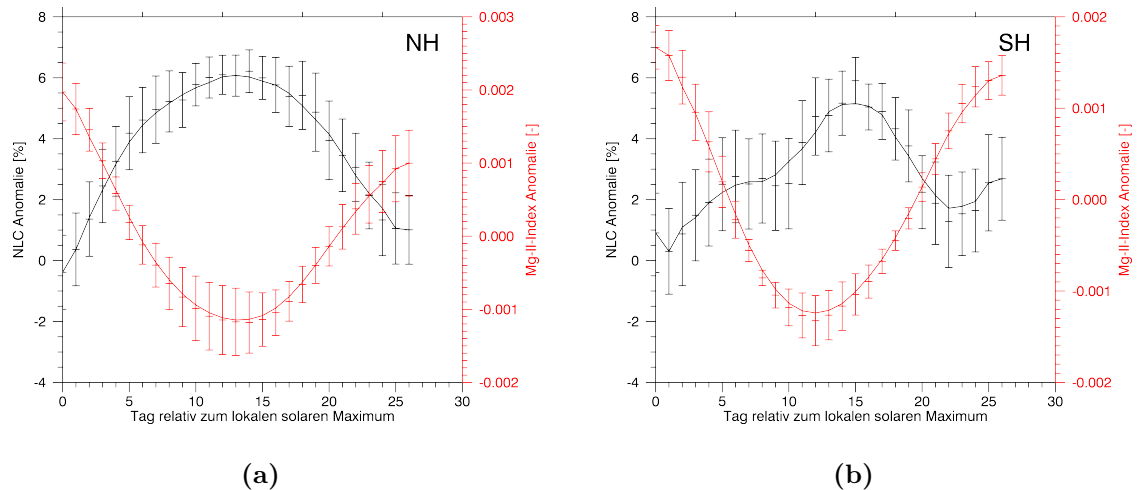


Abbildung 2.6: Mittels Superposed Epoch Analyse ermittelter Zusammenhang zwischen NLC Anomalie und Mg-II-Index Anomalie. An Tag 0 befindet sich das lokale solare Maximum. Der Breitenbereich entspricht in der NH 55° - 83° und in der SH -55° - -83° . Die durchgezogenen Linien entsprechen den Glättungen der Einzelwerte (5-Tages-Fenster). Die Fehlerbalken stellen den Fehler des Mittelwertes dar.

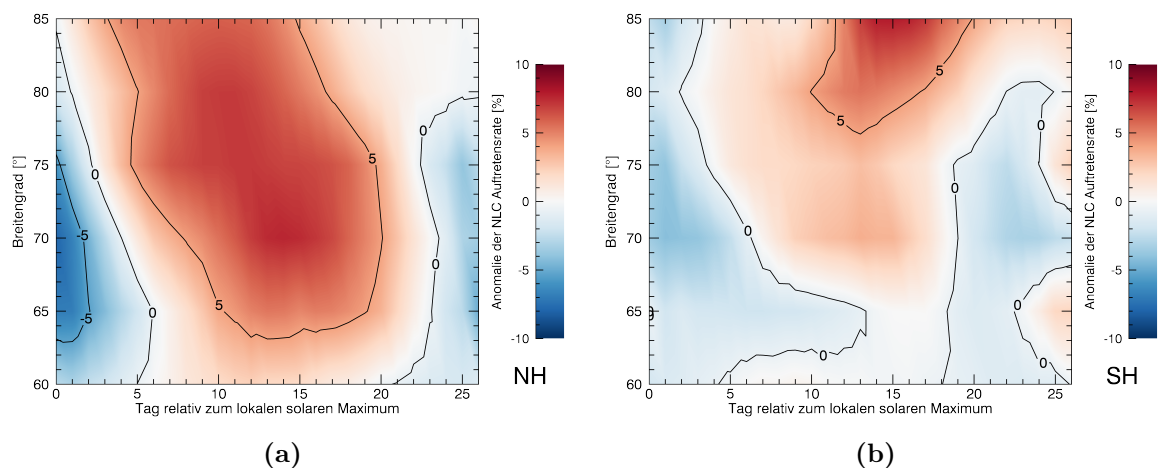


Abbildung 2.7: Breitenaufgelöster Zusammenhang zwischen NLC Anomalie und solarer Aktivität. An Tag 0 befindet sich das lokale solare Maximum. In jedem Breitenbereich wurde mit einem 5-Tages-Fenster geglättet. Rote Farbtöne entsprechen positiven, blaue Farbtöne negativen Anomalien der NLC AR.

2.1.5 Interhemispheric Coupling

Um den Einfluss des Interhemispheric Couplings (deutsch etwa: Interhemisphärische Kopplung) zu untersuchen, ist in Abb. 2.8 die NLC AR in der SH jeweils für den Zeitraum vom 15.01. bis zum 15.02. in Verbindung mit der Nordpolstratosphärentemperatur dargestellt. Bis auf die letzten beiden Jahre ist eine klare Antikorrelation zwischen NLC AR und Stratosphärentemperatur zu erkennen (2009 weniger klar). Die

Stratosphärentemperatur - und somit auch die betrachtete NLC AR - unterliegt einer Schwingung mit einer Periodendauer von 2 Jahren. Lediglich das Jahr 2009 fällt hierbei heraus.

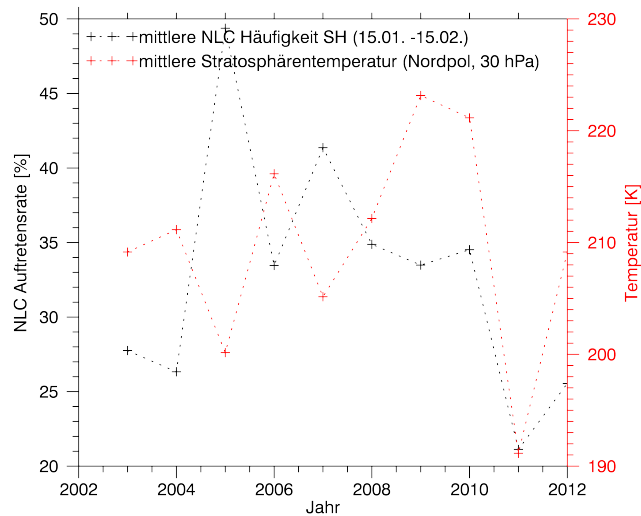


Abbildung 2.8: Die NLC AR der SH zwischen -83° und -80° und die mittlere Stratosphärentemperatur am Nordpol bei 30 hPa (etwa 23 km geometrischer Höhe) aufgetragen über dem Jahr. Der Breitenbereich der NLC AR ist -85° - -80° . Die Temperaturdaten stammen von der FU Berlin.[1]

2.1.6 Solare Protonenereignisse

In der Zeit, in welcher SCIAMACHY operierte, fanden zwei herausragende Solare Protonenereignisse (kurz: SPE) während NLC-Saisons statt (Protonenfluss $pfu > 5$ GeV). Die Einflüsse dieser Ereignisse auf die NLC AR sind in Abb. 2.9 dargestellt. Im Januar 2005 sinkt die NLC AR in der SH 2 Tage nach dem Maximum des SPE deutlich auf weniger als 30%. Die mittlere NLC AR im gleichen Zeitraum sinkt erst 5 Tage später. 9 Tage nach dem SPE (26.01.2005) sind die Werte wieder ungefähr gleich. Im Januar 2012 befindet sich um den Tag 23 ein sehr intensives Minimum der NLC AR. Die NLC AR beginnt um den 15.01. herum sehr stark zu sinken, während die mittlere NLC AR eine vom Betrag viel geringere Steigung aufweist. Nach dem SPE steigt die NLC AR wieder.

2.1.7 Lunare Gezeiten

In Abb. 2.10 ist der Zusammenhang zwischen der lunaren Zeit (kurz: LZ) und NLC AR dargestellt.

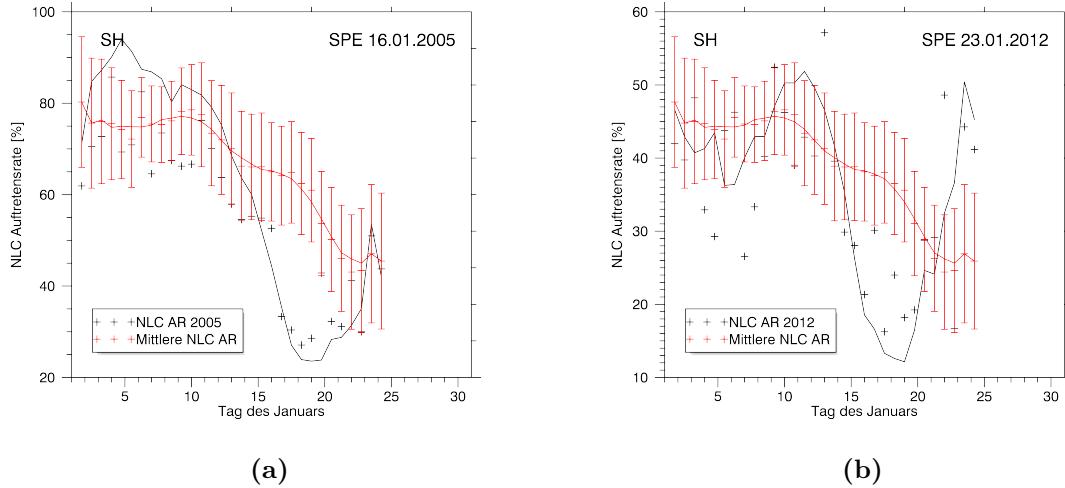


Abbildung 2.9: Reaktion der NLC AR auf die SPE am 16.01.2005 ($pfu_1 \approx 5,04$ GeV) und am 23.01.2012 ($pfu_2 \approx 6,31$ GeV). Die rote Linie entspricht jeweils der über die restlichen Jahre gemittelten NLC AR der SH im gleichen Zeitraum, ohne 2005 und 2012. Die Tage entsprechen den Tagen des Januars des jeweiligen Jahres. Die Fehlerbalken entsprechen den Fehlern des Mittelwertes. Die Daten der SPE beziehen sich auf den Beginn der Ereignisse. Das Maximum des Protonenflusses zeigt sich jeweils einen Tag später. Der Breitenbereich der SH liegt zwischen -83° und -55° . Daten der SPE stammen von der NASA[2].

In beiden Hemisphären ist eine halbtägige Variation erkennbar. In der NH ist ein Maximum in der Glättung der Anomalie der NLC AR zum Zeitpunkt 02:00 LZ und ein Minimum zum Zeitpunkt 07:00 LZ erkennbar. Die Amplitude der Variation liegt bei ca. 0,7%.

In der SH ist ebenfalls eine Amplitude von ca. 0,7% zu beobachten. Das Maximum liegt hier allerdings zum Zeitpunkt 07:00 LZ und das Minimum zum Zeitpunkt 01:00 LZ.

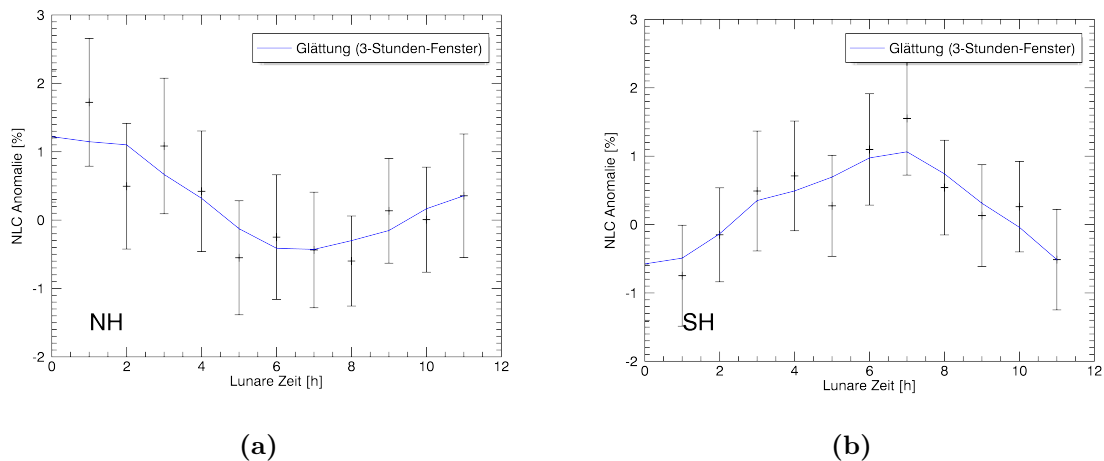


Abbildung 2.10: Anomalie der NLC AR aufgetragen über der lunaren Zeit. Der jeweilige Breitenbereich ist $60^\circ - 70^\circ$ für die NH und $-70^\circ - -60^\circ$ für die SH. Es wurden nur Messungen im descending mode berücksichtigt. Für die solare Zeit wurde in der NH 11:00 UT und in der SH 09:00 UT angenommen. Die Fehlerbalken entsprechen dem jeweiligen Fehler des Mittelwertes.

2.2 NLC Tangentenhöhe

2.2.1 Interhemisphärische Unterschiede in der NLC Tangentenhöhe

Abb. 2.11 zeigt die geographische Verteilung der NLC Tangentenhöhe (kurz: NLC TH). Es ist erkennbar, dass NLCs in sehr großen Höhen zwischen 81 km und 85 km auftreten. Des Weiteren fällt auf, dass NLCs in der NH in deutlich geringeren Höhen auftreten als jene in der SH. Im Mittel ist die TH in der NH $\bar{h}_{NH} \approx 83,1$ km und in der SH $\bar{h}_{SH} \approx 84,2$ km. Eine breiten- oder längenabhängige Variation der NLC TH ist nicht zu erkennen.

2.2.2 Zeitliche Verteilung der NLC Tangentenhöhe

Die zeitliche Verteilung der NLC TH ist in Abb. 2.12 dargestellt. Es wurde hierbei nur die NLC Saison der jeweiligen Hemisphäre abgebildet.

In beiden Hemisphären ist zwischen Tag 30 und 40 relativ zur Sonnenwende ein Minimum in der TH zu erkennen. Dieses liegt in der NH bei ca. 81,5 km und in der SH bei ca. 83 km. Jeweils zum Beginn und zum Ende der Saison haben die TH in beiden Hemisphären ein Maximum, wobei dieses in der NH stärker ausgeprägt zu sein scheint. Die TH erreicht in der NH maximal knapp 84 km und in der SH ca. 84,5 km.

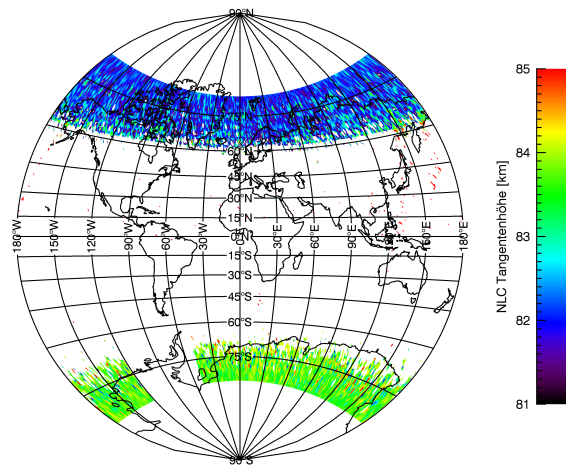


Abbildung 2.11: Die geographische Verteilung der NLC TH ist farbcodiert dargestellt. Es wurde für die jeweilige Hemisphäre nur die jeweilige NLC-Saison berücksichtigt.

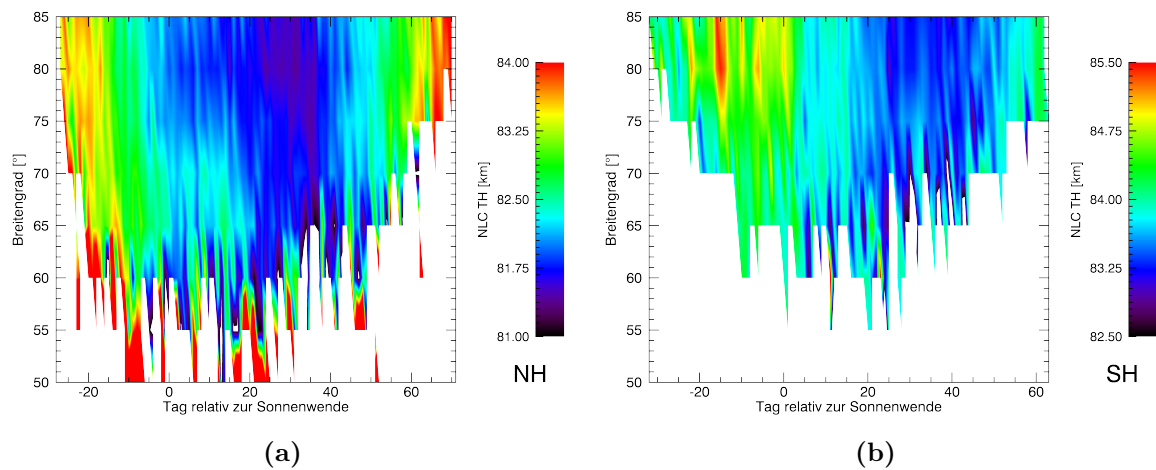


Abbildung 2.12: NLC TH farbcodiert, in Abhängigkeit von der geographischen Breite und des Tages relativ zur Sonnenwende. Die hohen TH in der NH in niederen Breiten sind auf Fehldetektionen zurückzuführen.

2.2.3 11-Jahres-Signatur

Zur Untersuchung einer möglichen 11-Jahres-Signatur in der NLC TH ist in Abb. 2.13 der Zusammenhang zwischen saisonal gemittelten NLC TH und den entsprechenden gemittelten Mg-II-Indices dargestellt.

In der NH ist in der Saison 2003 sowohl die solare Aktivität, als auch die NLC TH im Maximum. Die NLC TH erreicht in der Saison 2007 ein Minimum und steigt danach monoton. Der Mg-II-Index erreicht das Minimum erst im Jahre 2009.

Der Mg-II-Index verhält sich in der SH wie in der NH. In der NLC TH ist in der SH ein Maximum im Jahre 2008 und ein Minimum im Jahre 2010 zu erkennen. Bis 2009 ist eine Oszillation mit einer Periodendauer von 2 Jahren zu erkennen.

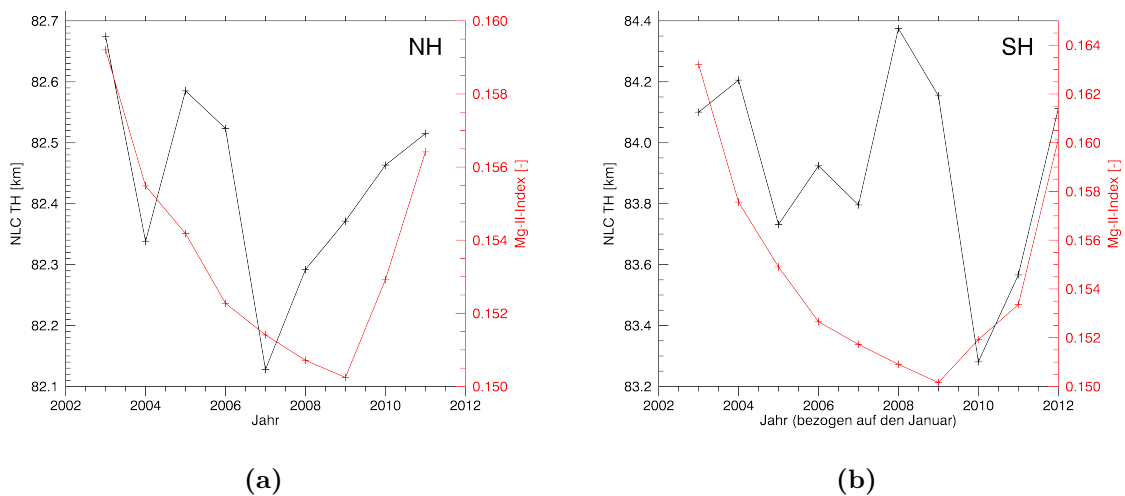


Abbildung 2.13: Die saisonalen Mittelwerte der NLC TH und die saisonalen Mittelwerte des Mg-II-Indexes aufgetragen über den jeweiligen Jahren.

2.2.4 27-Tages-Signatur

Abb. 2.14 zeigt den mittels Superposed Epoch Analyse ermittelten Zusammenhang zwischen NLC TH und solarer Aktivität. Die Anomalie der NLC TH in der NH hat, ebenso wie die Mg-II-Index Anomalie, ein Minimum an Tag 13 und Maxima an Tag 0 und 26 relativ zum lokalen solaren Maximum. Die Amplitude der NLC TH beträgt 120 m.

Die Anomalie der NLC TH Anomalie hat in der SH 2 Tage nach dem lokalen solaren Maximum ein Maximum. Danach schwankt es ohne klar erkennbare Regelmäßigkeit. Die Fehler sind in beiden Hemisphären vergleichbar. In Abb. 2.15 ist der Zusammenhang

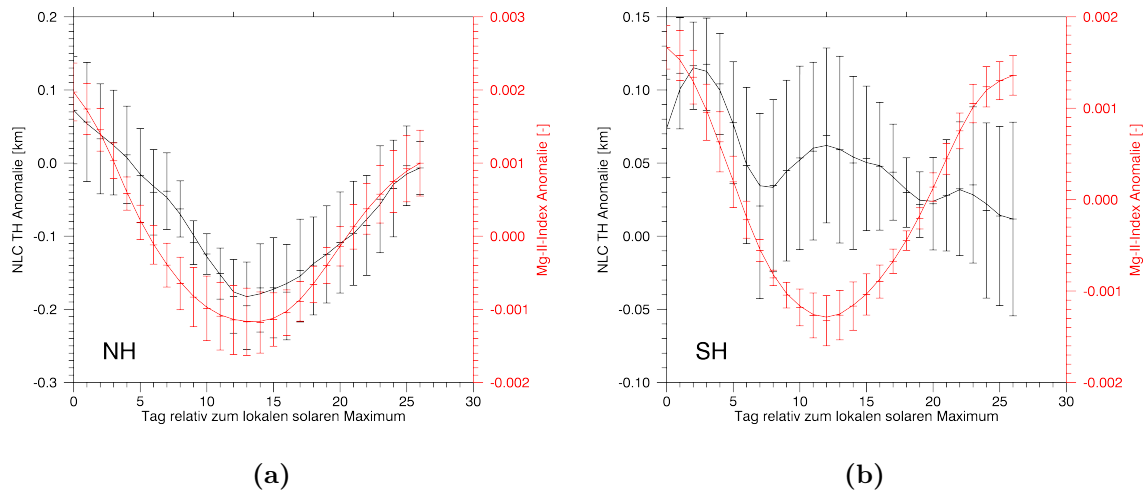


Abbildung 2.14: Anomalien der NLC TH dargestellt in Abhängigkeit von der solaren Aktivität. Es wurde nur die NLC TH in der jeweiligen Saison von 55° - 83° in der NH bzw. -83° - -55° in der SH einbezogen. Die Fehlerbalken entsprechen den jeweiligen Fehlern des Mittelwertes. Das lokale solare Maximum wurde mittels Superposed Epoch Analyse ermittelt und befindet sich an Tag 0.

zwischen solarer Aktivität und NLC TH breiten aufgelöst dargestellt.

In der NH ist bis ca. 70° ein Minimum in der Anomalie der NLC TH zwischen Tag 12 und Tag 15 relativ zum lokalen solaren Maximum zu erkennen. Die Amplitude scheint zwischen 75° und 85° ungefähr konstant zu sein. In mittleren Breiten wird die Amplitude kleiner. Südlich von 65° ist eine regelmäßige Variation nicht mehr erkennbar. Die Anomalie der NLC TH hat in der SH, ausgenommen $\sim -65^{\circ}$, ein Maximum zwischen Tag 0 und Tag 5 relativ zum lokalen solaren Maximum. Im verbleibenden Zeitraum ist keine klare Variation zu beobachten. Im Breitenbereich um -60° ist eine Struktur mit einer Periode von 27 Tagen erkennbar. Das Minimum liegt hier um den Tag 14 und die beiden Maxima bei Tag 1 bzw. Tag 25 relativ zum lokalen solaren Maximum. Die Amplitude dieser Variation beträgt ca. 0,3 km.

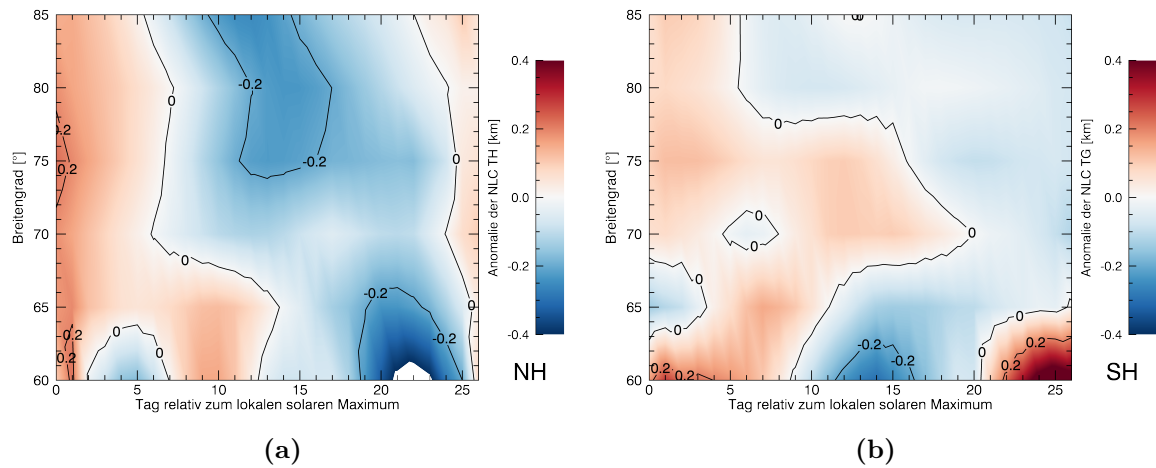


Abbildung 2.15: Breitenaufgelöster Zusammenhang zwischen NLC TH Anomalie und solarer Aktivität. An Tag 0 befindet sich das lokale solare Maximum. In jedem Breitenbereich wurde mit einem 5-Tages-Fenster geglättet. Rote Farbtöne entsprechen positiven, blaue Farbtöne negativen Anomalien der NLC TH.

Literatur

- [1] 2015. URL: <http://www.geo.fu-berlin.de/met/ag/strat/produkte/northpole/index.html> (besucht am 03.07.2015).
- [2] 2015. URL: umbra.nascom.nasa.gov/SEP/ (besucht am 03.07.2015).