

Einfluss der NAO auf das Klima Europas anhand von Verteilungsfunktionen atmosphärischer Parameter

von
Sabine Kleppek

Kiel 2002



MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT DER
CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE
- MARITIME METEOROLOGIE -

„Häufig wird die Meteorologie mit der Wettervorhersage verwechselt ...“

Günther Flemming

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Daten	3
2.1	NCEP/NCAR Reanalysedaten	3
2.1.1	Bodendruck	3
2.1.2	Lufttemperatur	3
2.1.3	Spezifische Feuchte	4
2.1.4	Niederschlag	4
2.2	Modell ECHAM4/OPYC3	4
2.3	Nordatlantische Oszillation	4
3	Statistische Methoden	7
3.1	Kernel Density Method	7
3.2	Statistische Momente	10
3.3	Korrelation	12
3.4	Signifikanztests	12
3.4.1	U-Test	12
3.4.2	White-Noise-Test	13
3.5	EOF-Analyse	14
4	Gebiete	15
4.1	Auswahl der Gebiete	15
4.2	Ergebnis der Gebietsauswahl	18
5	Einblick in bekannte Klimaänderungen Europas	21
6	Ergebnisse	24
6.1	Gebiet um Island	24
6.2	Gebiet um die Azoren	27
6.3	Skandinavien	29
6.3.1	Häufigkeitsverteilungen	29
6.3.2	Schwankungsbreite der Verteilungen	32
6.3.3	Extremereignisse	36
6.3.4	Räumliche Momente	40
6.4	Ostsee	44
6.4.1	Häufigkeitsverteilungen	44
6.4.2	Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3	47
6.4.3	Verteilungen bei lag1-Verschiebung der NAO	49

6.5	Mitteleuropa	51
6.5.1	Häufigkeitsverteilungen	51
6.5.2	Schwankungsbreite der Verteilungen	53
6.5.3	Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3	55
6.5.4	Extremereignisse	58
6.6	Osteuropa	61
6.6.1	Häufigkeitsverteilungen	61
6.6.2	Extremereignisse	64
6.6.3	Verteilungen bei lag1-Verschiebung der NAO	67
6.7	Spanien/Portugal	68
6.7.1	Häufigkeitsverteilungen	68
6.7.2	Schwankungsbreite	70
6.7.3	Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3	72
6.7.4	Extremereignisse	73
6.8	Mittelmeergebiet	77
6.8.1	Häufigkeitsverteilungen	77
6.8.2	Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3	79
7	Zusammenfassung der Gebiete	81
7.1	Bodendruck	81
7.2	Bodennahe Lufttemperatur	85
7.3	Spezifische Feuchte	90
7.4	Niederschlag	93
8	Schlussbetrachtung	99
	Abkürzungen	101
	Tabellenverzeichnis	102
	Abbildungsverzeichnis	106
	Literaturverzeichnis	107

Zusammenfassung

Die Nordatlantische Oszillation (NAO) ist ein entscheidender Auslöser atmosphärischer Klimavariabilität im Bereich des Nordatlantiks und beeinflusst benachbarte Kontinente wie den Nordosten Amerikas und Europa.

In dieser Arbeit wird die Abhängigkeit der atmosphärischen Parameter von der NAO über Europa anhand von Verteilungsfunktionen untersucht. Dazu dienen die monatlichen Mittel der Parameter Bodendruck, bodennahe Lufttemperatur, spezifische Feuchte und Niederschlag aus der NCEP/NCAR Reanalysedatenbank und zum Vergleich aus dem Hamburger Klimamodell ECHAM4/OPYC3 auf Monatsbasis.

Für die Verteilungsberechnung werden von jedem Parameter die Werte der Monate hoher NAO bzw. niedriger NAO in der Zeit von 1948-2000 extrahiert. Beide Verteilungen werden zusammen aufgetragen, um den unterschiedlichen Einfluss der NAO hervorzuheben.

Dabei wird Europa nicht als einheitliches Gebiet betrachtet, sondern nach eingehender Untersuchung mittels einer EOF-Analyse in acht Areale (Skandinavien, Ostsee, Mitteleuropa, Osteuropa, Spanien/Portugal, Mittelmeergebiet, Gebiet um Island bzw. Azoren) unterteilt.

Beim Bodendruck ergeben sich vor allem in Skandinavien und Spanien/Portugal bzw. dem Mittelmeergebiet signifikante Unterschiede in den Verteilungen, da während der Phasen hoher NAO der Norden durch die starke Westwindzirkulation verstärkt unter Tiefdruckeinfluss gerät bzw. der Süden Europas von subtropischen Hochdruckgebieten profitiert.

Zu Zeiten hoher NAO kommt es zu einer verstärkten Zufuhr warmer atlantischer Luftmassen in den Norden und die Mitte Europas. Das zeigt sich in den Temperaturverteilungen in höheren Modi und einer Verstärkung der negativen Schiefe.

Bei hoher NAO verlagert sich zudem die Achse maximalen Feuchtetransports von westlicher auf von SW nach NO verlaufende Richtung. Dadurch nimmt die spezifische Feuchte in Nord- und Mitteleuropa zu.

Dagegen verlagert sich das Band hoher Niederschläge während der Phasen hoher NAO von westliche auf nordwestliche Richtung. Damit verbunden treten in Skandinavien höhere Maximalwerte des Niederschlags auf. Dies führt zu höheren Standardabweichungen und höheren Werten des Modus. Im SW Europas herrscht der umgekehrte Fall, da hier nun wesentlich geringere Regenraten gemessen werden.

Eine Untersuchung der Extremwerte ergibt ebenfalls eine Beeinflussung durch die NAO.

1 Einleitung

Um das Klima in Europa beschreiben zu können, sind atmosphärische Parameter wie Luftdruck, Temperatur, Feuchte und Niederschlag von entscheidender Bedeutung.

Der Luftdruck (SLP = sea level pressure) charakterisiert unter anderem die Zyklonen und Antizyklonen bzw. Keile und Tröge, welche in der Troposphäre integrierende Bestandteile der globalen Zirkulation der Atmosphäre sind. Diese synoptischen Zirkulationsformen sind als 'Turbulenzkörper' im Sinne einer Großraumturbulenz aufzufassen, die für den notwendigen energetischen Ausgleich zwischen den niedrigen und hohen Breiten sorgen, d.h. den polwärts gerichteten Transport von Impuls, fühlbarer und latenter Wärme quer zur zonalen Grundströmung gewährleisten (Pichler, 1997).

Die Temperatur (TEMP = Temperatur) der Luft in Bodennähe wird durch die Strahlungsverhältnisse bzw. -eigenschaften an der Erdoberfläche, das Wärmeleitvermögen der obersten Erdbodenschichten, die Windverhältnisse und die Advektion und nicht zuletzt durch die Bewölkungsverhältnisse beeinflusst. Somit spielen viele lokale Einflüsse eine Rolle, die die Temperatur räumlich sehr inhomogen erscheinen lassen können (Liljequist, 1974).

Der Kreislauf des Wassers in der Atmosphäre wird von Verdunstung und Niederschlag (PRATE = precipitation rate) bestimmt. Durch die Verdunstung werden Energiehaushalt und Wasserhaushalt miteinander verknüpft. Die Verdunstungsrate hängt von einer Reihe von Einflussgrößen wie z.B. Energiebilanz, Verfügbarkeit von Wasser, Intensität des bodennahen Austausches und Art der Oberfläche ab. So nimmt die Verdunstung von den Polargebieten zu den Subtropen stark zu, erreicht ihr Maximum im Bereich der Passate und nimmt zum Äquator hin wieder etwas ab. Die absolut höchsten Werte treten dabei über den Ozeanen in den sommerlichen Subtropen auf. Die Verdunstungsrate des Festlands spiegeln dagegen mit verminderter Amplitude die Niederschlagsraten wider. Die Niederschlagsintensität wird dabei durch den Gehalt an niederschlagsfähigem Wasserdampf in der Luft und durch die Auf- und Abwindssysteme bestimmt (Roedel, 1994; Flemming, 1991).

Die Nordatlantische Oszillation (NAO) ist ein Maß für den Druckunterschied zwischen Azorenhoch und Islandtief und ist im Winter am stärksten ausgeprägt. Sie beschreibt die atmosphärische Variabilität im Bereich des Nordatlantiks, die ebenfalls das Klima benachbarter Kontinente, wie den Nordosten Amerikas und Europa beeinflusst (Greatbatch, 1999; Timmermann et al., 1998). Änderungen in der In-

tensität der Westwinde zwischen 40°N und 60°N , die durch den Druckunterschied zwischen dem Islandtief und Azorenhoch hervorgerufen werden, lassen sich z.B. in Signalen von Eisbohrkernen aus Grönland nachweisen (Lutterbacher et al., 1999; Appenzeller et al., 1998), da auch die Ausdehnung des Arktischen Meereises mit der Nordatlantischen Oszillation verknüpft ist (Fang und Wallace, 1993; Hilmer und Jung, 2000).

So schätzte Hurrell bereits 1995, dass die NAO ungefähr 31 Prozent der Temperaturvariationen nördlich von 20°N erklärt. Danach sind in Europa wärmere Winter auf hohe und kältere auf niedrige NAO-Phasen zurückzuführen (Hurrell, 1995).

Mit der NAO ist außerdem eine Verlagerung der Achse des maximalen Wasserdampftransportes verknüpft, die sich zu Zeiten hoher NAO von westliche auf südwestliche Richtungen verlagert (Schröder, 2001).

Des Weiteren beobachtet man zu Zeiten hoher NAO trockenere Winter über Mitteleuropa, Südeuropa und dem Mittelmeer, während von Island bis Skandinavien feuchtere Bedingungen vorherrschen (Gulev, 2000). Dementsprechend lässt sich der Einfluss der NAO unter anderem in Eisbohrkernen aus den Alpen nachweisen.

Daneben hat sich auch die Lage der Zentren der NAO in den letzten 50 Jahren geändert. Ende der siebziger Jahre ist eine Verschiebung nach Osten aufgetreten (Jung et al., 2000). Diese Ostwärtsverschiebung führte dazu, dass positive und negative NAO-Winter von stärkeren meridionalen Windanomalien im Bereich der Framstraße begleitet wurden (Jung, 2000).

In dieser Arbeit wird nun der Versuch unternommen, die Abhängigkeit der atmosphärischen Parameter über Europa von der NAO mit Hilfe von Verteilungsfunktionen (PDFs = probability density functions) zu untersuchen. Dabei lautet die Frage, ob sich die Häufigkeitsverteilungen eines Parameters im Winter an einer Station oder in einem Gebiet mit der NAO ändern. Die Verteilungen bieten den Vorteil, dass gleichzeitig Mittelwert, Varianz und Extremwerte abgeschätzt werden können. Im ersten Schritt dieser Arbeit geht es darum, geeignete Gebiete in Europa zu gewinnen, in denen die einzelnen Parameter räumlich homogen auf die NAO reagieren. Für diese Bereiche Europas werden eindimensionale Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen berechnet. Als Datensätze dienen die Monatsmittel des Luftdrucks, der Temperatur, der spezifischen Feuchte und des Niederschlags. Um den Einfluss der NAO zu untersuchen, werden von diesen Daten die niedrigen bzw. hohen NAO-Monate verwendet und verglichen.

Um den Einfluss auf die Extremwerte der atmosphärischen Parameter zu untersuchen, werden kumulative Verteilungen berechnet. Das 5%- und 95%-Niveau dieser Verteilungen ist dabei jeweils die Grenze für niedrige und hohe Extremwerte.

2 Daten

2.1 NCEP/NCAR Reanalysedaten

Für die Berechnungen dieser Arbeit werden Daten aus dem NCEP/NCAR Reanalyseprojekt verwendet. Inhomogenitäten wurden durch das Verwenden einer einheitlichen Modellphysik, weitgehend vermieden. Der Zeitraum, den die Datenbasis abdeckt, erstreckt sich von 1948 bis 2000.

Die Reanalysedaten lassen sich in vier Kategorien unterteilen, die durch den unterschiedlichen Einfluss von Modell und Beobachtungen charakterisiert werden. Während die Klasse A-Daten aus Beobachtungsdaten, die nur wenig durch das Modell verändert werden, gewonnen werden und somit am zuverlässigsten sind, können die Beobachtungsdaten der Klasse B durch die Analyse größerer Änderungen unterliegen. Die Kategorie C-Daten bestehen aus reinen Modelldaten und können demnach in manchen Gebieten von der Realität abweichen. Der Buchstabe D repräsentiert Felder, die aus klimatologischen Daten gewonnen wurden und keine Modellabhängigkeit haben (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001).

2.1.1 Bodendruck

Die Druck-Daten (SLP = Sea Level Pressure) stehen als Monatsmittel zur Verfügung, welche aus 6-stündigen Analysewerten entstanden sind. Der Bodendruck gehört zur Kategorie A und ist somit sehr zuverlässig. Das Gitter mit insgesamt 144×73 Datenpunkten besitzt eine Auflösung von $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ und deckt den Bereich von 90° Nord bis 90° Süd und 0° Ost bis 357.5° Ost ab.

2.1.2 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur (TEMP = Lufttemperatur) in zwei Meter Höhe liegt als 6-stündige Vorhersage auf dem Gaußgitter mit einer räumlichen Auflösung von ca. $1.9^\circ \times 1.9^\circ$ vor. Aus diesen Daten werden später die Monatsmittel gewonnen. Das Gaußgitter erstreckt sich von 88.5° Nord bis 88.5° Süd und von 0° Ost bis 358.1° Ost. Die Daten stammen aus Beobachtungs- und Modellprognosen und gehören somit zur Kategorie B.

2.1.3 Spezifische Feuchte

Die spezifische Feuchte (SHUM = specific humidity), welche in zwei Meter Höhe gemessen wird, besteht ebenfalls aus Daten, die durch 6 Stunden Vorhersagen entstehen. Die Daten liegen auf dem Gaußgitter mit einer räumlichen Auflösung von ca. $1.9^\circ \times 1.9^\circ$ vor und gehören, wie die Daten der Temperatur, zur Kategorie B.

2.1.4 Niederschlag

Die Niederschlagsrate (PRATE = precipitation rate) wird am Erdboden gemessen und liegt als 6 Stunden gemittelte Vorhersage vor. Aus diesen Werten werden anschließend die Monatsmittel gebildet. Die räumliche Auflösung der Daten ist wie bei der Lufttemperatur und der spezifischen Feuchte ca. $1.9^\circ \times 1.9^\circ$. Die Daten sind allerdings in manchen Gebieten mit größeren Fehlern behaftet, da sie der Klasse C angehören und somit reine Modellergebnisse widerspiegeln.

2.2 Modell ECHAM4/OPYC3

Als Vergleichsdaten zu den NCEP/NCAR-Reanalysen werden monatlich gemittelte Luftdruck-, Temperatur- und Niederschlagsfelder des Hamburger Klimamodells ECHAM4/OPYC3 herangezogen. Die Werte liegen für den 300-jährigen Kontrolllauf unter gegenwärtigen Klimabedingungen vor. Dabei interessieren in dieser Studie nur die Monatsmittel für die Wintersaison (D,J,F,M).

ECHAM4 ist die atmosphärische Komponente des Modells. Sie hat eine horizontale Auflösung von T42 (entspricht ca. $2.8^\circ \times 2.8^\circ$) und besitzt 19 hybride σ -p Niveaus (Roeckner, 1996). Prognostische Variablen hierfür sind Vorticity, Divergenz, Wasserdampfgehalt, Temperatur und der Logarithmus des Luftdrucks.

OPYC3 ist ein Dreikomponentenmodell. Es enthält einen tiefen Ozean, eine Deckschichtkomponente und ein Meereismodell. Die prognostischen Variablen sind Impuls, Masse, Wärme und Salzgehalt. Die Parameter liegen auf isopyknischen Koordinaten vor, so dass keine diapynische Vermischung auftreten kann (Oberhuber, 1993).

2.3 Nordatlantische Oszillation

Für die Untersuchung des Einflusses der NAO auf atmosphärische Parameter in Europa wurden zwei verschiedene NAO-Indizes verwendet.

Zum einen wird der Index von Jones (Abb. 2.1) benutzt, welcher auf Monatsbasis

vorliegt und den Zeitraum von 1821 bis 1999 abdeckt. Zum anderen liegt der Hurrell-Index (Abb. 2.2) auf saisonaler Basis von 1869 bis 2000 vor. Für diese Arbeit wird von beiden Indizes der Zeitraum 1948 bis 1999 bzw. 2000 verwendet, wobei jeweils nur die Dezember-, Januar-, Februar- und Märzmittel interessieren, da die NAO im Winter am stärksten ausgebildet ist und den größten Einfluss auf das Klima im Nordatlantik und seine angrenzenden Kontinente zeigt.

Allgemein spiegelt der NAO-Index (Abb. 2.1 und Abb. 2.2) den Druckunterschied zwischen Island und den Azoren wider. Er wird durch den Unterschied der normierten SLPs beider Gebiete definiert. Bei einem positiven Index ist der Druck im Vergleich zum langjährigen Mittel über Island niedriger und den Azoren höher, sowohl das Islandtief als auch das Azorenhoch verstärken sich. Bei negativem Index ist der Vorgang genau umgekehrt. Daraus folgt, dass die Druckdifferenz beider Stationen bei hohen Ereignissen größer und bei niedrigen geringer als im Mittel ist.

Die beiden Indizes unterscheiden sich nicht nur in der Mittelungsperiode, sondern auch in den Stationen. Während die Jones-Messstationen in Stykkisholmur und Gibraltar liegen, benutzt Hurrell den Druck von Stykkisholmur und Lissabon.

Die Extremereignisse werden in dieser Arbeit durch die Standardabweichung und den Mittelwert charakterisiert. Liegen die Indexwerte über der Summe aus Mittelwert aller Indizes von 1948-1999 bzw. 2000 und einer Standardabweichung, so handelt es sich um ein hohes NAO-Extrem, liegen sie unter der Differenz von Mittelwert und einer Standardabweichung, betrachtet man dies als niedriges NAO-Extrem.

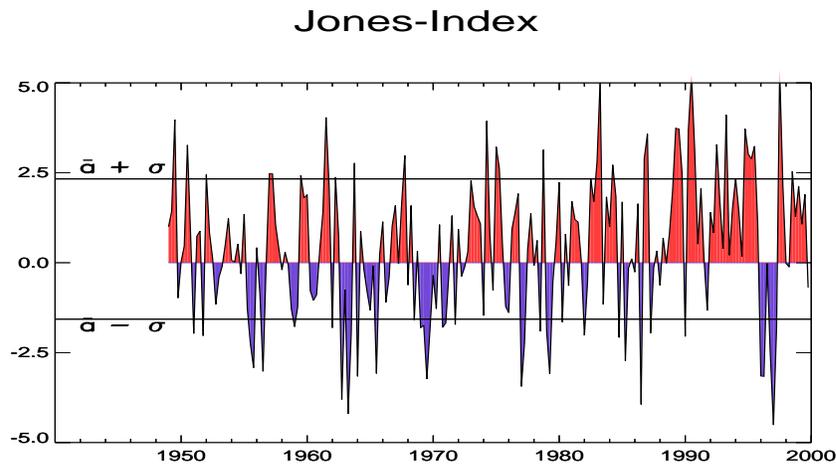


Abbildung 2.1: Monatsmittel von D, J, F, M des Jones-Indexes für den Zeitraum 1948-1999. Mittelwert plus Standardabweichung (obere Linie), Mittelwert minus Standardabweichung (untere Linie).

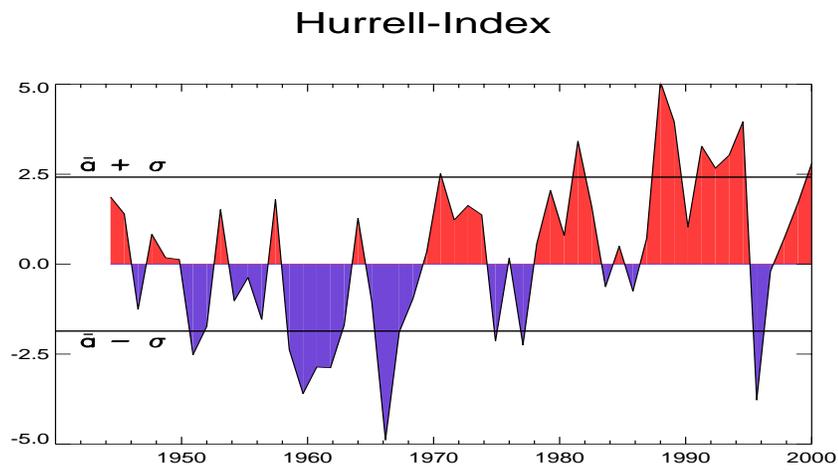


Abbildung 2.2: Wintermittel (*D,J,F,M*) des Hurrell-Indexes für den Zeitraum 1948-2000. Mittelwert plus Standardabweichung (obere Linie), Mittelwert minus Standardabweichung (untere Linie)

3 Statistische Methoden

In der Meteorologie fallen sehr viele Messdaten an. Es kann deshalb nicht auf eine eingehende korrekte und sinnvolle Anwendung statistischer Methoden verzichtet werden.

Die Statistik lässt sich definieren als eine methodische Wissenschaft zur Erfassung zufälliger und zufallsartiger Massenerscheinungen. Der Begriff Erfassung beinhaltet beschreiben, schätzen und entscheiden (Schönwiese, 1988).

Somit soll sie dabei helfen, die Zusammenhänge zwischen den Daten zu analysieren, die durch eine Vielzahl von Wechselwirkungen aneinander gekoppelt sind.

3.1 Kernel Density Method

Um Häufigkeitsverteilungen von atmosphärischen Parametern für niedrige und hohe NAO-Perioden zu erstellen, wird die Kernel Density Method angewendet, da die Datenanzahl relativ gering ist und die Verteilungen durch diese Methode sinnvoll geglättet werden, so dass sie miteinander verglichen werden können.

Ein normales Histogramm ist definiert durch

$$f(x) = \frac{1}{nh}n_m. \quad (3.1)$$

Intervalle: $[x_0 + mh, x_0 + (m + 1)h]$

X_i : Daten

n_m : Anzahl der X_i , die pro X-Einheit im selben Intervall liegen

x_0 : Ausgangswert

m: ganzzahliger Wert

n: Anzahl an Daten

h: Fensterbreite

Dabei wird eine Glättung durch die Wahl der Fensterbreite festgelegt.

Die Vorteile der Kernel Density Method sind die Flexibilität der Form und die mathematische Lenkbarkeit. Genau wie bei einem normalen Histogramm gibt es einen Glättungsparameter, welcher den Grad der Glättung für jede Fensterbreite

angibt (Härdle, 1990).

Die Definition für eine normale Filterfunktion K_h lautet

$$K_h(x) = \frac{1}{h}K\left(\frac{x}{h}\right). \quad (3.2)$$

h: Fensterbreite

x: Datenpunkt

K: Filter

Daraus ergibt sich für jede Beobachtung eine Funktion. Eine Mittelung über alle Filterfunktionen nach Kimoto und Ghil (1993) führt zur Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$f_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(\bar{x} - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{\bar{x} - x_i}{h}\right). \quad (3.3)$$

K_h : Filterfunktion

K: Filter

n: Anzahl an Datenpunkten

\bar{x} : Datenmittel

x_i : Datenpunkt

h: Fensterbreite

Als Filter wird ein Gaußfilter verwendet, der um Null symmetrisch ist und integriert eins ergibt (Härdle, 1990)

$$K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right). \quad (3.4)$$

Bei der Wahl der Fensterbreite muss beachtet werden, dass bei zu großer Fensterbreite die Glättung zu stark und bei zu kleiner die Verteilung zu schwach geglättet wird (Abb. 3.1).

Hierzu ist die optimale Fensterbreite

$$h_{opt} = (4\pi)^{-1/10} \left(\frac{3}{8}\pi^{-1/2}\right)^{-1/5} \sigma n^{-1/5} = \left(\frac{4}{3}\right)^{1/5} \sigma n^{-1/5} = 1.06 \sigma n^{-1/5} \quad (3.5)$$

σ : Standardabweichung

n : Datenanzahl

wichtig, die bei einer Normalverteilung zu einer optimalen Glättung führt. Ist die Verteilung nicht normalverteilt, so kann es zu einer zu starken Glättung kommen, da die Standardverteilung in die Gleichung mit eingeht. (Silverman, 1986).

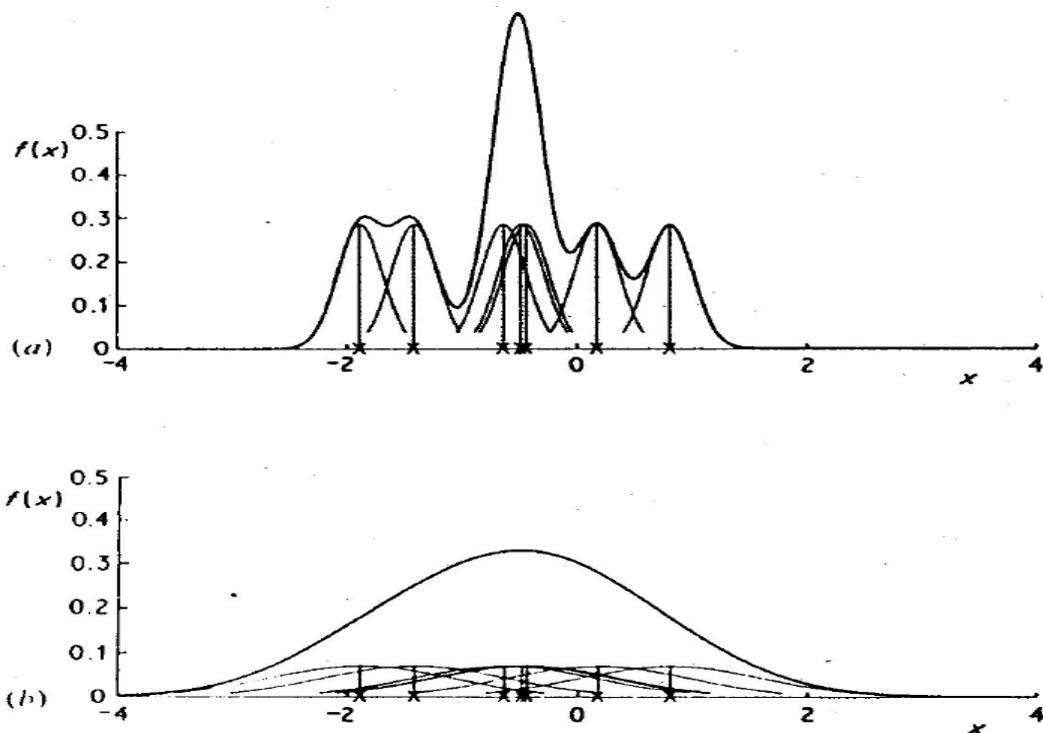


Abbildung 3.1: Verschiedene Fensterbreiten bei der Kernel Density Method, (a) 0.2; (b) 0.8 (aus Silverman (1986)).

3.2 Statistische Momente

Um die räumliche bzw. zeitliche Verteilung der einzelnen Parameter erfassen zu können, werden statistische Momente berechnet und als Zeitreihen von 1948 bis 2000 dargestellt.

Arithmetischer Mittelwert und Varianz können als Sonderfälle von Maßzahlen aufgefasst werden, die geeignet sind, empirische wie theoretische Häufigkeitsverteilungen zu charakterisieren (Schönwiese, 1988). Gleichung (3.6) stellt die allgemeine Form der Momente dar, Gleichung (3.7) die der zentralen Momente.

$$m_k = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^k \quad (3.6)$$

n : Anzahl der Daten

x_i : Datenpunkt

$$zm_k = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^k = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i'^k \quad (3.7)$$

n : Anzahl der Daten

x_i : Datenpunkt

\bar{x} : Mittelwert der Daten

Das erste Moment m_1 ist gleich dem arithmetischen Mittelwert, das zweite zentrale Moment zm_2 ist gleich der Varianz. Das erste zentrale Moment ist stets Null.

Von den höheren Momenten haben das dritte und vierte zentrale Moment in Form des Momentkoeffizienten für Schiefe und Exzess praktische Bedeutung.

Die Koeffizienten für die Schiefe lauten

$$Sf = \frac{zm_3}{zm_2^{1,5}} \quad (3.8)$$

und zur Kennzeichnung des Exzess

$$Ex = \frac{zm_4}{zm_2^2}. \quad (3.9)$$

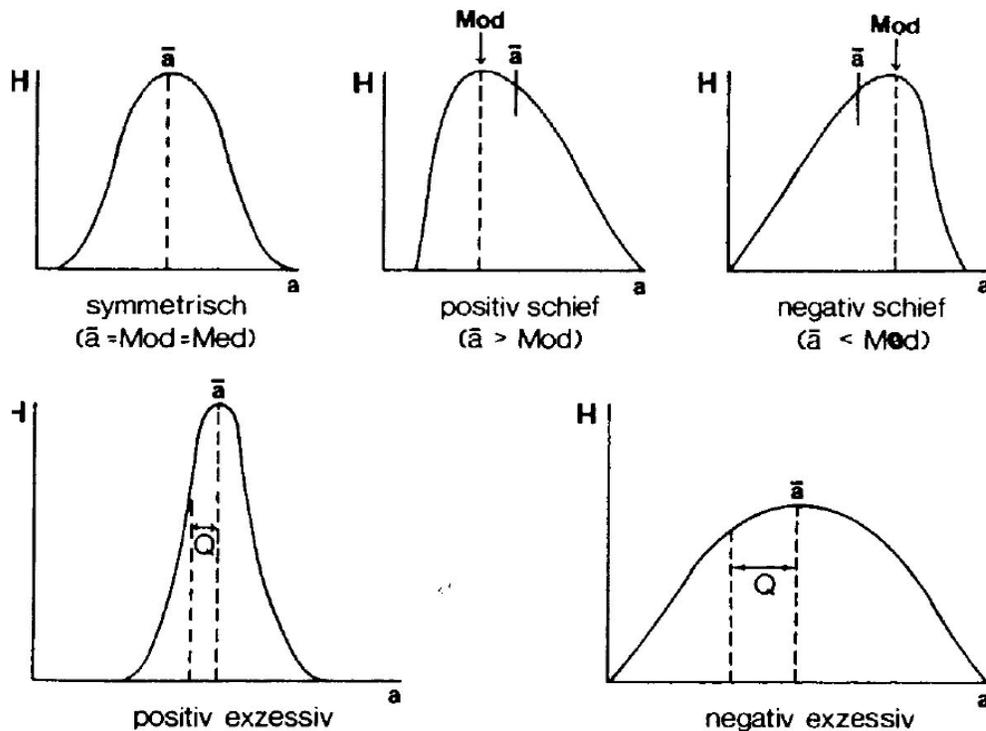


Abbildung 3.2: Untergliederung der eingipfligen Häufigkeitsverteilungen in Schiefe und Exzess (aus Schönwiese (1988)).

Ist die Schiefe Null, so handelt es sich um eine symmetrische Verteilung, d.h. im Falle von unimodalen Verteilungen mit stetiger Verteilungsdichte, fallen der wahrscheinlichste Wert und der Erwartungswert (= Mittelwert) zusammen. Ist die Schiefe negativ, so hat die Verteilung flache und lange Ausläufer nach links, ist die Schiefe positiv, so finden wir flache und lange Ausläufer der Verteilungsfunktion nach rechts (Abb. 3.2) (Nakamura und Wallace, 1991).

Der Exzess liefert ähnliche Informationen wie die Standardabweichung. Für ihn ergibt sich bei einer Normalverteilung der Wert drei. Bei einem Wert größer als drei folgt für die Verteilung eine stärkere Zentrierung und ein steilerer Verlauf, d.h. es sind mehr Daten als bei der Normalverteilung in der Mitte zentriert. Ist der Exzess kleiner als drei, nimmt die Verteilung einen flacheren Verlauf als bei einer Normalverteilung an (Abb. 3.2). Da die Standardabweichung, die sich aus der Wurzel der Varianz ergibt, aber die gängigere Methode ist, wird sie im Kapitel 6 dem Exzess meist vorgezogen.

3.3 Korrelation

Bei der Korrelation geht es um die quantitative Bewertung der Zusammenhänge betreffender mathematischer Formeln bzw. Datenreihen. Betrachtet man zwei Datenreihen, so wird in der Korrelationsrechnung der Frage nach der Güte des linearen Zusammenhangs dieser Datenreihen nachgegangen und in einer Gütemaßzahl zum Ausdruck gebracht, die zwischen -1 und 1 liegt, dem sogenannten Korrelationskoeffizienten (Müller, 1991).

$$r_{ab} = \frac{s_{ab}}{s_a s_b} = \frac{\sum a'_i b'_i}{(n-1)s_a s_b} = \frac{\sum a'_i b'_i}{\sqrt{\sum a_i'^2 \sum b_i'^2}} \quad (3.10)$$

a_i : Variable der Datenreihe a

b_i : Variable der Datenreihe b

n: Stichprobenumfang

Ist der Wert von r Null, so gibt es keinen linearen Zusammenhang zwischen den Datenreihen. Das Vorzeichen von r gibt an, ob mit steigenden Datenwerten b_i auch die Werte a_i ansteigen, wobei man hier von einer positiven Korrelation spricht oder die Werte a_i fallen, was zu einer negativen Korrelation führt.

3.4 Signifikanztests

3.4.1 U-Test

Beim U-Test werden die Verteilungen auf zufälligen und nicht zufälligen Unterschied überprüft. Dabei dürfen die Stichproben der beiden Datensätze nicht kleiner als zehn sein und die Daten werden jeweils in eine Rangordnung gebracht, da es sich um einen sogenannten Rangtest handelt.

Sind allen Daten der beiden Stichproben gemeinsamer aufsteigender Wertefolge Rangplätze (R) zugeordnet und ist von jeder Stichprobe die Summe der Rangplätze errechnet, so kommt man durch die folgenden Formeln zur Testgröße:

$$U_1 = n_a n_b + \frac{n_a(n_a + 1)}{2} - R_a \quad (3.11)$$

n_a : Umfang der Stichprobe a

n_b : Umfang der Stichprobe b

R_a : Summe der Rangplätze der Stichprobe a

$$U_2 = n_a n_b + \frac{n_b(n_b + 1)}{2} - R_b \quad (3.12)$$

n_a : Umfang der Stichprobe a

n_b : Umfang der Stichprobe b

R_b : Summe der Rangplätze der Stichprobe b

$$U = \text{Min}(U_1, U_2) \quad (3.13)$$

$$\hat{z} = \frac{|U - \frac{n_a n_b}{2}|}{\sqrt{\frac{n_a n_b (n_a + n_b + 1)}{12}}} \quad (3.14)$$

Ist

$$\hat{z} > z_{\alpha=0.05} = 1.645, \quad (3.15)$$

so sind die Verteilungen auf dem 95%-Signifikanzniveau unterschiedlich, wobei der U-Test hauptsächlich den Median, aber auch Schiefe, Exzess und Standardabweichung der Verteilungen testet (Schönwiese, 1988).

3.4.2 White-Noise-Test

Im White-Noise-Test wird der Fehler der Schiefe berechnet. Die Definition des Fehlers ist durch

$$SE = \left(\frac{6}{n}\right)^{1/2} \quad (3.16)$$

n: Datenanzahl

n = n_a, n_b

gegeben. Sind nach dem Subtrahieren bzw. Addieren des Fehlers vom eigentlichen Wert der Schiefe, die Schiefewerte beider Verteilungen immer noch unterschiedlich, so ist die Schiefe der Verteilung a auf dem 95%-Signifikanzniveau unterschiedlich zur Schiefe der Verteilung b (White, 1980).

3.5 EOF-Analyse

Die 'empirical orthogonal function-' kurz 'EOF-Analyse' ist eine Methode, um Variabilität langer Zeitserien von großen Feldern zu untersuchen, da sie räumliche und zeitliche Variabilität voneinander trennt (Peixoto und Oort, 1992). Somit kommt sie in letzter Zeit häufig bei Untersuchungen großskaliger Klimaschwankungen zum Einsatz.

Die Methode spaltet die zeitliche Varianz der Daten in orthogonale räumliche Muster auf, die sogenannten empirischen Eigenvektoren (Peixoto und Oort, 1992). Die EOF's sind also Eigenvektoren der Kovarianzmatrix, welche aus den Daten gewonnen wird. Die Elemente der Matrix stellen die Kovarianzen der einzelnen Punkte untereinander dar. Jedes Eigenvektorfeld ist mit einer Zeitserie (PC = principal component), die die zeitliche Entwicklung der räumlichen Muster widerspiegelt, verbunden. Die Eigenvektoren sind nach der Größe der Eigenwerte sortiert, womit die erste EOF auch den höchsten Anteil der Varianz in den Daten erklärt. Genauere Angaben zu dieser Methode sind in von Storch und Zwiers (1999) zu finden.

4 Gebiete

Wie bereits angeführt, beeinflusst die Nordatlantische Oszillation durch die anomalen Westwinde das Klima in Europa (Greatbatch, 1999). Da die atmosphärischen Parameter in den verschiedenen Regionen unterschiedlich auf die NAO reagieren, wird der Versuch unternommen, Europa in verschiedene Gebiete einzuteilen.

4.1 Auswahl der Gebiete

Um homogene Gebiete in Europa ausfindig zu machen wird eine EOF-Analyse mit den Parametern SLP, bodennahe Lufttemperatur, spezifische Feuchte und dem Niederschlag durchgeführt. Die Daten liegen jeweils als Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000 vor, wobei der Jahresgang nicht mehr enthalten ist. Da die 1.PC aller Parameter am besten mit dem NAO-Index korreliert ist und eindeutig die meiste Varianz erklärt, wird jeweils die 1.EOF für die Gebietswahl herangezogen.

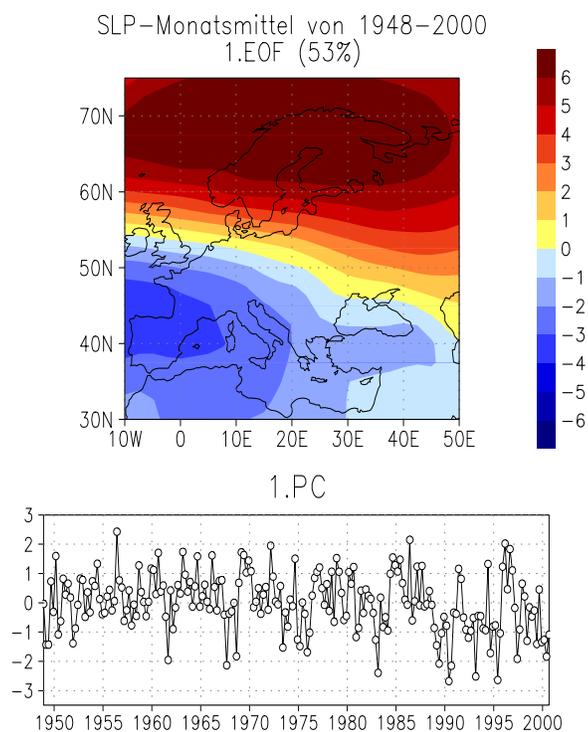


Abbildung 4.1: 1.EOF der SLP-Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000

Die 1.EOF des SLP (Abb. 4.1) erklärt 53 Prozent Varianz und ihre PC ist mit -0.7 mit dem NAO-Index von Jones korreliert. Die 1.EOF weist eine Dipolstruktur auf, wobei der Bereich Skandinavien und Spanien/Portugal mit unterschiedlichem Vorzeichen besonders hervortreten und ein deutlicher Übergang in Mitteleuropa zu verzeichnen ist. Die 2.EOF bzw. 3.EOF erklärt noch 19% bzw. 10% Varianz und die Zeitreihe ist nur noch mit ca. 0.3 mit dem NAO-Index korreliert.

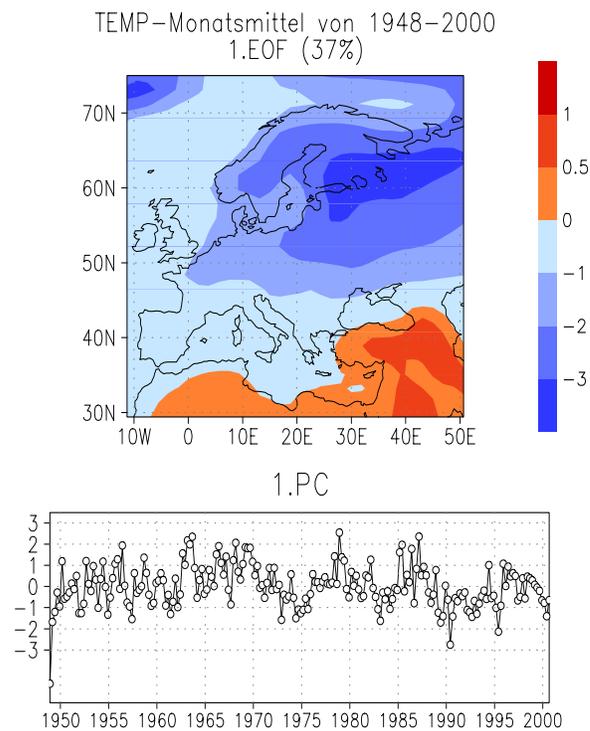


Abbildung 4.2: 1.EOF der TEMP-Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000

Das räumliche Muster der 1.EOF der Temperaturmonatsmittel (Abb. 4.2) zeigt ebenfalls eine Dipolstruktur, erklärt 37 Prozent an Varianz und ist mit -0.6 mit dem NAO-Index korreliert. Allerdings haben sich die Pole im Gegensatz zum SLP nach Osten verlagert. Im Norden fällt weiterhin der Bereich Skandinavien, aber auch Osteuropa auf. Der Pol im Süden liegt nun östlich der Mittelmeerregion und ist nicht mehr relevant. Die 2. und 3.EOF erklären noch 15% und 8% an Varianz, sind allerdings nur noch mit -0.4 bzw. 0.3 mit dem NAO-Index korreliert.

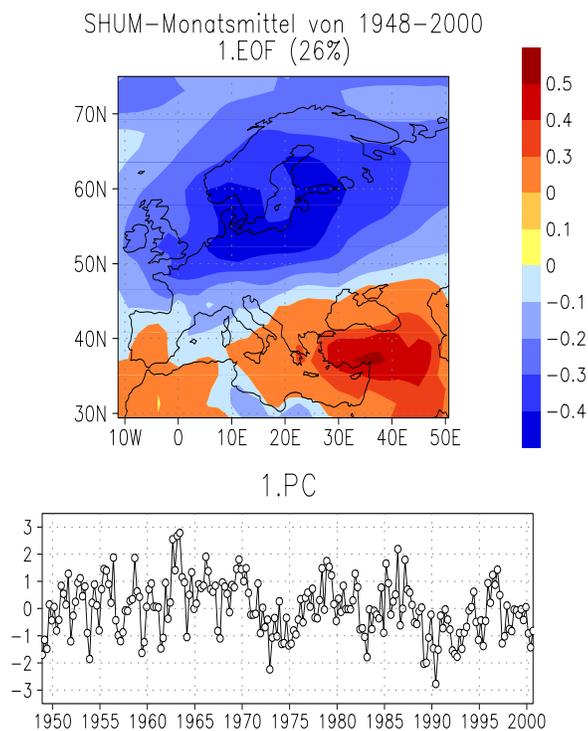


Abbildung 4.3: 1.EOF der SHUM-Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000

Für die spezifische Feuchte erklärt die 1.EOF (Abb. 4.3) eine Varianz von 26 Prozent, die PC ist mit -0.75 mit dem NAO-Index korreliert und das Muster hat erneut einen Dipolcharakter. Der Pol im Norden schließt wieder Skandinavien mit ein, jedoch liegt der Kern über Mitteleuropa, der Ostseeregion und Osteuropa. Der südliche Pol liegt etwas östlich der Mittelmeerregion, schließt aber auch den östlichen Teil des Mittelmeers mit ein. Die 2.EOF erklärt zwar noch 22% Varianz, allerdings ist ihre Zeitreihe nur noch mit 0.4 mit der NAO korreliert. Die 3.EOF ist mit 8% zu vernachlässigen.

Die Niederschlagsrate (Abb. 4.4) zeigt im räumlichen Muster der 1.EOF eine starke Verschiebung der Pole nach Westen, wodurch der nördliche Pol an der Westküste Skandinaviens liegt und sich im Süden ein positiver Pol über Spanien/Portugal und der Mittelmeerregion ausbildet. Die 1.EOF erklärt beim Niederschlag 20 Prozent an

Varianz und die PC ist mit -0.7 mit dem NAO-Index korreliert. Die 2. und 3.EOF sind mit 12% und 8% deutlich geringer und die Korrelation mit der NAO beträgt nur noch -0.5 bzw. 0.2 .

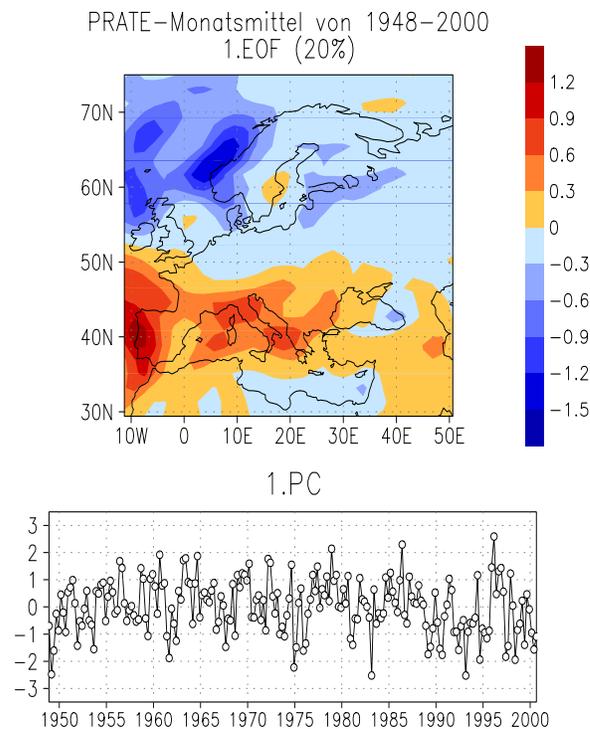


Abbildung 4.4: 1.EOF der PRATE-Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000

4.2 Ergebnis der Gebietsauswahl

Die vier EOF-Analysen haben ergeben, dass in wenigen Gebieten alle vier Parameter räumlich homogen reagieren.

Deshalb wurden Bereiche ausgewählt, die in mindestens einer der Analysen besonders hervortreten, bzw. eine Größe von mindestens 5×5 Gitterpunkten haben, da sonst die Datenmenge für Verteilungsberechnungen zu gering ist.

Dabei handelt es sich um Skandinavien ($4^{\circ}O - 27^{\circ}O, 58^{\circ}N - 70^{\circ}N$), die Ostsee ($15^{\circ}O - 25^{\circ}O, 54^{\circ}N - 65^{\circ}N$), Mitteleuropa ($5^{\circ}O - 15^{\circ}O, 46^{\circ}N - 56^{\circ}N$) und Osteuropa ($20^{\circ}O - 60^{\circ}O, 45^{\circ}N - 60^{\circ}N$), sowie Spanien/Portugal ($10^{\circ}W - 4^{\circ}O, 35^{\circ}N - 45^{\circ}N$) und das Mittelmeergebiet ($0^{\circ}O - 38^{\circ}O, 35^{\circ}N - 45^{\circ}N$). Da der Einfluss der NAO unter-

sucht wird, erscheint es als sinnvoll, das Gebiet um Island ($30^{\circ}W - 0^{\circ}W, 50^{\circ}N - 70^{\circ}N$) und das Gebiet um die Azoren ($30^{\circ}W - 10^{\circ}W, 30^{\circ}N - 50^{\circ}N$) in die Untersuchungen mit einzubeziehen.

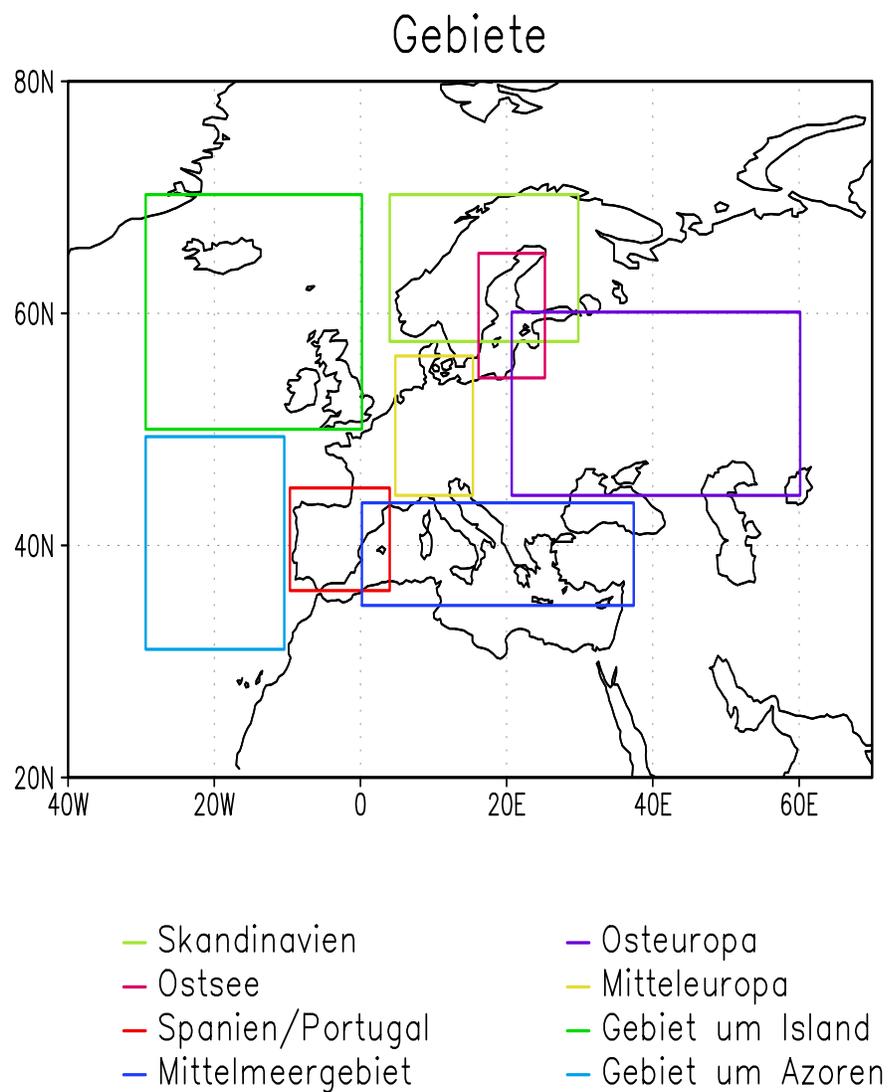


Abbildung 4.5: Ausgewählte Gebiete zur Untersuchung des NAO-Einflusses

Anzahl der Gitterpunkte:

	T,q,RR (NCEP/NCAR)	SLP (NCEP/NCAR) SLP,T,RR (ECHAM4/OPYC3)
Skandinavien	98	60
Ostsee	42	25
Mitteleuropa	36	25
Osteuropa	198	119
Spanien/Portugal	48	35
Mittelmeergebiet	126	80
Gebiet um Island	187	117
Gebiet um Azoren	144	81

Tabelle 4.1: *Anzahl der Gitterpunkte für jedes Gebiet.*

5 Einblick in bekannte Klimaänderungen Europas

Die Nordatlantische Oszillation ist eine großräumige Schwankung des atmosphärischen Druckfeldes mit Zentren im Bereich des Islandtiefs und des subtropischen Azorenhochs. Die NAO stellt die stärkste interannuale Schwankung im Bereich des Nordatlantiks dar und ist in den Wintermonaten besonders ausgeprägt (Cayan, 1992). Sie beeinflusst durch anomale Westwinde das Klima in Europa (Hurrell und van Loon, 1997).

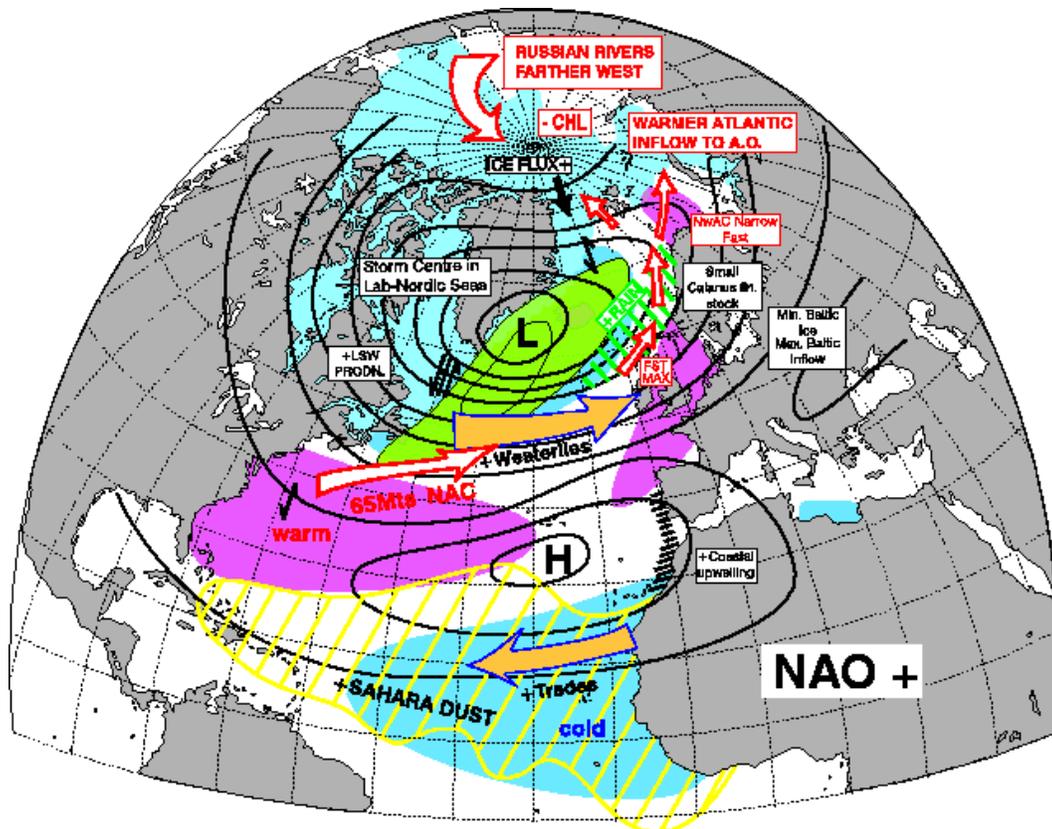


Abbildung 5.1: hohe NAO-Phase (nach Dickson, Quelle: <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/Images/naoplus.gif>)

In der hohen NAO-Phase (Abb. 5.1) besteht durch den hohen (niedrigen) Druck des Azorenhochs (Islandtiefs) eine große Druckdifferenz zwischen den beiden Zentren und die Ausläufer dieser Druckgebilde reichen bis nach Europa, wodurch im Norden Europas, d.h. in Skandinavien, im Ostseegebiet und auch in Mitteleuropa während dieser Ereignisse sehr niedrige Druckwerte vorherrschen während Spanien/Portugal und die Mittelmeerregion sehr viel höhere Druckwerte als normal aufweisen. Die Westwindzirkulation über dem Nordatlantik ist durch den starken Druckgegensatz zwischen Island und den Azoren sehr stark ausgeprägt, was zu einem verstärkten Luftmassentransport über den Nordatlantik führt. Da die Westwinde zu dieser Zeit eine südwestliche Richtung aufweisen, gelangt warme und feuchte Luft in den Norden Europas. Das führt zu höheren Temperaturen und stärkerem Niederschlag in Skandinavien, der Ostsee und dem Gebiet um Island (Rogers et al., 1998). Mitteleuropa und Osteuropa bilden hier eine Übergangszone, werden also sowohl von den Tiefdruckgebieten im Norden, als auch von den Hochdruckgebieten im Süden Europas beeinflusst. Die Achse maximalen Feuchtetransports verlagert sich von einer westlichen auf eine von SW nach NO verlaufende Richtung und führt zu höheren spezifischen Feuchten über Skandinavien, der Ostsee und Mitteleuropa.

In der niedrigen NAO-Phase (Abb. 5.2) ist durch das abgeschwächte Azorenhoch bzw. Islandtief die Druckdifferenz geringer, was zu einer abgeschwächten Westwindzirkulation über dem Nordatlantik führt. Die Wind kommt diesmal aus westlichen Richtungen. Dadurch gelangen warme und feuchte Luftmassen nach Spanien/Portugal und in das Mittelmeergebiet, allerdings durch die abgeschwächte Westwindzirkulation in geringerem Ausmass als in der hohen NAO-Phase. Dies führt vor allem zu deutlich höheren Niederschlägen in diesen beiden Gebieten. Der Temperaturanstieg ist nur sehr gering, da die Temperaturen im Süden Europas aufgrund der geringen geographischen Breite konstant höher sind als im Norden. Skandinavien, Mitteleuropa und Osteuropa wird in dieser NAO-Phase nicht von den Westwinden beeinflusst, wodurch es in Skandinavien, auf den Britischen Inseln und in Mitteleuropa zu kalten und trockenen Wintern kommt. Die Achse maximalen Feuchtetransports hat eine westlichere Richtung und ist schwächer ausgeprägt. Für die Gebiete Skandinavien, Ostsee und Mitteleuropa sind niedrige Feuchtwerte zu erwarten.

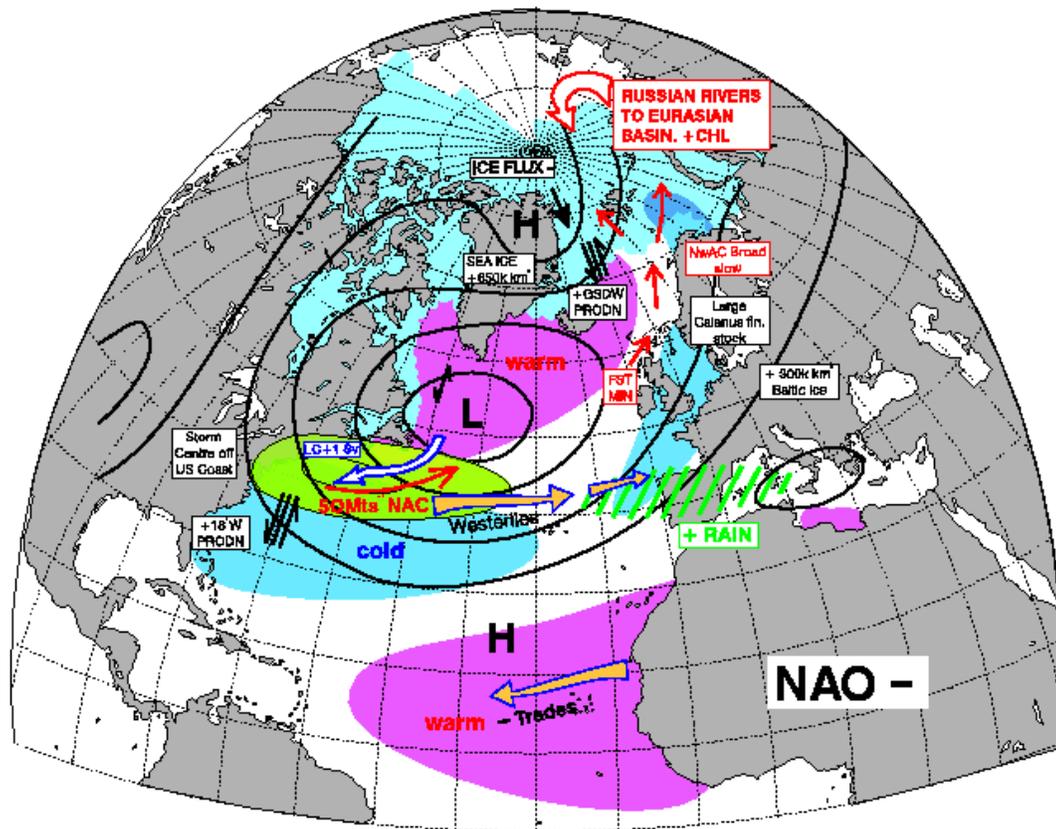


Abbildung 5.2: niedrige NAO-Phase (nach Dickson, Quelle: <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/Images/naominus.gif>)

Ob diese Annahmen in den Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Parameter in den entsprechenden Gebieten bestätigt werden und wie weit die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen in den einzelnen NAO-Phasen voneinander abweichen, wird im Folgenden genauer untersucht. Außerdem ist nicht bekannt, ob die PDFs normalverteilt sind, denn bisher wurden die Abhängigkeiten der atmosphärischen Parameter allein an Mittelwerten studiert. Da hier Verteilungen berechnet werden, ist es interessant, ob Schiefe, Exzess und Standardabweichungen von der NAO beeinflusst werden und ob sich eine gewisse Regelmäßigkeit finden lässt. Auch die Beeinflussung der Extrema konnte bisher mit Mittelwerten nicht untersucht werden. Diese Extrema werden in dieser Arbeit anhand von kumulativen Verteilungen betrachtet.

6 Ergebnisse

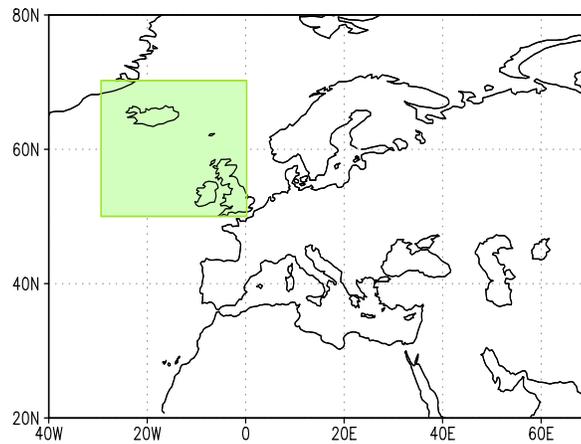
Als NAO-Index wird bei allen Berechnungen, die im Ergebnisteil gezeigt werden, ausschließlich der Index von Jones auf Monatsbasis (Abb. 2.1) verwendet. Dieser beinhaltet von 1948-1999 35 hohe und 37 niedrige NAO-Extrema. Die NAO-Monate, die nicht zu den Extrema gehören, werden als normale NAO-Monate bezeichnet. Die Ergebnisse, die auf Hurrells-NAO-Index (Abb. 2.2) basieren, zeigen sehr ähnliches Verhalten.

Um die Unterschiede der hohen/niedrigen NAO-Phasen hervorzuheben und an Verteilungen zu veranschaulichen, werden alle Daten hoher bzw. niedriger NAO-Monate als Verteilung aufgetragen. Es wird weder räumlich noch zeitlich, abgesehen von den Monatsmitteln, gemittelt, da sonst zu wenig Daten, d.h. nur 35 Werte bei hoher NAO und 37 bei niedriger, für die Verteilungsberechnung zur Verfügung stehen. Dies ist in Gebieten, die räumlich sehr homogen reagieren, unbedenklich. Hat man aber große räumliche Gradienten, wie in Mitteleuropa und Osteuropa (Abb. 4.1), oder bei der Temperatur in Skandinavien, so müssen diese bei der Interpretation der Verteilungen berücksichtigt werden. Zum besseren Verständnis der räumlichen Variabilität sind in Kapitel 7 für die atmosphärischen Parameter Bodendruck, Temperatur, spezifische Feuchte und Niederschlag die statistischen Momente räumlich aufgezeigt. Hier werden vorwiegend die ECHAM4/OPYC3-Modelldaten für die Berechnungen herangezogen, da diese durch ihre längere Zeitreihe eine bessere Statistik an den einzelnen Gitterpunkten zulässt. Die Methode der Verteilungsberechnung ist besser als Mittelwertberechnungen geeignet, da sowohl Standardabweichung wie auch Modus, Schiefe, Exzess und Mittelwert aus ihr gewonnen werden können. Als Datenbasis dienen die NCEP/NCAR Reanalysedaten auf Monatsbasis.

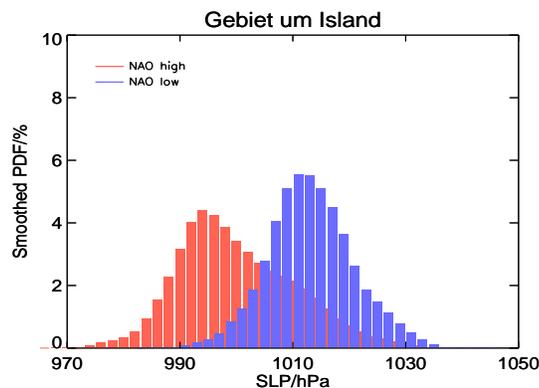
Da es häufig für die zeitliche Interpretation der Verteilungen besser wäre, die räumliche Abhängigkeit zu eliminieren, werden außerdem die ECHAM4/OPYC3-Daten des Hamburger Klimamodells herangezogen. Diese liegen über einen Zeitraum von 300 Jahren vor, erlauben deshalb eine besser abgeseicherte Statistik als 52 Jahre der NCEP/NCAR Reanalysedaten und können vor der Verteilungsberechnung räumlich gemittelt werden, wodurch die Verteilungen nur noch eine zeitliche Variabilität widerspiegeln.

6.1 Gebiet um Island

Das Gebiet um Island umfasst den nordöstlichen Teil des Nordatlantiks und schließt außerdem Island und die Britischen Inseln mit ein. Dieser Bereich stellt ein Aktionszentren der NAO dar.

Abbildung 6.1: *Gebiet um Island*

Bei den Verteilungen des Bodendruckes (Abb. 6.2) muss der Unterschied zwischen den beiden extremen NAO-Phasen zum Vorschein kommen. Hohe NAO ist mit einem sehr stark ausgeprägten Islandtief verbunden, dadurch wird die Verteilung zu niedrigen Druckwerten verschoben und die Standardabweichung durch die großen räumlichen Druckgradienten auf dem 95% Niveau signifikant größer. In Zeiten negativer NAO-Indizes ist das Islandtief schwächer ausgebildet und der räumliche Gradient geringer. Dadurch kommt es in dieser Phase zu einem höheren Modus und einer kleineren Standardabweichung (siehe Tabellen Kapitel 7.1). Die zeitliche Standardabweichung ist allerdings bei niedriger NAO größer, was von Jung et al. (2001) gezeigt wurde.

Abbildung 6.2: *Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets um Island während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.*

Durch die Variation von Islandtief und Azorenhoch wird neben dem SLP auch der Niederschlag beeinflusst. In Zeiten hoher NAO ist er durch die verstärkte nördliche Komponente der Zyklonenzugbahnen (Ubl, 2001) und einer damit verbundenen Nordwärtsverlagerung von starken Niederschlagsereignissen signifikant höher, was in Abb. 6.3 deutlich wird. Hier liegt der Modus etwa 4mm/Tag höher und die maximalen Regenraten belaufen sich auf 12mm/Tag, während sie bei niedriger NAO 4mm/Tag geringer ausfallen.

Auf die Parameter spezifische Feuchte und Temperatur hat die NAO keinen Einfluss (daher nicht gezeigt).

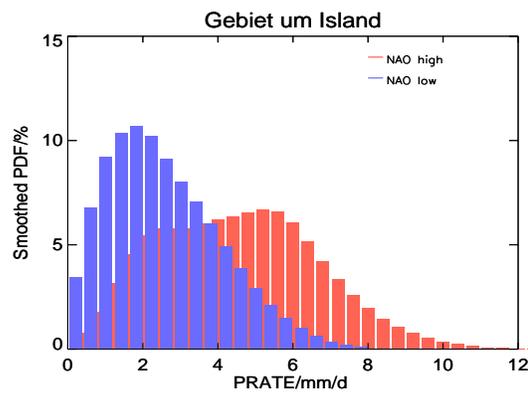


Abbildung 6.3: Häufigkeitsverteilungen von *PRATE*-Wintermonatsmitteln des Gebiets um Island während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

6.2 Gebiet um die Azoren

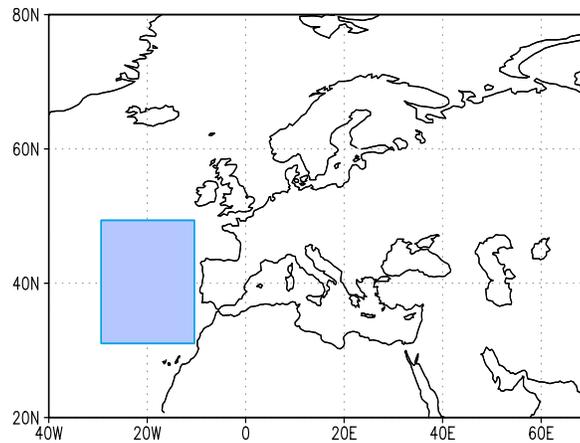


Abbildung 6.4: *Gebiet um die Azoren*

Das Gebiet um die Azoren beinhaltet den SO des Nordatlantiks. Mit dem Azorenhoch befindet sich hier das zweite Aktionszentrum des SLP.

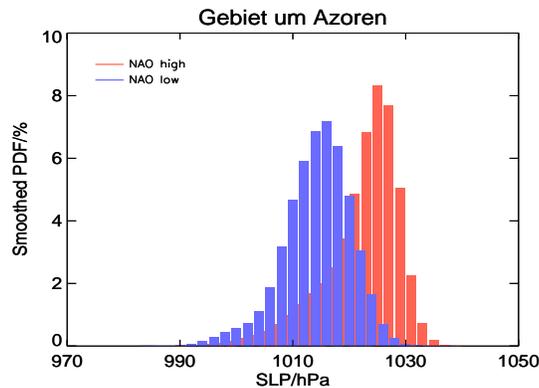


Abbildung 6.5: *Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets um die Azoren während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.*

In Abb. 6.5 sieht man, dass das Azorenhoch in hohen NAO-Monaten sehr viel stärker ausgeprägt ist und die Verteilung deshalb ca. 10hPa höhere Druckwerte enthält.

Allerdings sind die räumlichen Gradienten um die Azoren geringer als um Island, wodurch sich die Standardabweichungen im U-Test (siehe Kap.3.4.1) signifikant aber nicht mehr so stark wie bei den Verteilungen in Island unterscheiden.

Die Abhängigkeit des Niederschlags im Gebiet um die Azoren von der NAO sollte hier gerade in der entgegengesetzten Richtung verlaufen. Diese Annahme wird auch bestätigt (Abb. 6.6). Hier kommt es bei hoher NAO zu einer Verminderung der Regenrate. Allerdings treten auch Werte bis 10mm/Tag auf, die in Island bei niedriger NAO nicht vorkommen. Dies kann dadurch zustande kommen, dass das Gebiet etwas zu weit in den Norden reicht, und somit im äußersten Norden bei hoher NAO hohe Regenraten auftreten, die in den Verteilungen wiederzufinden sind.

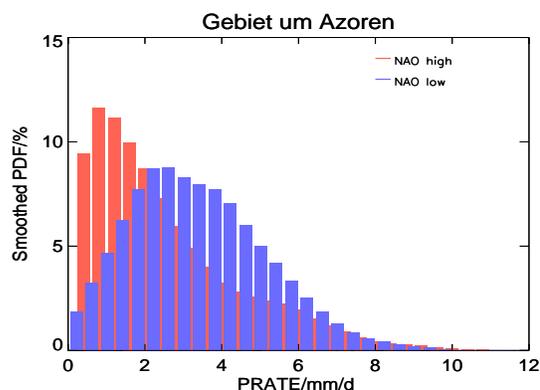


Abbildung 6.6: Häufigkeitsverteilungen von *PRATE*-Wintermonatsmitteln des Gebiets um die Azoren während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Auf die Parameter spezifische Feuchte und Temperatur hat die NAO auch in diesem Gebiet keinen Einfluss (deshalb nicht gezeigt).

6.3 Skandinavien

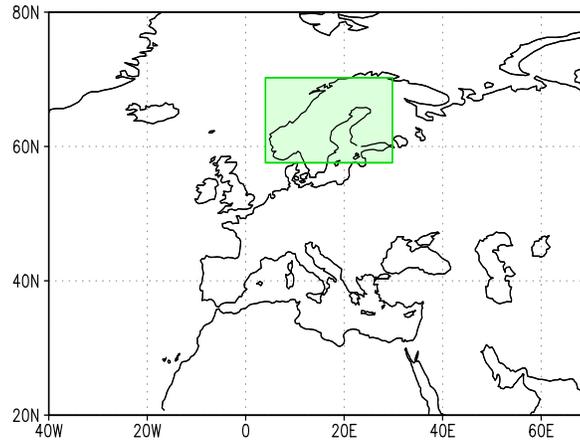


Abbildung 6.7: Untersuchungsgebiet Skandinavien

6.3.1 Häufigkeitsverteilungen

In Skandinavien müsste die NAO auf Druck, Temperatur, Feuchte und Niederschlag Auswirkungen haben. Das ist bereits bekannt, allerdings stellt sich die Frage, ob die Verteilungen mehr Einzelheiten darüber enthalten.

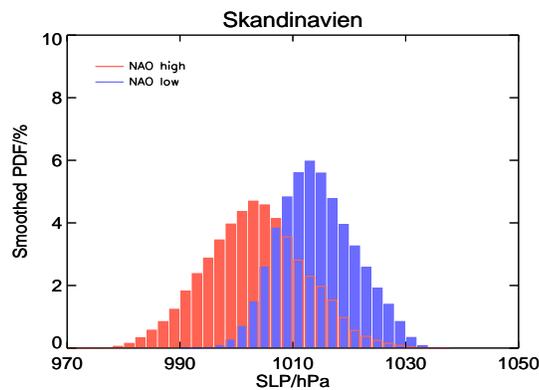


Abbildung 6.8: Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

In Abb. 6.8 ist zu erkennen, dass die SLP-Verteilungen wie erwartet deutlich gegeneinander versetzt sind, wobei der Modus bei hoher NAO stark zu niedrigeren Werten tendiert. Die Standardabweichung ist bei hoher NAO sehr viel größer und unterscheidet sich auf dem 95% Niveau signifikant. Dies resultiert daraus, dass zu dieser Zeit das Druckfeld im Norden Europas wesentlich geringer (Abb. 7.1) und der Druckgradient in Skandinavien sehr groß ist. Die Standardabweichung der SLP-Anomalien in Abb. 7.2 zeigt dagegen in diesem Gebiet keinen starken Unterschied.

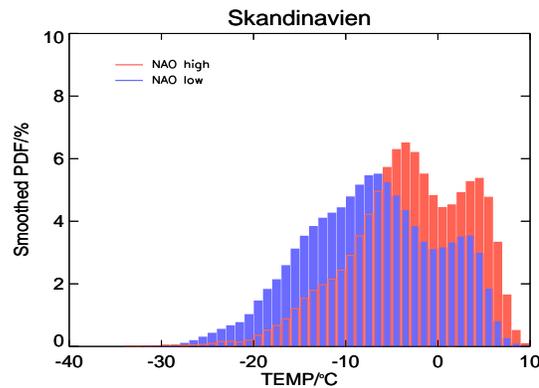


Abbildung 6.9: Häufigkeitsverteilungen von $TEMP$ -Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Bei den Verteilungen der Temperaturwerte (Abb. 6.9) tendiert der Modus in hohen NAO-Monaten zu höheren Werten und die negative Schiefe nimmt im Westen stark zu, während sie im Osten etwa gleich bleibt (Abb. 7.6). Dies wird durch einen verstärkten Luftmassentransport über den Nordatlantik hervorgerufen, der bis in das Gebiet vordringt. Außerdem zeigen beide Verteilungen ein Doppelmaximum. Dies resultiert aus der unterschiedlichen geographischen Lage Skandinaviens, genauer gesagt, durch den SW-NO Unterschied und ist nicht nur eine Eigenheit der NCEP/NCAR Reanalysedaten, sondern ist auch in den ECHAM4/OPYC3-Daten wiederzufinden. Im SW werden entlang der Küsten durch den Nordatlantikeinfluss wesentlich höhere Temperaturen erreicht als im NO. Hier spiegelt sich der natürliche Temperaturunterschied in den Verteilungen stark wider, der durch das Verwenden von Anomalien minimiert werden könnte. Es wurde zwar bei der Gebietsauswahl auf weitgehende räumliche Homogenität geachtet, dies kann jedoch nicht für alle Parameter verwirklicht werden. Das linke Ende der PDF ist unabhängig von der NAO, da vermutlich das Sibirische Hoch auch bei hoher NAO den Osten des Gebietes beeinflusst und die Temperaturen unter -20°C verursacht.

Die Form der spezifischen Feuchteverteilungen ist annähernd gaußverteilt (Abb. 6.10).

Sie zeigt allerdings, wie die Verteilungen der Temperatur, ein Doppelmaximum, da der Sättigungsdampfdruck eine Funktion der Temperatur darstellt und die spezifische Feuchte in Gebieten mit kalten Temperaturen sehr viel geringer ist. Die Verschiebung des Modus zu einem etwa 1g/kg höheren Wert in hohen NAO-Phasen kommt durch die Verlagerung der Achse maximalen Feuchtetransports von westlichen auf von SW nach NO verlaufende Richtungen (Schröder, 2001), wodurch vor allem der Süden Skandinaviens stark beeinflusst wird (siehe Abb. 7.7). Aber auch der Norden und Nordosten tendiert zu höheren Feuchtwerten, da das linke Maximum, welches dem Norden bzw. dem NO zugeordnet werden kann (Abb. 6.10), bei hoher NAO nicht mehr so stark ausgebildet ist und außerdem bei höheren Werten liegt.

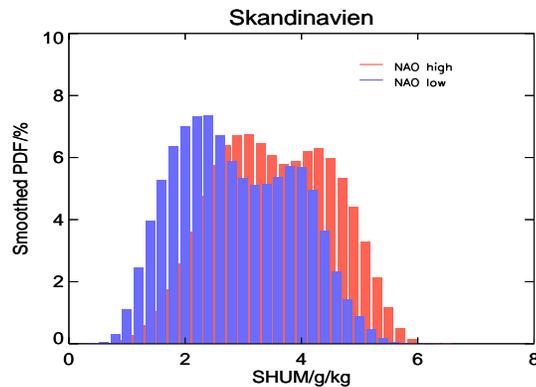


Abbildung 6.10: Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Da Skandinavien im Norden Europas liegt, zeigt der Niederschlag (Abb. 6.11) eine starke Abhängigkeit von der NAO. Während bei negativem Index die Monatsmittel bis 1.5mm/Tag sehr häufig auftreten, überwiegen bei hoher NAO die Monatswerte ab 1.5mm/Tag deutlich. Außerdem gibt es in der niedrigen Phase keine Niederschlagsereignisse über 7mm/Tag, in der hohen werden dagegen Ereignisse bis 10mm/Tag gemessen. Dies beruht auf der Verlagerung der Niederschlagsmaxima bei starker Westwindzirkulation vom SW Europas in den NW (siehe Abb. 6.22).

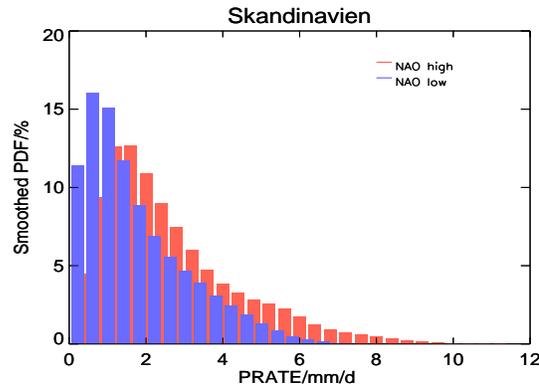


Abbildung 6.11: Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

6.3.2 Schwankungsbreite der Verteilungen

Da die Daten, die für die Berechnung der Verteilungen herangezogen werden, abgesehen von der Monatsmittelung, weder räumlich noch zeitlich gemittelt sind, beinhalten die Häufigkeitsverteilungen eine räumliche und zeitliche Abhängigkeit. Um also Aussagen über die zeitliche bzw. räumliche Struktur der Verteilungen zu treffen, ist es sinnvoll, die Schwankungsbreite zu berechnen.

Für die räumlichen Abweichungen wird für jeden Punkt im Gebiet eine zeitliche Verteilung des speziellen Parameters berechnet, wobei die Zeit jeweils die hohen bzw. niedrigen NAO-Monate beinhaltet. Daraus werden eine mittlere Verteilung und die maximalen räumlichen Abweichungen gewonnen.

Um einen Eindruck der zeitlichen Schwankungsbreite zu erhalten wird für jeden Zeitschritt eine räumliche Verteilung des Gebietes bestimmt, die anschließend gemittelt bzw. maximale zeitliche Abweichungen bestimmt werden.

Die räumlichen Abweichungen der zeitlichen Luftdruckverteilungen (Abb. 6.12) sind für hohe und niedrige NAO-Monate sehr unterschiedlich. Während hoher NAO-Monate sind die Abweichungen sehr groß, da der räumliche Gradient stark ausgebildet ist und die SLP-Verteilungen im Norden sehr viel niedrigere Druckwerte beinhalten als im Süden Skandinaviens. So gibt es beim Modus der mittleren Verteilung maximale Abweichungen von 6%. Daher können aus der mittleren Verteilung nur mit Vorbehalt Rückschlüsse auf die zeitliche Verteilung gezogen werden. Die Druckverteilungen für niedrige NAO-Monate sehen sehr homogen aus, was auch zu erwarten war, da der Luftdruckgradient im Norden Europas geringer ist.

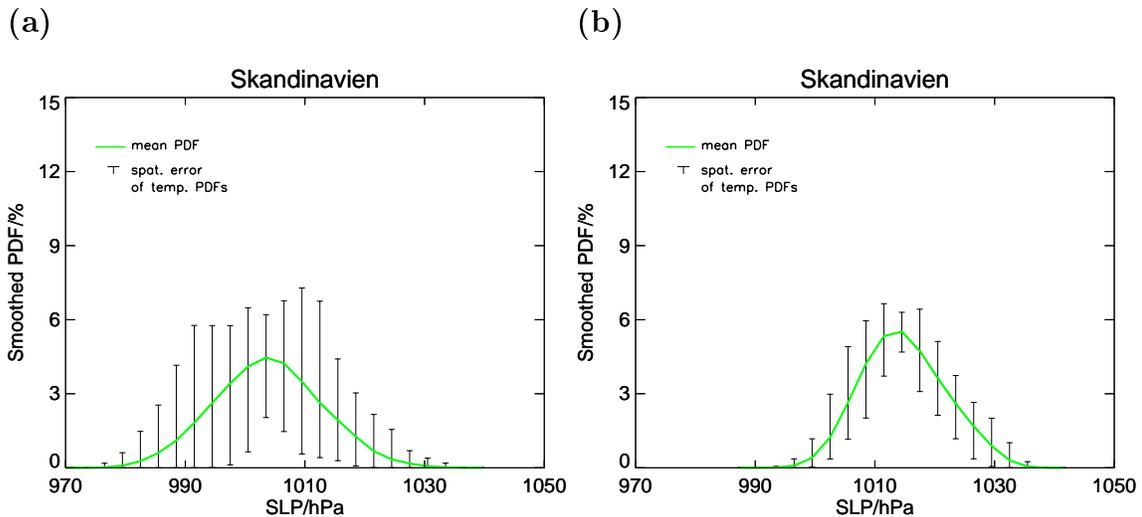


Abbildung 6.12: Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen SLP-Verteilungen in Skandinavien während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Die zeitlichen Abweichungen ähneln den räumlichen sehr stark. Die maximalen Abweichungen liegen hier bei 10%, da der NAO-Index nicht in jedem Monat gleich hoch/niedrig ist und somit auch das räumliche Muster über Skandinavien differiert bzw. bei extrem hoher NAO sehr stark und bei etwas geringerer NAO etwas schwächer ausgebildet ist.

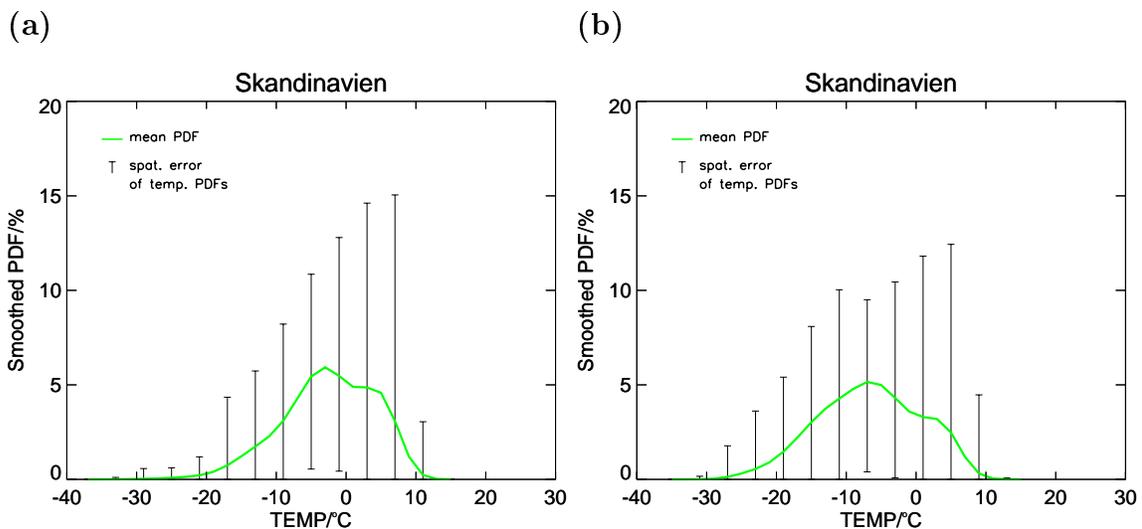


Abbildung 6.13: Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen TEMP-Verteilungen in Skandinavien während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Bei den maximalen Abweichungen der zeitlichen Temperaturverteilungen (Abb. 6.13) wird deutlich, dass diese durch weitere Faktoren wie geographische Breite, Land-See-Verteilung und der topographischen Höhe beeinflusst wird, und somit in beiden Phasen starke Abweichungen auftreten. Während es in den Küstenregionen im Westen aufgrund des Meereinflusses weder zu extrem kalten noch zu sehr warmen Temperaturen kommt, treten die im Landesinneren und im NO Skandinaviens häufig auf. In Skandinavien kommt es bezüglich der Temperatur zu einer starken Inhomogenität, die durch das Verwenden von Anomalien deutlich verringert werden könnte. Bei den räumlichen Temperaturverteilungen sind die maximalen Abweichungen deutlich geringer. Die Abweichungen befinden sich etwa bei 4-5%, während es bei den zeitlichen Verteilungen bis zu 10% waren. Hier kommt der Einfluss verschiedener Monate zum Vorschein. Im Dezember herrschen wesentlich kältere Minimum- und Maximumtemperaturen als z.B. im März. Dies gilt ebenfalls für häufiger auftretenden Temperaturen, wodurch die Verteilungen für März-Monate bei deutlich höheren Temperaturen liegen und die zeitlichen Abweichungen groß werden lässt.

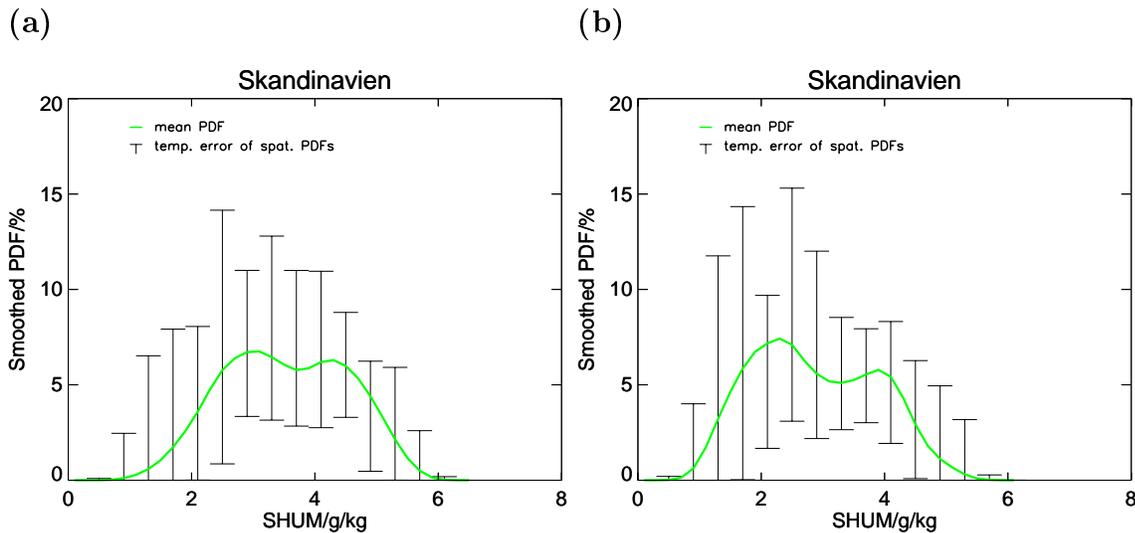


Abbildung 6.14: Schwankungsbreiten der räumlichen SHUM-Verteilungen in Skandinavien während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Die zeitliche Schwankungsbreite der räumlichen Verteilungen der Feuchte (Abb. 6.14) zeigt ein erwartetes Bild, da es relativ hohe Abweichungen gibt. Hier kommt es darauf an, wie positiv bzw. negativ der NAO-Index ist. Bei stark negativem Index weisen die Gebiete im NO Skandinaviens wesentlich geringere Feuchtwerte auf als bei schwächer negativem Index, wodurch vor allem bei den niedrigen Feuchtwerten

ten, die dem Norden bzw. NO zuzuordnen sind, starke Abweichungen auftreten (Abb. 6.14b). Bei hoher NAO kommt es darauf an, wie stark die Westwindzirkulation ist. Ist sie sehr stark ausgeprägt, so werden hohe Feuchtwerte in Skandinavien gemessen, bei etwas schwächerer Westwindzirkulation werden auch die Feuchtwerte geringer, wodurch sich bei hoher NAO starke Abweichungen ergeben (Abb. 6.14a). Auch die zeitlichen spezifischen Feuchteverteilungen differieren sehr stark. Bei hohen NAO-Monaten verläuft die Achse maximalen Feuchtetransports zwar über Skandinavien, allerdings befindet sich das Feuchtemaximum im Süden Skandinaviens (Abb. 7.7) und wird Richtung Norden geringer. Bei niedriger NAO kommt es auf die geographische Lage an, denn die spezifische Feuchte ist in Küstennähe bzw. über dem Nordatlantik meist höher als im Landesinneren. Dies ist nicht allein auf die höhere relative Feuchte zurückzuführen, sondern auch auf die höheren Temperaturen auf Grund der Tatsache, dass der Sättigungsdampfdruck eine reine Funktion der Temperatur ist. Außerdem sind die Mittelwerte der Feuchteanomalien im ganzen Gebiet geringer, da die Westwindzirkulation äußerst schwach ist, wodurch keine großen Feuchtemengen vom Ozean ins Landesinnere transportiert werden und die Achse maximalen Feuchtetransports eine westliche Richtung hat und den Süden Europas etwas stärker beeinflusst, was in den Feuchteanomalien zu sehen ist (Abb. 7.7).

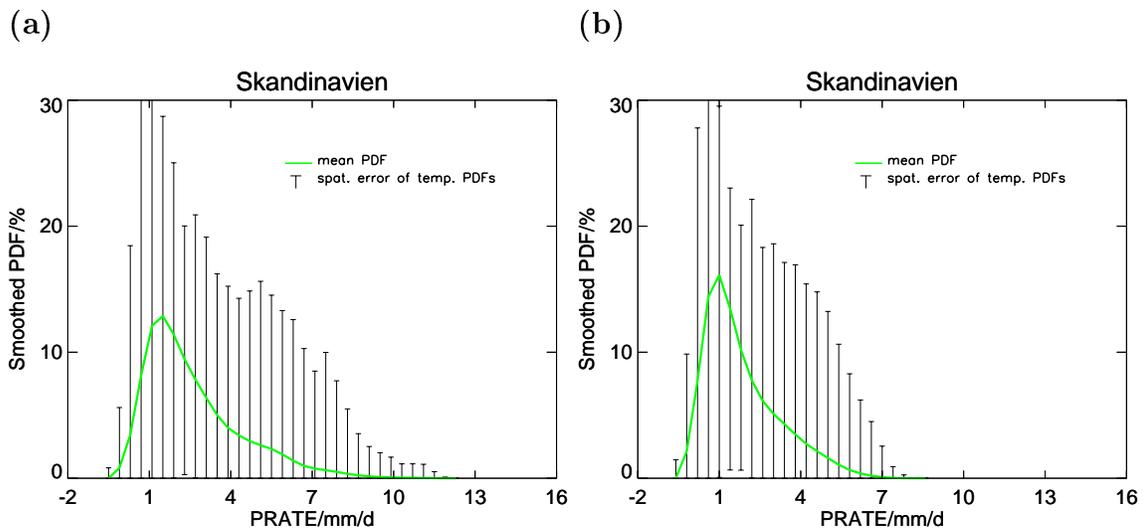


Abbildung 6.15: Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen PRATE-Verteilungen in Skandinavien während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Beim Niederschlag machen sich starke regionale Unterschiede bemerkbar (Abb. 7.9). Während hoher NAO werden sehr feuchte Luftmassen nach Skandinavien transportiert, jedoch fällt ein Großteil des Niederschlags bereits an den Gebirgen und der

SW-Küste bzw. an der NW-Küste Skandinaviens. Im Landesinneren sind geringere Niederschlagsmengen zu erwarten, so dass die Verteilungen an einzelnen Orten Skandinaviens stark unterschiedlich ausfallen und die räumlichen Abweichungen der zeitlichen Verteilungen (Abb. 6.15) extrem groß werden lässt.

Zeitlich zeigen die räumlichen Verteilungen des Niederschlags sowohl bei niedrigen als auch bei hohen NAO-Monaten eine etwas geringere Schwankungsbreite. Sie ist aber immer noch hoch, da es in sehr extremen NAO-Phasen nochmals zu einer Steigerung bzw. Abschwächung der Regenrate, vor allem an der Westküste, kommt.

6.3.3 Extremereignisse

Bei den Verteilungen, wie sie bisher gezeigt wurden, werden Extremwerte nur wenig beachtet, da sie nur einen sehr kleinen, allerdings entscheidenden Beitrag zur Verteilung leisten. In diesem Kapitel wird das Hauptaugenmerk auf die Extrema gelegt. Dazu werden kumulative Verteilungen berechnet, wobei speziell die 5%- und 95%-Perzentile betrachtet wird. Die Werte unter dem 5%-Niveau werden in dieser Arbeit als niedrige Extremereignisse, die über dem 95%-Niveau als hohe Extrema bezeichnet. Als Datenbasis dienen die NCEP/NCAR Reanalysedaten auf monatlicher Basis.

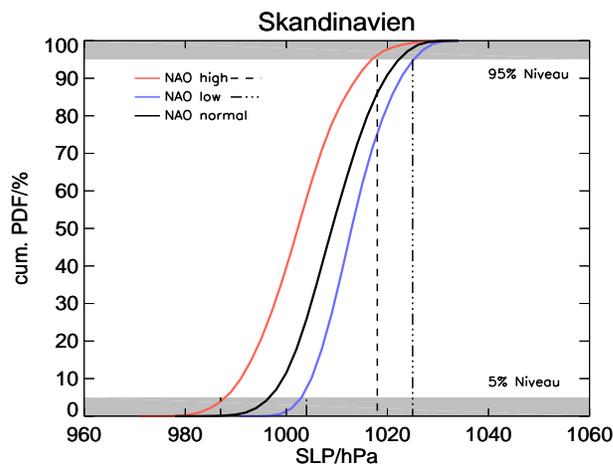


Abbildung 6.16: Kumulative PDF des SLP in Skandinavien während niedriger (blau), hoher (rot) und normaler (schwarz) NAO-Monate.

In Abb. 6.16 sind die kumulativen Verteilungen des SLP aufgetragen. Sie zeigt, dass das 5%-Niveau bei hohen NAO-Monaten bereits bei 987hPa überschritten wird, bei niedrigen erst bei 15hPa höheren Druckwerten. Die niedrigen Extremereignisse sind während hoher NAO-Phasen sehr viel stärker ausgeprägt als während niedriger

NAO, da das räumliche Muster sehr viel geringere Druckwerte beinhaltet, die sich in den niedrigen Extrema widerspiegeln. Beim 95%-Niveau differieren die kumulativen Verteilungen nur um ca. 7hPa. Die Kurve niedriger NAO bleibt dabei immer hinter der hoher NAO zurück. Da durch die großen räumlichen Gradienten eine breitere Skala an Druckwerten abgedeckt wird, nähern sich die Kurven beim 95%-Niveau stärker an. In normalen NAO-Monaten liegt die Kurve dazwischen, allerdings etwas näher bei der niedriger NAO.

Die Verteilungen der Druckanomalien bezogen auf das Mittel normaler NAO-Monate am 5%-Niveau (Abb. 6.17) machen deutlich, dass sich die niedrigen Extremwerte vor allem im Norden des Gebietes stark von denen normaler NAO-Monate unterscheiden. Hier herrschen, ähnlich wie bei den Mittelwerten (Abb. 7.1), in Zeiten hoher NAO sehr niedrige und in Zeiten niedriger NAO sehr viel höhere Druckextrema als normal.

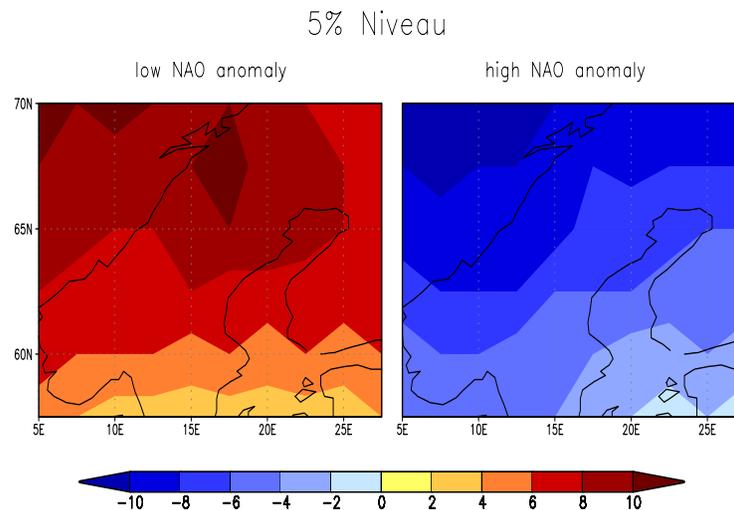


Abbildung 6.17: Bodendruckanomalien am 5%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Skandinavien.

Die niedrigen Extremwerte der Temperatur (Abb. 6.18) beginnen in beiden Kurven bei ca. -25°C , durchlaufen allerdings die 5%-Perzentile in 5°C Abstand. Die Temperaturverteilung niedriger NAO-Monate steigt wesentlich schneller und gelangt schon bei -20°C an das 5%-Niveau, während die hoher NAO-Monate dieses erst bei -15°C erreicht, da ein verstärkter Luftmassentransport über den Nordatlantik stattfindet, die Luftmassen erwärmt werden und somit die Extrema schwächer ausgeprägt sind. Da hier keine Anomalien verwendet wurden, zeigt die 5%-Perzentile die Temperaturen im NO Skandinaviens. Bei Verwendung von Anomalien vom Mittel normaler NAO-Monate am 5% Niveau (Abb. 6.19) zeigen sich auch große Unterschiede. Beim 95%-Niveau differieren die Verteilungen nur noch um 2°C und liegen bei etwa 5°C .

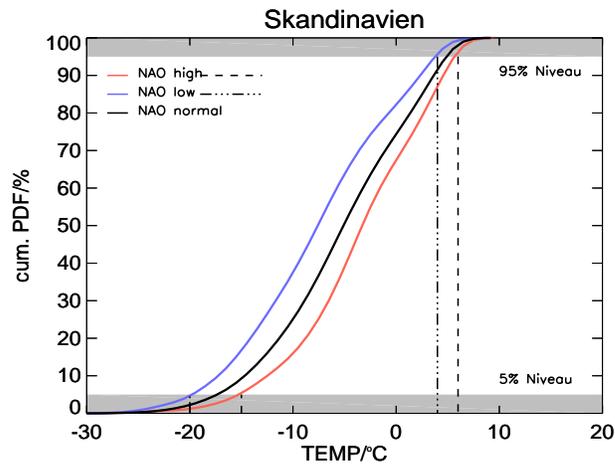


Abbildung 6.18: Kumulative PDF der TEMP in Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Die hohen Extrema treten vor allem an der NW-Küste bzw. im NW des Gebietes auf, wo der Warmlufteinfluss sowohl in hohen, als auch in niedrigen und normalen NAO-Monaten zu beobachten ist.

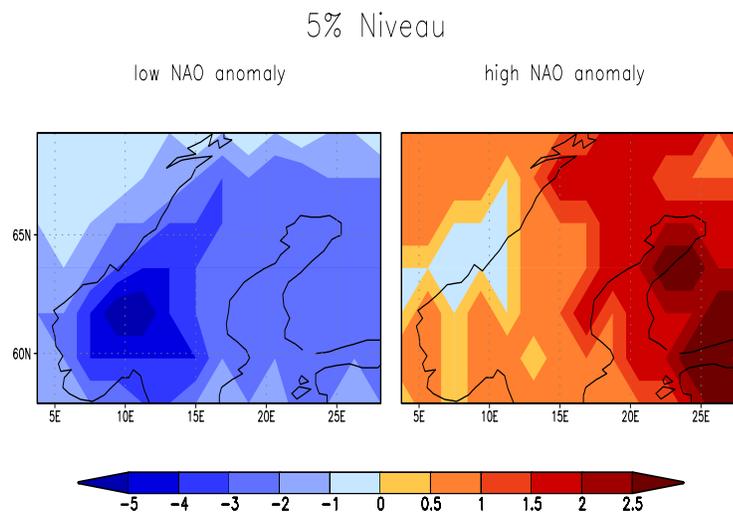


Abbildung 6.19: Temperaturanomalien am 5%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Skandinavien.

Die geringe Differenz am 5% Niveau der Kurven in Abb. 6.18 ist dadurch zu erklären, dass die niedrigen Extrema nur in bestimmten Bereichen Skandinaviens stark von der NAO beeinflusst werden (Abb. 6.19). Während bei niedriger NAO die niedrigen

Temperaturextrema im SW Skandinaviens durch den fehlenden Warmlufteinfluss wesentlich geringer sind als in normalen Monaten, liegt das 5%-Niveau bei hoher NAO im SO des Gebietes bei einem sehr viel höheren Temperaturwert als normal, da während dieser Zeit durch die warmen Luftmassen, die durch die starken Westwinde bis in den Osten Skandinaviens gelangen die Temperaturanomalien größer werden. Die Ausnahme bildet ein Gebiet an der Westküste. Hier sind die niedrigen Extrema geringfügig niedriger als in normalen Monaten, da die Temperaturen hier durch den Nordatlantikeinfluss immer relativ hoch sind, wodurch dieser Bereich stets unter westlichen Warmlufteinfluss gerät und der Warmlufteinfluss bei hoher NAO keine Steigerung mehr hervorruft.

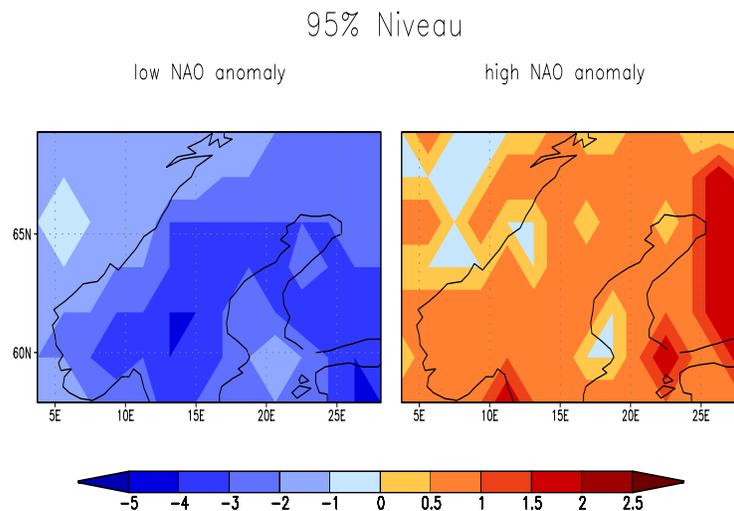


Abbildung 6.20: Temperaturanomalien am 95%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Skandinavien.

Am 95%-Niveau der Temperaturanomalien vom Mittel normaler NAO-Monate (Abb. 6.20) sieht man, dass immer noch dieselben Gebiete wie beim 5%-Niveau (Abb. 6.19) Anomalien zeigen, diese aber wesentlich schwächer ausgeprägt sind. Bei den Extrema des Niederschlags (Abb. 6.21) ist ein deutlicher Unterschied zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten zu erkennen, denn die kumulative PDF hoher NAO-Monate erreicht das 95%-Niveau bei 7.0mm/Tag und damit 2mm/Tag später. Dies resultiert aus den verstärkten Luftmassentransporten über dem Nordatlantik, wodurch die Luftmassen sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen, die in Skandinavien als Niederschlag ausfällt und zu Extremwerten führt. Dies wird in Abb. 6.22 noch deutlicher. Hier sind die Niederschlagsanomalien aufgetragen und man sieht, dass vor allem die hohen Extrema im Westen Skandinaviens stark durch die NAO beeinflusst werden. Dadurch bilden sich hohe Anomalien aus,

da bei niedriger NAO durch die abgeschwächte Westwindzirkulation wesentlich geringere Mengen an Niederschlag im Westen des Gebietes fallen, während in hohen Monaten die Verlagerung des Starkniederschlagbandes nach Norden für sehr hohe Extrema im Westen Skandinaviens sorgen. Im Osten des Gebietes sind die Anomalien des 95%-Niveaus weitestgehend zu vernachlässigen, da die hohen Niederschlagswerte, die zu Extrema führen, bereits an der Westküste ausfallen.

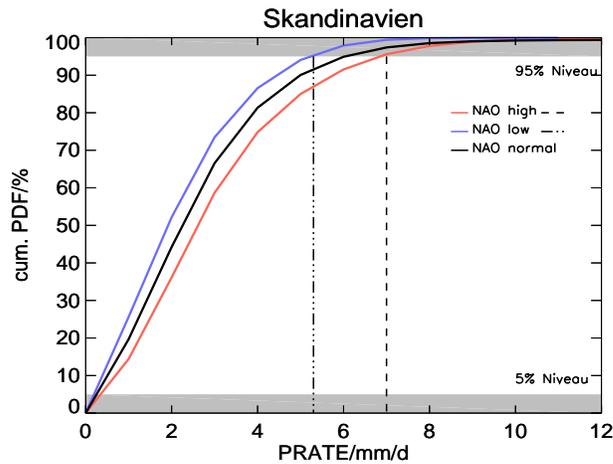


Abbildung 6.21: *kumulative PDF der PRATE in Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.*

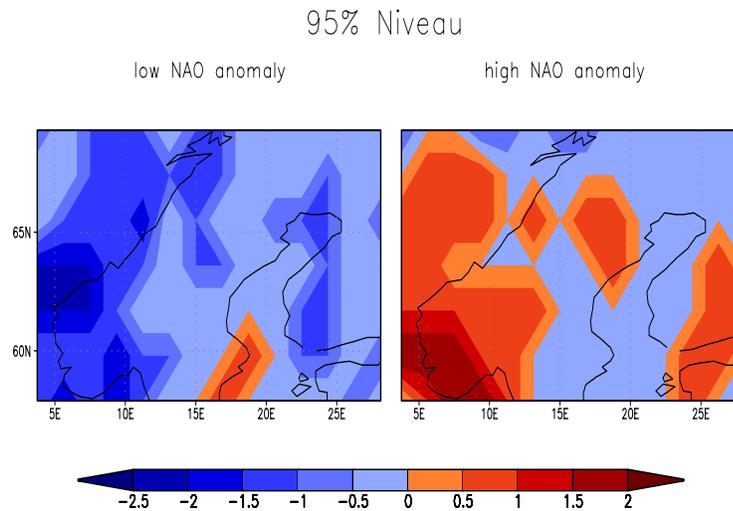


Abbildung 6.22: *Niederschlagsanomalien am 95%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Skandinavien.*

6.3.4 Räumliche Momente

Bei der Gebietsauswahl wurde versucht darauf zu achten, dass die ausgewählten Gebiete nahezu homogen reagieren. Es stellte sich heraus, dass dies häufig nicht realisierbar ist. Dabei entstand die Frage, ob sich auch in den räumlichen Verteilungen, bzw. in den räumlichen statistischen Momenten ein NAO-Einfluss finden lässt.

Dazu werden keine Verteilungen berechnet, sondern statistische Momente wie Standardabweichung, Modus, Schiefe und Exzess für jeden Wintermonat (D,J,F,M), die in Zeitreihen dargestellt und mit der NAO-Zeitreihe korreliert werden. Das veranschaulicht, ob und wie stark die einzelnen räumlichen Momente der verschiedenen Parameter von der NAO abhängen.

SLP-Skandinavien

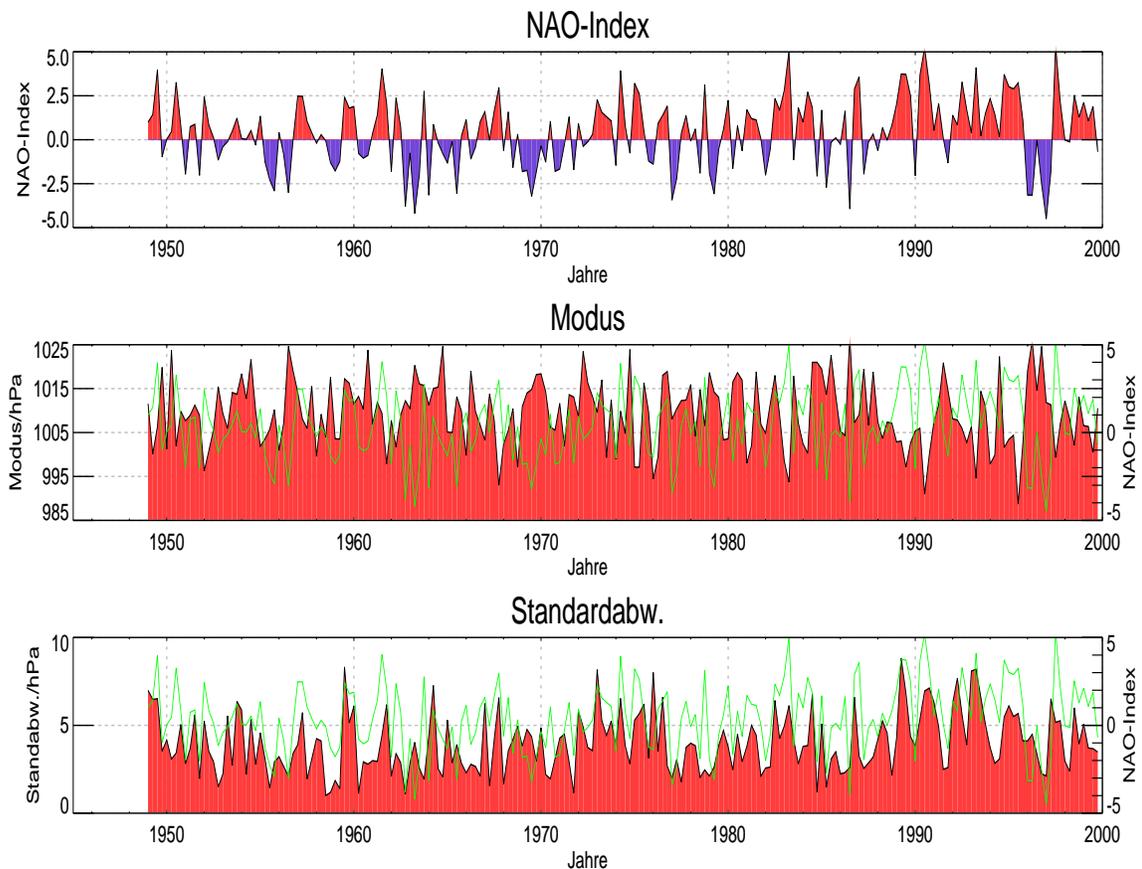


Abbildung 6.23: Zeitreihe des NAO-Indexes (oberes Bild und grüne Kurve in den darunterliegenden Bildern) und der Standardabweichung bzw. des Modus der monatlichen Druckverteilungen.

In Abb. 6.23 sind die räumlichen Momente Standardabweichung und Modus des SLP für die Wintermonate (D,J,F,M) von 1948-2000 aufgetragen und mit der Zeitreihe des NAO-Indexes, welcher im obersten Bild und als grüne Kurve in den unteren Bildern der Abb. 6.23 gezeigt wird, korreliert worden. Die Korrelation des NAO-Indexes mit der Standardabweichung des SLP ergibt 0.6 und mit dem Modus -0.5. Diese Werte sind signifikant auf dem 95% Niveau und zeigen eine räumliche Abhängigkeit des SLP von der NAO. Somit tendiert der Modus der räumlichen SLP-Verteilungen während hoher NAO-Monaten zu niedrigeren Druckwerten und die Standardabweichung wird größer, was auf starke räumliche Gradienten zurückzuführen ist. Bei niedrigen NAO-Ereignissen ziehen weniger und schwächere Tiefdruckgebiete über Skandinavien, der Modus steigt und die Standardabweichung wird geringer.

TEMP-Skandinavien

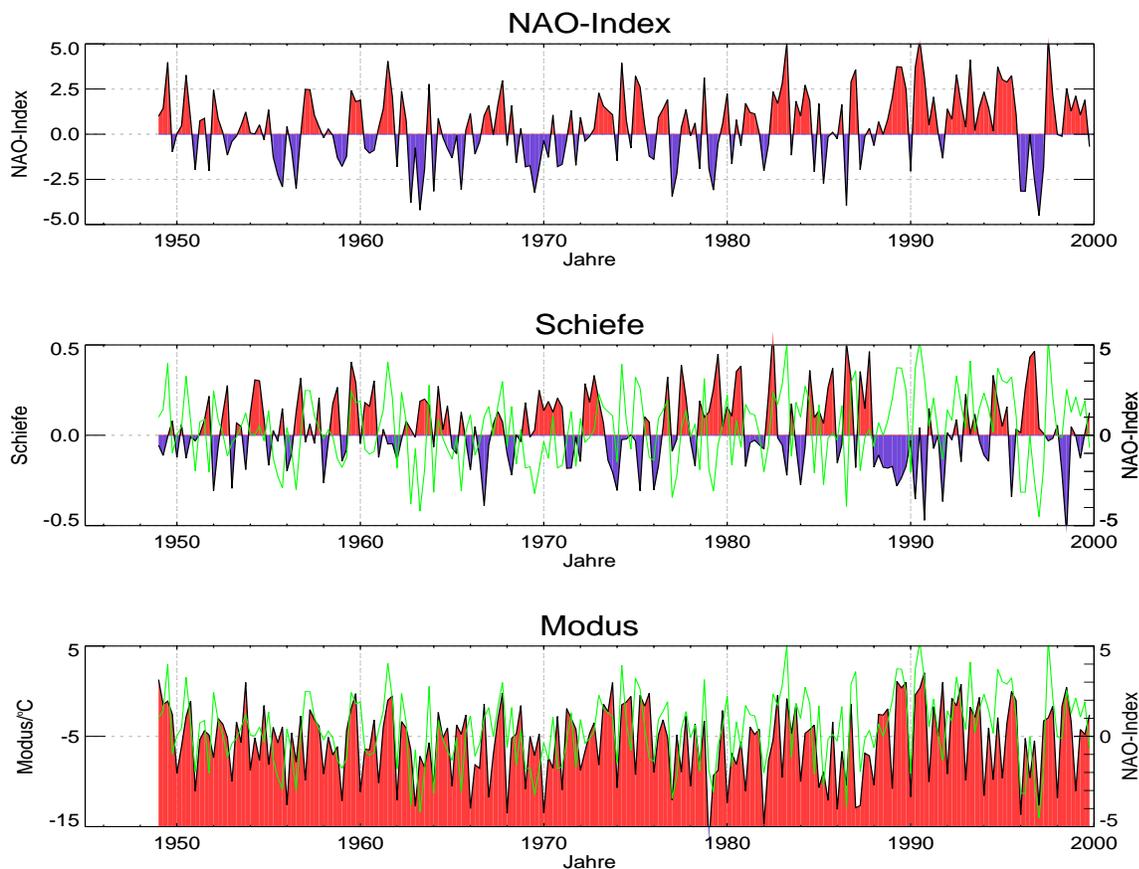


Abbildung 6.24: Zeitreihe des NAO-Indexes (oberes Bild und grüne Kurve in den darunterliegenden Bildern) und der Schiefe bzw. des Modus der monatlichen Temperaturverteilungen.

Bei der räumlichen Temperaturverteilung sind vor allem die Schiefe und der Modus (Abb. 6.24) signifikant mit der NAO korreliert. Die Korrelationswerte ergeben für die Schiefe einen Wert von -0.4 und für den Modus 0.6 und sind auf dem 95% Niveau signifikant. Die Temperaturverteilungen weichen bei hohen NAO-Monaten weit von einer Normalverteilung ab und tendieren zu einer stark negativ schiefen Verteilung mit einem Modus, der bei wesentlich höheren Temperaturwerten angesiedelt ist. Dies spiegelt im wesentlichen Abb. 6.9 wider und ist durch die unterschiedlichen geographischen Beschaffenheiten in Skandinavien zu erklären. Denn sehr hohe Temperaturen werden durch den Einfluss des Meeres und die Lage in hoher geographischer Breite vermieden, allerdings treten sehr niedrige Temperaturen, vor allem im NO und den Bergregionen häufig auf.

6.4 Ostsee

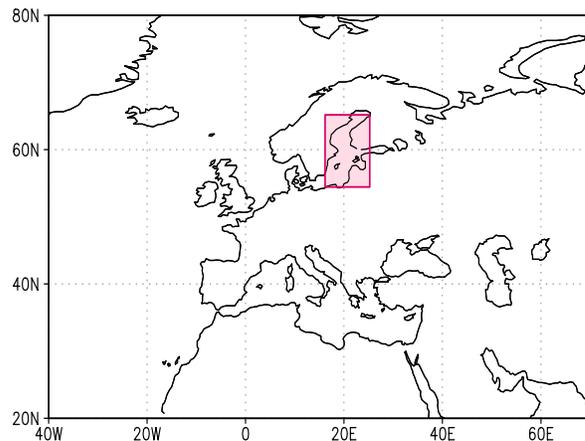


Abbildung 6.25: *Untersuchungsgebiet Ostsee*

Als zweites Gebiet im Norden Europas wird die Ostsee betrachtet. Das ausgewählte Gebiet ist größtenteils im Gebiet Skandinavien enthalten. Es nimmt eine gewisse Sonderstellung ein, da hier der Einfluss der NAO auf Bereiche der See, bzw. Küstenbereiche untersucht werden kann. Außerdem wird das Gebiet ausgewählt, weil es das Experimentierfeld von BALTEX ist.

6.4.1 Häufigkeitsverteilungen

Die PDF des SLP (Abb. 6.26) bei hoher NAO ist durch die sehr niedrigen Druckwerte (siehe auch Abb. 7.1) stark unterschiedlich zur PDF niedriger NAO-Monate. Dieser Unterschied erweist sich bei Verwendung des U-Tests (Kap.3.4.1) als signifikant. Die Modusdifferenz beläuft sich auf ungefähr 6hPa. Außerdem ist während hoher NAO-Monate die Standardabweichung signifikant größer, ansonsten sind die Verteilungen nahezu normalverteilt und, wie erwartet, denen Skandinaviens sehr ähnlich.

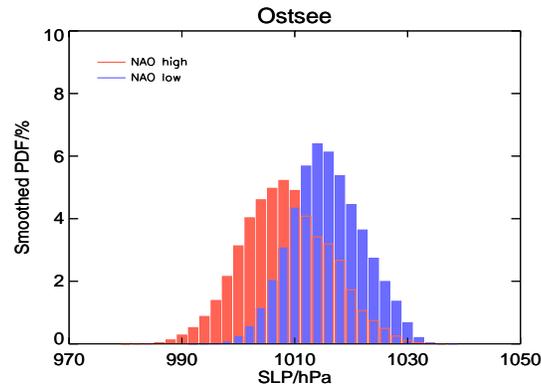


Abbildung 6.26: Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Die Temperaturverteilungen (Abb. 6.27) für das Ostseegebiet weichen aufgrund ihrer hohen negativen Schiefe stark von einer Normalverteilung ab. Da bei hoher NAO durch die starken Westwinde warme Luftmassen über den Nordatlantik nach Europa transportiert werden, ist die Verteilung extrem negativ schief, wodurch sie einen höheren Modus und Mittelwert bekommt und die Werte unter -10°C deutlich seltener auftreten (siehe Abb. 7.4). Schwächen sich die Westwinde ab, so gelangt Kaltluft aus dem Norden bzw. Osten in das Gebiet, wodurch der Modus ca. 10°C niedriger ausfällt, die Schiefe schwächer wird und die Verteilung zu größtenteils negativen Werten tendiert.

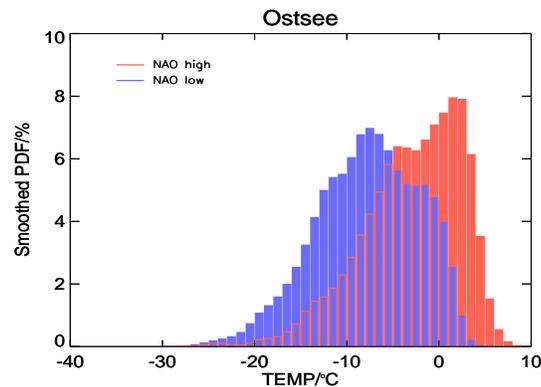


Abbildung 6.27: Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

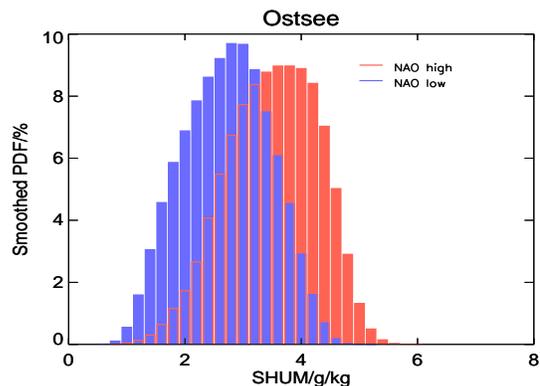


Abbildung 6.28: Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate

Die spezifische Feuchte reagiert auf die NAO indem ihre Verteilungen zwar normalverteilt, aber gegeneinander verschoben sind. Der Modus liegt bei hoher NAO mit 4g/kg um 1g/kg höher als bei niedriger NAO und die Werte von 3.2g/kg bis 5.6g/kg treten durch die Verlagerung der Achse maximalen Feuchtetransports während hoher NAO im Ostseegebiet deutlich häufiger auf, während die Werte 1-2.5g/kg extrem selten werden (Abb. 7.7). Die Standardabweichung wird bei hoher NAO etwas größer (Abb. 7.8), die Änderungen sind allerdings nicht signifikant. Das Doppelmaximum, das bei Skandinavien noch zu sehen war, verschwindet, da das Gebiet relativ klein ist und die Feuchte deshalb sehr homogen reagiert.

Der Niederschlag wird durch die NAO nur sehr gering und nach dem U-Test nicht signifikant beeinflusst. Dies verwundert etwas, da für den Norden Europas während der hohen NAO-Phase laut Greatbatch (1999) höhere Niederschlagraten zu erwarten sind. Allerdings konnte bereits in Abb. 6.22 gezeigt werden, dass eine solche Niederschlagsbeeinflussung hauptsächlich den orographisch bedingten Niederschlag an der Westküste Norwegens betrifft. Außerdem könnte es sein, dass die 'kernel density method' die hier zur Verteilungsberechnung herangezogen wird, den Niederschlag nicht so gut wie die anderen Parameter wiedergeben kann, da er nicht annähernd normalverteilt ist, wodurch die optimale Fensterbreite etwas überschätzt werden kann und die Glättung zu groß wird (siehe Kap.3.1).

6.4.2 Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3

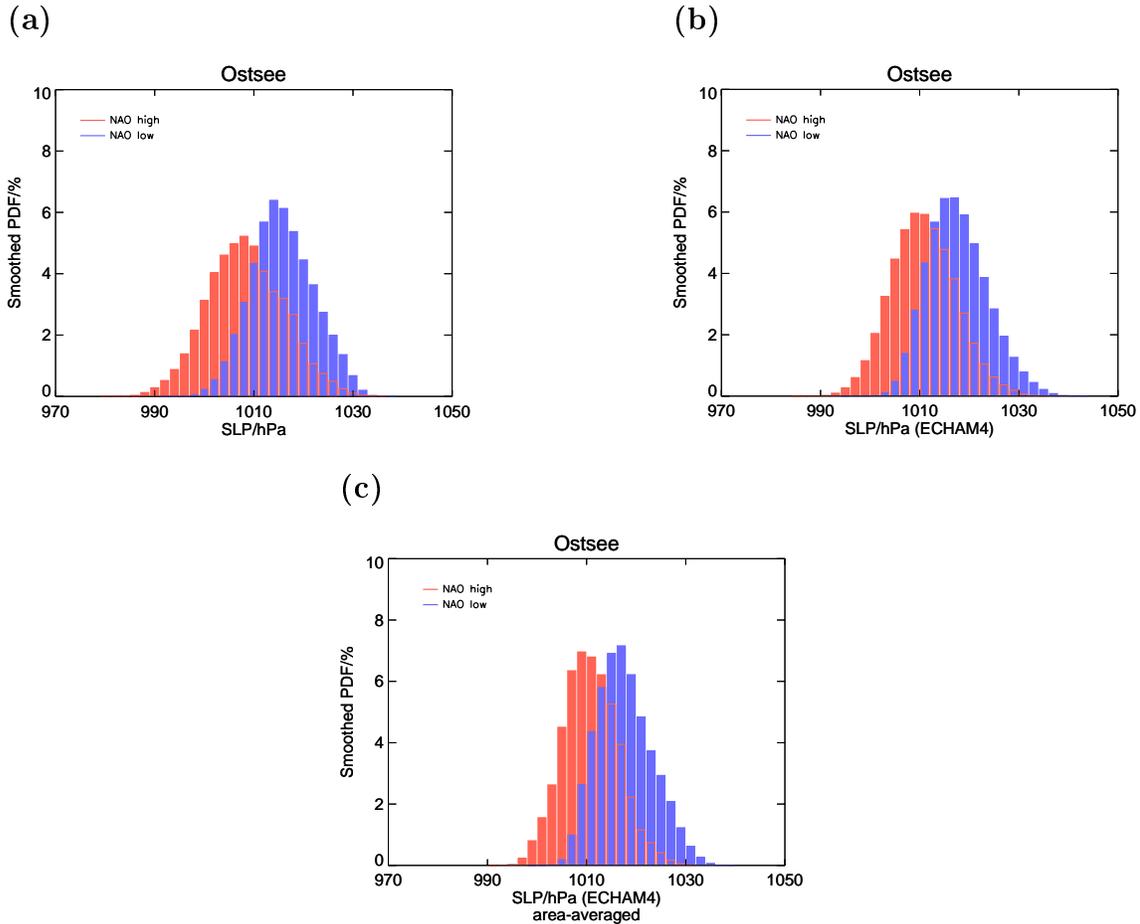


Abbildung 6.29: Verteilungen der SLP-Monatsmittel für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate im Ostseegebiet, wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM₄/OPYC3 Daten besteht und in (c) vor der Auftragung der Verteilungen aus den ECHAM₄/OPYC3 Daten ein Gebietsmittel berechnet wurde.

In Abb. 6.29 sind die SLP-Verteilungen für die Datensätze NCEP/NCAR und ECHAM₄/OPYC3 dargestellt. Die Abbildungen (a) und (b) enthalten jeweils eine räumliche und zeitliche Abhängigkeit, was in (c) durch die räumliche Mittelung auf eine zeitliche reduziert wurde. Beim Vergleich zwischen (a) und (b) sieht man, dass die Abweichungen zwischen den beiden Extremphasen in den Modelldaten geringer sind, d.h. die Verteilungen nur noch um etwa 5-6hPa differieren, wobei die Werte bei niedriger NAO höher sind. Außerdem ist die Form sehr ähnlich. Sie kommt

einer Normalverteilung sehr nahe. Die räumliche Mittelung in Abb.6.29c zeigt keine Veränderungen, womit die räumliche Variabilität als sehr gering angenommen werden kann, was für das kleine Gebiet der Ostsee zu erwarten war.

Es muss allerdings angemerkt werden, dass das Modell wesentlich weniger Zyklo- nen produziert, die eine langsamere Zuggeschwindigkeit haben und somit länger existieren als die der Reanalysen, wodurch sie geringere Minimal- bzw. Kerndrucke aufweisen. Deshalb tendieren auch die Monatsmittel zu höheren SLP-Werten. Da- durch ist der Minimaldruck in den Modellverteilungen immer etwas höher als bei den Reanalysen und die Verteilungen werden durch niedrigere Standardabweichun- gen etwas schmaler.

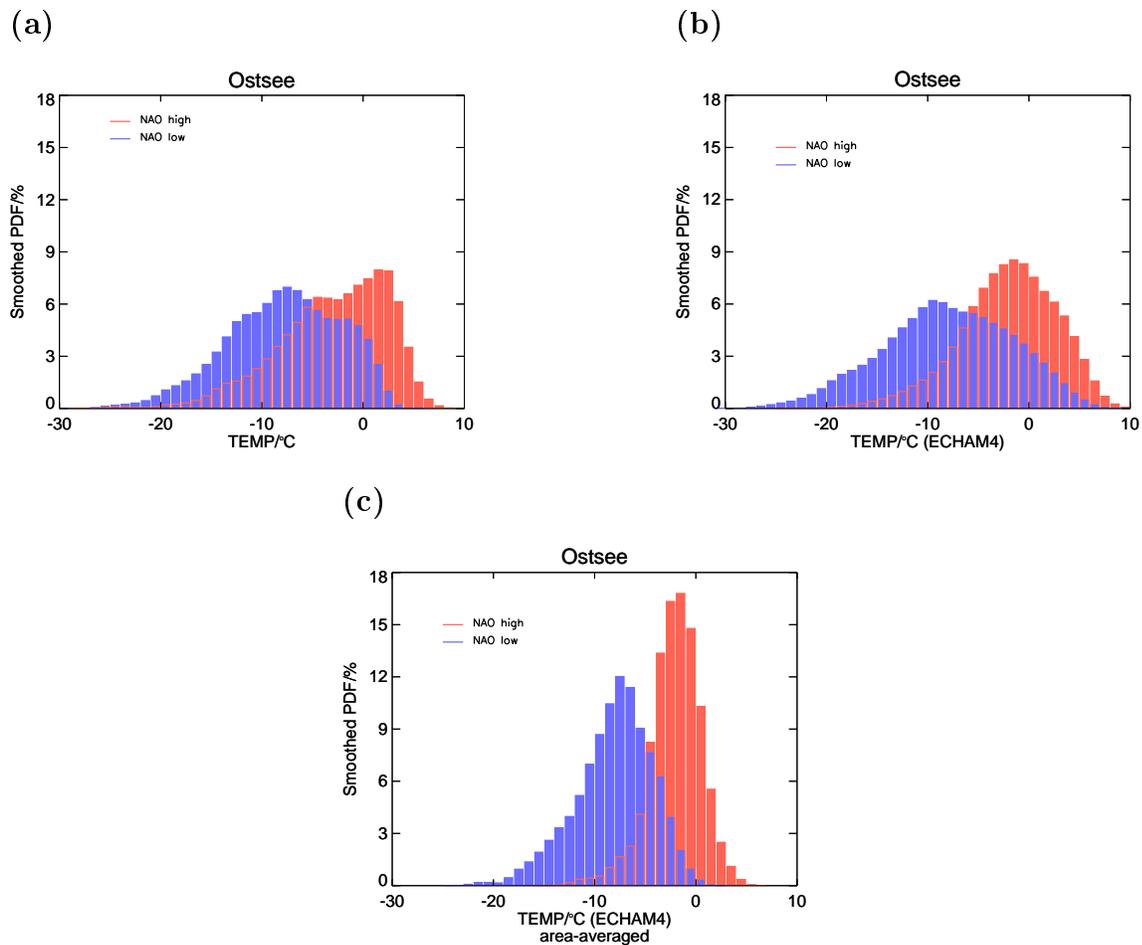


Abbildung 6.30: Verteilungen der TEMP-Monatsmittel für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate im Ostseegebiet, wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM4/OPYC3 Daten besteht und in (c) vor der Auftragung der Verteilungen aus den ECHAM4/OYPC3 Daten ein Gebietsmittel berechnet wurde.

Bei der Temperatur zeigt sich ein völlig anderes Bild (Abb. 6.30). Die ungemittelten Verteilungen decken einen Temperaturbereich von 30°C ab, d.h., bei beiden Verteilungen ist die Standardabweichung groß. Die Verteilungen der ECHAM4/OPYC3 Daten sind etwas glatter, da sie aus einer größeren Datenmenge gewonnen wurden. Die Unterschiede zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten sind bei beiden Datensätzen sehr ähnlich, wobei das angedeutete Doppelmaximum der NCEP/NCAR Daten, bei den Modelldaten vollkommen verschwindet und die Temperaturverteilung hoher NAO-Monate bei den Modelldaten erst bei etwa -20°C beginnt und somit um 8°C zu höheren Temperaturen verschoben ist. Die Mittelung in Abb. (c) führt zu einer starken Reduzierung der Standardabweichung. Sie wird nahezu halbiert, ist aber bei niedriger NAO noch wesentlich größer als bei hoher NAO. Es besteht eine starke räumliche Schwankungsbreite, wie auch in Skandinavien, da die Temperaturen mit der geographischen Breite, die hier von 53-65° reicht, variieren. Diese Variation könnte durch Verwendung von Anomalien reduziert werden. Außerdem liegen manche Bereiche gänzlich über Wasser, andere an der Küste und über Land, die sich wesentlich schneller erwärmen als die Luft über See. Diese Einflüsse verschwinden bei der räumlichen Mittelung. Es ist zu erkennen, dass die zeitliche Variation der Gebietsmittel bei niedriger NAO durch die wesentlich größere Standardabweichung sehr viel höher ist. Auf den Modus hat die Mittelung jedoch keinen Einfluss. Hier besteht weiterhin eine Differenz von etwa 10°C, die auf dem 95% Niveau signifikant ist. Das heißt, während die häufigsten Werte in hohen NAO-Monaten bei ca. 0°C liegen, ist es bei niedrigen NAO-Monaten mit -10 °C signifikant kälter, da die westlichen Wetterlagen mit den relativ warmen Luftmassen abgeschwächt werden und sich das Sibirische Hoch weit nach Westen ausdehnen kann. Die Variationsbreite bei niedrigen NAO-Monaten ist zudem größer.

Auf einen Vergleich der spezifischen Feuchtedaten muss verzichtet werden, da für diesen Parameter keine Modelldaten zur Verfügung stehen.

6.4.3 Verteilungen bei lag1-Verschiebung der NAO

Bisher wurden die atmosphärischen Parameter zur Zeit niedriger bzw. hoher NAO-Phasen betrachtet, da die Parameter sehr schnell auf die NAO reagieren. Es ist jedoch nicht bekannt, ob der Einfluss auch im darauffolgenden Monat noch sichtbar ist. Somit werden nicht die hohen bzw. niedrigen, sondern die Monate, die an hohe bzw. niedrige NAO-Monate anschließen, untersucht.

Als Erstes werden die NAO-Indizes korreliert um zu klären, wie häufig einem negativen (positiven) NAO-Index wieder ein solcher folgt. Dazu werden die Dezember- mit den Januar-, die Januar- mit den Februar- und die Februar- mit den Märzindizes korreliert.

korr. NAO-Indizes	r
Dezember-Januar	0.2
Januar-Februar	0.2
Februar-März	0.15

Tabelle 6.1: Autokorrelation mit einer 1-monatigen Zeitverschiebung.

In Tab. 6.1 sind die Korrelationskoeffizienten r der einzelnen Monate aufgetragen. Die Korrelationen bewegen sich zwischen 0.15 und 0.2 und sind auf dem 95% Niveau nicht signifikant (siehe auch Osborn et al. (1999)).

Die Anhäufungen von niedrigen bzw. hohen NAO-Monaten hintereinander sind sehr selten, und falls es Unterschiede bei den lag1-Verteilungen gibt, nicht auf solche zurückzuführen.

Der Druck hat sich in den folgenden Monaten normalisiert. Dies bestätigt, dass die NAO-Indizes der einzelnen Monate nicht signifikant korreliert sind.

Betrachtet man die Temperatur (Abb. 6.31), so stellt man einen noch starken Unterschied fest, der sich bei Anwendung des White-Noise-Tests als signifikant erweist. Zwar ist die Modusdifferenz beider Verteilungen geringer geworden, aber die Schiefe ist mit -0.5 in Nachfolgemonaten hoher NAO signifikant unterschiedlich, da sie deutlich negativer ist. Es ist zu erkennen, dass die Werte zwischen -20 und -5°C in hoher NAO nachfolgenden Monaten sehr viel seltener auftreten. Dies liegt vermutlich daran, dass die Abkühlung (Erwärmung) der Ostsee nach hohen (niedrigen) NAO-Monaten sehr langsam erfolgt, wodurch die Temperaturen beeinflusst werden. Somit sind die Temperaturen noch deutlich höher (geringer) als normal.

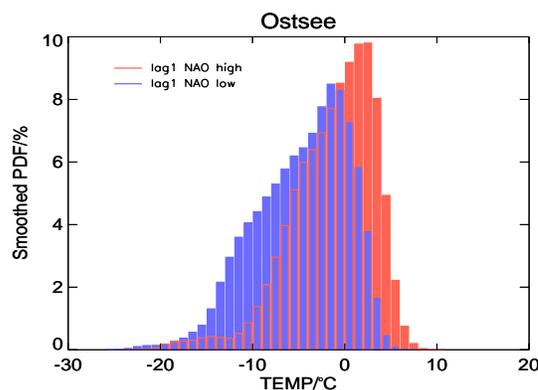


Abbildung 6.31: PDFs der TEMP für lag1 Verschiebungen, während an niedrige NAO anschließende Monate blau und an hohe NAO anschließende rot dargestellt sind.

6.5 Mitteleuropa

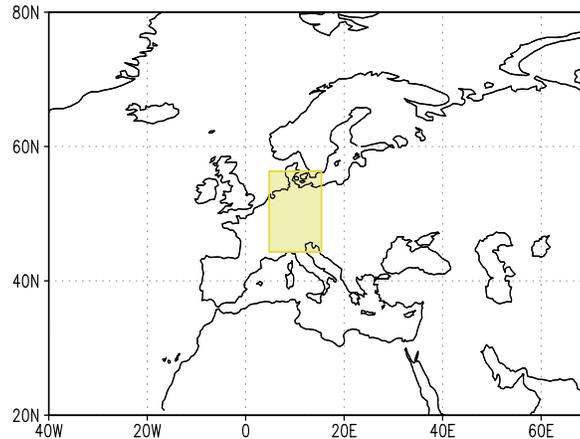


Abbildung 6.32: *Untersuchungsgebiet Mitteleuropa*

Das Gebiet Mitteleuropa umfasst Deutschland und seine angrenzenden Nachbarländer. Das Gebiet ist besonders interessant da sich in den EOF-Mustern (Kap.4.1) zur Gebietsauswahl zeigte, dass es häufig die Übergangszone zwischen den beiden Polen bildet und deshalb starken räumlichen Gradienten unterliegt. Es wird sowohl von den Tiefdruckgebieten im Norden, als auch von den Hochdruckgebieten im Süden Europas beeinflusst. Deshalb ist es möglich, dass sich nur ein schwacher NAO-Einfluss zeigt.

6.5.1 Häufigkeitsverteilungen

Bei den Verteilungen des SLP (Abb. 6.33) kommt zum Vorschein, was bereits oben angedeutet wurde. Die PDFs des SLPs sind in Mitteleuropa auf dem 95% Niveau nicht signifikant unterschiedlich. Zwar ist die Standardabweichung hoher NAO-Monate etwas größer und der Modus etwa 4hPa höher, unterzieht man sie allerdings einem Signifikanztest, wie den U-Test (Kap.3.4.1), so ergeben sich keine Unterschiede. Dies kommt durch den 'Grenzbereich' in Mitteleuropa zustande. Während der Norden des Gebietes bei hoher NAO noch durch niedrige Druckwerte auffällt, bekommt der Süden bereits den Hochdruckeinfluss Südeuropas zu spüren. Somit sind die hohen dem Süden und die tiefen Druckwerte dem Norden Mitteleuropas zuzuordnen (siehe Abb. 7.1). Das Gebiet ist für den SLP sehr inhomogen und zeigt keine

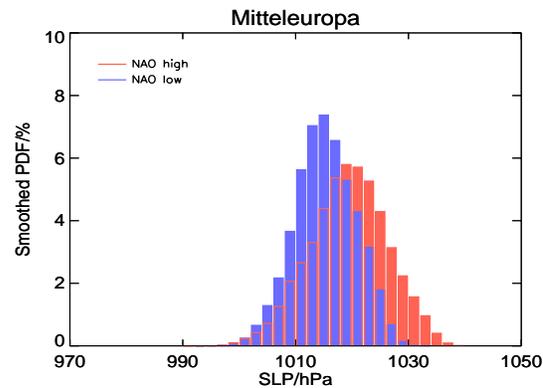


Abbildung 6.33: Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

signifikanten Unterschieden.

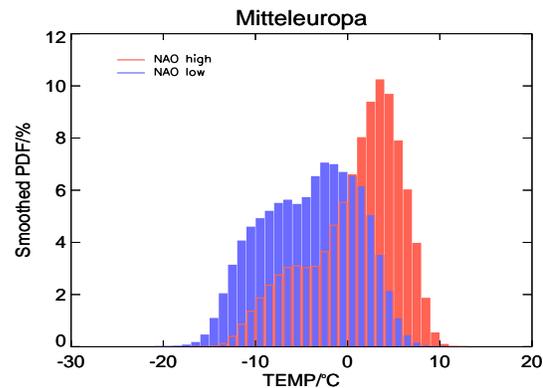


Abbildung 6.34: Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Diese räumliche Inhomogenität ist auch in den Temperaturverteilungen (Abb. 6.34) wiederzufinden. Hier ist sowohl bei niedrigen als auch bei hohen NAO Wintermonaten ein 'Bauch' auf der linken Seite und eine Spitze mit dem Modus auf der rechten Seite der Verteilungen zu erkennen. Die Spitze bei hoher NAO resultiert aus dem westlichen Warmlufteinfluss. Dieser wirkt sich auf den Nordwesten und Norden Mitteleuropas aus und führt zu wärmeren Temperaturen. Außerdem hat die Ostsee einen erwärmenden Einfluss auf ihre angrenzenden Küstenbereiche. Der 'Bauch' auf der linken Seite spiegelt die Temperaturen im Süden des Gebietes wider. Hier ist der

Einfluss auf die Temperatur schwächer (Abb. 7.4). Während niedriger NAO-Phasen stoßen die warmen Luftmassen aufgrund der abgeschwächten Westwinde nicht bis in das Gebiet vor. Deshalb tendiert die Temperaturverteilung zu deutlich niedrigeren Werten und es zeigt sich im U-Test und auch im White-Noise-Test ein Unterschied auf dem 95%-Signifikanzniveau, wodurch sowohl Schiefe, als auch Modus, Mittelwert und Standardabweichung signifikant unterschiedlich sind (siehe auch Kapitel 7.2).

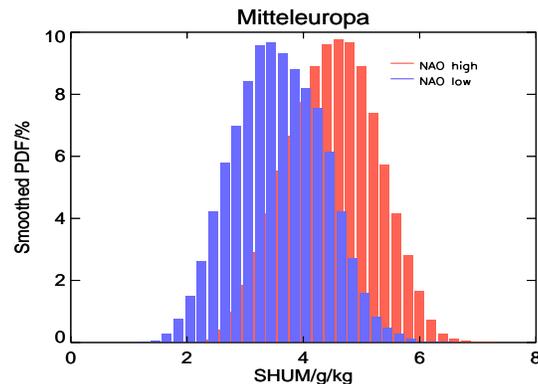


Abbildung 6.35: Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Bei der spezifischen Feuchte sehen die Verteilungen (Abb. 6.35) denen des Ostseegebiets sehr ähnlich. Das Maxima des Feuchtetransports zieht bei hoher NAO durch die Verlagerung der Achse auf SW Richtung vor allem über den Norden Mitteleuropas hinweg (Abb. 7.7). Deshalb sind die Werte in beiden NAO-Phasen um etwa 1-2g/kg höher und es kommt zu einem signifikanten Unterschied bei der Anwendung des U-Tests. Die anderen statistischen Momente, wie Standardabweichung (Abb. 7.8), Schiefe oder Exzess zeigen keine Veränderung in extremen NAO-Zeiten, wodurch die Verteilungen normalverteilt sind.

Auf den Niederschlag hat die NAO wie erwartet wenig Einfluss, da durch die Verlagerung der maximalen Regenrate in der hohen NAO-Phase von Süden nach Norden weitestgehend der Norden und Süden Europas beeinflusst werden (siehe Kap.7.4).

6.5.2 Schwankungsbreite der Verteilungen

Wie bereits festgestellt, stellt Mitteleuropa während hoher NAO-Phasen in Bezug auf den SLP eine Übergangszone dar (Abb. 7.1). Dies lässt eine große räumliche Schwankungsbreite in den zeitlichen Verteilungen vermuten. Um dies genauer zu

untersuchen, werden die räumlichen Abweichungen von der mittleren Verteilung berechnet.

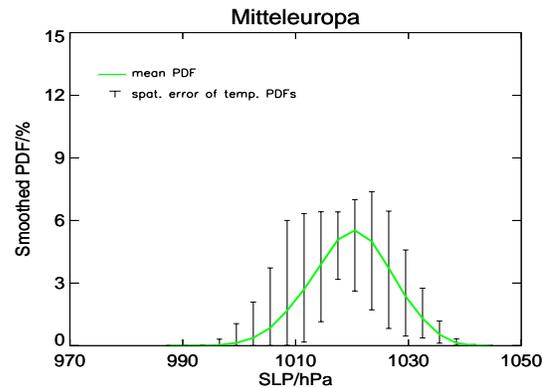


Abbildung 6.36: *Räumliche Schwankungsbreite der zeitlichen SLP-Verteilungen in Mitteleuropa während hoher NAO-Monate.*

In Abb. 6.36 bestätigt sich die Vermutung. Hier ist die räumliche Schwankungsbreite der zeitlichen Druckverteilungen während hoher NAO-Monate in Mitteleuropa dargestellt. An manchen Stellen der Verteilung kommt es zu Abweichungen von 6%, die darauf zurückzuführen sind, dass die Druckwerte während hoher NAO im Norden des Gebietes deutlich niedriger sind als im Süden. Dadurch beinhalten die Verteilungen im Norden wesentlich niedrigere Druckwerte als im Süden, wodurch die Abweichungen sehr groß werden.

Bei niedriger NAO sind die Anomalien der Druckwerte (Abb. 7.1) im Norden stark positiv, während sie Richtung Süden zunehmend negativ werden, wodurch die Abweichungen ebenfalls sehr groß sind.

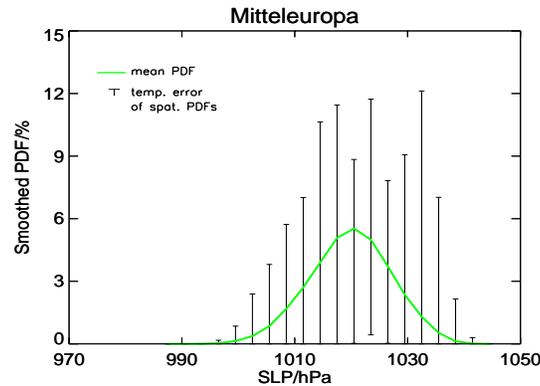


Abbildung 6.37: Zeitliche Schwankungsbreiten der räumlichen SLP-Verteilungen in Mitteleuropa während hoher NAO-Monate.

Aber auch die zeitlichen Abweichungen der räumlichen Verteilungen bei hoher NAO (Abb. 6.37) sind sehr hoch, sogar noch wesentlich größer als die räumlichen, da die 'Übergangszonen' von Monat zu Monat unterschiedlich sein kann und vor allem in den letzten 20 Jahren durch die Verlagerung der NAO-Zentren weiter südlich verläuft (Jung et al., 2000), wodurch die räumlichen Gradienten nicht immer gleich stark ausgebildet sind.

6.5.3 Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3

Zum Datenvergleich werden die Parameter SLP und Temperatur herangezogen, da die Temperatur die größten Abhängigkeiten von der NAO zeigt und beim SLP interessant ist, ob die Werte des Modells den Übergangsbereich ebenfalls wiedergeben.

Beim Vergleich des SLP (Abb. 6.38) treten deutliche Unterschiede auf. Während die Verteilungen für NCEP/NCAR Daten nicht signifikant unterschiedlich waren, zeigen die Modelldaten signifikante Unterschiede. Hier liegt die Druckverteilung hoher NAO-Monate bei deutlich höheren Werten und die Druckdaten niedriger NAO fallen nach dem Modus, der für beide Datensätze bei etwa 1016hPa liegt, wesentlich schneller ab. Somit unterscheiden sich die Werte der Modelldaten hoher und niedriger NAO-Monate vor allem ab 1020hPa deutlich.

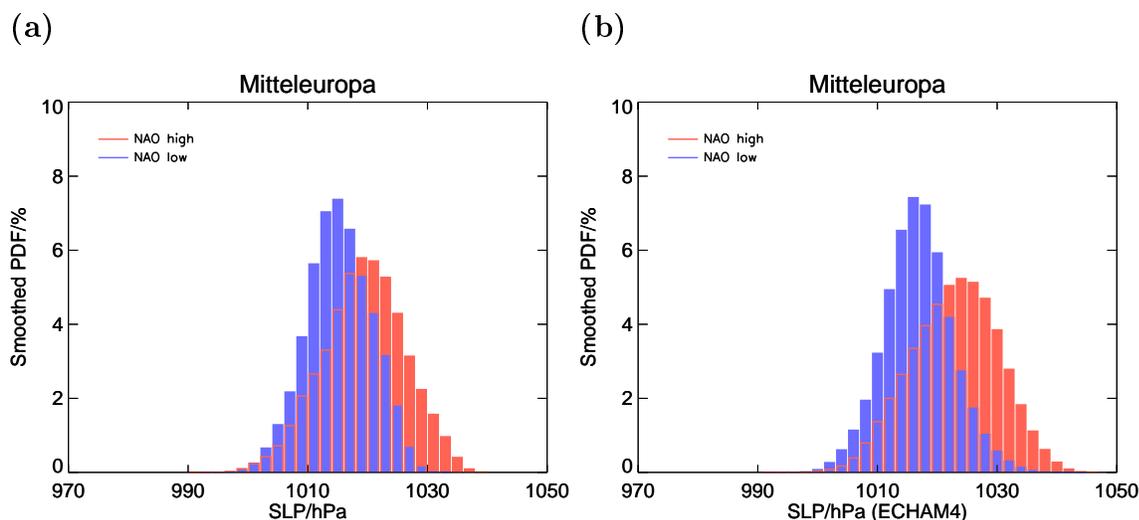


Abbildung 6.38: Verteilungen der SLP-Monatsmittel für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate in Mitteleuropa, wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM4/OPYC3 Daten besteht.

Bei den Temperaturen ist es genau umgekehrt. Die Schiefen der NCEP/NCAR Daten sind bei Anwendung des White-Noise-Tests signifikant unterschiedlich, die der Modelldaten allerdings nicht. Diese sind im Gegensatz zu den Reanalysedaten annähernd normalverteilt, was teilweise durch die größere Datenmenge zustande kommt. Doch bei den Reanalysen treten die Werte zwischen -10 und -5°C sehr häufig auf, während die Modelldaten erst bei etwa -5°C beginnen und somit den 'Bauch' der Reanalysen nicht bestätigen. Da der Übergangsbereich bei den Modelldaten etwas weiter südlich verläuft, stoßen die warmen Luftmassen weiter in den Süden vor. Deshalb sind die Temperaturen vor allem im Süden höher als bei den NCEP/NCAR Reanalysen (siehe Abb. 7.4). Allerdings muss auch die Datenaufösung angesprochen werden. Denn während die Reanalysedaten eine Auflösung von $1.9 \times 1.9^{\circ}$ haben, ist sie bei den Modelldaten mit $2.8 \times 2.8^{\circ}$ um ein Grad grober, wodurch eine größere Glättung in den Daten entsteht und die Orographie schlechter aufgelöst wird, was sich z.B. in den Alpen bemerkbar macht, da die Temperaturen der Bergregionen sehr schlecht wiedergegeben werden können. Bei den räumlich gemittelten Verteilungen der Modelldaten ist zwar die Modusdifferenz erneut nicht groß, die Standardabweichung der beiden Verteilungen ist aber stark unterschiedlich, denn die der hohen NAO-Monate ist nur halb so groß wie die der niedrigen, was bedeutet, dass die zeitliche Variabilität in niedrigen NAO-Monaten deutlich größer ist. Dies wird vor allem im negativen Temperaturbereich deutlich. Hier beginnt die PDF niedriger NAO bereits bei -10°C , die hoher NAO hat ihre Anfangswerte dagegen erst bei -3°C . Somit

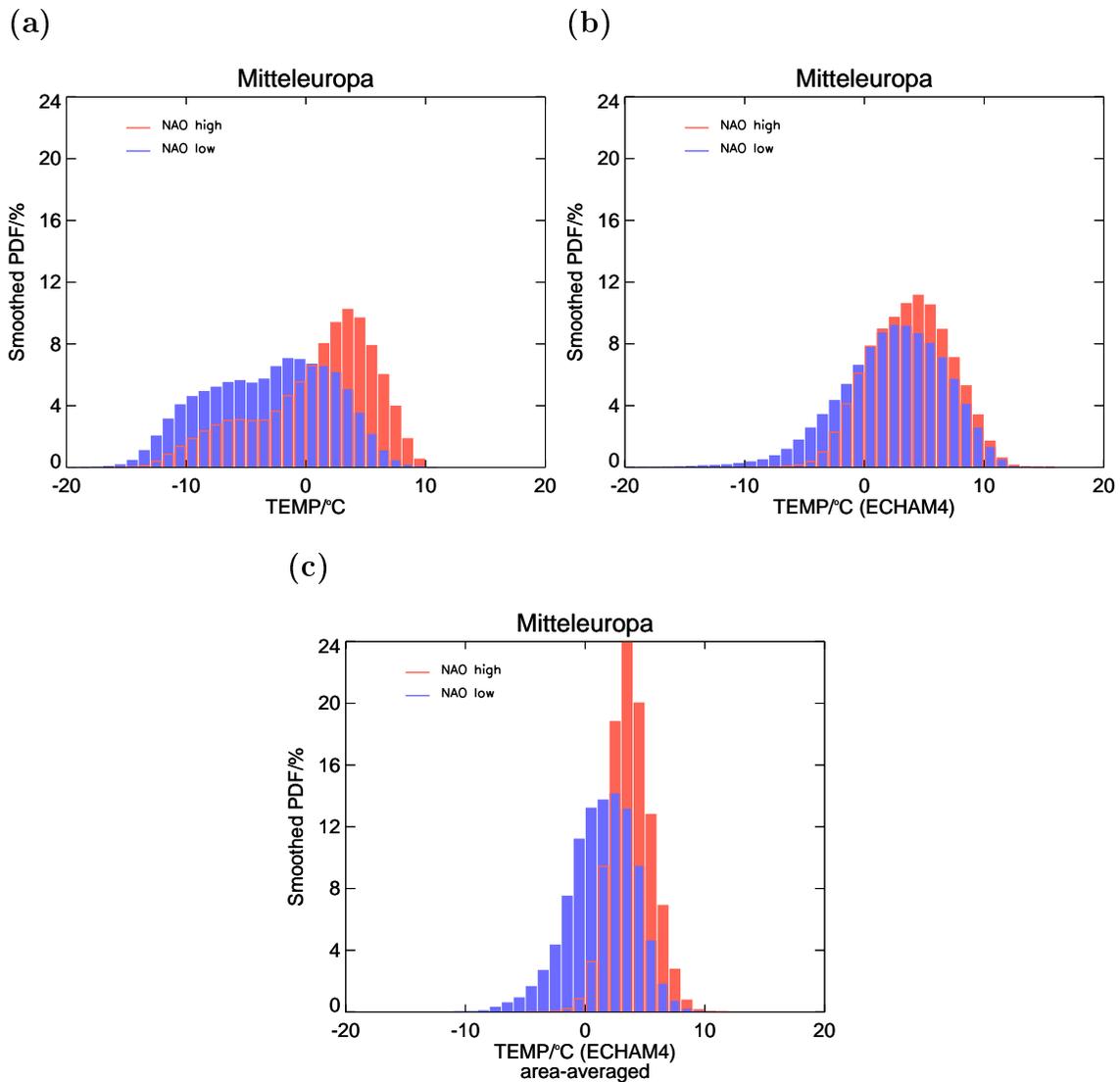


Abbildung 6.39: Verteilungen der TEMP-Monatsmittel für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate in Mitteleuropa, wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM₄/OPYC3 Daten besteht und in (c) vor der Auftragung der Verteilungen aus den ECHAM₄/OPYC3 Daten ein Gebietsmittel berechnet wurde.

zeigt sich, dass das Gebietsmittel der Temperatur während hoher NAO-Monate zwischen -3°C und 10°C liegt, während es bei niedrigen NAO-Monaten von -10 bis 10°C schwankt. Die negativen Temperaturen treten nur in niedrigen NAO-Monaten auf, da sich das Sibirische Hoch weiter in den Westen ausbreiten kann, während es bei

hoher NAO in den Osten zurückgedrängt wird, wodurch positive Temperaturen sehr viel häufiger auftreten.

6.5.4 Extremereignisse

Wie aus den Verteilungsfunktionen zu erwarten, werden die Extremwerte des Bodendrucks in Mitteleuropa ebensowenig von der NAO beeinflusst wie die Verteilungen und zeigen deshalb auf dem 95% Niveau keine signifikanten Unterschiede.

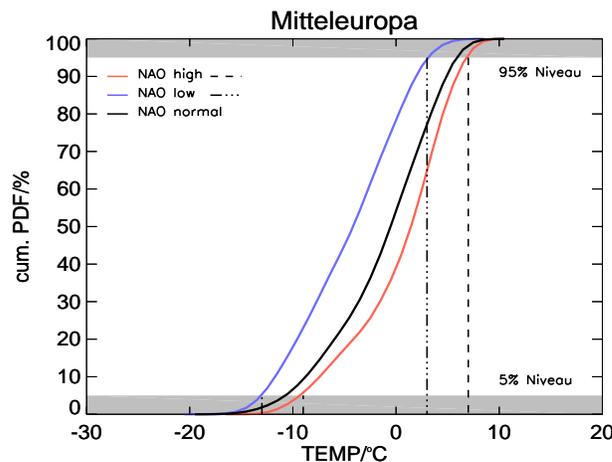


Abbildung 6.40: *kumulative Verteilungen der TEMP in Mitteleuropa für niedrige und hohe NAO-Monate.*

Bei den Temperaturen (Abb. 6.40) belaufen sich die Abweichungen zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten auf etwa 4-5°C, sowohl beim 5%-Niveau, als auch beim 95%-Niveau. Dabei gleichen die Extremwerte bei hoher NAO ungefähr denen normaler NAO-Monate, in der niedrigen Phase sind die Extrema jedoch bei 3-4°C geringeren Temperaturen angesiedelt, da die warmen Luftmassen aus dem Westen ausbleiben und es durch Kaltlufteneinfluss aus dem Norden und Osten zu geringeren Extrema kommt. Die Unterschiede in dem Bereich zwischen den 5%- und 95%-Perzentilen sind allerdings wesentlich höher als an den betrachteten Niveaus, wie schon beim Ostseegebiet zu sehen war. Die NAO hat einen geringeren Einfluss auf die Temperaturextrema als auf die statistischen Momente in Mitteleuropa.

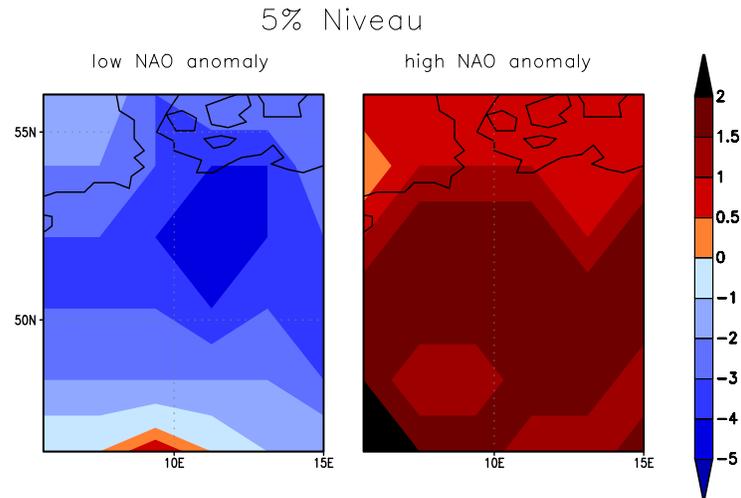


Abbildung 6.41: *Temperaturanomalien am 5%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Mitteleuropa.*

Bei den Temperaturanomalien vom Mittel normaler NAO-Monate am 5%-Niveau (Abb. 6.41) wird deutlich, dass diese Hürde in niedrigen NAO-Monaten im Norden des Gebietes, allerdings weniger über der Ost- und Nordsee, bei deutlich niedrigeren Temperaturen genommen wird als normal, da der Westwindeinfluss und die damit verbundenen warmen Luftmassen ausbleiben und die Extremwerte bei deutlich niedrigeren Werten angesiedelt sind. Bei hoher NAO verhält sich das Gebiet homogener. Hier wird das 5%-Niveau bei etwa 2°C höheren Temperaturen überschritten als normal, da durch die warmen Luftmassen auch die Extrema steigen. Eine Ausnahme bilden die Gebiete im Norden, bzw. die Gebiete über der Nord- und Ostsee, da sich das Meerwasser wesentlich langsamer erwärmt bzw. abkühlt als die Luft und diese dadurch beeinflusst.

Am 95%-Niveau sieht man, was sich bereits in Abb. 6.40 angedeutet hat. Während die Extrema bei niedriger NAO in weiten Teilen des Gebietes deutlich niedriger sind als normal, sind sie bei hoher NAO nur noch im äußersten Norden signifikant höher und der Einfluss im Süden und in der Mitte hat sich abgeschwächt bzw. existiert nicht mehr. Somit hat die NAO in ihrer hohen Phase Einfluss auf die niedrigen Extrema, bei den hohen Extremwerten beschränkt er sich auf den äußersten Norden und ist relativ gering.

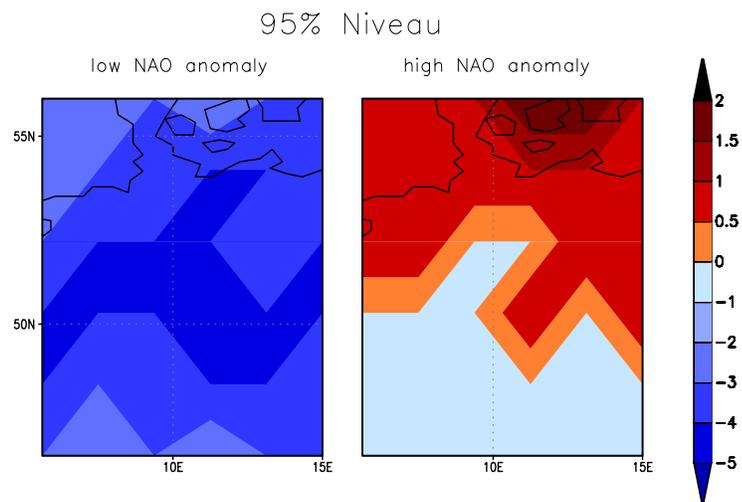


Abbildung 6.42: *Temperaturanomalien am 95%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Mitteleuropa.*

6.6 Osteuropa

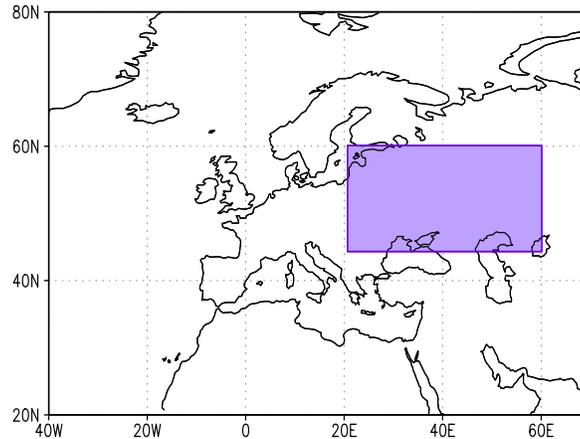


Abbildung 6.43: *Untersuchungsgebiet Osteuropa*

Der Osten Europas ist in Bezug auf die NAO bisher nur sehr wenig erforscht, da das Hauptaugenmerk meist auf dem Norden und Süden Europas gerichtet ist. Ob der Einfluss der NAO soweit landeinwärts reicht, soll hier untersucht werden. Das Gebiet deckt einen sehr großen Bereich ab. Es erstreckt sich in zonaler Richtung von Polen bzw. Tschechien bis zum Uralgebirge und in meridionaler Richtung von den Südkarpaten im SW bzw. der Kaspischen Senke im SO bis kurz vor das Nordrussische Tiefland.

6.6.1 Häufigkeitsverteilungen

Für den SLP erkennt man aus Abb. 6.44, dass keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind. Dies war zu erwarten, da Osteuropa wie bereits Mitteleuropa während der hohen NAO-Phase von den niedrigen Druckwerten über dem Norden Europas und vom Hochdruckeinfluss im Süden beeinflusst wird und sich keine signifikanten Unterschiede in den Verteilungen zeigen (Abb. 7.1 bzw. 7.2).

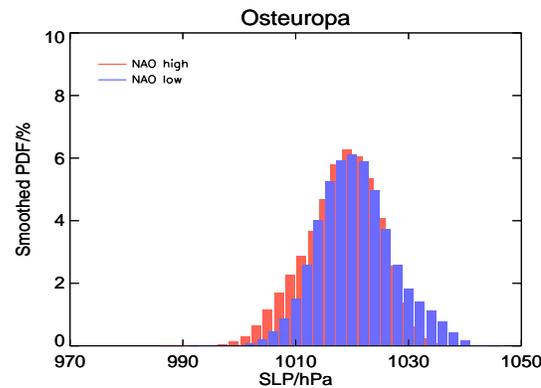


Abbildung 6.44: Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Bei der Temperatur (Abb. 6.45) trifft dies nicht zu. Hier ist beim U-Test ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen zu erkennen. Die Standardabweichung ist nahezu gleich, der Modus hoher NAO-Monate liegt bei deutlich höheren Temperaturen. Er befindet sich für niedrige NAO-Monate bei etwa -11°C und für hohe bei ca. -3°C . Die NAO beeinflusst daher die Temperatur in Osteuropa. Dies kommt durch die starke westliche Strömung während hoher NAO-Monate. Die warmen Luftmassen gelangen bis in den Westen Osteuropas, so dass es zu einem höheren Modus kommt und die Temperaturen unter -10°C deutlich seltener werden und die Schiefe von positiv auf negativ wechselt.

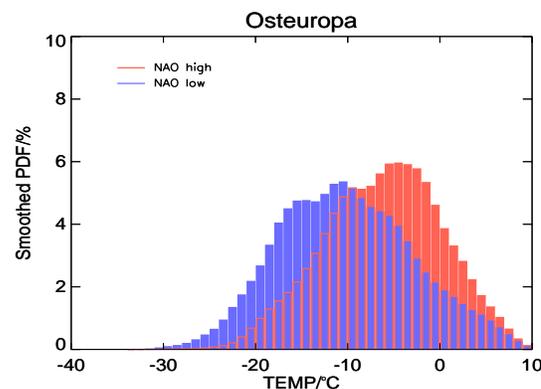


Abbildung 6.45: Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

In Abb. 6.46 ist der Modus der Temperatur bei hoher und niedriger NAO dargestellt. Man erkennt, dass er bei starker Westströmung (rechtes Bild) insgesamt deutlich

höhere Werte annimmt, die sich Richtung Westen steigern und im äußersten Westen sogar in den positiven Bereich übergehen. Schwächt sich die Westwindzirkulation ab (linkes Bild), gelangt Osteuropa nicht mehr unter Warmlufteinfluss und die Modustemperaturen sind im SW immer noch höher als im NO, gelangen aber nie über -8°C , da der Kaltlufteinfluss aus dem Norden bzw. NO zu sehr niedrigen Temperaturen führt.

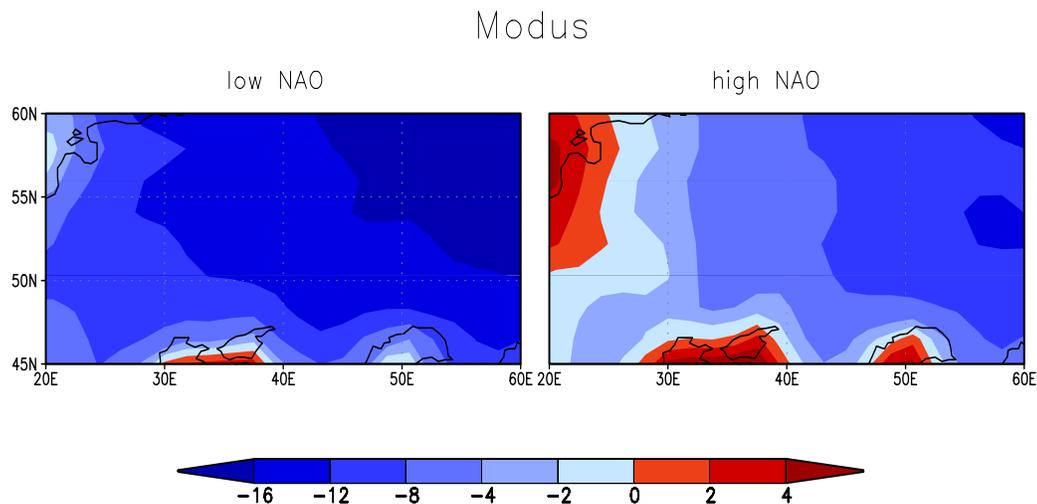


Abbildung 6.46: *Modus bei niedriger (links) und hoher (rechts) NAO in Osteuropa.*

Die spezifische Feuchte wird ebenfalls beeinflusst (Abb. 6.47). Allerdings liegt die Feuchteverteilung in hohen NAO-Monaten bei niedrigeren Werten als in Mittel- und Nordeuropa, da die Achse maximalen Feuchtetransports Osteuropa nur den NW stark beeinflusst und die Feuchtwerte im Osten des Gebietes denen normaler NAO-Monate gleichen, die ebenfalls niedriger sind als in der Mitte und im Norden Europas. Daher treten bevorzugt Werte zwischen 2.5 und 5g/kg auf, die in Monaten niedriger NAO wesentlich seltener sind, da die maximalen Feuchtetransporte eine vorwiegend westliche Richtung einschlagen und durch die abgeschwächten Westwinde nicht mehr bis nach Osteuropa gelangen. Die Schiefe der Verteilungen ist in beiden NAO-Phasen stark positiv, da im äußersten Westen sehr viel höhere Werte zu beobachten sind, die sich in den langen Ausläufern nach rechts in Abb. 6.47 wiederfinden lassen. Dadurch reagiert das Gebiet nicht homogen und es wäre für die Feuchteuntersuchung, wie auch für die Temperaturuntersuchung besser, das Gebiet nur bis etwa 40°Ost zu untersuchen.

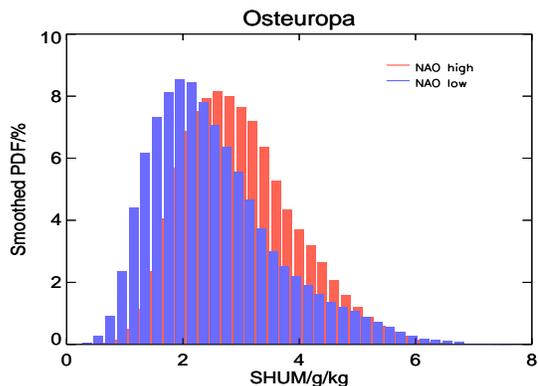


Abbildung 6.47: Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

6.6.2 Extremereignisse

Bei den Verteilungen der Temperatur und der spezifischen Feuchte wurde bereits sichtbar, dass die NAO im Westen des Gebietes großen Einfluss auf diese atmosphärischen Parameter hat. Allerdings sind dabei die Extremwerte nicht betrachtet worden. Die kumulativen PDFs aus den NCEP/NCAR Reanalysedaten mit dem 5%- und 95%-Extremwerten für die Temperatur zeigt Abb. 6.48. Das 5%-Niveau wird in der niedrigen Phase bereits bei -22°C erreicht und in der hohen erst 5°C später. Betrachtet man allerdings das 95%-Niveau, so liegen die Kurven fast übereinander. Die NAO hat nur Einfluss auf die niedrigen Extremwerte, die während hoher NAO zu höheren Werten tendieren. Durch die starken Westwinde treten die extrem kalten Temperaturen seltener auf. Die Maximumtemperaturen bleiben erhalten, da der Warmlufteinfluss schwächer als im NW Europas geworden ist. Die Mittelwerte (Abb. 7.4) sind zwar noch deutlich höher, die Maximumwerte steigen aber nicht mehr an. Außerdem stellt man fest, dass die Extremwerte in normalen Monaten denen hoher NAO-Monate gleichen und nur in der niedrigen Phase deutlich kälter werden.

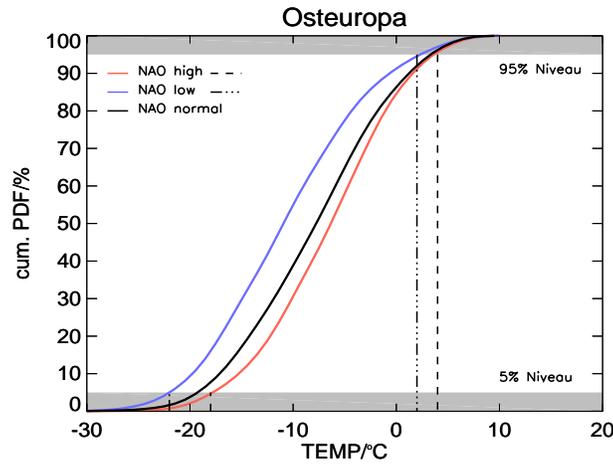


Abbildung 6.48: Kumulative Verteilungen der TEMP in Osteuropa für niedrige und hohe NAO-Monate.

In Abb. 6.49 sind die Temperaturanomalien vom Mittel normaler NAO-Monate am 5%-Niveau für beide NAO-Phasen dargestellt. Es stellt sich heraus, dass die niedrigen Extrema bei stark negativem Index im ganzen Gebiet zu kälteren Werten tendieren und teilweise 3-4°C unter den Werten normaler NAO-Monate liegen. Verstärken sich die Westwinde, so steigen die niedrigen Extrema im ganzen Gebiet etwa um 1-2°C, wodurch bei den Extrema das ganze Gebiet und nicht nur der Westen, wie beim Modus zu erkennen war (Abb. 6.46), von der NAO beeinflusst wird.

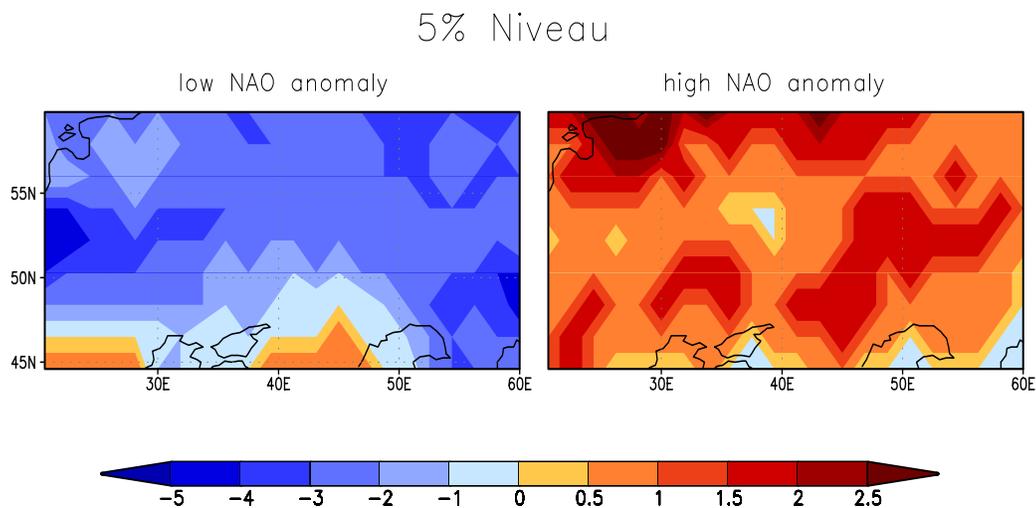


Abbildung 6.49: Temperaturanomalien am 5%-Niveau bei niedriger (links) und hoher (rechts) NAO in Osteuropa.

Im Gegensatz zur 95%-Perzentile normaler Temperaturwerte (Abb. 6.48), sieht man bei der 95%-Perzentile der Temperaturanomalien vom Mittel normaler NAO-Monate (Abb. 6.50) stärkere Beeinflussung. Zwar sind sie bei niedriger NAO (linkes Bild) auf den NW des Gebietes beschränkt, da hier in normalen NAO-Monaten noch etwas wärmere Luft in das Gebiet gelangt, die bei sehr schwacher Westwindzirkulation völlig ausbleibt. Bei hoher NAO (rechtes Bild) treten vor allem im Norden des Gebietes deutlich höhere Extremwerte auf, da sich dort der Warmlufteinfluss aus dem Westen am deutlichsten bemerkbar macht. Das Sibirische Hoch mit seinen kalten Luftmassen wird zurückgedrängt und es kommt zu höheren Temperaturmaxima.

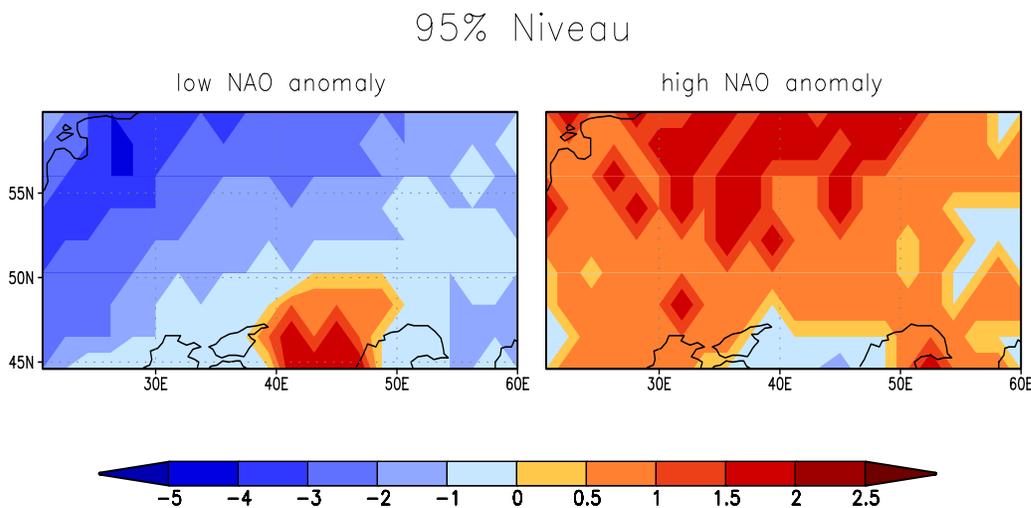


Abbildung 6.50: Temperaturanomalien am 95%-Niveau bei niedriger (links) und hoher (rechts) NAO in Osteuropa.

Für die spezifische Feuchte wurde diese Untersuchung ebenfalls durchgeführt, denn es waren signifikante Unterschiede in den Verteilungen (Abb. 6.47) zu erkennen. Bei den Extremwerten ergeben sich allerdings keine nennenswerten Unterschiede, da die Achse maximalen Feuchtetransports während hoher NAO-Monate lediglich den NW des Gebietes streift und nur geringe Unterschiede an der 5%-Perzentile zu erkennen sind.

6.6.3 Verteilungen bei lag1-Verschiebung der NAO

Dass die Temperatur von der NAO beeinflusst wird, konnte gezeigt werden, ob aber dieser Einfluss auch einen Monat später noch sichtbar ist, soll nun untersucht werden.

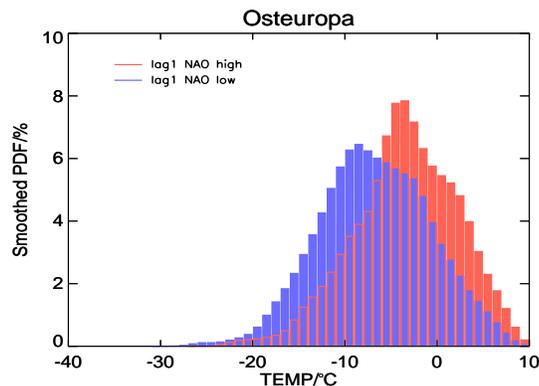


Abbildung 6.51: *Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln Osteuropas für lag1 verschobene NAO-Monate.*

Bei den Verteilungen der Temperatur einen Monat nach dem NAO-Extremereignis (Abb. 6.51) ist deutlich zu erkennen, dass die Verteilungen im White-Noise-Test einen signifikanten Unterschied zeigen. Sie unterscheiden sich fast nicht von den Verteilungen die exakt zum Zeitpunkt hoher und niedriger NAO-Monate berechnet wurden (siehe Abb. 6.45), was nicht darauf zurückzuführen ist, dass einem niedrigen (hohen) NAO-Extrem wieder ein solches folgt, wie im Kapitel 6.4.1 gezeigt wurde. Die NAO verursacht einen Monat später noch signifikante Unterschiede in den Verteilungen bzw. im Modus, da die Reaktionszeit der Temperatur vermutlich mehrere Wochen beträgt und somit warme Lufttemperaturen nicht automatisch auf hohe NAO-Monate zurückzuführen sind. Die hohen Extrema unterscheiden sich allerdings nicht, während sehr kalte Temperaturen, d.h. Werte unter -25°C nur in niedriger NAO nachfolgenden Monaten, allerdings seltener als in niedrigen NAO-Monaten auftreten.

6.7 Spanien/Portugal

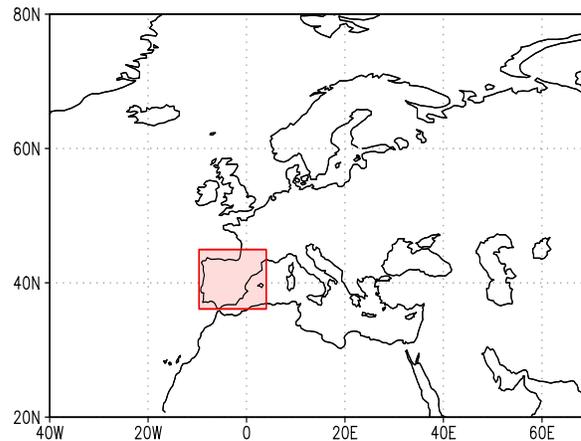


Abbildung 6.52: *Untersuchungsgebiet Spanien/Portugal*

Das Gebiet Spanien/Portugal liegt im SW Europas und ist daher ein wichtiges Untersuchungsgebiet, wenn es um den Einfluss der NAO geht. Es erstreckt sich von 10°W bis 5°O und von 35°N bis 45°N , und beinhaltet Spanien, Portugal und den westlichsten Teil des Mittelmeers.

6.7.1 Häufigkeitsverteilungen

Der Einfluss der NAO auf die mittlere Niederschlagsverteilung im Mittelmeerbereich ist schon häufig untersucht worden (Lamb und Pepler, 1987), diese Untersuchung soll einmal die Variation des Zusammenhangs aufzeigen und den Vergleich mit anderen Regionen Europas liefern. Bei den PDFs des SLP (Abb. 6.53) erkennt man eine deutlich Trennung. Die beiden Verteilungen differieren um etwa 10hPa und sind nahezu gleichverteilt. Die Druckwerte der PDF hoher NAO-Monate sind sehr viel höher, da Spanien/Portugal von den stabilen, stärkeren, subtropischen Hochdruckgebieten beeinflusst wird. Die Standardabweichungen sind bei beiden Verteilungen etwa gleich und sehr gering, da die räumlichen Gradienten in Spanien/Portugal sehr schwach sind (Abb. 7.1) und auch die zeitlichen Standardabweichungen geringer sind (Abb. 7.2).

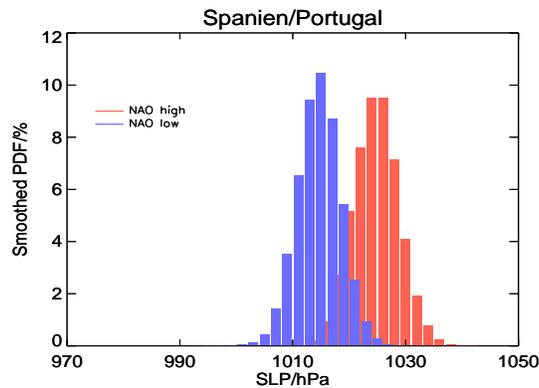


Abbildung 6.53: Häufigkeitsverteilungen von *SLP*-Wintermonatsmitteln Spanien/Portugals während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Bei der Temperatur bestätigt sich die Vermutung, dass kein NAO-Einfluss vorhanden ist.

Die spezifische Feuchte zeigt ebenfalls keine NAO-Abhängigkeit. Sie weist sowohl in hohen als auch in der niedrigen NAO-Phase im Süden Europas sehr hohe Werte auf. Bei der Niederschlagsrate (Abb. 6.54) tritt der NAO-Einfluss dagegen sehr deutlich hervor. Da sich die maximalen Niederschlagsereignisse von niedrigen zu hohen NAO-Phasen vom Süden in den Norden verlagern, liegen bei hoher NAO 80% der Werte bereits zwischen 0 und 2mm/Tag. In der niedrigen NAO-Phase, in der das Band maximaler Niederschläge viel weiter südlich über Europa hinwegzieht, deckt die Niederschlagsverteilung einen wesentlich größeren Bereich ab. Hier treten die niedrigen Monatsmittel des Niederschlags seltener und die Werte von 2-10mm/Tag häufiger auf, wodurch die Schiefe in niedrigen NAO-Monaten deutlich positiv ist. Die Schiefen unterscheiden sich nach dem White-Noise-Test signifikant und die Standardabweichung ist in hohen NAO-Monaten signifikant geringer (Abb. 7.10).

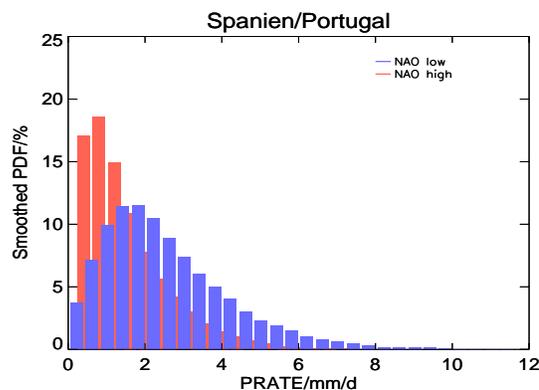


Abbildung 6.54: Häufigkeitsverteilungen von *PRATE*-Monatsmitteln Spanien/Portugals während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

6.7.2 Schwankungsbreite

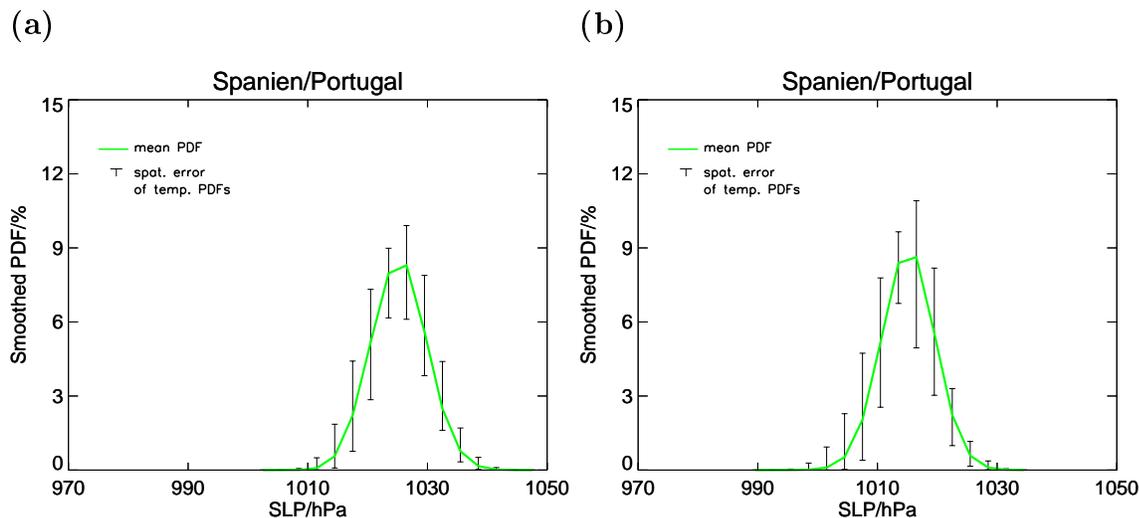


Abbildung 6.55: Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen SLP-Verteilungen in Spanien/Portugal während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Beim Bodendruck ist die räumliche Schwankungsbreite (Abb. 6.55) in beiden NAO-Phasen sehr gering, da es keine großen räumlichen Gradienten gibt, die das Gebiet inhomogen erscheinen lassen.

Die räumlichen Verteilungen beinhalten sehr hohe zeitliche Abweichungen. Dies ist zu erwarten, da der NAO-Index in hohen (niedrigen) NAO-Monaten nicht immer

gleich stark ausgeprägt ist, und somit die räumlichen Druckverteilungen Spanien/Portugals in verschiedenen Monaten stark unterschiedlich sein können.

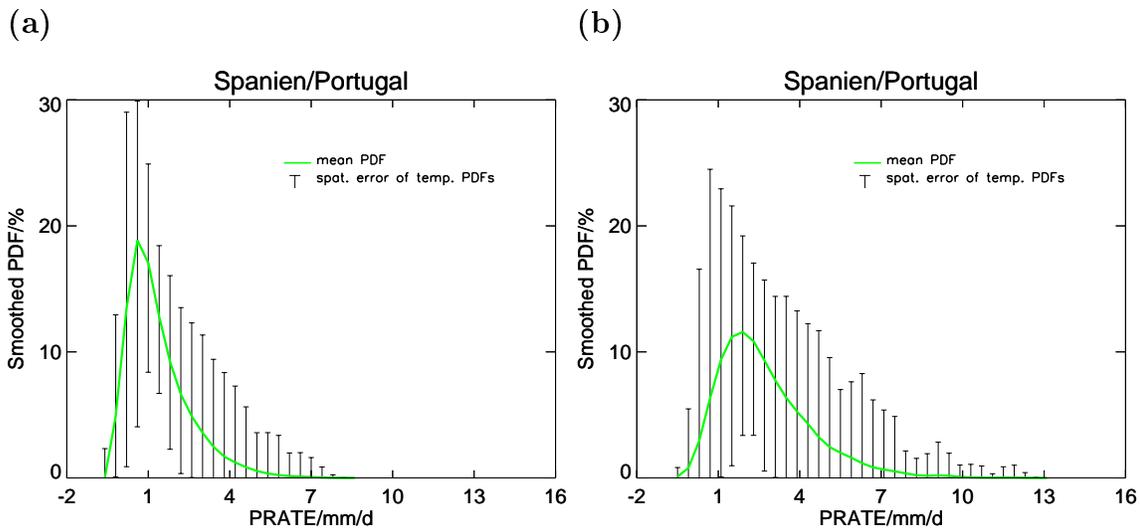


Abbildung 6.56: Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen PRATE-Verteilungen in Spanien/Portugal während (a) hoher und (b) niedriger NAO-Monate.

Die Schwankungsbreiten der zeitlichen Niederschlagsverteilungen (Abb. 6.56) sind sehr groß, vor allem während niedriger NAO-Phasen. Zu dieser Zeit treten stärkere Niederschläge über See auf, die bis zu den Küstenbereichen vordringen und den Westen deutlich stärker beeinflussen als den Osten (siehe Abb. 7.9). Daher beinhalten die Verteilungen der Gitterpunkte im Westen des Gebietes höhere Niederschlagswerte, was zu einer starken räumlichen Abweichung von der mittleren Niederschlagsverteilung führt und das Gebiet inhomogen erscheinen lässt. In hohen NAO-Phasen kommt es durch die Verlagerung des Starkniederschlagbandes nach Norden zu anomal niedrigen Niederschlägen im SW des Gebietes, wodurch auch hier sehr hohe räumliche Abweichungen entstehen. Die zeitlichen Abweichungen sind etwas geringer als die räumlichen. Es kommt in extrem hohen (niedrigen) NAO-Monaten nochmals zu einer Abschwächung (Erhöhung) der Regenraten.

6.7.3 Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3

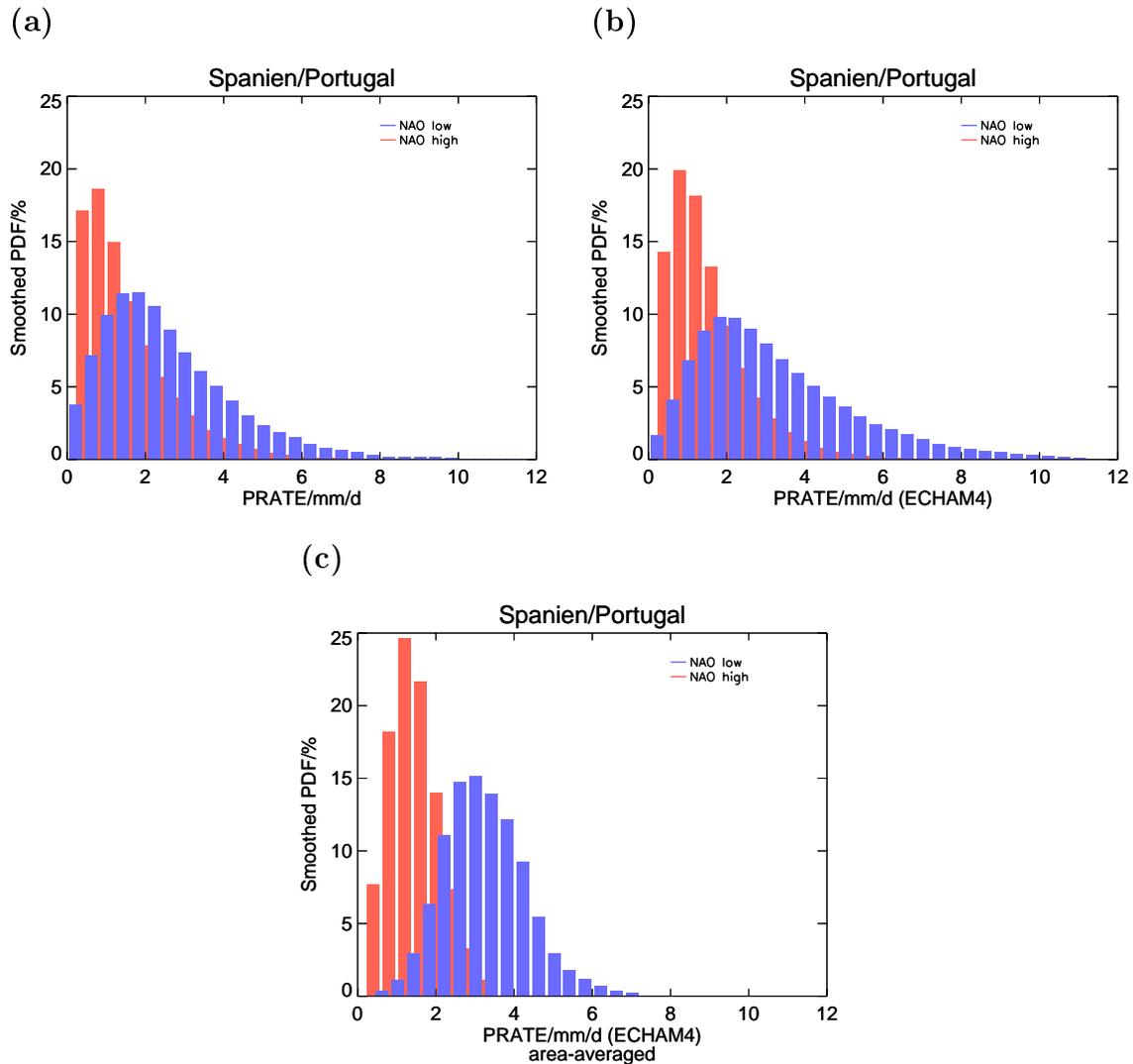


Abbildung 6.57: Verteilungen der PRATE-Monatsmittel in Spanien/Portugal für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM4/OPYC3 Daten besteht und in (c) vor der Auftragung der Verteilungen aus den ECHAM4/OPYC3 Daten ein Gebietsmittel berechnet wurde.

Da die NAO größten Einfluss auf den Niederschlag in Spanien und Portugal hat, wird für diesen Parameter ein Vergleich mit den Modelldaten (Abb. 6.57) durchgeführt. Die Unterschiede zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten werden bei den Modelldaten noch deutlicher als bei den Reanalysen. Die PDF niedriger NAO-Ereignisse tendiert zu deutlich höheren Niederschlagsmengen, wodurch die Verteilungen der beiden NAO-Phasen sich stärker als bei den Reanalysen unterscheiden und im White-Noise-Test und U-Test signifikant unterschiedlich sind. In der räumlich gemittelten Verteilung (c) ist gut zu erkennen, dass im räumlichen Mittel in diesem Gebiet während hoher NAO-Monate die Verteilung eine sehr geringe Standardabweichung aufweist und nur Werte von 0 - 3.5mm/Tag beinhaltet, in niedrigen NAO-Monaten treten dagegen Monatsmittel bis 7mm/Tag auf. Die maximalen Niederschlagsgebiete liegen im Süden Europas und beeinflussen somit Portugal und den Westen Spaniens sehr stark.

6.7.4 Extremereignisse

Da die NAO die Verteilungen des Luftdrucks und des Niederschlags sehr stark beeinflusst, werden für diese Parameter aus den Monatsmitteln der NCEP/NCAR Daten kumulative Verteilungen berechnet, um die Extremwerte genauer zu untersuchen.

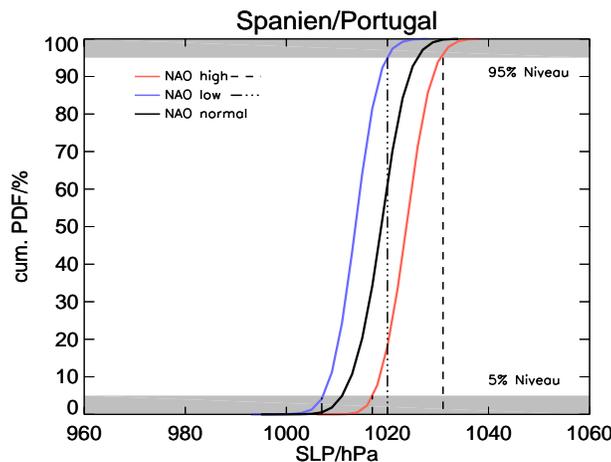


Abbildung 6.58: *Kumulative Verteilungen des SLP in Spanien/Portugal für niedrige und hohe NAO-Monate.*

Da die Druckverteilungen des Gebietes eine sehr geringe Standardabweichung haben, decken die Kurven der kumulativen Verteilungen nur einen sehr geringen Druckbe-

reich ab (Abb. 6.58). Außerdem verlaufen die beiden Kurven nahezu parallel nebeneinander, wodurch die Extremwerte der beiden NAO-Phasen, genau wie die Verteilungen selbst, um etwa 10hPa differieren. Dabei liegt die PDF hoher NAO-Monate bei höheren Werten. Das Gebiet liegt schon im Einflussbereich des subtropischen Hochs und ist daher positiv mit der NAO korreliert.

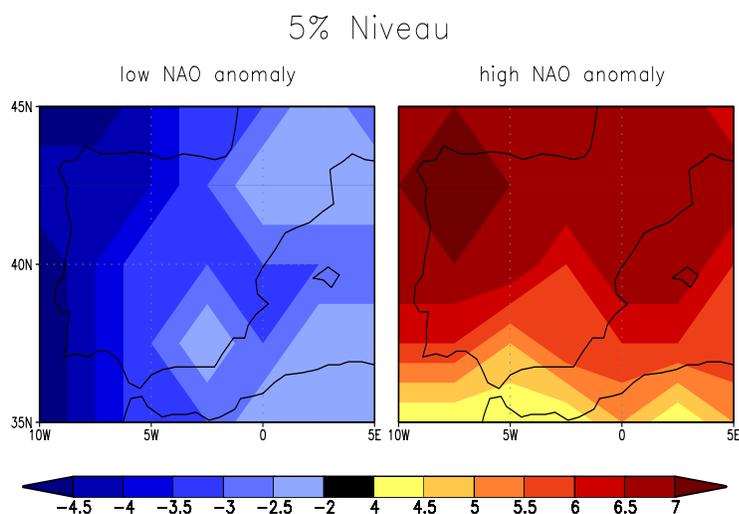


Abbildung 6.59: Bodendruckanomalien am 5%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Spanien/Portugal.

Betrachtet man die Bodendruckanomalien vom Mittel normaler NAO-Monate am 5%-Niveau (Abb. 6.59), so fällt auf, dass die Extremwerte bei niedriger NAO an der Westküste sehr viel geringer sind als normal und nach Osten allmählich zunehmen, aber negativ bleiben. Dies kommt durch die Tatsache, dass in normalen Monaten das Azorenhoch so stark ausgebildet ist, dass es Portugal und den Westen Spaniens beeinflusst, was bei einer sehr schwachen Ausprägung nicht der Fall ist, wodurch die Anomalien in diesem Gebiet Werte bis zu 6hPa annehmen. Bei hoher NAO treten in dem ganzen Gebiet große Anomalien auf, die Druckwerte sind wesentlich höher als in normalen NAO-Monaten.

Die SLP-Anomalien vom Mittel normaler NAO-Monate sind am 95%-Niveau ebenfalls sehr hoch, bei niedriger NAO vor allem in der Mitte und im Westen des Gebietes, da Spanien unter abgeschwächten Hochdruckeinfluss gerät und zu niedrigeren Druck-Maxima tendiert. Bei hoher NAO treten die höchsten Anomalien im Osten auf, da sich das Hoch in dieser Situation nach Osten erstrecken kann.

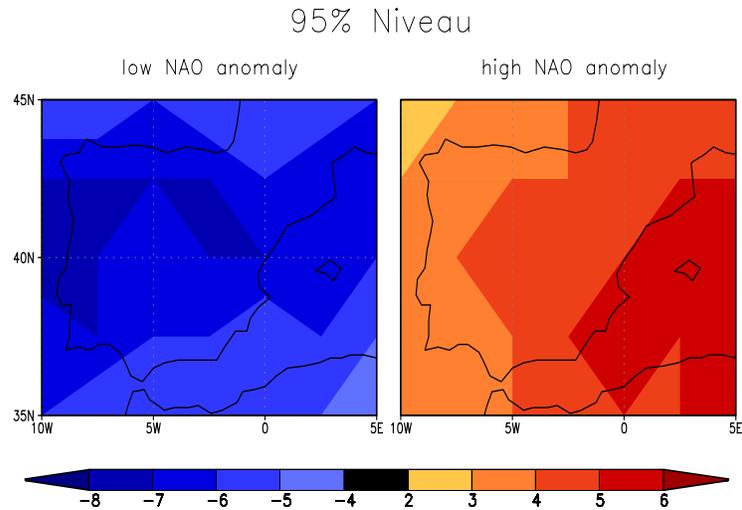


Abbildung 6.60: Bodendruckanomalien am 95%-Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Spanien/Portugal.

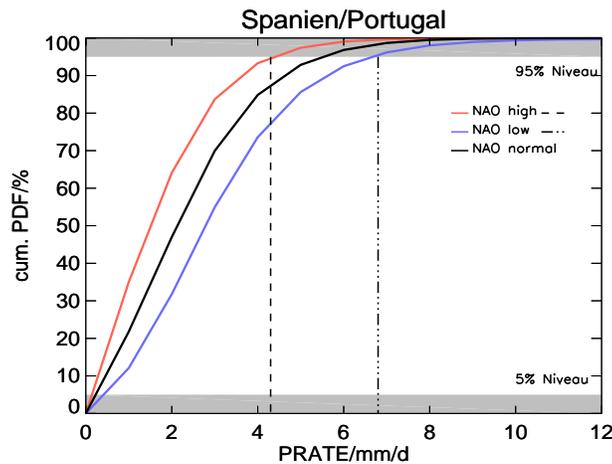


Abbildung 6.61: Kumulative Verteilungen der PRATE in Spanien/Portugal für niedrige und hohe NAO-Monate.

Vergleicht man die kumulativen Verteilungen des Niederschlags (Abb. 6.61), so liegen die Extrema an der 5%-Hürde in der Nähe von 0mm/tag. Am 95%-Niveau differieren sie sehr stark, wobei die Verteilung niedriger NAO dieses bei etwa 6.7mm/Tag

erreicht und somit 2.5mm/Tag später als die kumulative Verteilung hoher NAO-Monate. Die NAO hat großen Einfluss auf die hohen Extrema, da das Starkniederschlagsband, das während niedriger NAO Portugal und den SW Spaniens beeinflusst, in diesen Gebieten sehr hohe Regenraten verursachen kann, die in hohen NAO-Monaten ausbleiben (Abb. 6.62).

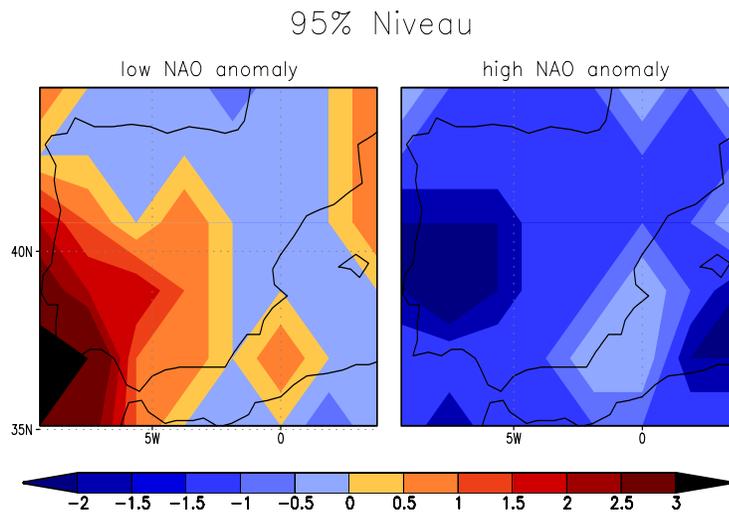


Abbildung 6.62: Niederschlagsanomalien am 5% Niveau in niedrigen (links) und hohen (rechts) NAO-Monaten in Spanien/Portugal.

6.8 Mittelmeergebiet

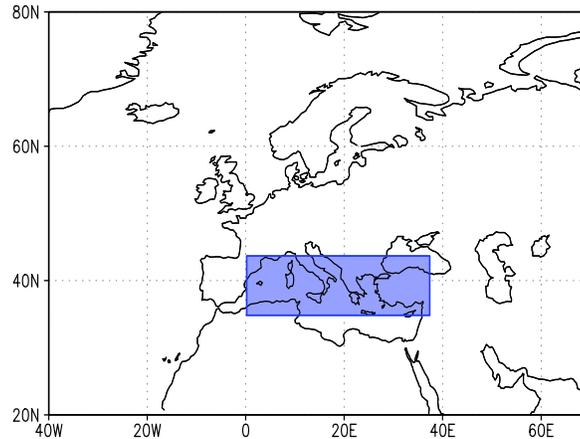


Abbildung 6.63: *Untersuchungsgebiet Mittelmeer*

Das Mittelmeergebiet umfasst das Mittelmeer ohne den westlichsten Bereich, der bereits im Gebiet Spanien/Portugal enthalten ist. Hier müsste sich ebenfalls ein Einfluss auf den Niederschlags zeigen, im Vergleich zur Iberische Halbinsel allerdings in abgeschwächter Form.

6.8.1 Häufigkeitsverteilungen

Bei den Verteilungen des Bodendrucks (Abb. 6.64) wird bereits deutlich, dass die Differenzen beider NAO-Phasen geringer als in Spanien/Portugal sind. Das heißt, der Einfluss der subtropischen stabilen und stark ausgeprägten Hochdruckgebiete ist schwächer und reicht nicht bis in den äußersten SO Europas, wodurch die Verteilung hoher NAO-Monate niedrigere Werte enthält als die im SW Europas. Es stellt sich die Frage, ob sich das auch auf den Einfluss der NAO auf den Niederschlag auswirkt.

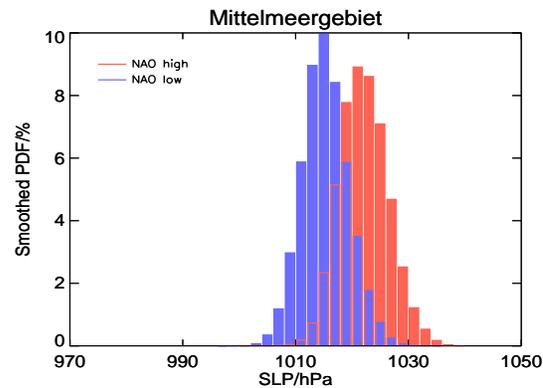


Abbildung 6.64: Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln im Mittelmeergebiet während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

Die Frage kann mit Abb. 6.65 positiv beantwortet werden. Nach dem U-Test ist noch ein signifikanter Unterschied zu erkennen, d.h. die Werte hoher NAO-Monate sind signifikant niedriger, allerdings kommen Werte bis 7mm/Tag vor, im SW hingegen treten nur Regenraten bis 6mm/Tag auf. Die Tendenz zu höheren Niederschlagsmengen ist für beide NAO-Phasen gegeben. Je weiter man im Süden Europas nach Osten vordringt, desto geringer wird der Einfluss der NAO, d.h. die Verlagerung hoher Niederschlagsraten bei starker Westwindzirkulation nach Norden betrifft den SW Europas stärker als den SO, da in dieser Zeit im Mittelmeerraum noch wesentlich höhere Regenmengen fallen (siehe Abb. 7.9 bzw. 7.10).

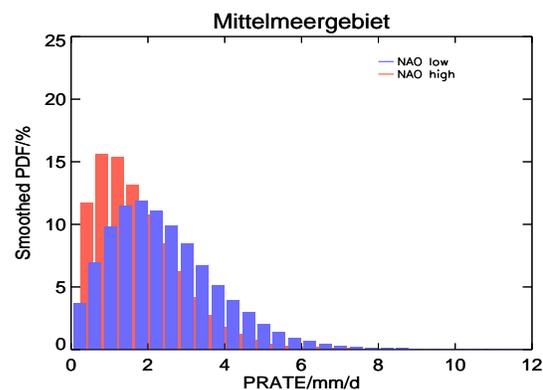


Abbildung 6.65: Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln im Mittelmeergebiet während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate.

6.8.2 Verteilungen mit Vergleichsdaten ECHAM4/OPYC3

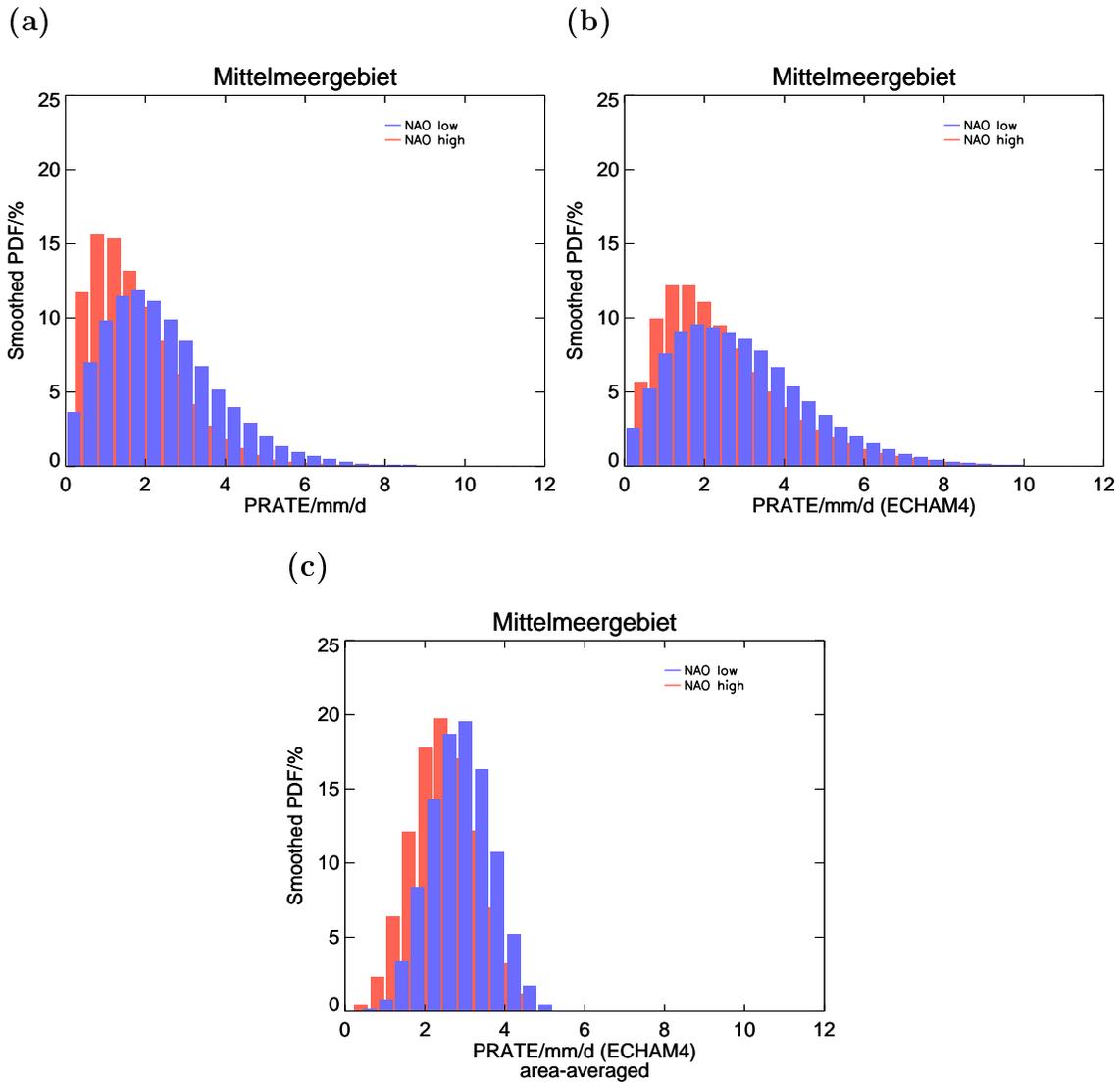


Abbildung 6.66: Verteilungen der PRATE-Monatsmittel für niedrige (blau) und hohe (rot) NAO-Monate im Mittelmeergebiet, wobei die Datenbasis (a) aus NCEP/NCAR Daten und (b) ECHAM₄/OPYC₃ Daten besteht und in (c) vor der Auftragung der Verteilungen aus den ECHAM₄/OPYC₃ Daten ein Gebietsmittel berechnet wurde.

In Abb. 6.66 wird für die räumlich gemittelten Verteilungen noch einmal sehr deutlich, dass auch die Abweichungen der Verteilungen bei den Modelldaten geringer als

im SW Europas ist, da die PDF für die hohe NAO-Phase zu höheren Gebietsmitteln tendiert (Abb. 6.66c) als im SW Europas und sich der Verteilung niedriger NAO annähert. Der NAO-Einfluss schwächt sich somit Richtung Osten stark ab.

7 Zusammenfassung der Gebiete

Die NAO hat auf das Klima aller Gebiete in Europa Einfluss. Jedoch zeigen lediglich in Skandinavien alle vier Parameter, d.h. Bodendruck, Temperatur, spezifische Feuchte und Niederschlag, starke Unterschiede in den Verteilungen extremer NAO-Phasen. Die Abbildungen dieses Kapitels wurden vorwiegend aus dem ECHAM4/OPYC3-Datensatz gewonnen, da dieser aufgrund seiner längeren Zeitreihe eine bessere Statistik an den einzelnen Gitterpunkten zulässt. Die Werte der Tabellen stammen aus den Verteilungen, die im Kapitel 6 gezeigt wurden.

7.1 Bodendruck

Der Bodendruck reagiert in allen nord- und südeuropäischen Gebieten stark auf die NAO. Lediglich auf Mittel- und Osteuropa hat sie keinen Einfluss, da diese Gebiete einen Übergangsbereich einnehmen und deshalb sowohl von den Tiefdruckgebieten im Norden, als auch von den stabilen Hochs im Süden beeinflusst werden (Abb. 7.1).

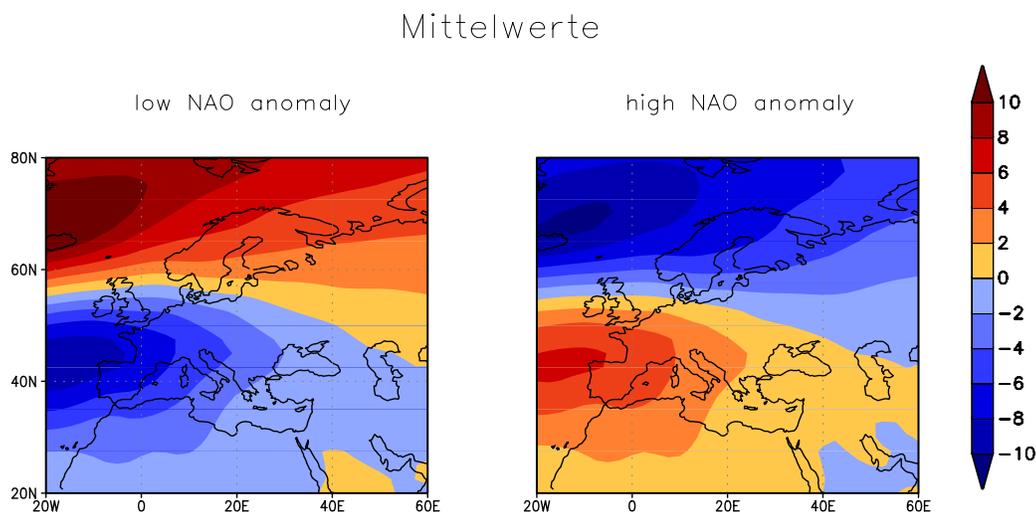


Abbildung 7.1: Mittelwerte der SLP-Anomalien (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Im Folgenden werden die statistischen Momente für die unterschiedlichen Gebiete zur Zeit hoher bzw. niedriger NAO zusammengefasst.

Mittelwerte [hPa]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	1002	1013	11
Ostsee	1007	1015	8
Mitteleuropa	1018	1014	4
Osteuropa	1017	1019	2
Spanien/Portugal	1023	1013	10
Mittelmeergebiet	1021	1014	7
Gebiet um Island	999	1012	13
Gebiet um Azoren	1021	1013	8

Tabelle 7.1: *Mittelwerte der Druckverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Modus [hPa]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	1003	1014	11
Ostsee	1008	1015	7
Mitteleuropa	1020	1016	4
Osteuropa	1020	1021	1
Spanien/Portugal	1027	1016	11
Mittelmeergebiet	1022	1016	6
Gebiet um Island	995	1012	17
Gebiet um Azoren	1025	1017	8

Tabelle 7.2: *Modus der Druckverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Die Modus- (Tab. 7.2) bzw. Mittelwertdifferenz des Bodendrucks (Tab. 7.1) zwischen hoher und niedriger NAO, ist in Island am größten. In Skandinavien und Spanien/Portugal ist die Differenz durch den Wechsel von Tiefs zu Hochs bei der Verlagerung der Westwindzirkulation ebenfalls groß.

Standardabweichung [hPa]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	8.6	6.4	2.2
Ostsee	7.4	6.0	1.4
Mitteleuropa	6.6	5.0	1.6
Osteuropa	6.3	6.4	0.1
Spanien/Portugal	3.5	3.3	0.2
Mittelmeergebiet	3.8	3.6	0.2
Gebiet um Island	10.1	7.1	3.0
Gebiet um Azoren	6.3	5.7	0.6

Tabelle 7.3: Standardabweichung der Druckverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Bei der Standardabweichung (Tab. 7.3) ragen die beiden Gebiete Skandinavien und Island wiederum heraus, da die räumlichen Gradienten in hohen NAO-Monaten deutlich größer sind. Aber auch allgemein haben Tiefdruckgebiete größere Druckgradienten als die Hochs, wodurch die Unterschiede in der Standardabweichung zwischen dem Süden und dem Norden Europas zustande kommen (Abb. 7.2).

Standardabweichung

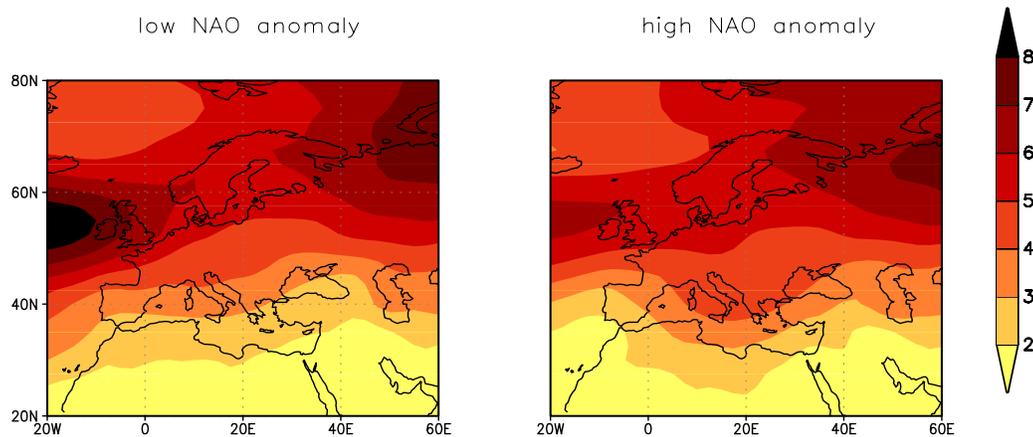


Abbildung 7.2: Standardabweichung der SLP-Anomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Die Druckverteilungen sind weitestgehend normalverteilt. Die Schiefe bewegt sich in den meisten Gebieten um Null, nur Island und die Azoren weichen ab. Hier ist um Island eine positive Schiefe bei hoher NAO zu beobachten. Die Verteilungen um die Azoren sind sehr stark negativ schief, wobei die positiver NAO-Monate signifikant negativer ist. Betrachtet man allerdings die Anomalien so erkennt man, dass vor allem die Iberische Halbinsel und der Osten Osteuropas starke Unterschiede in der Schiefe aufweisen.

Schiefe:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	0	0.25	0.25
Ostsee	0.1	0.1	0.0
Mitteleuropa	-0.17	0	0.17
Osteuropa	-0.2	0.2	0.4
Spanien/Portugal	0.1	0	0.1
Mittelmeergebiet	0.3	0.2	0.1
Gebiet um Island	0.5	0.15	0.35
Gebiet um Azoren	-1.3	-0.6	0.7

Tabelle 7.4: *Schiefe der Druckverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Schiefe

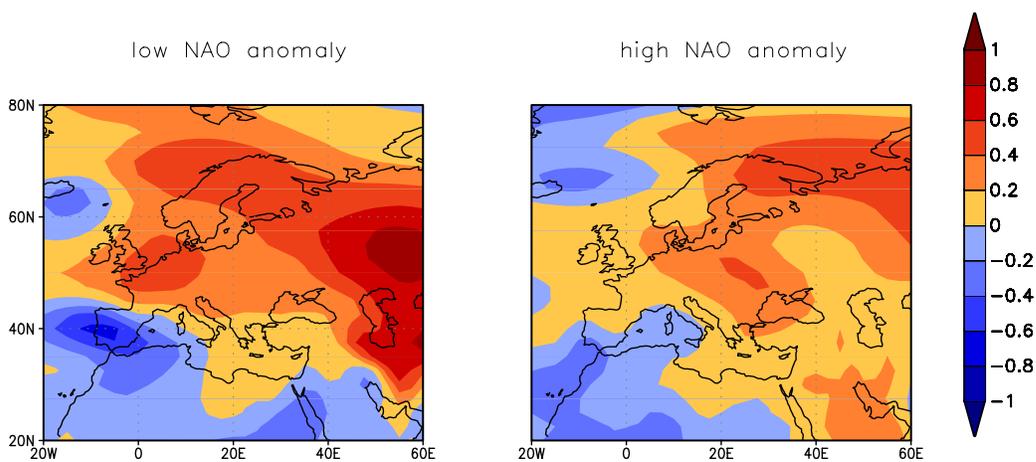


Abbildung 7.3: *Schiefe der SLP-Anomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.*

Die Werte des Exzesses werden hier nicht aufgeführt, da sie sich alle um den Wert drei bewegen und dadurch die Normalverteilungen des Drucks in den einzelnen Gebieten nochmals bestätigt werden.

Löst man sich von den eigentlichen Verteilungen und wendet sich den Extremwerten zu, so können diese mit kumulativen Verteilungen untersucht werden, indem das 5%-Niveau für niedrige und das 95%-Niveau für hohe Extrema steht. Die Unterschiede zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten sind in Tab. 7.5 aufgelistet.

Bei den Extrema fällt auf, dass Skandinavien und Spanien/Portugal eindeutig die höchsten Abweichungen, die teilweise größer als 10hPa sind, aufweisen. Damit spiegelt sich in diesen Gebieten der Einfluss der NAO nicht nur in den Verteilungen sondern auch in den Extremwerten am stärksten wider.

Extremwerte [hPa]:

	5%-Niveau			95%-Niveau		
	hoch	niedrig	Δ	hoch	niedrig	Δ
Skandinavien	988	1003	15	1017	1025	8
Ostsee	995	1004	9	1020	1026	6
Mitteleuropa	1008	1006	2	1030	1023	7
Osteuropa	1006	1009	3	1028	1032	4
Spanien/Portugal	1018	1007	11	1032	1020	12
Mittelmeergebiet	1014	1008	6	1028	1021	7
Gebiet um Island	984	1000	16	1018	1025	7
Gebiet um Azoren	1007	1003	4	1030	1024	6

Tabelle 7.5: *Extremwerte des Bodendrucks (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

7.2 Bodennahe Lufttemperatur

Die Temperatur wird vor allem im Norden, in der Mitte und im Osten Europas signifikant durch die NAO beeinflusst, da bei hoher NAO durch die starke Westwindzirkulation warme Luftmassen über den Nordatlantik nach Nordeuropa transportiert werden (Abb. 7.4).

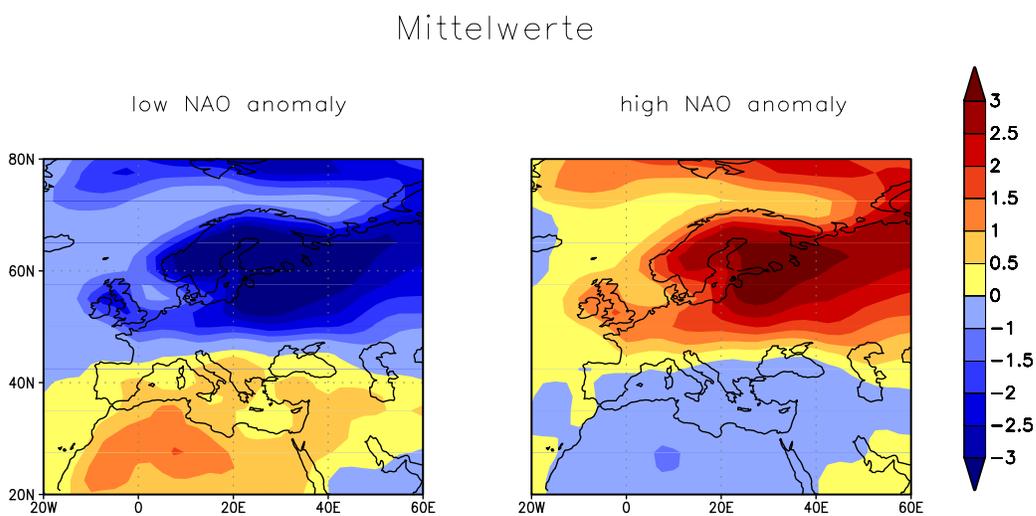


Abbildung 7.4: Mittelwerte der Temperaturanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Mittelwerte [°C]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	-4	-8	4
Ostsee	-3	-8	5
Mitteleuropa	0	-4	4
Osteuropa	-7	-10	3
Spanien/Portugal	8	6	2
Mittelmeergebiet	6	5	1
Gebiet um Island	2	1	1
Gebiet um Azoren	13	12	1

Tabelle 7.6: Mittelwerte der Temperaturverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Modus [$^{\circ}\text{C}$]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	-4	-7	3
Ostsee	1	-7	8
Mitteleuropa	5	-3	8
Osteuropa	-5	-11	6
Spanien/Portugal	11	9	2
Mittelmeergebiet	9	8	1
Gebiet um Island	12	11	1
Gebiet um Azoren	15	13	2

Tabelle 7.7: *Modus der Temperaturverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Am Modus (Tab. 7.7) ist zu erkennen, dass dieser im Süden Europas und an den beiden NAO-Zentren nicht von der Nordatlantischen Oszillation beeinflusst wird. Im Bereich Ostsee, Mittel- und Osteuropa und schwächer in Skandinavien dagegen ist eine hohe Modusdifferenz zu erkennen, was sich auch bei den Mittelwerten der Temperaturanomalien (Abb. 7.4) zeigt.

Dies ist bei den Mittelwerten (Tab. 7.6) sehr viel schwächer ausgeprägt.

Standardabweichung [$^{\circ}\text{C}$]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	6.4	7.0	0.6
Ostsee	5.3	5.5	0.2
Mitteleuropa	4.0	5.0	1.0
Osteuropa	7.2	6.3	0.9
Spanien/Portugal	5.3	5.5	0.2
Mittelmeergebiet	6.5	6.5	0.0
Gebiet um Island	7.0	7.0	0.0
Gebiet um Azoren	4.2	4.7	0.5

Tabelle 7.8: *Standardabweichung der Temperaturverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Standardabweichung

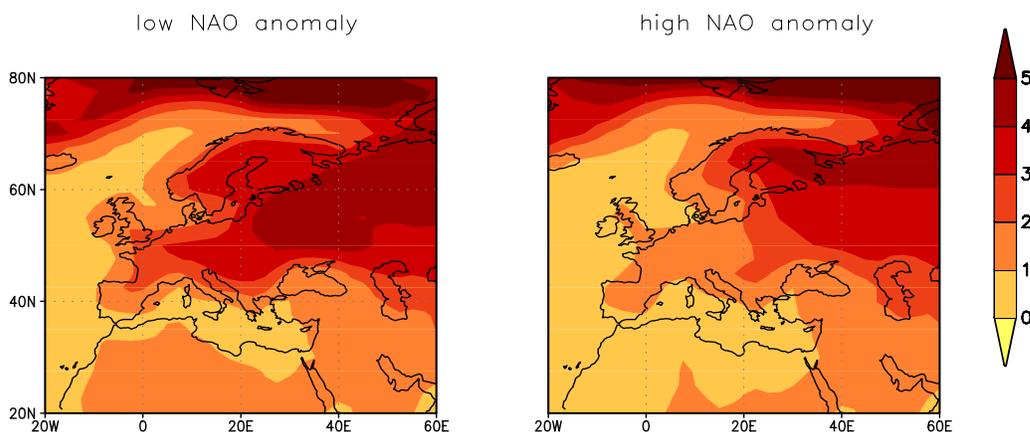


Abbildung 7.5: Standardabweichung der Temperaturanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Die Standardabweichungen (Tab. 7.8) sind in allen Gebieten sehr hoch. Sie differieren zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten in Mitteleuropa und Osteuropa am stärksten, in den meisten Gebieten sind sie aber vernachlässigbar klein (Abb. 7.5). Die NAO hat bei der Temperatur größeren Einfluss auf Mittelwert und Schiefe und weniger auf die Standardabweichung.

Schiefe:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	-0.6	-0.1	0.5
Ostsee	-0.8	-0.3	0.5
Mitteleuropa	-0.7	-0.1	0.6
Osteuropa	-0.2	0.0	0.2
Spanien/Portugal	-0.7	-0.5	0.2
Mittelmeergebiet	-0.5	-0.4	0.1
Gebiet um Island	-1.7	-1.4	0.3
Gebiet um Azoren	-0.7	-0.4	0.3

Tabelle 7.9: Schiefe der Temperaturverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Bei der Schiefe der Temperaturverteilungen (Tab. 7.9) fällt sofort auf, dass sie bei hoher NAO in allen Gebieten stark negativ ist und sich außer in Spanien/Portugal und dem Mittelmeergebiet bei niedriger NAO verringert, allerdings nicht positiv wird. Die Verteilungen decken somit in hohen bzw. niedrigen NAO-Monaten ungefähr den gleichen Temperaturbereich ab, in der hohen Phase treten die niedrigen Temperaturen allerdings seltener und die hohen durchaus häufiger auf.

Bei den Temperaturanomalien der Modelldaten (Abb. 7.6) erkennt man in beiden NAO-Phasen stets eine negative Schiefe, die in Mitteleuropa sehr stark ausgeprägt ist, wobei sie in Osteuropa, Skandinavien und der Ostseeregion bei hoher NAO negativer ist als bei niedriger.

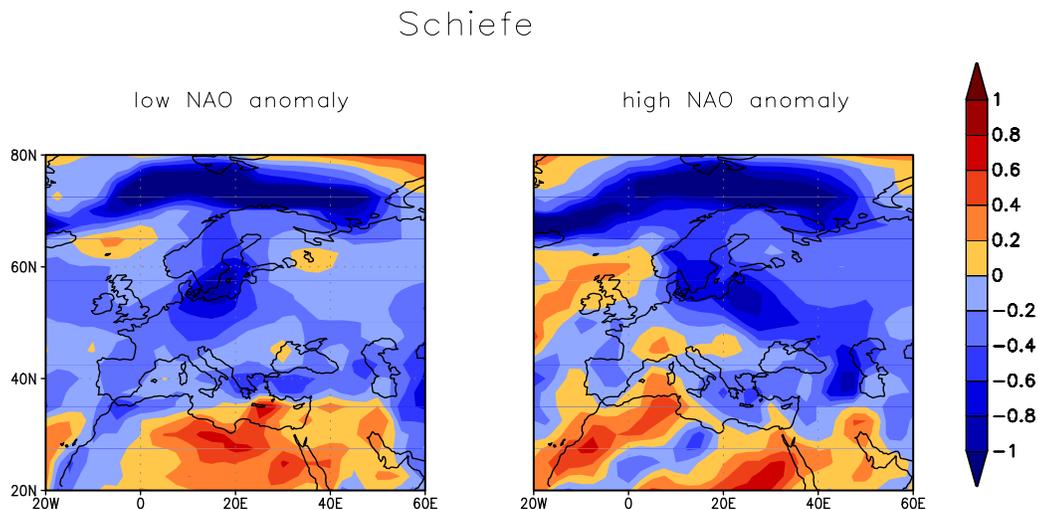


Abbildung 7.6: *Schiefe der Temperaturanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.*

Auf die Extremwerte der Temperatur (Tab. 7.10) hat die NAO vor allem in Nord-, Mittel- und Osteuropa starken Einfluss. Hier ergeben sich bei starker Westwindzirkulation 4-5°C höhere Extrema.

Extremwerte [$^{\circ}\text{C}$]:

	5%-Niveau			95%-Niveau		
	hoch	niedrig	Δ	hoch	niedrig	Δ
Skandinavien	-15	-20	5	6	4	2
Ostsee	-14	-18	4	4	0	4
Mitteleuropa	-9	-13	4	7	3	4
Osteuropa	-18	-23	5	4	2	2
Spanien/Portugal	-3	-4	1	15	14	1
Mittelmeergebiet	-7	-7	0	14	14	0
Gebiet um Island	-12	-13	1	10	9	1
Gebiet um Azoren	4	3	1	8	8	0

Tabelle 7.10: *Extremwerte des Temperatur (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

7.3 Spezifische Feuchte

Die spezifische Feuchte wird vor allem in Nord-, Mittel- und Osteuropa von der NAO beeinflusst, da die Achse maximalen Feuchtetransports bei hoher NAO eine von SW nach NO verlaufende Richtung annimmt und durch die starke Westwindzirkulation bis nach Europa vordringt.

Mittelwerte

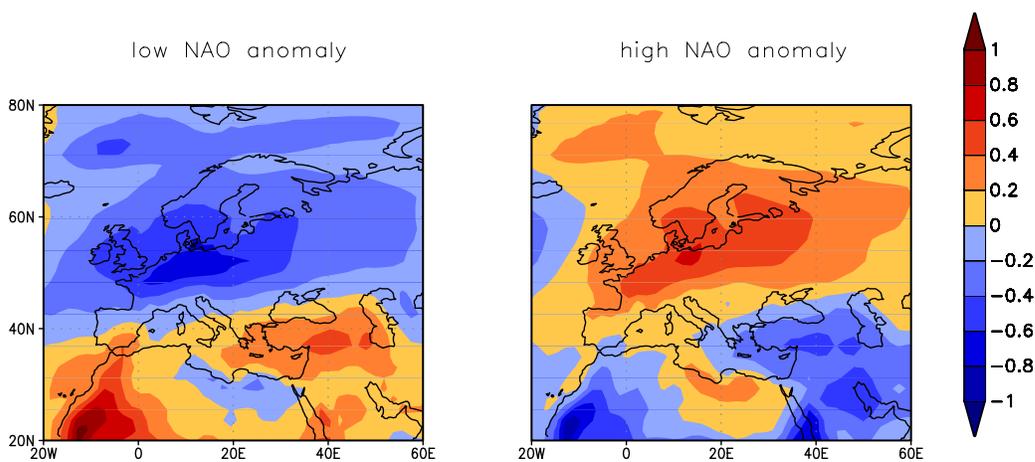


Abbildung 7.7: *Mittelwerte der SHUM-Anomalien vom Langzeitmittel (der NCEP/NCAR Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.*

Dies ist an den Mittelwerten der Feuchteanomalien vom Langzeitmittel (Abb. 7.7) und an den Mittelwerten (Tab. 7.11) bzw. dem Modus der Feuchteverteilungen (Tab. 7.12) zu erkennen. Hier sind die Differenzen zwischen hohen und niedrigen NAO-Monaten im Süden Skandinaviens und in der Mitte Europas am größten. Auch der Westen von Osteuropa wird noch beeinflusst, wodurch sich hier ebenfalls eine signifikante Modusdifferenz ergibt. Im Süden und in Island wird der Modus nicht stark durch die NAO beeinflusst, denn größere Abweichungen gibt es erst im östlichen Mittelmeer und östlich des Mittelmeers (siehe auch Abb. 4.4).

Mittelwerte [g/kg]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	3.4	2.7	0.7
Ostsee	3.4	2.6	0.8
Mitteleuropa	4.4	3.4	1.0
Osteuropa	2.8	2.3	0.5
Spanien/Portugal	6.7	6.6	0.1
Mittelmeergebiet	6.0	6.2	0.2
Gebiet um Island	4.7	4.5	0.2
Gebiet um Azoren	8.4	8.4	0

Tabelle 7.11: Mittelwerte der Feuchteverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Modus [g/kg]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	3.0	2.4	0.6
Ostsee	4.0	3.0	1.0
Mitteleuropa	4.8	3.5	1.3
Osteuropa	2.6	1.8	0.8
Spanien/Portugal	6.6	6.5	0.1
Mittelmeergebiet	6.3	6.5	0.2
Gebiet um Island	5.8	5.6	0.2
Gebiet um Azoren	8.3	8.2	0.1

Tabelle 7.12: Modus der Feuchteverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Modus und Mittelwert sind bei den Feuchteverteilungen die einzigen statistischen Momente, die zwischen hohen und niedrigen NAO-Ereignissen differieren. Die Standardabweichung (Tab. 7.13 bzw. Abb. 7.8) ist sehr gering, und da die Verteilungen, mit Ausnahme Osteuropas, annähernd normalverteilt sind, sind Schiefe und Exzess nicht von Interesse.

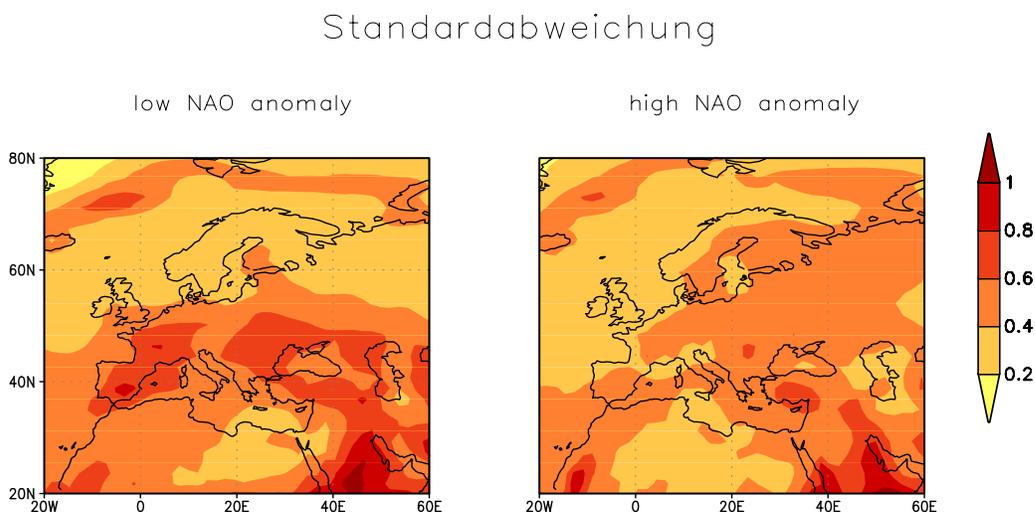


Abbildung 7.8: Standardabweichung der SHUM-Anomalien vom Langzeitmittel (der NCEP/NCAR Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Standardabweichung [g/kg]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	1.0	1.0	0.0
Ostsee	0.8	0.7	0.1
Mitteleuropa	0.7	0.7	0.0
Osteuropa	0.9	1.1	0.2
Spanien/Portugal	1.2	1.4	0.2
Mittelmeergebiet	1.5	1.6	0.1
Gebiet um Island	1.3	1.3	0.0
Gebiet um Azoren	1.3	1.5	0.2

Tabelle 7.13: Standardabweichung der spezifischen Feuchteverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Bei den Extremwerten der spezifischen Feuchte findet man die größten Abweichungen in Mitteleuropa. Hier treten bei hoher NAO bis zu 0.9g/kg höhere Extremwerte auf, da die Achse maximalen Feuchtetransports eine NW Komponente bekommt und somit Nord- und Mitteleuropa auch in den Extremwerten beeinflusst. Die Werte für den Süden Europas und die Zentren der NAO sind vernachlässigbar klein.

Extremwerte [g/kg]:

	5%-Niveau			95%-Niveau		
	hoch	niedrig	Δ	hoch	niedrig	Δ
Skandinavien	1.0	0.5	0.5	5.8	5.2	0.6
Ostsee	1.2	0.6	0.6	5.4	4.7	0.7
Mitteleuropa	2.3	1.5	0.8	6.3	5.4	0.9
Osteuropa	4.0	3.8	0.2	7.3	7.3	0.0
Spanien/Portugal	4.0	3.9	0.1	9.2	9.3	0.1
Mittelmeergebiet	3.8	3.8	0	9.0	9.1	0.1
Gebiet um Island	2.2	2.0	0.2	7.3	7.2	0.1
Gebiet um Azoren	5.2	5.0	0.2	12.0	12.2	0.2

Tabelle 7.14: *Extremwerte der spezifischen Feuchte (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

7.4 Niederschlag

Das Band maximaler Niederschlagsraten verlagert sich in hohen NAO-Monaten sehr weit nach Norden, da mehr Tiefdruckgebiete eine nördlichere Zugbahn haben. Diese führen starke Niederschläge mit sich, die auch in den Monatsmittelwerten sichtbar sind. Dadurch hat die NAO auf den Norden und Süden Europas und auch auf die Gebiete um ihre Zentren starken Einfluss. Während bei hoher NAO der Norden feuchter und der Süden trockener ist, kehrt sich dies in Zeiten niedriger NAO um (Abb. 7.9). Dies wird hier an den statistischen Momenten Modus, Mittelwert und Standardabweichung veranschaulicht.

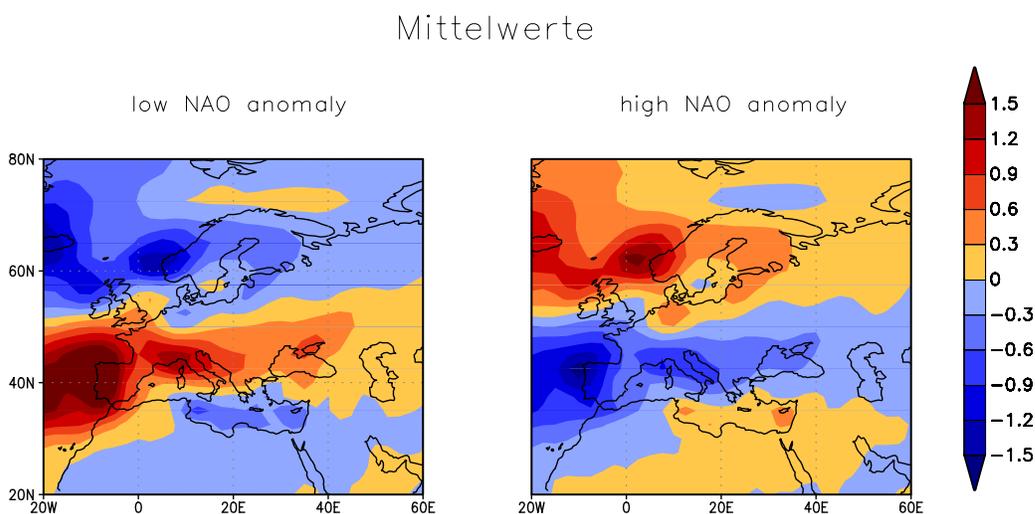


Abbildung 7.9: Mittelwerte der Niederschlagsanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Der Modus (Tab. 7.16) und der Mittelwert (Abb. 7.9 bzw. Tab. 7.15) machen bereits deutlich, dass vor allem Skandinavien, die Iberische Halbinsel, das Mittelmeergebiet und die britischen Inseln von der NAO beeinflusst werden. In Skandinavien und dem Gebiet um Island ist der Modus bei hoher NAO um 1mm/Tag höher, während er im Süden um fast denselben Wert abnimmt, da sich die maximalen Niederschläge in den Norden verlagern.

Mittelwerte [mm/Tag]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	2.4	1.6	0.8
Ostsee	1.5	1.2	0.3
Mitteleuropa	1.7	1.4	0.3
Osteuropa	1.2	1.2	0.0
Spanien/Portugal	1.1	2.5	1.4
Mittelmeergebiet	1.4	2.4	1.0
Gebiet um Island	4.3	2.5	1.8
Gebiet um Azoren	2.2	3.6	1.4

Tabelle 7.15: Mittelwerte der Niederschlagsverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Modus [mm/Tag]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	2.0	0.8	1.2
Ostsee	1.0	0.5	0.5
Mitteleuropa	0.6	0.3	0.3
Osteuropa	0.4	0.1	0.3
Spanien/Portugal	0.8	1.9	1.1
Mittelmeergebiet	0.9	1.9	1.0
Gebiet um Island	5.2	1.9	3.3
Gebiet um Azoren	1.8	3.0	1.2

Tabelle 7.16: *Modus der Niederschlagsverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Die Standardabweichung (Tab. 7.17) differiert genau in diesen Gebieten, wobei sie im Norden (Süden) bei hoher NAO hoch (niedrig) und bei niedriger NAO im Norden (Süden) niedrig (hoch) ist. Die größte Differenz zeigt sich allerdings im Gebiet Spanien/Portugal, sowohl bei den statistischen Momenten des Niederschlags (Tab. 7.17), wie auch bei den Niederschlagsanomalien vom Langzeitmittel (Abb. 7.10).

Standardabweichung [mm/Tag]:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	1.7	1.3	0.4
Ostsee	0.8	0.8	0.0
Mitteleuropa	1.1	1.0	0.1
Osteuropa	0.7	0.8	0.1
Spanien/Portugal	1.0	1.7	0.7
Mittelmeergebiet	1.0	1.4	0.4
Gebiet um Island	2.1	1.5	0.6
Gebiet um Azoren	2.0	1.7	0.3

Tabelle 7.17: *Standardabweichung der Niederschlagsverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.*

Standardabweichung

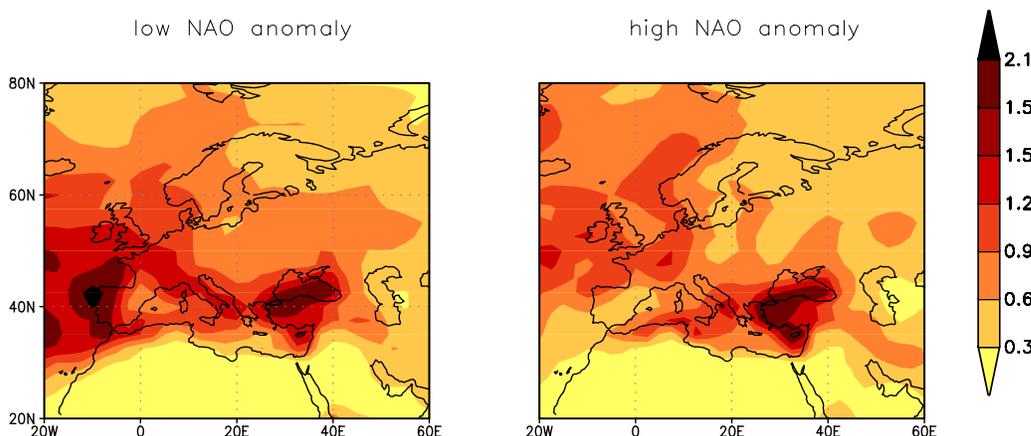


Abbildung 7.10: Standardabweichung der Niederschlagsanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate

Die Schiefe ist in allen Gebieten und in beiden NAO-Phasen stets positiv. Sie erreicht in hohen NAO-Monaten im allgemeinen größere Werte, besonders in Spanien/Portugal und dem Mittelmeer. In der Mittelmeerregion und in Spanien/Portugal nimmt der Modus zu dieser Zeit einen viel niedrigeren Wert als normal an, die höheren Regenraten treten aber ganz vereinzelt auch noch auf, wodurch es trotzdem lange Ausläufer nach rechts gibt und die Schiefe positiver wird.

Schiefe:

	hohe NAO	niedrige NAO	Δ
Skandinavien	1.3	1.0	0.3
Ostsee	1.3	0.9	0.4
Mitteleuropa	1.0	1.1	0.1
Osteuropa	1.0	1.2	0.2
Spanien/Portugal	1.6	1.1	0.5
Mittelmeergebiet	1.5	0.7	0.8
Gebiet um Island	0.3	0.7	0.4
Gebiet um Azoren	1.2	0.5	0.7

Tabelle 7.18: Schiefe der Niederschlagsverteilungen (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Schiefe

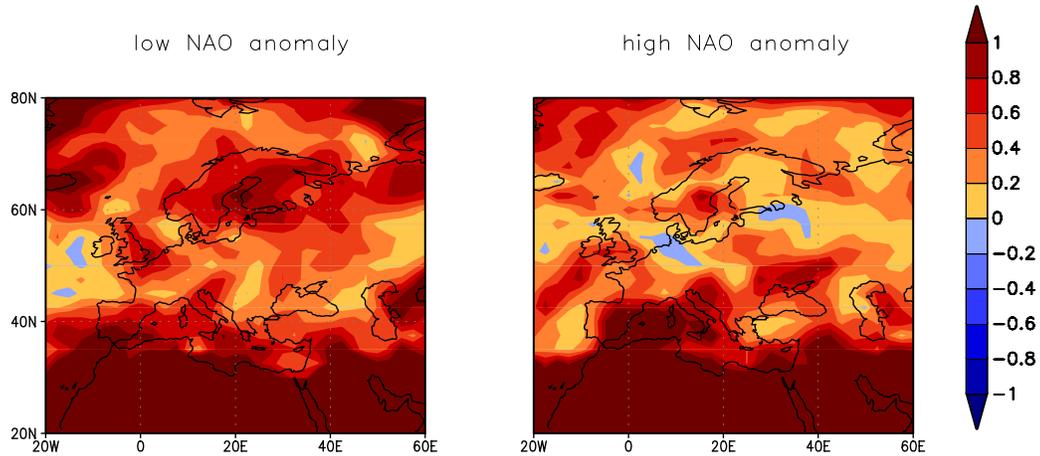


Abbildung 7.11: Schiefe der Niederschlagsanomalien vom Langzeitmittel (der ECHAM4/OPYC3 Daten) für niedrige und hohe NAO-Monate.

Über den Exzess soll hier noch angemerkt werden, dass er sich beim Niederschlag für alle Gebiete im Bereich von 4-5 bewegt und die Verteilungen daher stark zentriert sind und um den Modus einen steilen Verlauf aufweisen. Dies ist in beiden NAO-Phasen der Fall.

Extremwerte [mm/Tag]:

	5%-Niveau			95%-Niveau		
	hoch	niedrig	Δ	hoch	niedrig	Δ
Skandinavien	0.6	0.2	0.4	7.4	5.8	1.6
Ostsee	0.5	0.2	0.3	4.7	4.6	0.1
Spanien/Portugal	0.7	0.1	0.6	7.2	5.0	2.2
Mittelmeergebiet	0.7	0.2	0.5	6.4	5.2	1.2
Gebiet um Island	1.8	0.8	1.0	9.2	6.7	2.5
Gebiet um Azoren	0.4	1.2	0.8	7.7	8.0	0.3

Tabelle 7.19: Extremwerte des Niederschlags (aus NCEP/NCAR-Daten) niedriger und hoher NAO-Monate.

Bei den Extremwerten des Niederschlags zeigt sich der Nord-Südgegensatz. Während die Gebiete im Norden zu Zeiten starker (schwacher) Westwinde sehr viel höhere (niedrigere) Extremwerte aufweisen, vor allem am 95%-Niveau, sind sie im Süden bei niedriger (hoher) NAO sehr hoch (niedrig), da das Band maximaler Niederschläge bei starker Westwindzirkulation den Westen Skandinaviens beeinflusst und bei schwacher den Westen der Iberischen Halbinsel und die Mittelmeerregion.

8 Schlussbetrachtung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der NAO auf Europa untersucht. Dafür standen die atmosphärischen Parameter Bodendruck, bodennahe Lufttemperatur, spezifische Feuchte und Niederschlag auf Monatsbasis zur Verfügung, um Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen zu berechnen.

Europa wurde dabei nicht als einheitliches Gebiet betrachtet, sondern nach eingehender Untersuchung, die mittels einer EOF Analyse durchgeführt wurde, in acht Areale, Skandinavien, Ostsee, Mitteleuropa, Osteuropa, Spanien/Portugal, Mittelmeerregion, Gebiet um Island und Gebiet um Azoren, unterteilt.

Bei den Häufigkeitsverteilungen, die jeweils für die Zeit hoher bzw. niedriger NAO-Wintermonate berechnet wurden, zeigte sich in allen Arealen, wenn auch nicht bei allen Parametern, ein Einfluss der NAO.

Die Verteilungen des Bodendrucks verändern sich im Norden Europas bei starker Westwindzirkulation dahingehend, dass sie deutlich niedrigere Werte beinhalten und durch die großen räumlichen Gradienten eine höhere Standardabweichung aufweisen als bei schwachen Westwinden. Die rein zeitliche Standardabweichung ist bei niedriger NAO größer, bzw. bleibt gleich. Ansonsten sind die Verteilungen normalverteilt, haben also keine Schiefe bzw. Exzess, der stark von einer Gaußverteilung abweicht. Die Mitte und der Osten Europas beziehen beim Bodendruck eine Grenzstellung, da diese Bereiche bei hoher NAO weder stark von den anomal niedrigen Druckwerten im Norden, noch von den anomal hohen Druckwerten im Süden profitieren und deshalb keine signifikanten Unterschiede in ihren Verteilungen zeigen. Im Süden haben die Verteilungen eine sehr geringe Standardabweichung, da die Areale durch die schwachen räumlichen Gradienten sehr homogen sind. Sie sind in beiden extremen NAO-Phasen allerdings signifikant verschoben, da der verstärkte Hochdruckeinfluss bei hoher NAO zu deutlich höheren Druckwerten führt. Die Extremwerte werden vor allem in Skandinavien und Portugal beeinflusst, wobei es im Norden vorwiegend die niedrigen Extrema sind, die bei starker Westwindzirkulation zu niedrigeren Druckwerten tendieren. Hier wäre es interessant, die kumulativen Verteilungen mit Anomalien vom Langzeitmittel zu untersuchen und die ECHAM4/OPYC3-Daten für diese Analysen heranzuziehen, da sie über eine höhere Datenmenge verfügen und damit bessere Statistiken erlauben. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr durchgeführt werden. Die Anomalien bieten den Vorteil, dass rein zeitliche Änderungen erfasst werden können und die räumlichen Inhomogenitäten reduziert würden.

Bei der Temperatur weisen alle Verteilungen hoher und niedriger NAO-Monate eine negative Schiefe auf, die sich in Zeiten stark ausgeprägter NAO-Zentren noch steigert und bis auf den Süden Europas in allen Arealen zu einem höheren Modus in

den Temperaturverteilungen führt, der vor allem in der Ostseeregion, Mittel- und Osteuropa bei höheren Temperaturwerten liegt, da es zu einem verstärkten Transport von Warmluft über den Nordatlantik kommt, der vor allem den Norden und die Mitte Europas beeinflusst. Dies gilt auch für die Extremwerte.

Die Achse maximalen Feuchtetransports verlagert sich bei hoher NAO von einer westlichen auf eine von SW nach NO verlaufende Richtung und bringt höhere Feuchtwerte in den Norden und die Mitte Europas, was sich im Modus und in den Mittelwerten der Verteilungen bemerkbar macht. Ansonsten sind sie in Standardabweichung, Schiefe und Exzess bis auf Osteuropa, wo es durch die große räumliche Inhomogenität zu einer starken positiven Schiefe kommt, nahezu normalverteilt. Die PDFs im Süden weisen sowohl in hohen als auch in niedrigen NAO-Phasen spezifische Feuchteverteilungen auf, die nicht nennenswert durch die NAO beeinflusst sind und bei sehr hohen Werten liegen.

Der Niederschlag zeigt vor allem im Norden und Süden starken NAO-Einfluss, da sich das maximale Niederschlagsband bei starker Westwindzirkulation durch die stärkere Nordkomponente nach Skandinavien verlagert, wodurch der Modus dort zu höheren Werten tendiert und sich die hohen Extrema der Monatsmittel um 2-3mm/Tag steigern, während die Niederschlagsrate im SW Europas deutlich geringer wird und die hohen Extremwerte ausbleiben. Für den Niederschlag wäre es allerdings besser, von den Gebieten Skandinavien und Spanien/Portugal nur den Westen des Gebiets zu untersuchen, da hier die starken Niederschläge fallen. Für diese Analyse wäre es dann sinnvoll, ECHAM4/OPYC3-Datenfelder zu benutzen, da sie über längere Zeitreihen verfügen.

Zusammengefasst ist festzuhalten, dass in Phasen hoher NAO die Winter in Skandinavien feuchter und wärmer sind, während der Niederschlag nur den NW beeinflusst, wodurch in der Ostseeregion nur wärmere Winter zu beobachten sind. In Mitteleuropa zeigt sich ein uneinheitliches Bild. Während in Norddeutschland feuchtere und wärmere Bedingungen vorherrschen, ist es in Süddeutschland kälter und trockener. Der Westen Osteuropas ist ebenfalls wärmer, im Osten ist kein großer Einfluss der NAO zu beobachten. Im Westen der Iberischen Halbinsel treten deutlich geringere Niederschlagsmengen auf, was auch für das Mittelmeergebiet, allerdings in abgeschwächter Form, gilt.

Weitere Informationen über die zeitlichen Variationen der atmosphärischen Parameter bei extremen NAO-Ereignissen könnten durch die Berechnung der Verteilungen mit Anomalien und nicht mit normalen Werten gewonnen werden. Anomalien zeigen weniger natürliche räumliche Unterschiede. Eine weitere Möglichkeit besteht in der weiteren Unterteilung der Gebiete. Dafür benötigt man allerdings höher aufgelöste Datenfelder, wie zum Beispiel die ECMWF-Daten. Diese stehen momentan allerdings erst für die letzten 20 Jahre zur Verfügung.

Abkürzungen

D,J,F,M	Dezember, Januar, Februar, März
EOF	Empirical Orthogonal Function
NAO	Nordatlantische Oszillation
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NCEP/NCAR	siehe NCEP und NCAR
PC	Principal Component
SLP	Sea Level Pressure
TEMP bzw. T	Temperatur
SHUM	Specific Humidity
PRATE	Precipitation Rate
RR	Niederschlag
q	Feuchte
PDF	Probability Density Function
NW	Nordwesten
NO	Nordosten
SW	Südwesten
SO	Südosten

Tabellenverzeichnis

4.1	Anzahl der Gitterpunkte pro Gebiet	20
6.1	Korrelation der NAO-Indizes verschiedener Monate	50
7.1	Mittelwerte der Druckverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	82
7.2	Modus der Druckverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate . . .	82
7.3	Standardabweichung der Druckverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	83
7.4	Schiefe der Druckverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate . . .	84
7.5	Extremwerte des Bodendrucks niedriger und hoher NAO-Monate . . .	85
7.6	Mittelwerte der Temperaturverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	86
7.7	Modus der Temperaturverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	87
7.8	Standardabweichung der Temperaturverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	87
7.9	Schiefe der Temperaturverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	88
7.10	Extremwerte der Temperatur niedriger und hoher NAO-Monate . . .	90
7.11	Mittelwerte der Feuchteverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	91
7.12	Modus der Feuchteverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate . .	91
7.13	Standardabweichung der spezifischen Feuchteverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	92
7.14	Extremwerte der spezifischen Feuchte niedriger und hoher NAO-Monate	93
7.15	Mittelwerte der Niederschlagsverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	94
7.16	Modus der Niederschlagsverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	95
7.17	Standardabweichung der Niederschlagsverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	95
7.18	Schiefe der Niederschlagsverteilungen niedriger und hoher NAO-Monate	96
7.19	Extremwerte des Niederschlags niedriger und hoher NAO-Monate . .	97

Abbildungsverzeichnis

2.1	NAO-Index, Monatsmittel für DJFM von 1948-1999	5
2.2	NAO-Index, Saisonmittel für die Winter von 1948-2000	6
3.1	Verschiedene Fensterbreiten bei der Kernel Density Method; (a) 0.2, (b) 0.8	9
3.2	Untergliederung der eingipfligen Häufigkeitsverteilungen in Schiefe und Exzess	11
4.1	1.EOF der SLP - Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000 . . .	15
4.2	1.EOF der TEMP - Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000 . .	16
4.3	1.EOF der SHUM - Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000 . .	17
4.4	1.EOF der PRATE - Wintermonatsmittel (D,J,F,M) von 1948-2000 .	18
4.5	Ausgewählte Gebiete zur Untersuchung des NAO-Einflusses	19
5.1	hohe NAO-Phase	21
5.2	hohe NAO-Phase	23
6.1	Gebiet um Island	25
6.2	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets um Island während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate . .	25
6.3	Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln des Ge- biets um Island während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	26
6.4	Gebiet um die Azoren	27
6.5	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets um Azoren während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate .	27
6.6	Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln des Ge- biets um Azoren während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	28
6.7	Untersuchungsgebiet Skandinavien	29
6.8	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	29
6.9	Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	30
6.10	Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Gebiets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	31
6.11	Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln des Ge- biets Skandinavien während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO- Monate	32
6.12	Räumliche Schwankungen der zeitlichen SLP-Verteilungen in Skandi- navien	33
6.13	Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen TEMP-Verteilungen in Skandinavien	33

6.14	Zeitliche Schwankungsbreiten der räumlichen SHUM-Verteilungen in Skandinavien	34
6.15	Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen PRATE-Verteilungen in Skandinavien	35
6.16	Kumulative PDFs des SLP in Skandinavien	36
6.17	Bodendruckanomalien am 5%-Niveau in Skandinavien	37
6.18	Kumulative PDF des TEMP in Skandinavien	38
6.19	Temperaturanomalien am 5%-Niveau in Skandinavien	38
6.20	Temperaturanomalien am 95%-Niveau in Skandinavien	39
6.21	kumulative PDF der PRATE in Skandinavien	40
6.22	Niederschlagsanomalien am 95%-Niveau in Skandinavien	40
6.23	räumliche Momente des SLP in Skandinavien	41
6.24	räumliche Momente der TEMP in Skandinavien	42
6.25	Untersuchungsgebiet Ostsee	44
6.26	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	45
6.27	Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate . . .	45
6.28	Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Ostseegebietes während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate . . .	46
6.29	Verteilungen des SLP aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 für das Ostseegebiet	47
6.30	Verteilungen des TEMP aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 für das Ostseegebiet	48
6.31	PDFs der TEMP für lag1 im Ostseegebiet	50
6.32	Untersuchungsgebiet Mitteleuropa	51
6.33	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	52
6.34	Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	52
6.35	Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln des Gebiets Mitteleuropa während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	53
6.36	Räumliche Abweichungen der zeitlichen Verteilungen des SLP in Mitteleuropa während hoher NAO-Monate	54
6.37	Zeitliche Abweichungen der räumlichen Verteilungen des SLP in Mitteleuropa während hoher NAO-Monate	55
6.38	Verteilungen des SLP aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 für Mitteleuropa	56
6.39	Verteilungen der TEMP aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 für Mitteleuropa	57

6.40	kumulative Verteilungen der TEMP für Mitteleuropa	58
6.41	Temperaturanomalien am 5%-Niveau in Mitteleuropa	59
6.42	Temperaturanomalien am 95%-Niveau in Mitteleuropa	60
6.43	Untersuchungsgebiet Osteuropa	61
6.44	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	62
6.45	Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	62
6.46	Modus in Osteuropa	63
6.47	Häufigkeitsverteilungen von SHUM-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	64
6.48	Kumulative Verteilungen der TEMP in Osteuropa	65
6.49	Temperaturanomalien am 5%-Niveau in Osteuropa	65
6.50	Temperaturanomalien am 95%-Niveau in Osteuropa	66
6.51	Häufigkeitsverteilungen von TEMP-Wintermonatsmitteln Osteuropas während niedriger+1 (blau) und hoher+1 (rot) NAO-Monate	67
6.52	Untersuchungsgebiet Spanien/Portugal	68
6.53	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln Spanien/Portugals während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	69
6.54	Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Monatsmitteln Spanien/Portugals	70
6.55	Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen SLP-Verteilungen der Iberischen Halbinsel	70
6.56	Räumliche Schwankungsbreiten der zeitlichen PRATE-Verteilungen der Iberischen Halbinsel	71
6.57	Verteilungen der PRATE aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 in Spanien/Portugal	72
6.58	Kumulative Verteilungen des SLP in Spanien/Portugal	73
6.59	Bodendruckanomalien am 5%-Niveau in Spanien/Portugal	74
6.60	Bodendruckanomalien am 95%-Niveau in Spanien/Portugal	75
6.61	Kumulative Verteilungen der PRATE in Spanien/Portugal	75
6.62	Niederschlagsanomalien am 95%-Niveau in Spanien/Portugal	76
6.63	Untersuchungsgebiet Mittelmeer	77
6.64	Häufigkeitsverteilungen von SLP-Wintermonatsmitteln im Mittelmeergebiet während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	78
6.65	Häufigkeitsverteilungen von PRATE-Wintermonatsmitteln im Mittelmeergebiet während niedriger (blau) und hoher (rot) NAO-Monate	78
6.66	Verteilungen des TEMP aus NCEP/NCAR und ECHAM4/OPYC3 für das Mittelmeergebiet	79
7.1	Mittelwerte der SLP-Anomalien für hohe und niedrige NAO-Monate .	81

7.2	Standardabweichung der SLP-Anomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	83
7.3	Schiefe der SLP-Anomalien für hohe und niedrige NAO-Monate . . .	84
7.4	Mittelwerte der Temperaturanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	86
7.5	Standardabweichung der Temperaturanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	88
7.6	Schiefe der Temperaturanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	89
7.7	Mittelwerte der SHUM-Anomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	90
7.8	Standardabweichung der SHUM-Anomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	92
7.9	Mittelwerte der Niederschlagsanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	94
7.10	Standardabweichung der Niederschlagsanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	96
7.11	Schiefe der Niederschlagsanomalien für hohe und niedrige NAO-Monate	97

Literaturverzeichnis

Literatur

- Appenzeller, C., Stocker, T. F., und Anklin, M., 1998. North Atlantic Oscillation dynamics recorded in Greenland ice cores. *Science*, 282, 446–449.
- Cayan, D. R., 1992. : Latent and sensible heat flux anomalies over the northern oceans: The connection to monthly atmospheric circulation. *J. Climate*, 5, 354–369.
- Fang, Z. und Wallace, J. M., 1993. The relationship between the wintertime blocking over Greenland and the sea ice distribution over North Atlantic. *Adv. Atmos. Science*, 10, 453–464.
- Flemming, G., 1991. *Einführung in die Angewandte Meteorologie*. Akademie-Verlag Berlin.
- Greatbatch, R. J., 1999. The North Atlantic Oscillation. *submitted to Stoch. Env. Res. Risk Ass. Entretiens*.
- Gulev, S. K., 2000. North atlantic oscillation: Regional impacts on european weather and climate.
- Härdle, W., 1990. *Applied nonparametric regression*. University Press, Cambridge.
- Hilmer, M. und Jung, T., 2000. Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic Oscillation and Arctic sea ice export. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 989–992.
- Hurrell, J. W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- Hurrell, J. W. und van Loon, H., 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Clim. Change*, 36, 301–326.
- Jung, T., 2000. *North Atlantic Climate Variability: The North Atlantic Oscillation, Oceanic Dynamics, and Arctic Sea Ice*. Doktorarbeit, Institut für Meereskunde Kiel, University of Kiel, Germany.
- Jung, T., Hilmer, M., Kleppek, S., Ruprecht, E., Gulev, S. K., und Zolina, O., 2000. Recent shift of interannual NAO variability: Impacts on North Atlantic climate. *Geophys. Res. Lett.*. Submitted.

- Jung, T., Ruprecht, E., Timmermann, A., und Gulev, S. K., 2001. Interannual and intraseasonal variability of the nao during wintertime: A diagnostic coupled gcm study. *J. Climate*. Submitted.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., und Joseph, D., 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Kimoto, M. und Ghil, M., 1993. Multiple flow regimes in the Northern Hemisphere winter. Part II: Sectorial regimes and preferred transitions. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2645–2673.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Wollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., v.d Dool, H., Jenne, R., und Fiorino, M., 2001. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247–267.
- Lamb, P. J. und Pepler, R. A., 1987. North Atlantic Oscillation: Concept and an Application. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1218–1225.
- Liljequist, G. H., 1974. *Allgemeine Meteorologie*. Vieweg + Sohn, Braunschweig.
- Lutterbacher, J., Schmutz, C., Gyalistras, D., Xoplaki, E., und Wanner, H., 1999. Reconstruction of monthly NAO and EU indices back to AD 1875. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2745–2748.
- Müller, P. H., 1991. *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik: Lexikon der Stochastik*. Akademie Verlag GmbH, Berlin.
- Nakamura, H. und Wallace, J. M., 1991. Skewness of low-frequency fluctuations in the tropospheric circulation during Northern Hemispheric winter. *J. Atmos. Sci.*, 48, 1441–1448.
- Oberhuber, J. M., 1993. The OPYC ocean general circulation model. Technical Report 7, Deutsches Klimarechenzentrum GmbH, Hamburg, Germany.
- Osborn, T. J., Briffa, K. R., Tett, S. F. B., Jones, P. D., und Trigo, R. M., 1999. Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model. *Clim. Dyn.*, 15, 685–702.
- Peixoto, J. P. und Oort, A. H., 1992. *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York.

- Pichler, H., 1997. *Dynamik der Atmosphäre*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Roeckner, E., 1996. The atmospheric general circulation model echam4: Model description and simulation of present-day climate. MPI-Report 218, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany.
- Roedel, W., 1994. *Physik unserer Umwelt*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Rogers, J. C., Bolzan, J. F., und Pohjola, V. A., 1998. Atmospheric circulation variability associated with shallow-core seasonal isotopic extremes near Summit, Greenland. *J. Geophys. Res.*, 103, 11 205–11 219.
- Schönwiese, C., 1988. *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Schröder, S., 2001. *Wasserdampftransport über dem Nordatlantik in Abhängigkeit von der Nordatlantischen Oszillation*. Diplomarbeit, Institut für Meereskunde Kiel, University of Kiel, Germany.
- Silverman, B. W., 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall/CRC.
- Timmermann, A., Latif, M., Voss, R., und Grötzner, A., 1998. Northern Hemispheric Interdecadal Variability: A Coupled Air-Sea Mode. *J. Climate*, 11, 1906–1931.
- Ubl, S., 2001. *Variabilität von Zyklonenbahnen über dem Nordatlantik*. Diplomarbeit, Institut für Meereskunde Kiel, University of Kiel, Germany.
- von Storch, H. und Zwiers, F. W., 1999. *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press. 484 pp.
- White, G. H., 1980. Skewness, kurtosis and extreme values of Northern Hemisphere geopotential heights. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1446–1455.

Danksagung

Abschließend möchte ich mich bei allen bedanken, die mir während meiner Diplomarbeit zur Seite standen, insbesondere bei Prof.Dr.E. Ruprecht für die Betreuung und dem Interesse an meinen Ergebnissen.

Bei Michael Hilmer, Thomas Jung und Oliver Timm bedanke ich mich für ihre Tipps und ihr immer offenes Ohr.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglichten. Ihnen und Steffen möchte ich für die Unterstützung während meines gesamten Studiums danken.

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ich versichere, dass diese Arbeit noch nicht an anderer Stelle zur Erlangung eines Diplomgrades eingereicht worden ist.

Kiel, Januar 2002

(Sabine Kleppek)