

BfG-1682



# Bericht



## Auswertungen ausgewählter globaler Klimamodelle hinsichtlich atmosphärischer Zirkulationsbedingungen im nordatlantisch-mitteleuropäischen Sektor

Peter Krahe, Enno Nilson, Ulrike Gelhardt, Jürgen Lang

DOI: 10.5676/BfG-1682-2011

URL: <http://dx.doi.org/10.5676/BfG-1682-2011>

Dieser Bericht entstand in Zusammenarbeit mit der MeteoSolutions GmbH.

Koblenz, 08. Dezember 2010



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Methodischer Rahmen</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Datengrundlagen</b> .....	<b>12</b>
3.1 <i>Ausgewählte Modellläufe</i> .....	12
3.2 <i>Referenzgitter</i> .....	14
3.3 <i>Eingangsdaten</i> .....	15
<b>4 Technische Durchführung</b> .....	<b>17</b>
4.1 <i>Datenextraktion (CERA, DKRZ)</i> .....	18
4.2 <i>Datenaufbereitung (DKRZ)</i> .....	18
4.3 <i>Berechnung der oWLK und Zonal-Index (DWD)</i> .....	19
4.3.1    Objektive Wetterlagenklassifikation.....	19
4.3.2    Zonal-Index.....	21
4.4 <i>Berechnung der Gebietsmittel von Temperatur und Niederschlag</i> .....	23
<b>5 Exemplarische Auswertungen</b> .....	<b>24</b>
5.1 <i>Validierung von GCMs anhand objektiver Wetterlagenklassen</i> .....	24
5.2 <i>Validierung von GCMs anhand des Zonal-Index für Winter (NAO)</i> .....	25
5.3 <i>Analyse von Klimaänderungen anhand objektiver Wetterlagenklassen</i> .....	26
5.4 <i>GCM-Analyse anhand aggregierter Wetterlagenklassen</i> .....	27
5.5 <i>Wetterwirksamkeit von Wetterlagen</i> .....	29
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>31</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>32</b>
<b>Anhang A</b> .....	<b>34</b>
<b>Anhang B</b> .....	<b>36</b>
<b>Anhang C</b> .....	<b>37</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema des Untersuchungsrahmens. ....	11
Abbildung 2: Das Referenz-Gitter. Die Kreuze kennzeichnen jeweils den Mittelpunkt einer Gittermaschine.....	14
Abbildung 3: Übersicht der für die objektive Wetterlagenklassifikation benötigten Eingangsgrößen. ....	16
Abbildung 4: Übersicht der für die NAO-Auswertung benötigten atmosphärischen Eingangsgrößen. ....	16
Abbildung 5: Übersicht der ausgewerteten oberflächenklimatologischen Variablen. ....	16
Abbildung 6: Zuordnung der einzelnen Arbeitsschritte zu den drei Rechnerumgebungen (DKRZ, DWD und PC) .....	18
Abbildung 7: Definition des oWLK-Gitters für das gewählte Untersuchungsgebiet Mitteleuropa (3 = dreifache, 2 = zweifache, 1 = einfache Gewichtung der Gitterpunkte). Punkte des Referenzgitters (vgl. Abbildung 2) außerhalb des rot gekennzeichneten Gebietes werden nicht berücksichtigt .....	19
Abbildung 8: Definition des NAO-Gitters. Blau bzw. rot gekennzeichnet sind die Gitterpunkte, die in der Nordzone bzw. Südzone liegen, welche für die Berechnung des Zonal-Index festgelegt wurden. Punkte des Referenzgitters (vgl. Abbildung 2), die außerhalb des farbig gekennzeichneten Bereichs liegen, werden nicht berücksichtigt.....	21
Abbildung 9: Definition der vier Teilgebiete (NW, NO, SW und SO) für die Betrachtung von Gebietsmitteln der Lufttemperatur in 2m Höhe und der täglichen Niederschlagssumme. Die Werte an den Gitterpunkten innerhalb der definierten Teilgebiete gehen in einfacher Gewichtung in die Berechnung der Gebietsmittel ein .....	23
Abbildung 10: Relative Häufigkeitsverteilung der 40 Wetterlagenklassen für Mitteleuropa für den Zeitraum 1961-1990 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis des Kontrolllaufs 20C3M des Modells MPEH5, Lauf 3 .....	24
Abbildung 11: 11-jährig gleitende Mittel des Zonal-Index für Winter (DJFM) für den Zeitraum 1950-2000 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis der Kontrollläufe 20C3M der ausgewählten Modelle .....	25
Abbildung 12: Relative Häufigkeitsverteilung der 40 Wetterlagenklassen für Mitteleuropa auf Basis des Kontrolllaufs 20C3M für den Zeitraum 1961-1990 sowie auf Basis der Szenarienrechnung SRA1B für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 des Modells MPEH5, Lauf 3	26
Abbildung 13: Relative Häufigkeitsverteilung der WLK5 für Mitteleuropa für den Zeitraum 1961-1990 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis der Kontrollläufe 20C3M der ausgewählten Modelle	28
Abbildung 14: Absolute Änderung in der Häufigkeitsverteilung der WLK5 für Mitteleuropa auf Basis der Szenarienrechnung SRA1B (2071-2100) gegenüber des jeweiligen Kontrolllaufs 20C3M (1961-1990) der ausgewählten Modelle .....	28
Abbildung 15: Schema zur Erläuterung eines Box-Whisker-Plots. ....	29
Abbildung 16: Den 40 Wetterlagen (aus ERA40) zugeordnete Box-Whisker-Plots (Erweiterung um arithm. Mittel, roter Punkt) der mittleren Niederschlagshöhe auf Basis der ENSEMBLE-Messdaten für den Zeitraum 1961-1990 (Beispiel: Frühling, MAM) für das Gesamtgebiet Mitteleuropa. Unter der Klasse "Gesamt" wurde die gesamte Datenbasis unabhängig von den Wetterlagen betrachtet.....	30
Abbildung 17: Beispiel der Datenbankstruktur.....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Modellläufe und Reanalysedaten.....	13
Tabelle 2: Übersicht der Institutionen.....	14
Tabelle 3: Aggregation von 5 Wetterlagengruppen (WLK5).....	27
Tabelle 4: Spaltenfolge der der oWLK zugrundeliegenden Indizes.....	35

## Abkürzungsverzeichnis

BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
CDO	Climate Data Operators
ClimChAlp	Climate change, impacts and adaptation strategies in the Alpine Space
DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum
DWD	Deutscher Wetterdienst
EZMW	Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage
GCM	Global Climate Model
KLIWAS	Projekt: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt
NAO	Nord Atlantische Oszillation
oWLK	objektive Wetterlagenklassifikation
RR	Niederschlag
TAS	Lufttemperatur
WLK5	Zusammenfassung der Wetterlagen zu 5 Wetterlagengruppen

## Danksagung

Das in diesem Dokument beschriebene Projekt wurde vom Deutschen Wetterdienst (DWD) durch Bereitstellung von Rechnerressourcen und Programmen für die Durchführung der Berechnung der objektiven Wetterlagenklassen und der NAO-Berechnungen auf Grundlage der ERA-40-Reanalyse- und der GCM-Daten unterstützt. Die Datenvorbereitung konnte dankenswerter Weise auf den Rechnern des Deutschen Klimarechenzentrums DKRZ in Hamburg durchgeführt werden. Die Arbeiten wurden aus dem Interreg-Fonds IIIB "Alpine Space" (Projekt "ClimChAlp") sowie durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Forschungsprogramm KLIWAS) finanziert.

Die GCM-Daten, die in diesem Projekt benutzt werden, sind im Rahmen des EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (Contract number 505539) erstellt worden und wurden freundlicherweise auf der CERA-Datenbank des World Data Center for Climate in Hamburg bereitgestellt. Ebenso sei dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMWF, UK) und der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) für die Bereitstellung der Reanalysedaten gedankt.

## Ziel des Dokuments

Dieses Dokument begleitet die Veröffentlichung einer Datenbank (vgl. Anhang A), die – gemäß dem Titel dieses Berichts "Auswertungen ausgewählter globaler Klimamodelle hinsichtlich atmosphärischer Zirkulationsbedingungen im nordatlantisch-mitteuropäischen Sektor" enthält. Es dokumentiert die Vorgehensweise zur Ableitung der Zirkulationsindizes und zeigt exemplarische Auswertungen. Eine Interpretation ist hier ausdrücklich nicht intendiert, sondern soll durch Verwendung der Daten im Rahmen wissenschaftlicher Projekte und Veröffentlichungen erfolgen.

# 1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) befasst sich mit der Abschätzung von Folgen des Klimawandels auf verschiedene Aspekte des Managements der Bundeswasserstraßen. Aktuelle Programme und Projekte sind z.B. KLIWAS ("Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen in Deutschland"; Finanzierung: BMVBS; Nilson, 2009), AdaptAlp ("Adaptation to Climate Change in the Alpine Space"; Förderung: EU, INTERREG IVB) oder EC-CONET ("Effects of climate change on the inland waterway networks"; Förderung: EU, 7. Forschungsrahmenprogramm). Eine wesentliche Datengrundlage im Rahmen dieser Aufgabenstellung sind die Ergebnisse von Klimamodellen. Diese gilt es zu bewerten und auf mögliche Klimaänderungssignale hin zu untersuchen.

Klimamodelle sind in zwei hierarchisch ineinander greifende Kategorien zu unterteilen: Globale Klimamodelle (GCM; genauer: AOGCM, gekoppelte globale Ozean-Atmosphäre-Modelle oder ESM, Earth System Models) bilden das weltweite Klimasystem ab. Sie liefern wichtige Daten und Informationen zur klimatischen Entwicklung auf kontinentaler Ebene. Für detaillierte, auf Bodennähe bezogene Aussagen für einzelne Einzugsgebiete oder Regionen sind GCMs allerdings zu grob (200-300 km horizontale Auflösung). Für nationale und flussgebietsbezogene Fragestellungen werden regionale Klimamodelle (RCM) in die globalen Klimamodelle eingelagert (sog. Nesting) oder statistische Downscalingverfahren angewendet, mit denen feinere und für hydrologische Modelle geeignete hydrometeorologische Daten bereitgestellt werden können (Regionalisierung, Downscaling auf 10-50 km horizontale Auflösung bzw. Stationen).

Die Qualität der regionalen hydrometeorologischen Daten hängt wesentlich von der Fähigkeit der GCM ab, die atmosphärischen Bedingungen (Druck, Temperatur, Feuchte in verschiedenen Höhengniveaus) möglichst zutreffend wiederzugeben. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass innerhalb der Verkettung von GCM und regionalem Klimamodell das GCM eine Hauptunsicherheitsquelle darstellt (z.B. EU-FP5- Projekt PRUDENCE, Fowler et al., 2007). Die Charakteristik dieser Unsicherheit muss deshalb analysiert werden.

Im Sinne hydrologischer Fragestellungen sind insbesondere die Aussagen der GCM zu atmosphärischen Feuchte- und Strömungsverhältnissen relevant, da diese über die Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen entscheiden. Für jedes GCM ist somit der Nachweis zu erbringen, dass innerhalb eines zurückliegenden Kontrollzeitraumes die simulierten Feuchte- und Strömungsverhältnisse den beobachteten Bedingungen weitgehend entsprechen.

Mit Blick auf mögliche zukünftige klimatische Entwicklungen ist zu untersuchen, ob die GCM – unter Berücksichtigung möglicher Modellunschärfen – Änderungen der Häufigkeiten von Großwetterlagen anzeigen. Dies hätte erhebliche Auswirkungen u.a. auf die Niederschlagshäufigkeiten und –mengen in Mitteleuropa und damit auf die Abflüsse der Bundeswasserstraßen.

In den vierten und jüngsten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) sind über 20 GCM verschiedener Forschungsinstitutionen eingeflossen. Davon wurden



sieben GCMs für Europa regionalisiert. Allerdings fehlt bislang eine systematische Auswertung hinsichtlich der Frage, ob diese Modelle in der Lage sind, die gegenwärtigen atmosphärischen Bedingungen über Deutschland in geeigneter Weise wiederzugeben.

Zur Beschreibung und Analyse atmosphärischer Zirkulationsbedingungen stehen zahlreiche Verfahren und Indizes zur Verfügung, die es vor dem genannten Hintergrund zu diskutieren gilt. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Anwendung eines **Wetterlagenklassifikationsansatzes und eines Indexes für die Nordatlantischen Oszillation**. Dargelegt werden nach einer kurzen Erläuterung des methodischen Rahmens (Abschnitt 2)

- die Datengrundlagen (Abschnitt 3),
- Einzelheiten der Datenprozessierung (4) und
- erste exemplarische Auswertungen für den Zeitraum 1950-2100 (Abschnitt 5) sowie
- die Struktur der Datenbank (Anhang A).

Eine vertiefte Analyse soll in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS (Riediger et al., 2010), sowie durch den Austausch in der nationalen und internationalen Forschungsgemeinschaft erfolgen.

Die Nutzung der Daten für nicht-kommerzielle Zwecke ist ausdrücklich erwünscht und wird durch die freie Verfügbarkeit der Daten gefördert. Ein online-Zugang zu den Daten sowie zu diesem Bericht und zu den Nutzungsbedingungen ist über den das "Climate Data Center" des Deutschen Wetterdienstes möglich (<http://dx.doi.org/10.5676/BfG-1682-2011>).

## 2 Methodischer Rahmen

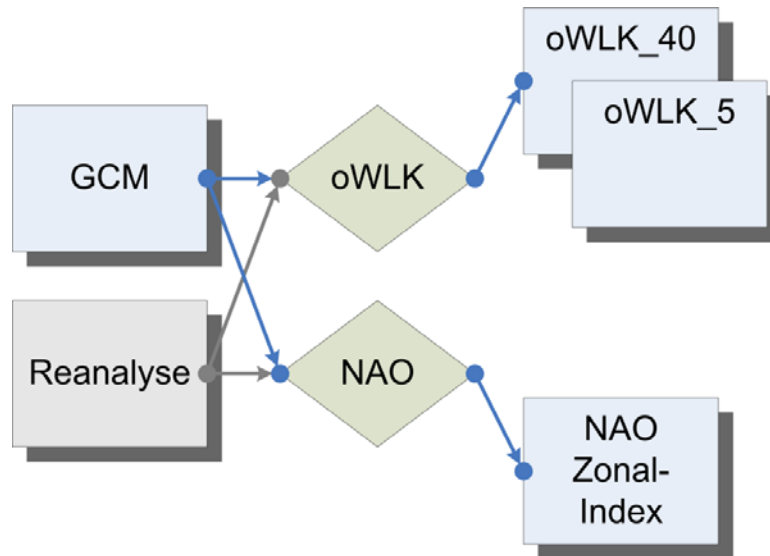
Charakteristika und Veränderungen der großräumigen atmosphärischen Strömungen werden hier anhand eines Wetterlagenklassifikationsverfahrens sowie eines Indexes der Nordatlantischen Oszillation charakterisiert.

Bei dem angewendeten Wetterlagenklassifikationsansatz handelt es sich um ein objektives Verfahren. Im Gegensatz zu der subjektiven Methode der Wetterlagenklassifikation nach Hess und Brezowsky (1977) ist das hier verwendete Verfahren eindeutig definiert und jederzeit numerisch nachvollziehbar. Das **objektive Wetterlagenklassifikationsverfahren (oWLK)** wurde im Rahmen eines Projektes des Deutschen Wetterdienstes (**DWD**) entwickelt (Dittmann et al., 1995; Bissolli und Dittmann, 2001) und befindet sich im operationellen Einsatz der täglichen Wetteranalyse des DWD.

Im Rahmen des mittlerweile abgeschlossenen Projektes ClimChAlp ("Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space"; Förderung: EU, Interreg IIIB) wurde das Verfahren unter Federführung der BfG in der Anwendung auf Reanalysedaten (ERA40; ECMWF, Uppala et al., 2005) sowie auf Simulationsergebnisse des Klimamodells ECHAM5/MPI-OM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg (Jungclaus et al., 2006, Roeckner et al., 2003) erfolgreich erprobt (Krahe et al., 2008). Der hier vorgestellte erweiterte Datenfundus (verschiedene Reanalyse-Produkte, GCMs und Emissionsszenarien) wurde im Rahmen des KLIWAS-Projektes ("Wasserhaushalt, Wasserstand, Transportkapazität") in den Jahren 2009 und 2010 generiert.

Für die Interpretation der Wetterlagen hinsichtlich hydrologischer und oberflächenklimatologischer Fragestellungen (z.B. Trockenheit) ist eine Analyse der **Wetterwirksamkeit** einzelner Wetterlagen bzw. Strömungsmuster bedeutsam. Daher werden beobachtete und regionalisierte bzw. modellierte Tagesgebietswerte des Niederschlags und der bodennahen (2 m) Temperatur herangezogen.

Die **Nordatlantische Oszillation (NAO)** ist insbesondere für die winterliche Witterung relevant. Ein positiver NAO-Index zeugt beispielsweise von einer starken zonalen Zirkulation, die mit relativ milden und feuchten, z.T. stürmischen Bedingungen verknüpft ist, während ein negativer Index für eine schwache zonale Zirkulation in Verbindung mit häufigen Einbrüchen trocken-kalter kontinentaler Luftmassen aus Nord-Ost steht. Die **Nordatlantische Oszillation** wird hier anhand des sogenannten **Zonal-Index** charakterisiert (vgl. Leckebusch et al., 2008), der den Bodendruck zwischen zwei Gebieten im atlantisch-europäischen Sektor ins Verhältnis setzt.



**Abbildung 1:** Schema des Untersuchungsrahmens.

Der generelle Untersuchungsrahmen ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Einzelheiten hierzu sind in den anschließenden Abschnitten ausgeführt. Die Struktur der Datenbank ist in Anhang A erläutert.

## 3 Datengrundlagen

### 3.1 Ausgewählte Modellläufe

Bei der Auswahl der Datengrundlagen spielten – neben der Verfügbarkeit – verschiedene Kriterien eine Rolle, die sich aus den Hauptzielstellungen (1) der Modellvalidierung sowie (2) der Klimaänderungsanalyse ableiten. Es wurden zunächst solche GCMs ausgewählt, die als Antriebsmodelle für RCMs der europäischen Klimaforschungsgemeinschaft im Rahmen des EU-Projektes ENSEMBLES dienen. Für alle GCM wurden die Kontrollläufe (20C3M) sowie die Läufe unter Annahme des Emissionsszenarios A1B herangezogen. Um Bandbreiten aufgrund unterschiedlicher Emissionsszenarien aufzuzeigen, wurden zu Vergleichszwecken auch Modellläufe verwendet, die auf unterschiedlichen Szenarien (B1 und A2) beruhen. Zur Einschätzung der Modell-internen Klimavariabilität wurden für das Modell ECHAM5-MPIOM (kurz: MPEH5 bzw. DMIEH5, vgl. Tabelle 1) bewusst vier unterschiedliche Läufe gewählt, die auf demselben Emissionsszenario basieren.

Die Validierung der Modelle erfolgt anhand von drei verschiedenen Reanalysedatenprodukten, die trotz der Assimilation von Beobachtungsdaten Unterschiede aufweisen und unterschiedliche Zeiträume abdecken (ERA40, ERA-Interim und NCAR/NCEP). Mit dem Modell EGMAM wurde ein modifiziertes GCM einer früheren "Modellgeneration" integriert (Basis: ECHAM4), um auch frühere Projektergebnisse vergleichend bewerten zu können.

Tabelle 1 und Tabelle 2 geben einen Überblick über die ausgewählten Läufe sowie die bereitstellenden Institutionen. Alle GCM-Läufe entstammen dem Datenstrom 1 des EU-Projektes Ensembles; außer HADCM3, das aus dem Datenstrom 2 stammt. Der Datenstrom 2 unterscheidet sich vom Datenstrom 1 durch Verwendung neuerer Modellversionen z.B mit Ankopplung des Kohlenstoffkreislaufs (Royer et al., 2009).

Für die beiden Modelle IPCM4 und HADGEM lagen nicht alle für die oWLK erforderlichen Eingangsdaten (vgl. Abschnitt 3.3) vor, so dass für diese Modelle nur Berechnungen des Zonal-Index durchgeführt werden konnten.

**Tabelle 1:** Übersicht der verwendeten Modellläufe und Reanalysedaten

Die erste Datenlieferung erfolgte im Frühjahr 2010. Die mit \* gekennzeichneten Daten gehörten zur zweiten, ergänzenden Lieferung.

Abk. Modell	Modell	Forcing	Lauf	Zeitraum	Verwendung im Projekt	Verfügbar in
HADCM3*	HadCM3	20C3M	Q0	1950-1999	Modellbewertung	CERA-Datenbank
HADCM3*	HadCM3	A1B	Q0	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
MPEH5	ECHAM5-MPIOM	20C3M	1,2,3	1950-2000	Modellbewertung	CERA-Datenbank
MPEH5	ECHAM5-MPIOM	A1B	1,2,3	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
MPEH5	ECHAM5-MPIOM	A2	1*,3	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
MPEH5	ECHAM5-MPIOM	B1	1*,3	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
DMIEH5	DMI-ECHAM5-MPIOM	20C3M	4	1950-2000	Modellbewertung	CERA-Datenbank
DMIEH5	DMI-ECHAM5-MPIOM	A1B	4	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
CNCM3	CNRM-CM3	20C3M	1	1950-2000	Modellbewertung	CERA-Datenbank
CNCM3	CNRM-CM3	SRA1B	1	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
CNCM3	CNRM-CM3	SRA2	1	2001-2100	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
BCM2	BCCR-BCM2.0	20C3M	1	1950-1999	Modellbewertung	CERA-Datenbank
BCM2	BCCR-BCM2.0	A1B	1	2001-2099	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
EGMAM	EGMAM	20C3M	3	1950-1999	Modellbewertung	CERA-Datenbank
EGMAM	EGMAM	A1B	3	2001-2099	Analyse des Klimawandels	CERA-Datenbank
HADGEM	METO-HC-hadgem1	20C3M	1	1950-1999	Modellbewertung (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
HADGEM	METO-HC-hadgem1	A1B	1	2001-2099	Analyse des Klimawandels (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
HADGEM	METO-HC-hadgem1	A2	1	2001-2099	Analyse des Klimawandels (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
IPCM4	IPSL-CM4	20C3M	1	1950-2000	Modellbewertung (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
IPCM4	IPSL-CM4	SRA1B	1	2001-2100	Analyse des Klimawandels (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
IPCM4	IPSL-CM4	SRA2	1	2001-2100	Analyse des Klimawandels (nur Zonal-Index)	CERA-Datenbank
ERA40	ERA40	-	-	1961-2000	Modellbewertung	ECMWF <sup>1</sup>
NCEP*	NCEP/NCAR	-	-	1948-2010	Modellbewertung	NOAA
ERA1*	ERA-Interim	-	-	1989-2010	Modellbewertung	ECMWF <sup>1</sup>

<sup>1</sup> [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/)

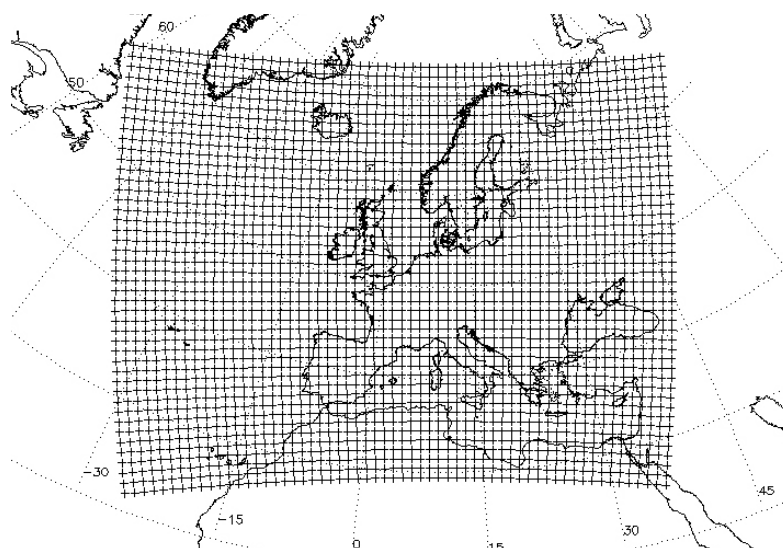
**Tabelle 2:** Übersicht der Institutionen

Abk. Modell	Einrichtung, Land	Abkürzung
MPEH5	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Deutschland	MPI-M
DMIEH5	Danish Meteorological Institute, Dänemark	DMI
BCM2	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegen	BCCR
CNCM3	Centre National de Recherches Meteorologiques, Frankreich	CNRM
EGMAM	Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, Deutschland	IFMB
IPCM4	Institut Pierre Simon Laplace, Frankreich	IPSL
HADGEM, HADCM3	Met. Office, Großbritannien	METO
ERA40, ERAI	European Centre for Medium Range Weather Forecast, EU-finanziert	ECMWF
NCAR/NCEP	National Center for Environmental Prediction, USA	NCEP

### 3.2 Referenzgitter

Zur Berechnung der objektiven Wetterlagenklassifikation werden die Daten auf einem äquidistanten Gitter benötigt. Da die Daten der ausgewählten Modelle auf Gittern mit von Modell zu Modell unterschiedlicher Gitterweite vorliegen, ist es notwendig, alle Eingangsdaten auf ein einheitliches Gitter zu interpolieren (Referenzgitter, Abbildung 2). Das Referenzgitter ist wie folgt definiert:

- Das Referenzgitter ist ein gedrehtes sphärisches Gitter.
- Der Nordpol liegt im Pazifik bei 170°W und 42°N.
- Der Äquator schneidet bei 48°N den 10°O-Meridian und verläuft damit nördlich der Alpen.
- Das Gitter enthält in zonaler Richtung 60 Gitterpunkte und in meridionaler Richtung 45 Gitterpunkte.
- Die Gitterweite beträgt 1°.



**Abbildung 2:** Das Referenz-Gitter.  
Die Kreuze kennzeichnen jeweils den Mittelpunkt einer Gittermasche

Da der Äquator des rotierten Gitters in unmittelbarer Nähe des zu untersuchenden Gebiets (Mitteleuropa) verläuft, liegen die Gitterpunkte um den Äquator, d.h. im Untersuchungsgebiet nahezu äquidistant vor und erfüllen damit eine wichtige Voraussetzung der oWLK. Alle für die oWLK und die NAO-Auswertung benötigten Eingangsdaten werden auf dieses Referenzgitter interpoliert und auch in diesem Umfang in der Projektdatenbank hinterlegt. In die eigentliche Auswertung der oWLK und NAO geht jeweils nur ein Ausschnitt des Referenzgitters ein, der in Abbildung 7 (WLK-Gitter) bzw. Abbildung 8 (NAO-Gitter) dargestellt ist.

### 3.3 Eingangsdaten

In Abbildung 3 und Abbildung 4 ist jeweils eine Übersicht der für die oWLK und NAO-Auswertung benötigten Eingangsvariablen gegeben. Die für die oberflächenklimatologischen Auswertungen relevanten Größen sind in Abbildung 5 dargestellt.

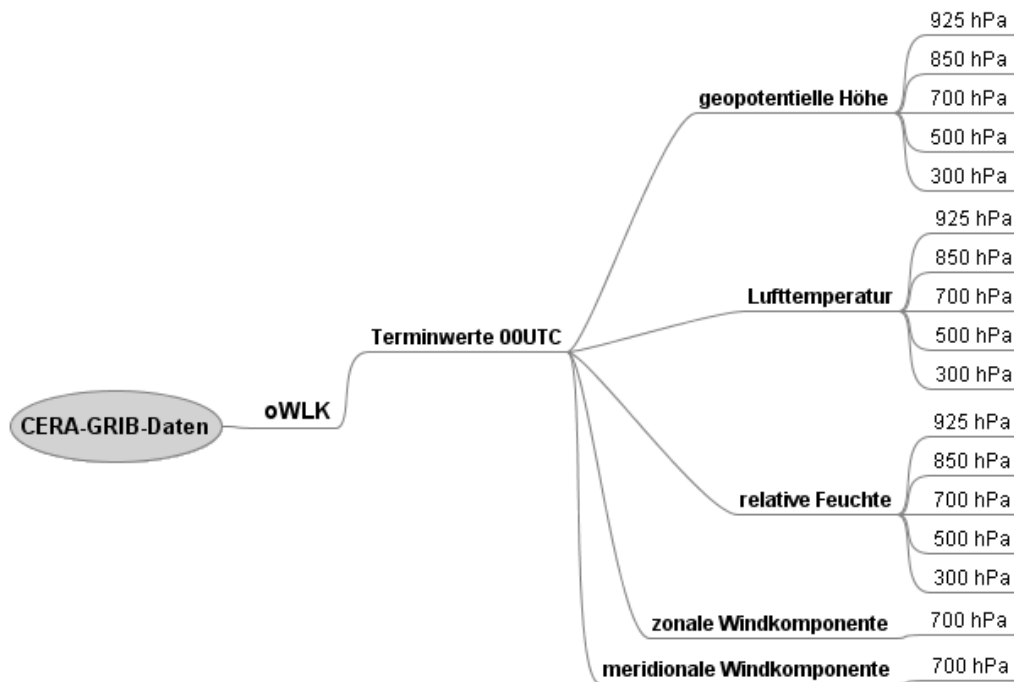
In die Berechnung der täglichen Wetterlage gehen die geopotentielle Höhe, die Temperatur und die relative Feuchte von fünf Höhenniveaus ein sowie die horizontalen Windkomponenten in 700 hPa (Abbildung 3). Dabei liegen die Daten als Terminwerte um 00 UTC vor (Ausnahme: EGMAM, Terminwerte um 12 UTC, siehe Anhang C).

Wie bereits in Abschnitt 3.1 erwähnt, waren für das französische Modell IPCM4 die Eingangsdaten für die oWLK nicht vollständig verfügbar (Stand: Mitte 2009), so dass es nur hinsichtlich des Zonal-Index ausgewertet werden konnte. Es fehlen die geopotentielle Höhe und die Lufttemperatur in 925 hPa sowie die relative Feuchte in allen Höhenniveaus. Die geopotentielle Höhe und die Lufttemperatur liegen anstelle des 300 hPa-Höhenniveaus in 200 hPa vor. Für das Szenario SRA2 fehlt die Lufttemperatur in 850 hPa.

Für die Auswertung des Zonal-(NAO-)Index sind lediglich Monatsmittel des Bodenluftdrucks (NN) erforderlich. Diese Daten liegen für alle ausgewählten Modelle in der CERA-Datenbank vor (Abbildung 4).

Um erste Aussagen über die großskalige Niederschlags- und Temperaturwirksamkeit von Wetterlagen je GCM treffen zu können, wurden Felder des Niederschlags und der Lufttemperatur beschafft (Abbildung 5). Diese Größen liegen auch für die Reanalysen ERA-Interim und NCEP vor. Auf dieser Basis wurden Gebietsmittel für die in Abbildung 9 dargestellten Sektoren gebildet. Für dieselben Gebiete wurde zum Vergleich ein Beobachtungsprodukt aus dem EU-ENSEMBLES-Projekt hinzugezogen (ENSEMBLES-WP5.1, Haylock et. al., 2008). Diese 24h-Niederschlagssummen beziehen sich dabei allerdings auf den Zeitraum 6 UTC des Tages bis 6 UTC des Folgetages.

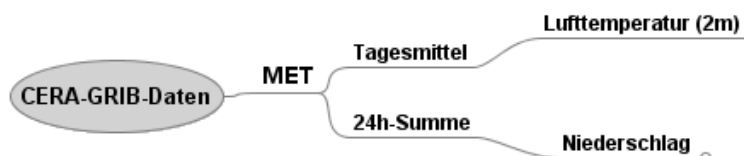
Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Berechnungen umfassen für die Kontrollläufe generell den Zeitraum 1950-1999 bzw. 1950-2000 und für die Szenarienläufe den Zeitraum 2001-2099 bzw. 2001-2100. ERA-Interim-Daten liegen erst für den Zeitraum nach 1989 vor, so dass die Auswertungen hier abweichen.



**Abbildung 3:** Übersicht der für die objektive Wetterlagenklassifikation benötigten Eingangsgrößen.



**Abbildung 4:** Übersicht der für die NAO-Auswertung benötigten atmosphärischen Eingangsgrößen.



**Abbildung 5:** Übersicht der ausgewerteten oberflächenklimatologischen Variablen.



## 4 Technische Durchführung

Die nachfolgende Darstellung der Datenprozessierung erfolgt exemplarisch für die in der CERA-Datenbank erhältlichen GCM-Läufe. Der Ablauf lässt sich in vier Teile in unterschiedlichen technischen Umgebungen untergliedern (vgl. Abbildung 6).

### Überblick:

- Arbeiten auf dem CROSS-System (bis 2009) bzw. BLIZZARD-System (ab 2010) am DKRZ in Hamburg:

Die Simulationsergebnisse der ausgewählten globalen Klimamodelle befinden sich in der CERA-Datenbank des DKRZ in Hamburg. Da das DKRZ Werkzeuge zur Entarchivierung und Aufbereitung der Modelldaten zur Verfügung stellt, erfolgten diese Arbeitsschritte auf dem CROSS- / BLIZZARD-System des DKRZ.

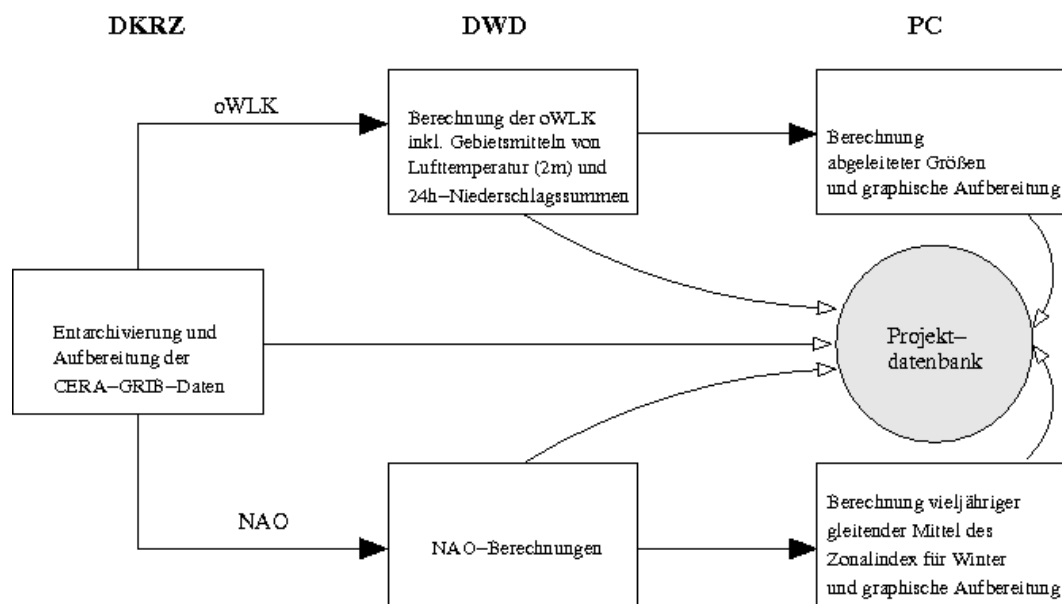
- Arbeiten auf dem Rechner hpc beim DWD in Offenbach:

Die anzuwendende objektive Wetterlagenklassifikation wurde beim DWD entwickelt und greift auf DWD-interne FORTRAN-Bibliotheken zu, so dass sämtliche Berechnungen der oWLK auf dem Rechner hpc des DWD in Offenbach durchgeführt wurden. Die vorhandene Software-Umgebung wurde auch für die NAO-Berechnungssoftware genutzt, deren notwendige Eingangsdaten im gleichen Format wie die der oWLK vorliegen. Das zugehörige Programm wurde in Analogie zur oWLK in FORTRAN auf dem Rechner hpc des DWD entwickelt und auf die Modelle angewendet.

- Arbeiten auf einem PC bei der MeteoSolutions GmbH in Darmstadt:

Die weiteren Aufbereitungen der Ergebnisse aus der oWLK und der NAO-Berechnung (Ableitung weiterer Größen und grafische Aufbereitung) wurden mit Hilfe von IDL-Programmen und Excel-Anwendungen gelöst und konnten auf einem Windows-PC mit den entsprechenden Programm-Lizenzen erfolgen.

- Sämtliche Projektdaten wurden abschließend in einer file-basierten Projektdatenbank archiviert. Die Struktur der Datenbank ist in Anhang A erläutert.



**Abbildung 6:** Zuordnung der einzelnen Arbeitsschritte zu den drei Rechnerumgebungen (DKRZ, DWD und PC)

## 4.1 Datenextraktion (CERA, DKRZ)

Die Daten wurden aus der CERA-Datenbank auf das CROSS-/ BLIZZARD-System extrahiert und hier weiter bearbeitet. Da große Datenmengen zu extrahieren waren, wurde der automatisierte kommandozeilenorientierte Zugriff über das javabasierte Verfahren "jblob" gewählt.

## 4.2 Datenaufbereitung (DKRZ)

Die extrahierten Datensätze ("Rohdaten") wurden für die Auswertungen der oWLK und des Zonal-Index präprozessiert. Dabei wurde auf die "Climate Data Operators" (CDOs) zurückgegriffen, die am MPI für Meteorologie entwickelt wurden und auf dem CROSS-/ BLIZZARD-System angeboten werden.

Die Aufbereitung für die oWLK umfasst die folgenden Bearbeitungsschritte:

- Ausschneiden eines Teilgebietes aus dem gesamten Modellgebiet, welches das Gebiet des Referenzgitters (siehe Kapitel 3.2) abdeckt,
- Interpolation der Modelldaten auf das Referenzgitter mittels bikubischer Splines,
- Umrechnung der Zahlenwerte in die von der oWLK benötigten Einheiten (je nach Modell erforderlich):
  - a) Temperatur in K,
  - b) Relative Feuchte in %,
  - c) Geopotentielle Höhe in m,
  - d) Windkomponenten in m/s,
  - e) 24h-Niederschlagssummen in mm.

### Probleme bei der Datenaufbereitung

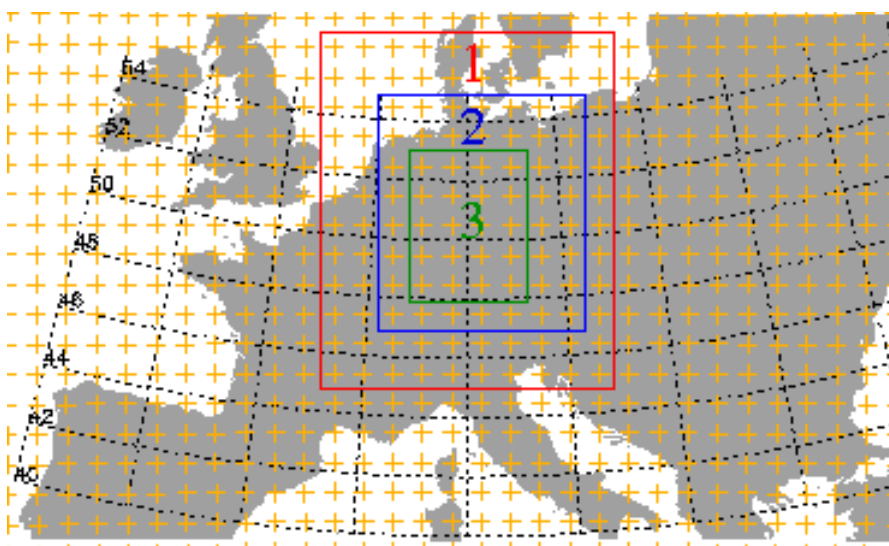
Die Datenextraktion und –aufbereitung gestaltete sich nicht als ganz unproblematisch. Es stellte sich gleich zu Beginn der Arbeiten heraus, dass der Datenzugriff für jedes Modell speziell geprüft und entsprechend angepasst werden muss. Die modellspezifischen Probleme, verursacht durch z.B. fehlerhafte Metadateninformationen oder durch den notwendigen Zugriff auf die Daten nicht über die einfache Terminangabe sondern über Datensatznummern, sind in Anhang C zusammengefasst dargestellt.

## 4.3 Berechnung der oWLK und Zonal-Index (DWD)

Die beim DKRZ aufbereiteten GRIB-Daten wurden im ECFS-Archivsystem des DWD archiviert. Auf dem Rechner hpc des DWD ist die aktuelle Version der oWLK, welche für die Anwendung auf GCM erweitert wurde, sowie Skripte zur NAO-Auswertung installiert.

### 4.3.1 Objektive Wetterlagenklassifikation

Die eigentliche Berechnung der oWLK soll nur für ein Gebiet, welches Mitteleuropa abdeckt, erfolgen. Dieses Untersuchungsgebiet (WLK-Gitter) wurde in Anlehnung an das Modellgebiet, für welches beim DWD im operationellen Betrieb die oWLK bestimmt wird, festgelegt und umfasst einen Ausschnitt von 10 X 12 Gitterpunkten aus dem Referenzgitter (Kapitel 3.2). Dabei gehen die Werte an den Gitterpunkten in unterschiedlicher Gewichtung in die Berechnung ein (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Definition des oWLK-Gitters für das gewählte Untersuchungsgebiet Mitteleuropa (3 = dreifache, 2 = zweifache, 1 = einfache Gewichtung der Gitterpunkte). Punkte des Referenzgitters (vgl. Abbildung 2) außerhalb des rot gekennzeichneten Gebietes werden nicht berücksichtigt

Die Klassifizierung in Wetterlagen erfolgt hinsichtlich der Art der Luftmassenadvektion, der Zyklonalität in Bodennähe und in der mittleren Troposphäre sowie des Feuchtegehalts der

Troposphäre. Entsprechend dieser drei Kriterien werden drei so genannte Indizes auf Basis der in Kapitel 3.3 aufgeführten meteorologischen Modellvariablen für das betrachtete Untersuchungsgebiet pro Termin berechnet (hier: jeweils 00UTC des Untersuchungszeitraums, Ausnahme: EGMAM, Terminwerte um 12UTC).

### Advektionsindex

Die Luftmassenadvektion wird über die vorherrschende Windrichtung in der freien Atmosphäre definiert. In der oWLK wird eine vorherrschende Windrichtung als gegeben angesehen, wenn mehr als zwei Drittel der Windvektoren in 700 hPa Höhe in einem 90°-Sektor liegen. Anschließend wird geprüft, in welchem der vier Richtungssektoren Nordwest (NW), Südwest (SW), Nordost (NO) oder Südost (SO) der Schwerpunkt des 90°-Sektors liegt. Entsprechend ist der Advektionsindex NW, SW, NO oder SO. Liegt keine vorherrschende Windrichtung vor, erhält der Advektionsindex die Kennung XX.

### Zyklonalitätsindex

Der Zyklonalitätsindex wird über die Krümmung des Geopotentials in Bodennähe und in der mittleren Troposphäre festgelegt. Ein positiver Wert bedeutet Zyklonalität (Z), ein negativer Wert Antizyklonalität (A).

### Feuchteindex

Der Feuchteindex wird über das Gebietsmittel des maximal möglichen Niederschlags (PW) bestimmt. Dieses berechnete Gebietsmittel wird mit einem täglichen vieljährigen Gebietsmittelwert des PW verglichen. Liegt der Wert oberhalb des klimatologischen Wertes, wird der Feuchteindex als "feucht" klassifiziert (F), anderenfalls als "trocken" (T).

Der vieljährige Jahrgang des Gebietsmittels des PW wurde hier auf Basis der täglichen Gebietsmittelwerte des Zeitraums 1961-2000 (ERA-Interim: Zeitraum 1989-2000) des jeweils betrachteten Modells berechnet, d.h. zum Beispiel für die Klassifizierung trocken/feucht auf Grundlage des Modells MPEH5, Lauf1 (20C3M und SRA1B) dienen für die Bestimmung des vieljährigen Jahrgangs des PW Modelldaten des Kontrolllaufs 20C3M (MPEH5, Lauf1) als Berechnungsbasis.

Aus der Kombination der drei beschriebenen Indizes ergeben sich insgesamt 40 objektive Wetterlagen: 5 Windklassen (NW, SW, NO, SO, XX) mal 2 Zyklonalitätsklassen (A, Z; in Bodennähe) X 2 Zyklonalitätsklassen (A, Z; in der mittleren Troposphäre) mal 2 Feuchteklassen (F, T). Eine Übersicht aller Wetterlagenklassen befindet sich in Anhang B.

Für weitere Informationen zur oWLK des DWD wird auf Bissolli und Dittmann (2001) und Dittmann et. al. (1995) verwiesen. Detaillierte Informationen zur oWLK-Anwendung sind in den Programmdokumentationen des DWD zu finden (DWD, 2005).

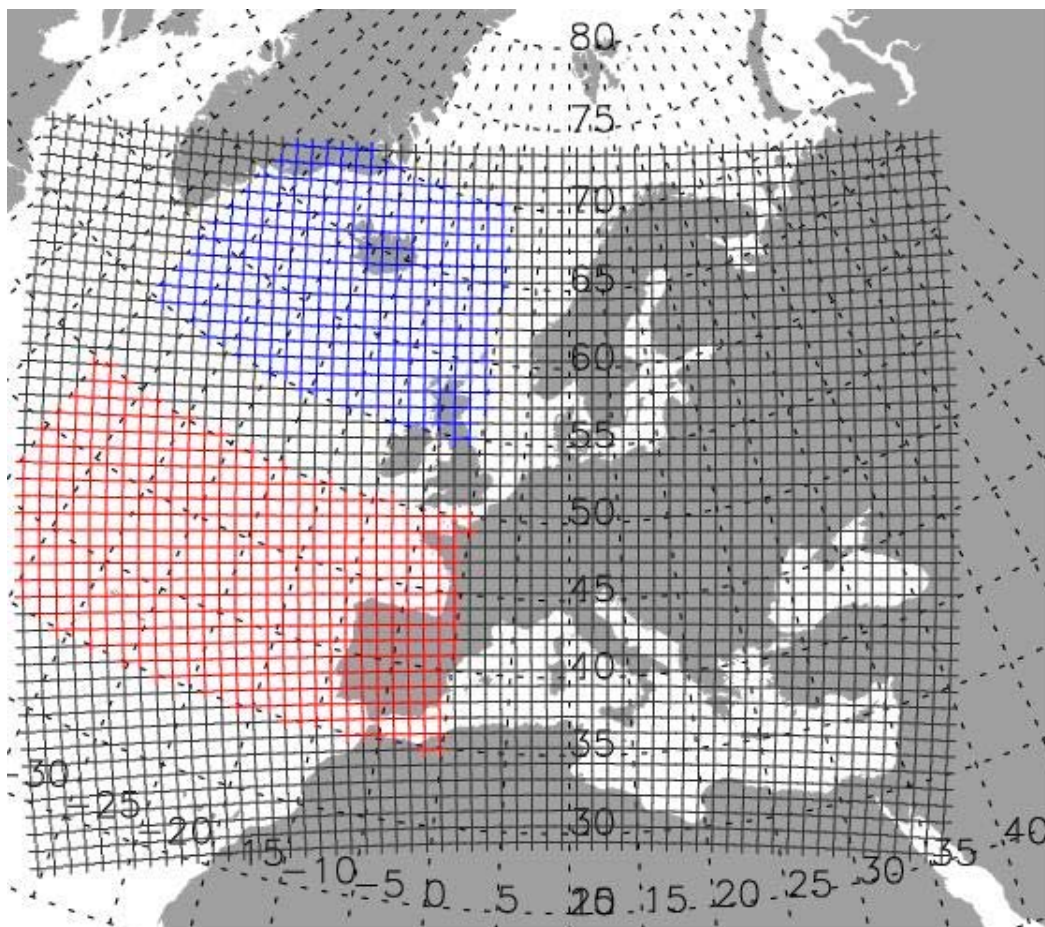
### 4.3.2 Zonal-Index

Charakteristika und Veränderungen der großräumigen atmosphärischen Strömung werden ferner auf Grundlage des sogenannten **Zonal-Index** ermittelt (vgl. Leckebusch et al., 2008). Dieser Index beschreibt die nordatlantische Oszillation auf Basis von Monatsmitteln des Bodenluftdrucks. Die Indizierung erfolgt anhand von Druckdifferenzen zwischen zwei Gebieten im atlantisch-europäischen Sektor.

Diese beiden Gebiete werden wie folgt definiert:

- Nordzone: 55N-70N, 0W-40W
- Südzone: 35N-50N, 0W-40W

Bezogen auf das Referenz-Gitter (Kapitel 3.2) umfassen die Ausschnitte des NAO-Gitters eine Nordzone von 296 Gitterpunkten und eine Südzone von 445 Gitterpunkten (Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Definition des NAO-Gitters. Blau bzw. rot gekennzeichnet sind die Gitterpunkte, die in der Nordzone bzw. Südzone liegen, welche für die Berechnung des Zonal-Index festgelegt wurden. Punkte des Referenzgitters (vgl. Abbildung 2), die außerhalb des farbig gekennzeichneten Bereichs liegen, werden nicht berücksichtigt

Der winterliche Zonal-Index, der das Ziel der Prozessierung darstellt, setzt die Generierung zahlreicher Zwischenergebnisse voraus, die gemäß den folgenden Arbeitsschritten ermittelt werden. Die Berechnungsbasis stellen die aus der CERA-Datenbank extrahierten Monatsmit-

tel des Bodenluftdruckes (NN) auf dem NAO-Gitter dar ( $P_{ij}^M$ , ij Gitterpunkt; M: Monat). Es folgen:

1) Gitterpunktspezifische Berechnungen für das gesamte NAO-Gitter:

a) Langjähriges monatspezifisches Mittel des Bodenluftdrucks:

$$\overline{P_{ij}^M} = \frac{1}{N} \sum_{n=1961}^{2000} P_{ij}^M ; \text{ M: Monat, ij: Gitterpunkt, N: Anzahl der Jahre}$$

b) Standardabweichung von  $\overline{P_{ij}^M}$  :

$$\sigma_{ij}^M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1961}^{2000} (P_{ij}^M - \overline{P_{ij}^M})^2}$$

2) Zonale Berechnungen (jeweils Nordzone NZ und Südzone SZ):

a) Zonal gemittelttes Monatsmittel des Bodenluftdrucks:

$$P_{NZ,SZ}^M = \frac{1}{GP} \sum_{gp} P_{ij}^M ; \text{ GP: Anzahl der Gitterpunkte NZ bzw. SZ}$$

b) Minimum und Maximum des Monatsmittels des Bodenluftdrucks für die 2 Zonen

c) Langjähriges monatspezifisches Mittel des zonal gemittelten Bodenluftdrucks:

$$\overline{P_{NZ,SZ}^M} = \frac{1}{N} \sum_{n=1961}^{2000} P_{NZ,SZ}^M$$

d) Standardabweichung von  $\overline{P_{NZ,SZ}^M}$  :

$$\sigma_{NZ,SZ}^M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1961}^{2000} (P_{NZ,SZ}^M - \overline{P_{NZ,SZ}^M})^2}$$

e) Standardisierte Anomalie des zonal gemittelten Bodenluftdrucks:

$$A_{NZ,SZ}^M = \frac{P_{NZ,SZ}^M - \overline{P_{NZ,SZ}^M}}{\sigma_{NZ,SZ}^M}$$

f) Monatlicher Zonal-Index (Differenz der standardisierten Anomalie des zonal gemittelten Bodenluftdrucks):

$$Z^M = A_{SZ}^M - A_{NZ}^M$$

g) Zonal-Index für Winter:

$$Z^W = \frac{1}{4} \sum_{M=Dez}^{Mär} Z^M$$

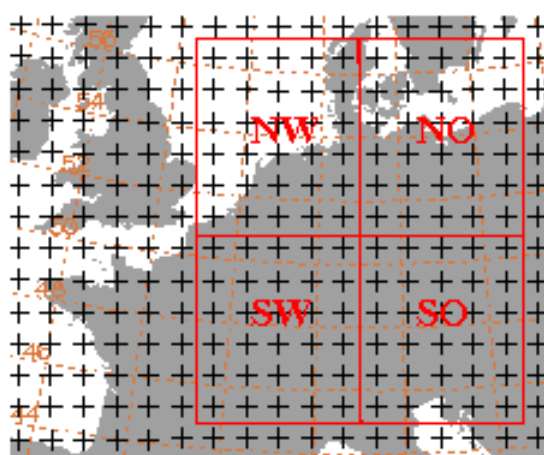
Bitte beachten: Die langjährigen Mittel beziehen sich immer auf den Zeitraum 1961-2000, während die Zeitreihen für die Kontrollläufe bzw. für die Szenarienläufe den Zeitraum 1950-2000 bzw. 2001-2100 umfassen.

Da die ERA-Interim-Daten erst für den Zeitraum nach 1989 vorliegen, wurden für einen möglichen Vergleich der NAO-Berechnungen auf Basis der Reanalysedaten (ERA40, NCEP, ERA-Interim) die langjährigen Mittel für diese Daten zusätzlich auch auf den Zeitraum 1989-2000 bezogen.

#### 4.4 Berechnung der Gebietsmittel von Temperatur und Niederschlag

Um exemplarische Zusammenhänge zwischen den einzelnen Wetterlagen und deren Niederschlags- bzw. Temperaturwirksamkeit herzustellen, wurden neben der Berechnung der täglichen Wetterlage zusätzlich für jeden Tag Gebietsmittel der Lufttemperatur in 2 m Höhe und Gebietsmittel der täglichen Niederschlagssumme berechnet. Dabei wurde Mitteleuropa in vier Sektoren unterteilt (Abbildung 9). Jedes Teilgebiet umfasst dabei 5 x 6 Gitterpunkte. Des Weiteren wurden auch tägliche Mittelwerte für das Gesamtgebiet berechnet. Die Berechnung der Gebietsmittel wurde direkt in die oWLK-Software integriert.

Den Autoren ist bewusst, dass die gewählten Gebiete keine einheitlichen klimatologischen Regionen in Europa darstellen. Die Gliederung repräsentiert lediglich eine erste Annäherung an das Thema der Wetterwirksamkeit. Eine detaillierte Analyse in Zusammenarbeit mit dem DWD folgt.



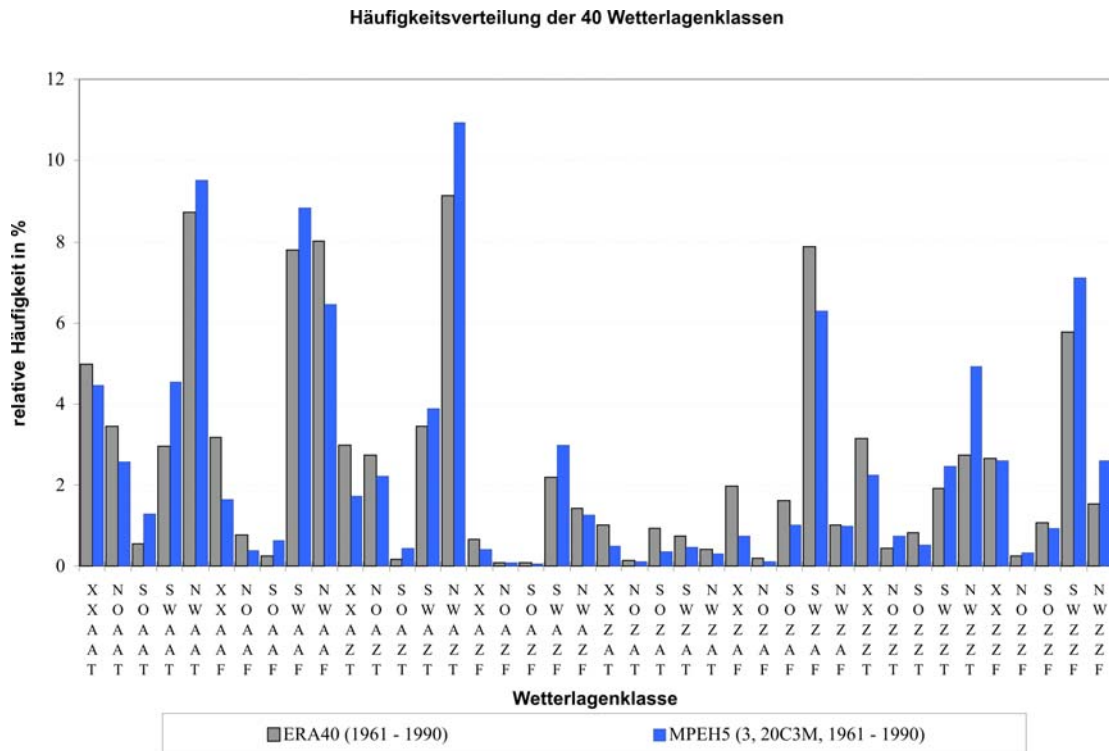
**Abbildung 9:** Definition der vier Teilgebiete (NW, NO, SW und SO) für die Betrachtung von Gebietsmitteln der Lufttemperatur in 2m Höhe und der täglichen Niederschlagssumme. Die Werte an den Gitterpunkten innerhalb der definierten Teilgebiete gehen in einfacher Gewichtung in die Berechnung der Gebietsmittel ein

## 5 Exemplarische Auswertungen

Die Projektdatenbank (Anhang A) bietet zahlreiche Auswertungsmöglichkeiten, deren Darstellung und Interpretation hier weder möglich noch intendiert ist. Dennoch sollen exemplarische Einblicke in die Daten (der ersten Lieferung, vgl. Tabelle 1) anhand von Überblicksdiagrammen gewährt werden.

### 5.1 Validierung von GCMs anhand objektiver Wetterlagenklassen

Für eine übergreifende Datensichtung und um einen ersten Eindruck bzgl. der Qualität der jeweiligen Modelldaten (im Vergleich zu den ERA40-Daten) zu bekommen, bieten sich Darstellungen von Häufigkeitsverteilungen der berechneten Wetterlagenklassen an.



**Abbildung 10:** Relative Häufigkeitsverteilung der 40 Wetterlagenklassen für Mitteleuropa für den Zeitraum 1961-1990 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis des Kontrolllaufs 20C3M des Modells MPEH5, Lauf 3

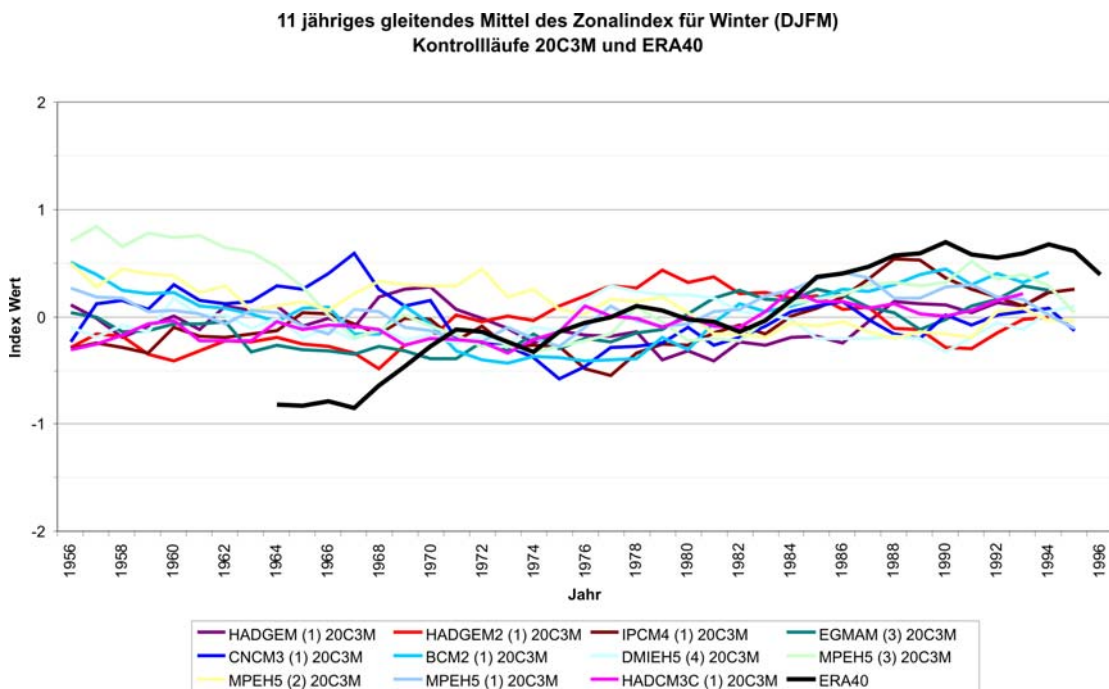
Durch Vergleich der aus den Kontrollläufen der Modelle erhaltenen Verteilung oder Persistenz der Wetterlagenklassen mit den entsprechenden ERA40 Reanalysedaten kann eine Bewertung der Modelle hinsichtlich der Fähigkeit, das gegenwärtige Klima wiederzugeben, erfolgen. In Abbildung 10 wird eine derartige Gegenüberstellung für den Kontrolllauf 20C3M des Modells MPEH5, Lauf 3 vorgestellt. Die miteinander zu vergleichenden



Histogramme beziehen sich dabei auf den Zeitraum 1961-1990. In diesem Beispiel sieht man prinzipiell eine gute Übereinstimmung in der Verteilung der Wetterlagen. Wie aufgrund der in Mitteleuropa vorherrschenden Windrichtung zu erwarten ist, dominieren die Westlagen gegenüber den Ostlagen.

## 5.2 Validierung von GCMs anhand des Zonal-Index für Winter (NAO)

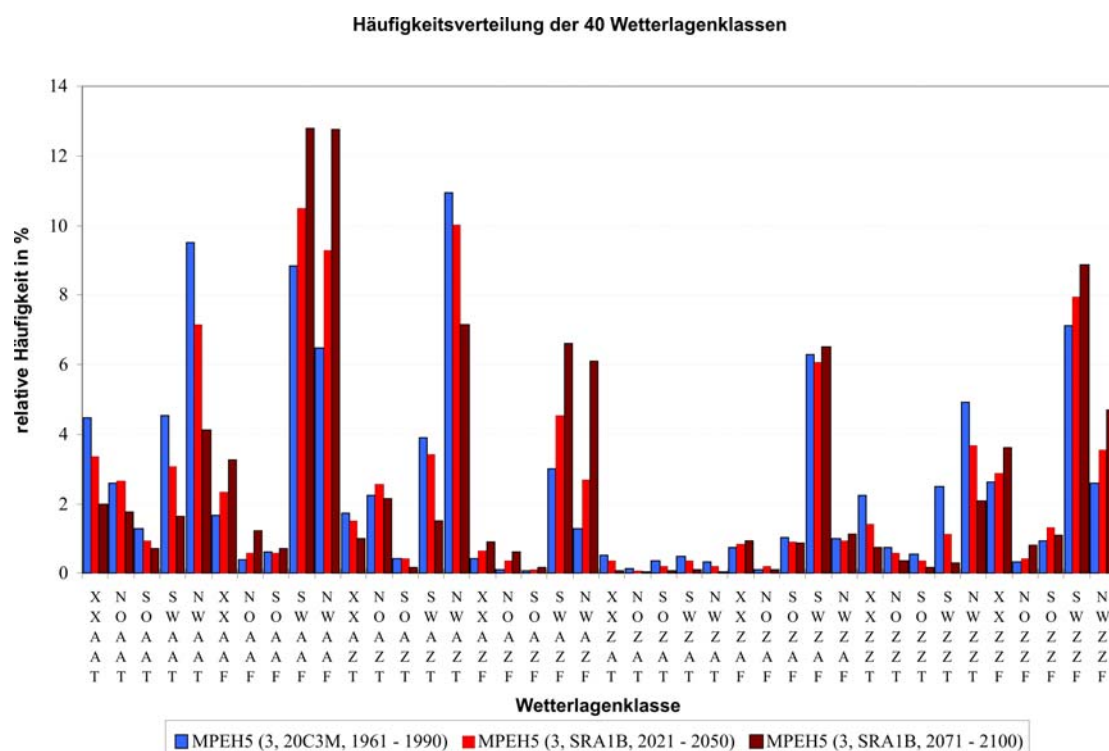
Im Rahmen der NAO-Berechnungen wurde der Zonal-Index für Winter auf Basis der Modellkontrollläufe und der ERA40-Reanalysedaten für den Zeitraum 1950-2000 und auf Basis der Szenarienläufe für den Zeitraum 2001-2100 berechnet. Exemplarisch sind in Abbildung 11 für ausgewählte Modellkontrollläufe sowie auf Basis der ERA40-Daten der Zonal-Index für Winter als 11-jähriges gleitendes Mittel über den Zeitraum 1950-2000 dargestellt.



**Abbildung 11:** 11-jährig gleitende Mittel des Zonal-Index für Winter (DJFM) für den Zeitraum 1950-2000 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis der Kontrollläufe 20C3M der ausgewählten Modelle

### 5.3 Analyse von Klimaänderungen anhand objektiver Wetterlagen- klassen

Eine Gegenüberstellung der Histogramme der berechneten Wetterlagenklassen auf Basis von Szenarienläufen und denen des entsprechenden Kontrolllaufs des jeweiligen Modells kann mögliche Änderungen des zukünftigen Klimas aufdecken. Um diese Entwicklungen besser sichtbar zu machen, werden, wie in Abbildung 12 für den Szenarienlauf SRA1B des Modells MPEH5, Lauf3 exemplarisch dargestellt, Ergebnisse von zwei 30-jährigen Zeiträumen (hier 2021-2050 und 2071-2100) dem Kontrollzeitraum 1961-1990 gegenübergestellt.



**Abbildung 12:** Relative Häufigkeitsverteilung der 40 Wetterlagenklassen für Mitteleuropa auf Basis des Kontrolllaufs 20C3M für den Zeitraum 1961-1990 sowie auf Basis der Szenarienrechnung SRA1B für die Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 des Modells MPEH5, Lauf 3

Man erkennt im Beispiel deutlich die kontinuierliche Zunahme feuchter Wetterlagen. Während im Kontrollzeitraum die zwei Wetterlagen SWAAF und NWAAF zusammen in ca. 15 % aller Fälle auftreten, werden diese Wetterlagen im Szenario SRA1B, Zeitraum 2071-2100, an ca. 25 % aller Tage prognostiziert. Dafür fallen insbesondere die Wetterlagen NWAAAT und NWAAZT durch ihre Abnahme von 9 % bzw. 11 % im Kontrollzeitraum auf 4 % bzw. 7 % im Szenarienzeitraum 2071-2100 auf.

## 5.4 GCM-Analyse anhand aggregierter Wetterlagenklassen

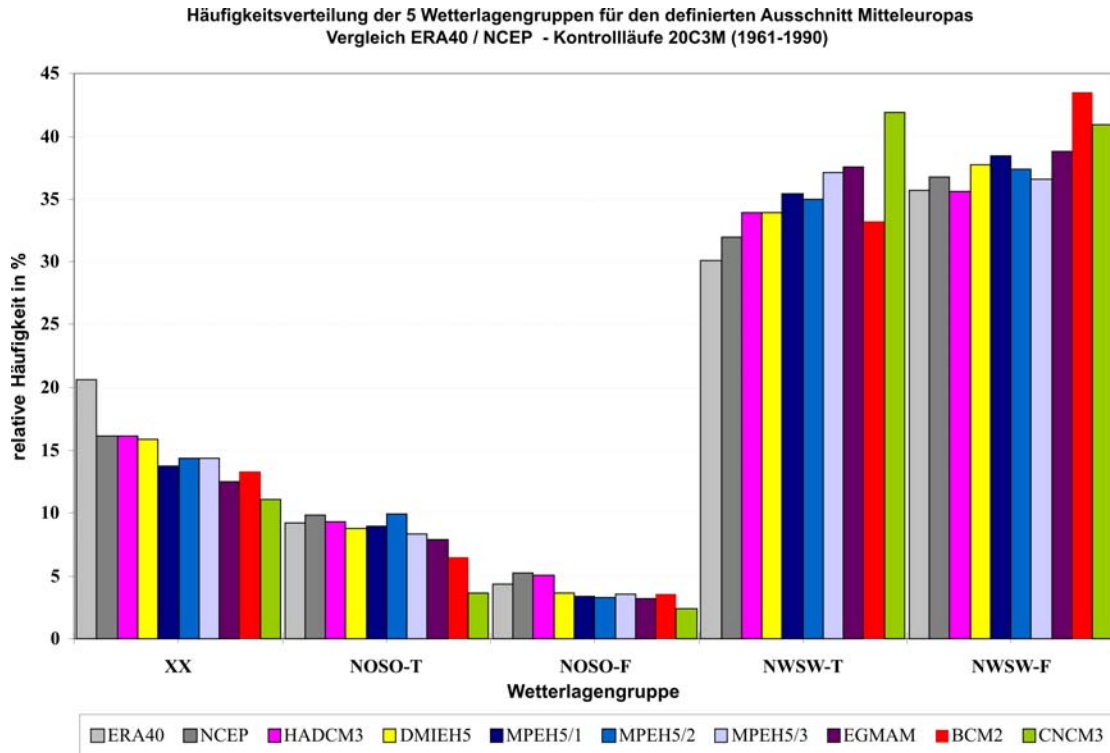
Ein Vergleich aller Modelle miteinander gestaltet sich bei Betrachtung von Histogrammen auf Basis der 40 Wetterlagenklassen als recht unübersichtlich. Aus diesem Grund wurde eine Reduzierung der 40 Wetterlagenklassen durch Zusammenfassen in fünf Gruppen nach folgenden Kriterien vorgeschlagen: Es erfolgt lediglich eine Differenzierung der Wetterlagen bzgl. der Windrichtung (XX, Ostlagen (NO, SO) und Westlagen (SW, NW)) und des Feuchteindex (trocken (T) und feucht (F)), wobei die Wetterlagen mit keiner vorherrschenden Windrichtung unabhängig vom Feuchteindex insgesamt als eine Gruppe betrachtet werden. Es ergeben sich dadurch fünf Wetterlagengruppen (WLK5) entsprechend Tabelle 3.

**Tabelle 3:** Aggregation von 5 Wetterlagengruppen (WLK5)

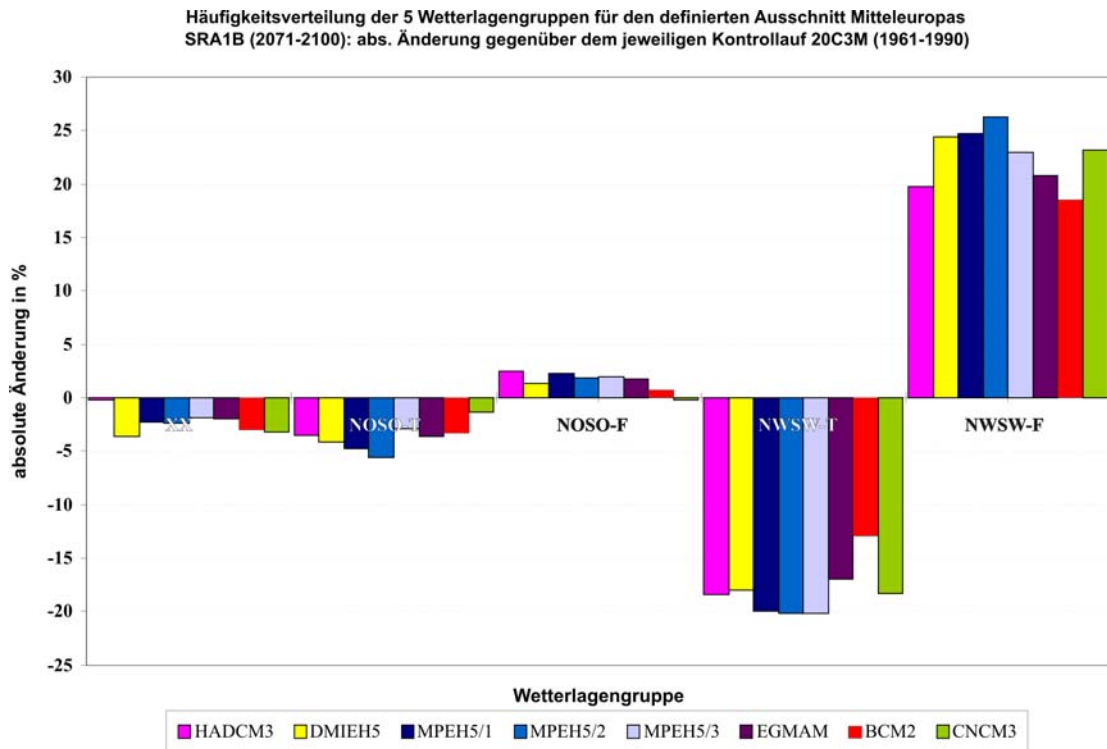
Wetterlagengruppe (WLK5)	Bezeichnung	Wetterlagenklassen (WLK-Kennzahlen, vgl. Anhang B)
1	XX	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36
2	NOSO-T	2, 3, 12, 13, 22, 23, 32, 33
3	NOSO-F	7, 8, 17, 18, 27, 28, 37, 38
4	SWNW-T	4, 5, 14, 15, 24, 25, 34, 35
5	SWNW-F	9, 10, 19, 20, 29, 30, 39, 40

Bei der Betrachtung der Ergebnisse aus den Kontrollläufen (siehe Abbildung 13) zeigen alle Modelle übereinstimmend eine ähnliche Verteilung auf die 5 Wetterlagengruppen. Ein Vergleich mit den ERA40 Reanalysedaten zeigt jedoch, dass die Abweichungen zwischen dem Modell CNCM3 und ERA40 am größten sind. Die gegenwärtige Klimatologie auf Basis von CNCM3 weist wesentlich mehr Westlagen (83 %) auf als die Klimatologie der ERA40 Daten (66 %). Insgesamt betrachtet weisen die berechneten WLK5-Verteilungen der Modelle DMIEH5 und HADCM3 die geringsten Abweichungen zu den Ergebnissen aus ERA40 auf.

Eine Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der 5 Wetterlagengruppen aller Szenarienkäufe SRA1B für den Zeitraum 2071-2100 als absolute Änderung gegenüber dem jeweiligen Kontrolllauf (Zeitraum 1961-1990) ist in Abbildung 14 zu finden. Es wird von allen Modellen eine deutliche Zunahme der feuchten Wetterlagen prognostiziert.



**Abbildung 13:** Relative Häufigkeitsverteilung der WLK5 für Mitteleuropa für den Zeitraum 1961-1990 auf Basis der ERA40 Reanalysen und auf Basis der Kontrollläufe 20C3M der ausgewählten Modelle

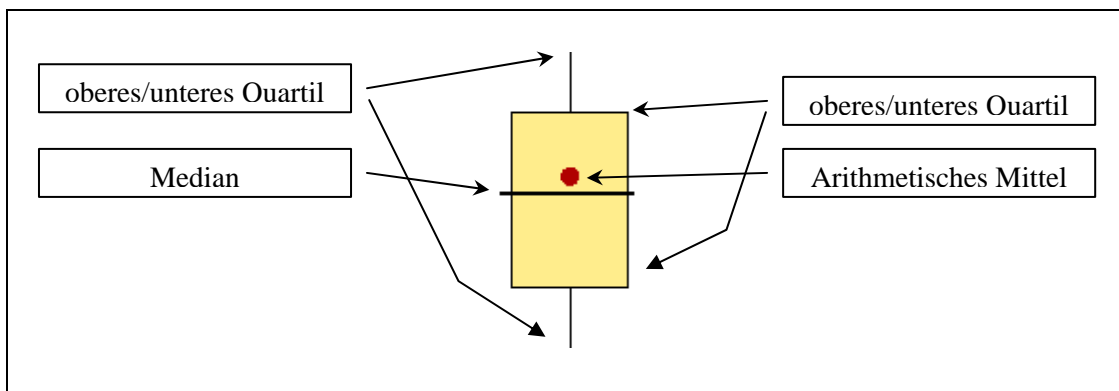


**Abbildung 14:** Absolute Änderung in der Häufigkeitsverteilung der WLK5 für Mitteleuropa auf Basis der Szenarienrechnung SRA1B (2071-2100) gegenüber des jeweiligen Kontrolllaufs 20C3M (1961-1990) der ausgewählten Modelle

## 5.5 Wetterwirksamkeit von Wetterlagen

Um Aussagen über die Niederschlagswirksamkeit einzelner Wetterlagen treffen zu können, wurden je GCM zusätzlich zur täglichen Bestimmung der Wetterlage Gebietsmittel auf Basis von gitterpunktspezifischen 24h-Niederschlagssummen berechnet (vgl. Kapitel 4.4). Diese berechneten Gebietsmittel wurden den einzelnen Wetterlagen zugeordnet, so dass man wetterlagenspezifische Niederschlagshöhen (alle berechneten Gebietsmittel werden berücksichtigt) und Niederschlagsintensitäten (nur Gebietsmittelwerte  $> RR_{min}$ , ( $RR_{min}$ : Niederschlagsschwellenwert) werden berücksichtigt) erhält, die statistisch ausgewertet werden können.

Sogenannte Box-Whisker-Plots geben einen schnellen Überblick über die statistische Verteilung der Daten. Wie in Abbildung 15 dargestellt werden die Spanne, das 25. und 75. Perzentil, sowie der Median. In Ergänzung zu den eigentlichen Box-Whisker-Statistiken wird ferner das arithmetische Mittel angegeben.



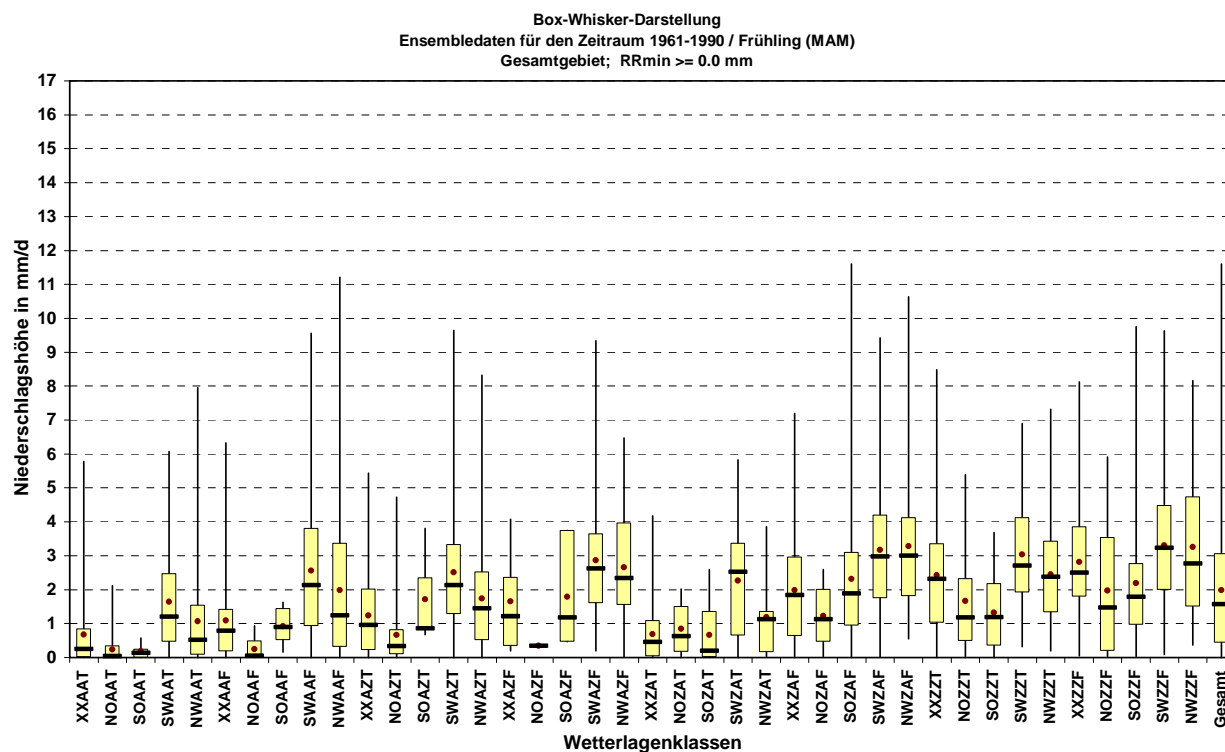
**Abbildung 15:** Schema zur Erläuterung eines Box-Whisker-Plots.

Für jeden der berücksichtigten Kontrollläufe wurde je Wetterlage und Jahreszeit ein Box-Whisker-Plot sowohl auf Basis der Niederschlagshöhen als auch der Niederschlagsintensitäten erstellt und je Kontrolllauf jahreszeitenspezifisch in Form einer Excel-Graphik (vgl. z.B. Abbildung 16) gegenübergestellt.

Den aus den ERA40-Daten ermittelten Wetterlagen wurden im vorliegenden Fall die Gebietsmittel von 24h-Niederschlagssummen aus den ENSEMBLE-Messdaten zugeordnet. Als ein Beispiel sind in Abbildung 16 auf Basis dieser Daten für die Frühlingsmonate (MAM) des Zeitraums 1961-1990 für das Gesamtgebiet Mitteleuropa die 40 wetterlagenspezifischen Box-Whisker-Plots der Niederschlagshöhen gegenübergestellt.

Hierbei ist zu beachten, dass bei der Berechnung der statistischen Kenngrößen keine Mindestgröße des Datenumfangs vorgegeben wurde, was jedoch für die fachliche Bewertung der Box-Whisker-Plots von großer Bedeutung ist. So besteht für dieses Beispiel die Datenbasis der häufig auftretenden Wetterlage NWAAT aus 194 Niederschlagswerten. Wetterlagen mit vorherrschend östlicher Windrichtung wie z.B. SOAAF oder NOAZF treten in diesem Zeit-

raum im Frühling aber nur 6 bzw. 1 Mal und damit äußerst selten auf. Auf dieser Daten-  
grundlage sollte eine statistische Auswertung der Niederschlagswerte eigentlich nicht mehr  
erfolgen. Dieser Aspekt des möglicherweise geringen Datenumfangs muss bei zukünftigen  
weiteren Auswertungen unbedingt berücksichtigt werden.



**Abbildung 16:** Den 40 Wetterlagen (aus ERA40) zugeordnete Box-Whisker-Plots (Erweiterung um arithm. Mittel, roter Punkt) der mittleren Niederschlagshöhe auf Basis der ENSEMBLE-Messdaten für den Zeitraum 1961-1990 (Beispiel: Frühling, MAM) für das Gesamtgebiet Mitteleuropa. Unter der Klasse "Gesamt" wurde die gesamte Datenbasis unabhängig von den Wetterlagen betrachtet

Um Aussagen über die Temperaturwirksamkeit einzelner Wetterlagen treffen zu können, ist ein analoges Vorgehen für die in der Projektdatenbank vorliegenden mittleren Gebietstemperaturen (Kapitel 4.4) denkbar.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der oWLK und dem Zonalindex können globale gekoppelte Ozean-Atmosphärenmodelle (AOGCM) sowie damit simulierte atmosphärische Veränderungen bewertet bzw. quantifiziert werden. Der vorliegende Bericht erläutert die Ableitung dieser beiden atmosphärischen Zirkulationsindizes sowie exemplarische Auswertungen. Er begleitet die Veröffentlichung einer Datenbank, die die entsprechenden Indexwerte für eine Auswahl von AOGCMs und Reanalyse- und Reanalysedaten enthält. Erweiterungen der Datenbank sind geplant. Beispielsweise ist die Anwendung auf die AOGCMs der "nächsten Generation" (z.B. ECHAM6-MPIOM) vorgesehen.

Die Nutzung der Daten für nicht-kommerzielle Zwecke ist ausdrücklich erwünscht, um eine vertiefte Analyse und Interpretation zu ermöglichen. Ein online-Zugang zu den Daten sowie zu diesem Bericht und zu den Nutzungsbedingungen ist über den das "Climate Data Center" des Deutschen Wetterdienstes möglich (<http://dx.doi.org/10.5676/BfG-1682-2011>).

Globale Klimamodelle stehen am Beginn von Modellketten, mit denen letztlich Klimafolgen quantifiziert werden. Die Beschreibung der Qualität der durch sie vorgegebenen atmosphärischen Zirkulationsmuster ist somit ein wichtiges Element zur Beschreibung der Gesamtqualität der simulierten Klimafolgen. Es ist wünschenswert, weitere Zirkulationsindizes vergleichend anzuwenden (vgl. COST733, 2010). Auf diese Weise kann die Verlässlichkeit von Grundlagen möglicher Anpassungsentscheidungen vertieft analysiert werden.

# Literaturverzeichnis

(Hinweis: Auf alle angegebenen URLs wurde am 12.11.2010 erfolgreich zugegriffen.)

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2007): ClimChAlp\_WLK, Analyse der ECHAM5-OM Klimamodellergebnisse im Alpenraum unter Verwendung einer objektiven Wetterlagenklassifikation, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 76 S. Unveröffentlicht.

Bissolli, B. & E. Dittmann (2001): The objective weather type classification of the German Weather Service and its possibilities of application to environmental and meteorological investigations, Meteorol. Z., Vol. 10, No. 4, 253-260.

COST733 (2010): Harmonisation and applications of weather type Classifications for European Regions.

URL: <http://www.cost733.org>

CSC (2010): Das Climate Service Center CSC.

URL: <http://www.climate-service-center.de/>

Dittmann, E., Barth, S., Müller-Westermeier, G. & J. Lang, (1995): Objektive Wetterlagenklassifikation. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 197, Offenbach am Main.

DWD (2005): WLK, Programme zur Berechnung und Nutzung der objektiven Wetterlagenklassifikation, 60 S.

DWD (2005): WLK, Technische Dokumentation zur portablen version 5.3 des Software-Systems WLK, 29 S.

ECMWF, Re-Analysis ERA-40, URL: <http://www.ecmwf.int/research/era>.

ENSEMBLES-Forschungsprojekt, URL: <http://ensembles-eu.metoffice.com/>.

ENSEMBLES-Beobachtungsdaten, [http://www.knmi.nl/samenw/ensembles\\_rt5/wp51.html](http://www.knmi.nl/samenw/ensembles_rt5/wp51.html).

Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones & M. New (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950 – 2006, Journal of Geophysical Research, Vol. 113, 12 S.

Hess, P. & H. Brezowsky (1977): Katalog der Großwetterlagen Europas 1881-1976. 3., verbesserte und ergänzte Auflage. Ber. Deutscher Wetterdienst 15 (113), Offenbach/Main.

Jungclaus, J. H., Keenlyside, N., Botzet, M., Haak, H., Luo, J.-J., Latif, M., Marotzke, J., Mikolajewicz, U., & E. Roeckner, 2006: Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM, J. Climate, 19, 3952-3972.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Wang, J., Leetmaa, A., Rey-



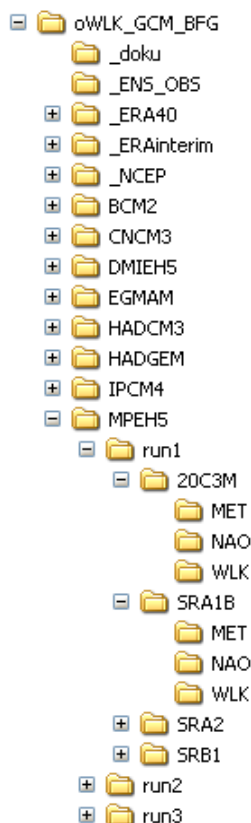
- nolds, R., Jenne, R. & D. Joseph (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project., Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, No. 3, 437-470
- Krahe, P., Korck, J., Tomassini, L., Gelhardt, U., Smiatek, G., & H. Formayer (2008): Global and regional climate projections for the Alpine Space. In: WP5 Climate Chang Report. ClimChAlp project.
- Leckebusch, G. C., Kapala, A., Mächel, H., Pinto, J. G. & M. Reyers (2008): Indizes der Nordatlantischen und Arktischen Oszillation, promet, 34, No. 3/4, 95-100.
- Nilson, E. (2009): Das KLIWAS-Projekt 4.01 "Hydrologie und Binnenschifffahrt" - Aufgaben und Zielstellung. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.]: KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Tagungsband der ersten KLIWAS Statuskonferenz 2009 in Bonn. S. 69-74.
- Riediger, U., et al. (2010): Klimatologische Analyse objektiver Wetterlagen auf Basis von Reanalyse und Klimaprojektionen. Zwischenbericht Forschungsprogramm KLIWAS. 97 S. Unveröffentlicht.
- Roeckner, E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornblüeh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, A. Tompkins, 2003: The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5: Part I, Model description.  
[http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/models/echam/mpi\\_report\\_349.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/models/echam/mpi_report_349.pdf),  
ISSN 0937-1060, MPI Hamburg, Report No. 349, 140 S.
- Royer, J.F., Roeckner, E., Cubasch, U., Doblas-Reyes, F., Hollweg, H.-D., Johns, T., May, W. & D. van Vuuren (2009): Production of seasonal to decadal hindcasts and climate change scenarios. In: Van der Linden, P. & J.F.B. Mitchell: ENSEMBLES – Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. S. 35-46.  
[http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles\\_final\\_report\\_Nov09.pdf](http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf)
- Uppala, S.M., Kallberg, P.W., Simmons, A.J. & U. Andrae (2005): The ERA-40-re-analysis. – Quart. Journal of the Royal Meteorol. Soc. 131, 2961-3012.doi:10.1256/qj.04.176.

# Anhang A

## Struktur der Datenbank

Die Verzeichnisstruktur der Projektdatenbank orientiert sich an wesentlichen Charakteristika des jeweiligen GCM-Laufes: Klimamodell (GCM) → Realisierung (Run) → Forcing (C20/SRES) → Auswertung (WLK/NAO/MET; vgl. Abbildung 17). Informationen zu den einzelnen Modellen finden sich in Tabelle 1 (Kapitel 3.1). Detaillierte Erläuterungen zu den Inhalten der Ordner MET, WLK und NAO finden sich in der Datei `read-me_oWLK_GCM.txt`.

Alle Dateien liegen als ASCII-Files vor und können mit verschiedenen Programmen (Editoren, Tabellenkalkulation, Textverarbeitung) eingelesen werden.



**Abbildung 17: Beispiel der Datenbankstruktur**

Die Ordner "MET" enthalten je Modelle die Gebietsmittel der Temperatur und des Niederschlags. In den "NAO"-Ordern sind alle Berechnungsgrößen des Zonalindex hinterlegt. Der eigentliche, aus den 4 Wintermonaten (Dez(Y-1)Jan(Y)Feb(Y)Mae(Y)) gemittelte Winterindex befindet sich jeweils in der Datei "pmsl\_winterindex.dat".

Die Ordner "WLK" beinhalten die klassifizierte Wetterlagen ("wlk\_\*") mit (\*.tab) und ohne Zeilen- oder Spaltenköpfen (\*.dat). Eine Übersicht der Wetterlagenklassen findet sich in Anhang B). Die in den oWLK-Ordern ebenfalls abgelegten Index-Dateien ("index\_\*") ent-

halten die der oWLK zugrundeliegenden Indizes in der in Spaltenfolge (jeweils durch Leerzeichen getrennt):

**Tabelle 4:** Spaltenfolge der der oWLK zugrundeliegenden Indizes.

Spalte Nr.	Inhalt (Zahlenformat)	Anzahl Zeichen
1	Datum als Jahr, Monat und Tag (YYYYMMDD)	8
2	Dominanter Windsektor (Grad/10)	2
3	Prozent Windvektoren (zwei Nachkommastellen)	6
4	Zyklonalität_925 (Vorzeichen, fünf Nachkommastellen)	9
5	Zyklonalität_500 (Vorzeichen, fünf Nachkommastellen)	9
6	niederschlagsfähigen Wassers (fünf Nachkommastellen)	9

Zu den einzelnen Indizes (vgl. auch Kapitel 4.3.1):

- (1) Advektionsindex: Beginn des 90°-Windrichtungsektors, in dem die Mehrheit der Windvektoren in 700 hPa liegt, in Dekagrad;
- (2) Anteil in % aller Windvektoren innerhalb des dominanten Windsektors (vgl. 1);
- (3) Zyklonalitätsindizes: Gewichtete Gebietsmittel des Differenzen-Quotienten des Geopotentials ( $\nabla^2(\Phi)$ ) in 925 hPa und 500 hPa. Positive Werte (Zyklonalität), negative Werte (Antizyklonalität) in  $0.1 \cdot \text{gpm/m}^2$ ;
- (4) Gewichtetes Gebietsmittel des niederschlagsfähigen Wassers (Precipitable Water) in mm.

Die Beobachtungsdaten (Ordner "\_ENS\_OBS") liegen als Gebietswerte des Niederschlags (RR) und der Lufttemperatur (TG) je Sektor und für das Gesamtgebiet (vgl. Kapitel 4.4) vor. Der Struktur der Ordner mit denn Reanalysedaten (z.B. "\_ERA40") entspricht der der GCM-Daten. Da jedoch für die Reanalysedaten die NAO-Berechnungen jeweils auf Basis von zwei unterschiedlichen Zeiträumen der langjährigen Mittel durchgeführt wurden, liegen bei den Reanalysedaten im "NAO"-Ordner jeweils 2 Unterordner mit Angabe des Bezugs des jeweiligen langjährigen Mittels (z.B. für ERA40 die beiden Ordner: NAO-LM1961-2000 und NAO-LM1989-2000). In diesen Unterordnern sind analog zu den GCM alle Berechnungsgrößen des Zonalindex abgelegt.

## Anhang B

### Übersicht der 40 objektiven Wetterlagenklassen

Nr.	Klassen		Bedeutung		
	Kenennung	Anströmrichtung	Zyklonalität in 950 hPa	Zyklonalität in 500 hPa	Feuchte
1	XXAAT	nicht definiert	antizyklonal	antizyklonal	trocken
2	NOAAT	Nordost	antizyklonal	antizyklonal	trocken
3	SOAAT	Südost	antizyklonal	antizyklonal	trocken
4	SWAAT	Südwest	antizyklonal	antizyklonal	trocken
5	NWAAT	Nordwest	antizyklonal	antizyklonal	trocken
6	XXAAF	nicht definiert	antizyklonal	antizyklonal	feucht
7	NOAAF	Nordost	antizyklonal	antizyklonal	feucht
8	SOAAF	Südost	antizyklonal	antizyklonal	feucht
9	SWAAF	Südwest	antizyklonal	antizyklonal	feucht
10	NWAAF	Nordwest	antizyklonal	antizyklonal	feucht
11	XXAZT	nicht definiert	antizyklonal	zyklonal	trocken
12	NOAZT	Nordost	antizyklonal	zyklonal	trocken
13	SOAZT	Südost	antizyklonal	zyklonal	trocken
14	SWAZT	Südwest	antizyklonal	zyklonal	trocken
15	NWAZT	Nordwest	antizyklonal	zyklonal	trocken
16	XXAZF	nicht definiert	antizyklonal	zyklonal	feucht
17	NOAZF	Nordost	antizyklonal	zyklonal	feucht
18	SOAZF	Südost	antizyklonal	zyklonal	feucht
19	SWAZF	Südwest	antizyklonal	zyklonal	feucht
20	NWAZF	Nordwest	antizyklonal	zyklonal	feucht
21	XXZAT	nicht definiert	zyklonal	antizyklonal	trocken
22	NOZAT	Nordost	zyklonal	antizyklonal	trocken
23	SOZAT	Südost	zyklonal	antizyklonal	trocken
24	SWZAT	Südwest	zyklonal	antizyklonal	trocken
25	NWZAT	Nordwest	zyklonal	antizyklonal	trocken
26	XXZAF	nicht definiert	zyklonal	antizyklonal	feucht
27	NOZAF	Nordost	zyklonal	antizyklonal	feucht
28	SOZAF	Südost	zyklonal	antizyklonal	feucht
29	SWZAF	Südwest	zyklonal	antizyklonal	feucht
30	NWZAF	Nordwest	zyklonal	antizyklonal	feucht
31	XXZZT	nicht definiert	zyklonal	zyklonal	trocken
32	NOZZT	Nordost	zyklonal	zyklonal	trocken
33	SOZZT	Südost	zyklonal	zyklonal	trocken
34	SWZZT	Südwest	zyklonal	zyklonal	trocken
35	NWZZT	Nordwest	zyklonal	zyklonal	trocken
36	XXZZF	nicht definiert	zyklonal	zyklonal	feucht
37	NOZZF	Nordost	zyklonal	zyklonal	feucht
38	SOZZF	Südost	zyklonal	zyklonal	feucht
39	SWZZF	Südwest	zyklonal	zyklonal	feucht
40	NWZZF	Nordwest	zyklonal	zyklonal	feucht

# Anhang C

## Übersicht der auftretenden Probleme bei der Datenextraktion aus der CERA-Datenbank

### modellunspezifisch:

1. relative Feuchte: negative Werte sowie Werte größer 100 %
2. negative Niederschlagsflüsse

### modellspezifisch:

1. MPEH5:
  - a. Geopotentielle Höhe: Inkonsistenz zwischen Werten und Einheit! Dieser Fehler ist allerdings in den Metadaten unter "consistency report" dokumentiert!
2. DMIEH5: keine Probleme
3. BCC-BCM2.0: keine Probleme
4. CNR-CM3:
  - a. 6H-Datensätze: Rel. Feuchte (CNCM3\_{szenario}\_1\_6H\_hur{druckfl.}): Inkonsistenz zwischen Werten (in Prozent) und in Metadaten angegebener Einheit (0-1)!
  - b. DM-/ D0-Datensätze: Wenn man bei jblob mittels der Optionen tmin und tmax einen Zeitausschnitt extrahieren möchte, erhält man (mit Ausnahme von CNCM3\_20C3M\_1\_DM\_pr) einen Zeitausschnitt um einen Tag in die Zukunft versetzt. (Bsp: Extraktionswunsch: 01.01.1960; extrahiert wird dann der 02.01.1960)
5. EGMAM:
  - a. Auf die Daten kann nicht über die Terminangabe (jblob-Option: tmin,tmax) zugegriffen werden, sondern nur über die Recordnummer (jblob-Option: rmin,rmax).
  - b. Lauf1, 20C3M: relative Feuchte fehlerhaft (NAN)
  - c. D0-Datensätze: in Metadaten ist 00 UTC dokumentiert, tatsächlich liegen die extrahierten Daten zum 12 UTC-Termin vor.
  - d. Lauf3, 20C3M: Inkonsistenz zwischen Werten (in Prozent) und in Metadaten angegebener Einheit (0-1)!
6. IPSL-CM4:
  - a. Auf die Daten kann nicht über die Terminangabe (jblob-Option: tmin,tmax) zugegriffen werden, sondern nur über die Recordnummer (jblob-Option: rmin,rmax).
  - b. In extrahierten Daten (grib-Format) fehlt Metadateninformation zum Druckniveau (Wert=0).
  - c. Extrahierte geopotentielle Höhe (laut Metadateninfo in der Einheit m) ist um ca. Faktor 10 zu groß! Hier handelt es sich wahrscheinlich um das Geopotential in der Einheit  $m^2/s^2$ ! Es gibt jedoch dazu keinerlei Information in der Datenbank.
7. HADGEM:
  - a. Auf die Daten kann nicht über die Terminangabe (jblob-Option: tmin,tmax) zugegriffen werden, sondern nur über die Recordnummer (jblob-Option: rmin,rmax).

- b. Variablen müssen aus unterschiedlichen zeitlichen Auflösungen (D0 / DM, 6H, 12H) extrahiert werden. Da die Extraktion eines festen Zeitraumes über die Recordnummer erfolgen muss, sind zahlreiche Fallunterscheidungen notwendig.
8. HADCM3C:
- a. 20C3M: Der Zeitstempel für den Zeitraum 01.01.1970 bis 13.09.1970 ist nicht gesetzt.
  - b. SRA1B: Fehler in Zeitstempel: Termin 00:00 UTC weicht um wenige Minuten nach vorne oder hinten ab. Dadurch entstehen Fehler in der Datenextraktion bei Vorgabe eines festen Termins. Korrektur möglich durch zusätzliche cdo-Kommandos (shifttime und setttime).