

Einsteiger-Tutorial für REMO-Datennutzer

Für Rückfragen: Christopher Moseley (christopher.moseley@zmaw.de)

1. Überblick

Dieses Tutorial ist als Einführung für Nutzer von Klimadaten des regionalen Klimamodells REMO gedacht. Die meisten hier vorgestellten Programme sind auch für den Gebrauch von Daten anderer regionaler Klimamodelle geeignet, z. B. CLM, oder der globalen Klimamodelle. Es sollen einige wichtige und häufig gebrauchte Anwendungen von Klimamodelldaten Schritt für Schritt anhand von Beispielen erläutert werden. Es ist nicht das Ziel des Tutorials, eine möglichst vollständige Dokumentation des Gebrauchs von Klimadaten zur Verfügung zu stellen, sondern vielmehr, den Einstieg zur Verwendung von Klimadaten zu erleichtern. Es werden Links auf wichtige weiterführende Informationen und Dokumentationen gegeben.

Der Schwerpunkt soll auf der Anwendung der frei verfügbaren „Climate Data Operators“ (CDOs) liegen. Die folgenden Themen werden erläutert:

- *Abschnitt 2:* Herunterladen von REMO-Datensätzen aus der CERA-Datenbank am Beispiel von Monatsmitteltemperatur und monatlichen Niederschlagssummen
- *Abschnitt 3:* Einführendes Beispiel zur Verwendung der CDOs: ASCII-Ausgabe von simulierten Jahresmitteltemperaturen einer einzelnen Gitterzelle; Durchführung einer Höhenkorrektur für die 2m-Temperatur
- *Abschnitt 4:* Erläuterung häufig verwendeter CDO-Befehle zur Bearbeitung von REMO-Datensätzen
- *Abschnitt 5:* Umrechnung von rotierten Koordinaten in reale Längen- und Breiten-Koordinaten und umgekehrt
- *Abschnitt 6:* Ausgabe von Modelldaten im ASCII-Format mit Hilfe der CDOs; Verwendung von Gebietsmasken.
- *Abschnitt 7:* Visualisierung von Modelldaten mit Hilfe des Software-Pakets „GrADS“. Wenn Sie eine andere Visualisierungs-Software verwenden, können Sie diesen Abschnitt auslassen.

Zusätzliche Erläuterungen, die möglicherweise nicht für alle Nutzer dieses Schnellkurses notwendig sind, wurden in den Anhang ausgegliedert. Hier finden sich auch spezielle Hinweise für Windows Nutzer. Erläuterungen im Haupttext, die nicht unbedingt zum Verständnis notwendig sind, sind in kleinerer, serifenloser Schriftart geschrieben.

Vorbereitungen:

Um Daten aus der CERA-Datenbank herunterladen zu können, müssen Sie zunächst die Nutzervereinbarung des Bundesumweltamtes (UBA) unterzeichnen, die Sie per E-Mail über die Email-Adresse remo-daten@lists.zmaw.de

anfordern können. Anschließend erhalten Sie vom Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) einen Nutzeraccount auf CERA.

Ausführlichere Informationen zum REMO-Datenformat, den zur Verfügung stehenden Ausgabe-Variablen, sowie wichtige Konventionen für deren Gebrauch finden Sie in den „Hinweisen für REMO-Datennutzer“:

http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/pfeifersusanne/REMO_UBA/REMO-UBA-Hinweise.pdf

Weitere wichtige Hinweise zum REMO-Modell und speziell den verfügbaren Läufen für Deutschland („UBA-Läufe“) finden Sie auf den Seiten

<http://www.remo-rcm.de>

<http://www.remo-rcm.de/REMO-UBA.1189.0.html>

Bitte verwenden Sie diesen Kurs nur als Ergänzung zu den oben angegebenen Quellen!

Die für den Kurs verwendete Software ist frei verfügbar. Es wird empfohlen, auf einem Linux-System zu arbeiten. Es stehen jedoch auch Windows-Versionen sowohl für die CDOs als auch für GrADS zur Verfügung. Windows-Nutzer seien auf den Anhang A verwiesen. Für einfache Anwendungszwecke wie sie in diesem Kurs beschrieben werden, reicht ein Windowsrechner vollständig aus.

Eine Übersicht über die wichtigsten Linux-Shell-Befehle finden Sie unter:

<http://linux.about.com/od/commands/l/blcmds.htm>

Die „**Climate Data Operators**“ (CDO) sind ein mächtiges Software-Paket, das mit den meisten gängigen Dateiformaten, die für Klimadaten verwendet werden, umgehen kann, und eine Vielzahl von Operationen zur Bearbeitung und Ausgabe zur Verfügung stellt. Sie können auf der Seite

<http://www.mpimet.mpg.de/~cdo>

für verschiedene Betriebssysteme heruntergeladen werden. Weiterhin finden Sie dort eine Anleitung zur Installation und eine ausführliche Dokumentation in englischer Sprache. (*Warnung: Die derzeitige Windows-Version funktioniert nur für Dateigrößen unter 2 GB*)

Die „**GrADS**“-Visualisierungs-Software ist ebenso frei über die Seite

<http://www.iges.org/grads/downloads>

verfügbar. Eine Dokumentation in englischer Sprache und ein „Tutorial“ finden sich unter:

<http://www.iges.org/grads/gadoc/users>

<http://www.iges.org/grads/gadoc/tutorial>

2. Herunterladen von Datensätzen aus der CERA-Datenbank

Legen Sie sich auf Ihrer Festplatte zunächst ein Verzeichnis an, in das Sie die Datensätze kopieren. Um die Anwendungsbeispiele praktisch selber durchführen zu können, sollten Sie mindestens 500 MB auf der Festplatte zur Verfügung haben.

Wenn Sie bereits einen Account für die CERA-Datenbank erhalten haben, loggen Sie sich auf der Startseite

<http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Index.jsp>

mit Ihrem User-Namen und Passwort ein. Wählen Sie unter „Browse experiments“ das Experiment „REMO-UBA“ aus. Informationen zu diesen Klimasimulationen finden Sie unter „project information“.

Wählen Sie „select project“ und anschließend die Kontrollsimulation mit dem Namen

CLIMATE OF THE 20th CENTURY RUN, UBA PROJECT, 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006210, MM DATA

aus. Die Bezeichnung „MM DATA“ bedeutet, dass es sich um Monatsmittelwerte handelt. Wählen Sie unter „Show related entries“ die drei Variablen „APRC“ (Konvektiver Niederschlag), „APRL“ (Skaliger Niederschlag) und „TEMP2“ (2m-Temperatur) aus und fügen Sie sie der Liste der herunterzuladenden Daten hinzu (Schaltfläche „Add selected datasets to process list“). Sie gelangen von dort auf die Liste und können die Datensätze durch Klicken auf das Diskettensymbol herunterladen. Laden Sie sie für den kompletten Zeitraum 1950-2000 herunter („Complete dataset“). Anschließend laden Sie auf dieselbe Weise die entsprechenden 3 Datensätze des zugehörigen IPCC-A1B-Szenarienlaufs für den gesamten Zeitraum 2001-2100 herunter. Diese Simulation trägt auf der CERA-Datenbank dem Namen

REMO A1B SZENARIO RUN, UBA PROJECT, 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006211, MM DATA

Diese beiden Läufe bilden zusammen eine transiente Simulation für den gesamten Zeitraum 1950-2100. „Transient“ bedeutet, dass die beiden Läufe nicht unabhängig voneinander durchgeführt wurden, sondern dass sich der A1B-Lauf lückenlos an den C20-Lauf anschließt. Die beiden Läufe können also wie ein einziger zusammenhängender Lauf betrachtet werden.

Stündliche Datensätze sind mit „1H DATA“ bezeichnet. Laden Sie einen Monat des stündlichen Datensatzes

CLIMATE OF THE 20th CENTURY RUN, UBA PROJECT, 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006210, 1H DATA

herunter, z. B. den Januar 1999, indem Sie den Schalter „Part of dataset“ auswählen und sowohl „Time period start“ als auch „Time period end“ auf 1999-01 setzen. Derzeit stehen auf der CERA-Datenbank nur stündliche und monatliche REMO-Daten zur Verfügung. Tägliche Datensätze müssen mit den CDOs aus stündlichen nachträglich gebildet werden. Dies wird in Abschnitt 4 erläutert.

Weiterhin benötigen Sie aus dem Datensatz

REMO A1B SZENARIO RUN, UBA PROJECT, 0.088 DEGREE RESOLUTION, CONSTANT FIELDS

die vier konstanten Felder „GEOSP“ (die Orographie), „PHI“ (reale geographische Länge), und „RLA“ (reale geographische Breite).

Hinweis zum Herunterladen aus der CERA-Datenbank:

Mit dem Programm „Jblob“ können Sie Datensätze komfortabel per Befehlszeile herunterladen:

<http://cera-www.dkrz.de/CERA/jblob/>

Jblob benötigt eine Java-Umgebung, um lauffähig zu sein.

Sobald das Herunterladen erfolgreich abgeschlossen ist, sollten sich die folgenden Dateien in dem Verzeichnis befinden (total 316 MB):

RE_UBA_A1B_1_MM_APRC_1-1200.ieg (61.1 MB)
RE_UBA_A1B_1_MM_APRL_1-1200.ieg (61.1 MB)
RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_1-1200.ieg (61.1 MB)
RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_589.ieg (37.9 MB)
RE_UBA_C20_1_MM_APRC_1-612.ieg (31.2 MB)
RE_UBA_C20_1_MM_APRL_1-612.ieg (31.2 MB)
RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1-612.ieg (31.2 MB)
RE_UBA_CONST_GEOSP_1 (52.2 KB)
RE_UBA_CONST_PHI_1 (52.2 KB)
RE_UBA_CONST_RLA_1 (52.2 KB)

Die Bezeichnung der Dateinamen sollte die folgenden Informationen beinhalten:

- Name des Modells: REMO, hier abgekürzt mit „RE“
- Name des Experiments: „UBA“

- Bezeichnung der Simulation: „C20_1“, „A1B_1“
- Zeitliche Auflösung: „MM“ für Monatsmittel, „1H“ für stündliche Daten
- Kürzel der Variable: „APRC“, „APRL“, „TEMP2“, „GEOSP“, „PHI“, „RLA“
- Zeitraum: „1950-2000“ für C20, „2001-2100“ für A1B (nicht nötig für die konstanten Felder), „199901“ für den Januar 1999
- Das Dateiformat als Extension: „.ieg“ für das IEG-Format

Die Namen der heruntergeladenen Datensätze erfüllen nicht vollständig diese Kriterien. Deshalb benennen Sie diese bitte zunächst der Reihenfolge nach um. Umbenennen geschieht in der Linux-Shell mit dem Befehl „mv“, und in der Windows-Eingabeaufforderung mit „rename“:

```
rename RE_UBA_A1B_1_MM_APRC_1-1200.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_APRC_2001-2100.ieg
rename RE_UBA_A1B_1_MM_APRL_1-1200.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_APRL_2001-2100.ieg
rename RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_1-1200.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2001-2100.ieg
rename RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_589.ieg RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_199901.ieg
rename RE_UBA_C20_1_MM_APRC_1-612.ieg RE_UBA_C20_1_MM_APRC_1950-2000.ieg
rename RE_UBA_C20_1_MM_APRL_1-612.ieg RE_UBA_C20_1_MM_APRL_1950-2000.ieg
rename RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1-612.ieg RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg
rename RE_UBA_CONST_GEOSP_1 RE_UBA_CONST_GEOSP.ieg
rename RE_UBA_CONST_PHI_1 RE_UBA_CONST_PHI.ieg
rename RE_UBA_CONST_RLA_1 RE_UBA_CONST_RLA.ieg
```

Datenstrom 2 und Datenstrom 3:

Die heruntergeladenen Daten liegen auf dem Original-REMO-Gitter, dem sogenannten „Datenstrom 2“-Gitter vor. REMO verwendet standardmäßig ein rotiertes Kugelkoordinatensystem. Das bedeutet, dass das geographische Gitter so rotiert wird, dass der Äquator des rotierten Systems durch die Mitte des Modellgebiets verläuft. Der Sinn in der Verwendung rotierter Koordinaten liegt darin, dass die Gitterverzerrung, die bei geographischen Koordinaten immer gegeben ist, am Äquator am geringsten ist. Jede Gitterbox ist durch ihren Mittelpunkt eindeutig durch die rotierten Längen- und Breitenkoordinaten definiert. Mehr Information zu dem rotierten Koordinatensystem wird in Abschnitt 5 gegeben.

Ent-rotierte Daten auf einem unrotierten geographischen Gitter stehen als „Datenstrom 3“ (auf CERA bezeichnet mit „DATASTREAM 3“. „Datenstrom“ wird im Folgenden abgekürzt mit „DS“) zur Verfügung. Auf einem unrotierten geographischen Gitter hat der Nordpol die Breite $\varphi=90^\circ$, der Südpol $\varphi=-90^\circ$, und der Äquator $\varphi=0^\circ$. Da DS 3-Daten jedoch zusätzlich interpoliert sind, was auf einen Informationsverlust hinausläuft, wird empfohlen, direkt mit DS 2 zu arbeiten, das auf dem rotierten Original-REMO-Gitter vorliegt, obwohl der Umgang mit einem rotierten System zunächst ungewohnt sein mag. Wie das ent-rotieren im Prinzip durchgeführt wird, wird in Anhang B erläutert.

Hinweis zu den Niederschlagsvariablen:

Bei APRC und APRL ist die Verdriftung des Niederschlags mit dem Wind nicht berücksichtigt. Bei dem Datensatz DPREC ist nachträglich eine Verdriftung durchgeführt worden, was zu einer realistischen Niederschlagsverteilung führt. Im Folgenden werden wir zur Demonstration der CDOs mit APRC und APRL arbeiten. Es wird empfohlen, wenn möglich mit DPREC zu arbeiten, falls dieser Datensatz existiert. Dies ist für die hier heruntergeladenen Simulationen der Fall, ebenso für die Szenarien A2 und B1 des REMO-UBA-Experiments, und für das A1B-Szenario des Experiments REMO-BFG. Wenn Sie mit „C20_1“ und „A1B_1“ weiterarbeiten möchten, und Ihnen genügend Speicherplatz zur Verfügung steht, können Sie sich DPREC an dieser Stelle zusätzlich zu APRC und APRL herunterladen. In der aktuellen REMO-Version wird die Niederschlagsverdriftung gleich „online“ mit gerechnet, so dass für zukünftige Läufe die Bildung von DPREC entfällt.

Größe der Dateien:

Die Größe der Dateien im IEG-Format lässt sich über die folgende Formel ausrechnen, wobei N die Anzahl der

Zeitschritte, und I bzw. J die Anzahl der Gitterboxen in x- bzw. y-Richtung ist:

$$\text{Anzahl Bytes} = (4 \cdot I \cdot J + 652) \cdot N$$

Diese Formel ergibt sich aus einer Größe von 4 Bytes pro Fließkommazahl, und einem „Header“ von 652 Bytes pro Zeitschritt. Für das UBA-Gebiet ist I=109 und J=121. Damit ergibt sich für die Monatsmittel (12 Monate pro Jahr) der 51 Jahre von 1950-2000:

$$(4 \cdot 109 \cdot 121 + 652) \cdot 12 \cdot 51 = 32\,685\,696 \text{ Bytes}$$

und für die 100 Jahre von 2001-2100:

$$(4 \cdot 109 \cdot 121 + 652) \cdot 12 \cdot 100 = 64\,089\,600 \text{ Bytes.}$$

Für den Datensatz mit den Stundenmitteln von Januar 1999 ergibt sich bei 31 Tagen und 24 Stunden pro Tag entsprechend eine Größe von 39 735 552 Bytes.

3. Ausgabe im ASCII-Format (Schnellversion)

In diesem Abschnitt werden die CDO-Befehle vorgestellt, um eine Zeitreihe von simulierten Jahresmitteltemperaturen am Gitterpunkt mit den Gitterindizes `idx=55` und `idy=72` für den Kontrolllauf als ASCII-Datei auszugeben. In dieser Gitterbox befindet sich die Station Brocken, die in diesem Beispiel herangezogen werden soll. Wie man bei gegebener geographischer Länge und Breite auf die Gitterbox kommt, in der die entsprechende Station liegt, ist in Kapitel 5 erklärt. Das folgende Anwendungsbeispiel kann in der Praxis dazu verwendet werden, um Simulationsergebnisse der 2m-Temperatur mit Stationsdaten zu vergleichen.

CDO-Befehle werden als Kommandozeilen eingegeben. Unter Windows müssen Sie dazu in der „Eingabeaufforderung“ arbeiten und die richtigen Pfade setzen (siehe Anhang A). Nachdem Sie die CDOs installiert haben, führen Sie die folgenden Kommandozeilen der Reihe nach aus:

```
> cdo yearmean -selindexbox,55,55,72,72 -smooth9 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg test_temp2.ieg
```

Mit diesem Befehl werden drei CDO-Operationen nacheinander ausgeführt („Piping“, Erklärung folgt in Abschnitt 4). Die Ausführung der Operationen erfolgt von rechts nach links:

- Der zuerst ausgeführte Befehl `smooth9` wendet einen 9-Punkte-Filter (wobei der Mittelpunkt stärker gewichtet wird, als die Nachbargitterboxen) auf das Temperaturfeld an. Damit werden innerhalb der Gitterbox, in der der Stationswert liegt, auch die Nachbargitterboxen berücksichtigt. Dies ist notwendig, da beim Vergleich mit Stationswerten empfohlen wird, auch die Nachbargitterboxen heranzuziehen (siehe REMO-UBA-Hinweise).
- Der zweite Befehl `selindexbox` selektiert anschließend die Gitterbox heraus, in der die Station liegt.
- Der zuletzt ausgeführte Befehl `yearmean` bildet Jahresmittelwerte aus den Monatsmitteln.

Für eine genauere Beschreibung der Befehle sei auf die in Abschnitt 1 angegebenen CDO-Dokumentation verwiesen. Nach dem CDO-Aufruf sollte sich eine Datei mit dem Namen „`test_temp2.ieg`“ in Ihrem Verzeichnis befinden. Sie enthält die Information über die Jahresmittelwerte von 1951-2000 der 2m-Temperatur an der angegebenen Gitterbox. Führen Sie anschließend den Befehl

```
> cdo outputts test_temp2.ieg
```

aus. Er liefert die Ausgabe:

```
1950-12-00 00:00:00 279.205230713
1951-12-00 00:00:00 280.276977539
1952-12-00 00:00:00 279.899475098
```

```
1953-12-00 00:00:00 281.004852295
1954-12-00 00:00:00 279.999694824
1955-12-00 00:00:00 279.938079834
```

...

Die einzelnen Spalten dieser Ausgabe sind folgendermaßen zu verstehen:

- **1950-12-00** : Datum: Da es sich um Jahresmittel handelt, ist nur die Jahreszahl von Bedeutung, der Wert für den Monat (hier 12) und für den Tag (hier 0) können ignoriert werden.
- **00:00:00** : Uhrzeit: Kann hier ebenfalls ignoriert werden.
- **278.360870361** : Temperatur in Kelvin

In der Linux-Shell und der Windows-Eingabeaufforderung kann die Ausgabe mit dem Befehl

```
> cdo outputts test_temp2.ieg > test_temp2.txt
```

in eine Textdatei (hier „test_temp2.txt“) umgeleitet werden. Die dreispaltige Textdatei kann z. B. in Excel eingelesen werden (beiliegendes Excel-Dokument „test_temp2.xls“). Weiterführende Information zur ASCII-Ausgabe wird in Abschnitt 6 gegeben.

Die begrenzte Auflösung des Modellgitters und die zusätzliche Anwendung des 9-Punkte-Filters führen zu einer Nivellierung der Orographie, was besonders in orographisch strukturierten Gebieten wie dem Brocken (Höhe 1142 m) zu einer erheblichen Abweichung der Modell-Orographie von der tatsächlichen Höhe der Station führen kann. Da viele Klimavariablen stark höhenabhängig sind (z.B. Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit,...), kann diese Abweichung verfälschend wirken, so dass eine **Höhenkorrektur** nötig wird. Eine simple, aber häufig verwendete Höhenkorrektur für die Temperatur ist die Annahme eines konstanten Temperaturgradienten von üblicherweise -0.65°C pro 100 m Höhenzunahme, die hier demonstriert werden soll (in machen Fällen könnte diese Höhenkorrektur zu ungenau sein). Die Höhe der Gitterbox kann aus der Orographie-Datei mit

```
> cdo output -selindexbox,55,55,72,72 RE_UBA_CONST_GEOSP.ieg
```

herausgelesen werden. Die Ausgabe ist 687.034 m, die Gitterbox liegt also über 400 m niedriger als die Station. Da für die Temperaturmittelung zusätzlich noch der 9-Punkt-Filter angewendet wurde, muss dieser für die Höhenkorrektur auch auf die Orographie angewendet werden:

```
> cdo output -selindexbox,55,55,72,72 -smooth9 RE_UBA_CONST_GEOSP.ieg
```

liefert wegen der tiefer liegenden Nachbargitterboxen eine noch niedrigere Höhe von 537.473 m. Es wird üblicherweise eine Temperaturabnahme von 0.65°C pro 100 m Höhe angenommen, deshalb ergibt sich für die Höhenkorrektur eine Temperaturdifferenz von

$(1142 - 537) \text{ m} * 0.0065^{\circ}\text{C}/\text{m} = 3.93^{\circ}\text{C}$.

Die Höhenkorrektur wurde in die Excel-Datei eingebaut: In der dritten Spalte stehen die unkorrigierten und in der vierten Spalte die höhenkorrigierten Jahresmitteltemperaturen.

4. Verwendung der „Climate Data Operators“ (CDOs)

In diesem Abschnitt und den folgenden Abschnitten werden wir ein paar Beispiel-Operationen mit den CDOs an den heruntergeladenen Datensätzen demonstrieren. Mit „cdo info“ können Sie sich Informationen über die REMO-Daten ausgeben lassen, z. B. liefert

```
> cdo info RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg
```

die Ausgabe

-1 :	Date	Time	Code	Level	Size	Miss :	Minimum	Mean	Maximum
1 :	1950-01-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	259.08	274.37	280.62
2 :	1950-02-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	260.26	276.26	281.95
3 :	1950-03-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	257.41	276.66	282.49
4 :	1950-04-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	263.30	279.65	286.08
5 :	1950-05-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	265.25	282.06	289.51
6 :	1950-06-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	270.39	286.47	294.28
7 :	1950-07-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	270.55	288.15	295.70
8 :	1950-08-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	270.23	287.23	295.67
9 :	1950-09-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	268.91	285.09	293.89
10 :	1950-10-00	00:00:00	167	2	13189	0 :	268.13	282.49	290.86

u.s.w.. Die Spalten dieser Ausgabe enthalten von links nach rechts die folgenden Informationen: Nummer des Eintrags, Datum (Jahr-Monat-Tag), Uhrzeit (Stunde:Minute:Sekunde), Code-Nummer (167 für die 2m Temperatur in Kelvin), Höhenlevel (nur wichtig für 3D-Felder), Gesamtanzahl der Gitterboxen („Size“), Anzahl der fehlenden Werte („Miss“), sowie Minimum, Mittelwert, und Maximum über das Modellgebiet. Bei Monatsmittelwerten wird wie hier der Tag üblicherweise auf „00“ und die Uhrzeit auf „00:00:00“ gesetzt.

Umwandlung von Datenformaten:

Die heruntergeladenen REMO-Datensätze liegen im IEG-Format vor. Oft wird auch das „NetCDF“-Format verwendet (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>), z. B. liegen die auf der CERA-Datenbank verfügbaren Daten des CLM-Modells in diesem Format vor. NetCDF-Dateien haben üblicherweise die Endung „nc“. Die CDOs können sowohl mit IEG, NetCDF, sowie einer Reihe weiterer Datenformate (nachzulesen in der CDO-Dokumentation) umgehen, und erkennen diese automatisch. Das Umwandeln von einem beliebigen Datenformat in NetCDF geschieht mit dem CDO-Befehl „copy“ und der Option „-f nc“:

```
> cdo -f nc copy RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.nc
```

Die Rückumwandlung von NetCDF in IEG würde entsprechend geschehen mit:

```
> cdo -f ieg copy RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.nc RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg
```

Wenn Sie IEG-Dateien mit bestimmten Programmen einlesen, z. B. mit alten Versionen von GrADS, kann es zu Problemen mit dem Format der Fließkommazahlen des verwendeten Maschinentyps kommen. Es gibt die beiden Darstellungsarten „big endian“ und „little endian“. Die CDOs erkennen automatisch die Darstellungsart des vorliegenden Datensatzes und können mit beiden umgehen. Der CDO-Befehl „sinfov“ liefert Ihnen die Information, in welchem dieser beiden Darstellungsarten der angegebene Datensatz vorliegt, z. B.:

```
> cdo sinfov RE_UBA_CONST_GEO5P.ieg
```

liefert in der ersten Zeile die Ausgabe:

```
File format: IEG BIGENDIAN
```

Falls der Prozessor, auf dem Sie arbeiten, mit „little endian“ arbeitet, können Sie bei Bedarf den Datensatz mit

```
> cdo -p l copy RE_UBA_CONST_GEO5P.ieg RE_UBA_CONST_GEO5P_1_little_endian.ieg
```

in das Format „little endian“ umwandeln. Eine Rückumwandlung in „big endian“ geschieht entsprechend mit

```
> cdo -p b copy RE_UBA_CONST_GEO5P_1_little_endian.ieg RE_UBA_CONST_GEO5P_1_big_endian.ieg
```

In der Regel brauchen Sie sich aber nicht darum kümmern, in welchem Format die Daten vorliegen.

Bildung von monatlichen Niederschlagssummen:

Bei den monatlichen Niederschlagswerten für den konvektiven und den skaligen Niederschlag handelt es sich um stündliche Mittelwerte, und nicht um Monatssummen. Addieren Sie die beiden Niederschlagskomponenten des C20-Kontrolllaufes zunächst zum Gesamtniederschlag auf. Dies ist mit dem Befehl „cdo add“ möglich („\\“ bedeutet hier, dass der Zeilenumbruch bei der Kommandoingabe nicht berücksichtigt werden soll):

```
> cdo add RE_UBA_C20_1_MM_APRC_1950-2000.ieg RE_UBA_C20_1_MM_APRL_1950-2000.ieg \\
RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000.ieg
```

Nun stehen in der Datei RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000.ieg die stündlichen Mittelwerte des Gesamtniederschlags in der Einheit [mm/h]. Um die Niederschlagsdaten in eine verwendbare Form zu bringen, müssen noch einige Operationen durchgeführt werden. Die Anwendung von

```
> cdo info RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000.ieg
```

zeigt an, dass dieser Datensatz die Code-Nummer 143 hat (die Code-Nummer des skaligen Niederschlags). Um die Code-Nummer in der Header-Information auf 260 zu setzen, die für den Gesamtniederschlag reserviert ist (nachzulesen in den „Hinweisen für REMO-Datennutzer“), kann der Befehl „cdo setcode,260“ verwendet werden. Um die stündlichen Mittelwerte in Monatssummen umzurechnen, muss der Datensatz zunächst mit 24, also der Anzahl von Stunden pro Tag, multipliziert werden. Dies geschieht mit dem Befehl „cdo mulc,24“. Anschließend muss noch mit der Anzahl von Tagen im Monat multipliziert werden. Hierzu steht der Befehl „cdo muldpm“ zur Verfügung. Die CDOs bieten die Möglichkeit, alle drei Operationen mit einem einzigen CDO-Aufruf durchzuführen („Pipes“):

```
> cdo muldpm -mulc,24 -setcode,260 RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000.ieg \  
RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000_monsum.ieg
```

Die CDO-Befehle werden dabei von innen nach außen angewendet, d.h. im vorliegenden Beispiel wird zuerst „mulc,24“ (muss mit einem „Minus“-Zeichen beginnen), und dann „muldpm“ ausgeführt. Das gleiche Ergebnis würde man erhalten, indem man die drei Operationen einzeln unter Verwendung der Hilfsdateien „dummy1“ und „dummy2“ durchführt:

```
> cdo setcode,260 RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000.ieg dummy1  
> cdo mulc,24 dummy1 dummy2  
> cdo muldpm dummy2 RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000_monsum.ieg
```

Die Hilfsdateien können anschließend wieder gelöscht werden. Pipes bieten also die Möglichkeit, mehrere Operationen gleichzeitig ohne Verwendung von Hilfsdateien auszuführen.

Denselben Vorgang wenden wir nun auch für den A1B-Szenarienlauf an, indem wir alle Operationen, einschließlich der Summenbildung, durch Piping gleichzeitig durchführen:

```
> cdo muldpm -mulc,24 -setcode,260 -add RE_UBA_A1B_1_MM_APRIL_2001-2100.ieg \  
RE_UBA_A1B_1_MM_APRC_2001-2100.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_PREC_2001-2100_monsum.ieg
```

Bildung von Tagesmittelwerten:

Der stündliche Temperatur-Datensatz RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_199901.ieg enthält für jede Stunde einen Eintrag. Die Anwendung von

```
> cdo info RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_199901.ieg
```

zeigt für den ersten Eintrag den Zeitpunkt 1999-01-01 01:00:00 und der letzten Zeitpunkt ist 1999-02-01 00:00:00. Der letzte Eintrag ist also bereits dem Monat Februar zugeordnet, ist aber das Temperaturmittel zwischen 23 Uhr des 31. Januars und 0 Uhr des Folgetages. Bei der Bildung von Tagesmitteln müssen alle 0-Uhr-Zeitpunkte dem vorhergehenden Tag zugerechnet werden, was durch Vorschalten des CDO-Befehls „shifttime,-1min“ vor die Mittelung erreicht wird, indem der gesamte Datensatz um 1 Minute nach vorne verschoben wird. Dadurch rutschen alle 0-Uhr-Zeitpunkte in den Vortag. Die Bildung von Tagesmitteln erfolgt mit dem CDO-Befehl „daymean“. Die Tagesmittel werden aus dem stündlichen Datensatz mit folgendem Befehl erzeugt:

```
> cdo daymean -shifttime,-1min RE_UBA_C20_1_1H_TEMP2_199901.ieg RE_UBA_C20_1_1D_TEMP2_199901.ieg
```

Nachprüfen mit „cdo info“ zeigt, dass der so erzeugte Datensatz genau 31 Einträge hat, für jeden Tag des Monats Januar 1999. Mittel über Monate, Jahreszeiten und Jahre können mit „monmean“, „seasmean“, bzw. „yearmean“ erzeugt werden. „timmean“ erzeugt das Mittel über die gesamte Datenreihe.

Bildung von Mittelwerten über beliebige Zeitperioden:

Zeitperioden können aus den Datenreihen mit dem Befehl „seldate, startdatum, enddatum“ ausgeschnitten werden. Wenn man ganze Jahre ausschneiden will, kann man statt dessen auch „selyear, startjahr/endjahr“ verwenden (bei einer Trennung der Jahreszahlen mit Komma „selyear, startjahr, endjahr“ würden nur die beiden Jahre *startjahr* und *endjahr* ausgeschnitten werden). Im Folgenden wollen wir das Klimaänderungssignal der Temperatur und des Niederschlages ausrechnen. Dabei wählen wir als Zukunftszeitraum das Mittel über die Jahre 2071-2100 des A1B-Laufes, und als Referenz das Mittel der Periode 1971-2000 des C20-Laufes. Wir erzeugen die Mittelwerte mit den Befehlen

```
> cdo timmean -selyear,1971/2000 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg \\  
    RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1971-2000_mean.ieg  
> cdo timmean -selyear,1971/2000 RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000_monsum.ieg \\  
    RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1971-2000_mean.ieg  
> cdo timmean -selyear,2071/2100 RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2001-2100.ieg \\  
    RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2071-2100_mean.ieg  
> cdo timmean -selyear,2071/2100 RE_UBA_A1B_1_MM_PREC_2001-2100_monsum.ieg \\  
    RE_UBA_A1B_1_MM_PREC_2071-2100_mean.ieg
```

Die vier neu erzeugten Dateien enthalten jeweils nur einen Zeitschritt mit den Jahresmitteln der beiden 30-Jahres-Zeiträume. Wenn man sich statt der Jahresmittelwerte für jahreszeitliche Mittelwerte interessiert, kann der Befehl „yseasmean“ (bzw. für monatliche Mittelwerte „ymonmean“) verwendet werden. Es werden die meteorologischen Jahreszeiten verwendet: DJF (der Winter: **D**ezember, **J**anuar, **F**ebruar), MAM (Frühling: **M**ärz, **A**pril, **M**ai) und entsprechend JJA (Sommer) und SON (Herbst). „yseasmean“ erzeugt eine Datei mit 4 (bzw. 12) Zeitschritten, indem für jede Jahreszeit (bzw. jeden Monat) ein Mittelwert über den gesamten Zeitraum gebildet wird. Im Falle von jahreszeitlichen Mittelwerten ist für den Winter DJF zu beachten, dass für das Startjahr nur der Januar und der Februar, und für das Endjahr nur der Dezember zur Verfügung steht. Falls ein Zerschneiden von Jahreszeiten unerwünscht ist, empfiehlt es sich, diese drei Monate nicht zu berücksichtigen. Diese Methode werden wir im Folgenden verwenden, sie hat aber den Nachteil, dass für den 30-Jahres-Zeitraum nur 29 Winter gemittelt werden, also einer weniger als für die anderen Jahreszeiten. Bilden Sie die jahreszeitlichen Mittel des monatlichen Niederschlags über die beiden 30-Jahres-Zeiträume:

```
> cdo yseasmean -seldate,1971-03-01,2000-11-30 \\  
    RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1950-2000_monsum.ieg RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1971-2000_yseasmean.ieg  
> cdo yseasmean -seldate,2071-03-01,2100-11-30 \\  
    RE_UBA_A1B_1_MM_PREC_2001-2100_monsum.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_PREC_2071-2100_yseasmean.ieg  
> cdo info RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1971-2000_yseasmean.ieg
```

Der letzte „cdo info“-Befehl liefert die Ausgabe:

```
-1 :      Date Time      Code Level      Size      Miss :      Minimum      Mean      Maximum  
1 : 2000-02-00 00:00:00 260      0 13189      0 :      18.670      84.871     1507.5  
2 : 2000-05-00 00:00:00 260      0 13189      0 :      16.231      68.526     948.08  
3 : 2000-08-00 00:00:00 260      0 13189      0 :      7.3893      88.849     599.31  
4 : 2000-11-00 00:00:00 260      0 13189      0 :      16.847      81.605     882.47  
cdo info: Processed 52756 values from 1 variable over 4 timesteps. ( 0.00s )
```

Der Befehl „yseasmean“ hat die Jahreszeiten DJF als Monat 02, MAM in Monat 05, JJA in Monat 08, und SON in Monat 11 abgespeichert. Als Jahreszahl wurde das Endjahr eingefügt.

Bilden Sie zusätzlich die jahreszeitlichen Mittel der monatlichen Temperaturzeitreihen:

```
> cdo yseasmean -seldate,1971-03-01,2000-11-30 \\  
    RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1971-2000_yseasmean.ieg  
> cdo yseasmean -seldate,2071-03-01,2100-11-30 \\  
    RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2001-2100.ieg RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2071-2100_yseasmean.ieg
```

Die Kelvin-Temperaturen lassen sich in °C umrechnen, indem die Konstante 273.15 von allen Werten

subtrahiert wird. Dies geschieht mit dem CDO-Befehl „*subc, const*“:

```
> cdo subc,273.15 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1971-2000_yseasmean.ieg \\  
    RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1971-2000_yseasmean_Celsius.ieg  
> cdo subc,273.15 RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2071-2100_yseasmean.ieg \\  
    RE_UBA_A1B_1_MM_TEMP2_2071-2200_yseasmean_Celsius.ieg
```

5. Gitterinformation, rotierte und ent-rotierte Koordinaten

REMO verwendet standardmäßig ein rotiertes Kugelkoordinatensystem. Rotation heißt hier, dass das geographische Gitter so rotiert wird, dass dessen Äquator durch das Modellgebiet verläuft. Jede Gitterbox ist durch ihren Mittelpunkt eindeutig durch die geographische Länge und Breite definiert. Die Information über das Gitter, in dem die Daten vorliegen, können Sie über den CDO-Befehl

```
> cdo griddes Dateiname
```

abfragen. Alle im Abschnitt 2 von der CERA-Datenbank heruntergeladenen und neu erzeugten Datensätze liegen auf demselben Gitter vor (DS 2 bzw. Datastream 2). Wenn Sie einen dieser Datensätze als *Dateiname* angeben, sollten Sie die folgende Ausgabe erhalten:

```
#  
# gridID 0  
#  
gridtype = lonlat  
gridsize = 13189  
xname = rlon  
xlongname = longitude in rotated pole grid  
xunits = degrees  
yname = rlat  
ylongname = latitude in rotated pole grid  
yunits = degrees  
xsize = 109  
ysize = 121  
xnpole = -162  
ynpole = 39.25  
xfirst = -9.29  
xinc = 0.088  
yfirst = -4.994  
yinc = 0.088  
cdo griddes: Processed 1 variable. ( 0.00s )
```

Dass es sich um ein reguläres Gitter aus geographischen Längen- und Breitengraden handelt, wird durch

```
gridtype = lonlat
```

angegeben. Die Definitionen von *xname*, *xlongname*, *xunits*, *ylongname*, *yunits* geben an, dass die *x*- bzw. *y*-Koordinate die geographische Länge λ' bzw. Breite φ' im Gradmaß in rotierten Koordinaten ist. *xsize* und *ysize* bezeichnen die Anzahl der Gitterboxen in *x*- und *y*-Richtung (wobei $\text{gridsize} = \text{xsize} * \text{ysize}$), und *xfirst* und *yfirst* geben die rotierten Koordinaten des Mittelpunktes der Gitterbox in der linken unteren Ecke an. Der Abstand im Gradmaß von einem Gitterboxmittelpunkt zum nächsten in *x*- und *y*-Richtung sind *xinc* und *yinc*. Der Mittelpunkt der Gitterbox mit den Indizes *idx* (gezählt vom linken Rand) und *idy* (gezählt vom unteren Rand) hat demnach die rotierten Koordinaten:

$$\lambda' = \text{xfirst} + (\text{idx} - 1) * \text{xinc}$$

$$\varphi' = \text{yfirst} + (\text{idy} - 1) * \text{yinc}$$

Der linke und rechte Gitterboxrand wird dabei durch die Längenkoordinaten im halben Gitterboxabstand $\lambda' \pm \text{xinc}/2$ eingegrenzt, und der obere und untere Rand durch die Breitenkoordinaten $\varphi' \pm \text{yinc}/2$. Die üblichen 2D-Klimavariablen sind für den Mittelpunkt der Gitterboxen definiert.

Die Koordinaten des rotierten Nordpols in unrotierten geographischen Koordinaten sind *xnpole*, *ynpole*

und legen die Ausrichtung des rotierten Gitters eindeutig fest.

Umrechnung von rotierten in unrotierte Koordinaten und umgekehrt:

Ein beliebiger Punkt auf der Erdoberfläche trage die unrotierten Koordinaten λ (geographische Länge) und φ (geographische Breite). Die entsprechenden Koordinaten im rotierten Koordinatensystem seien λ' und φ' . Die Koordinaten des rotierten Nordpols seien λ_p und φ_p .

Man erhält die **rotierten** Koordinaten aus den **unrotierten** über die Koordinatentransformation:

$$\lambda' = \text{atan2}(\sin \varphi \cos \varphi_p - \cos \varphi \sin \varphi_p \cos (\lambda_p - \lambda), \cos \varphi \sin (\lambda_p - \lambda))$$

$$\varphi' = \arcsin(\sin \varphi \sin \varphi_p + \cos \varphi \cos \varphi_p \cos (\lambda_p - \lambda))$$

Die Gleichungen für die **Rücktransformation** lauten:

$$\lambda = \lambda_p - \text{atan2}(\sin \varphi' \cos \varphi_p - \cos \varphi' \sin \varphi_p \cos \lambda', \cos \varphi' \sin \lambda')$$

$$\varphi = \arcsin(\sin \varphi' \sin \varphi_p + \cos \varphi' \cos \varphi_p \cos \lambda')$$

Dabei berücksichtigt die in den meisten Programmiersprachen definierte zwei-argumentige Funktion „atan2“ beide Zweige der Arcustangens-Funktion:

atan2(y,x) =	arctan(x/y)	für x>0
	arctan(x/y)+ π	für x<0, y \geq 0
	arctan(x/y)- π	für x<0, y<0
	+ $\pi/2$	für x=0, y>0
	- $\pi/2$	für x=0, y<0
0	für x=0, y=0	

Die Transformationen sind im beiliegenden Excel-Worksheet `rotieren_und_entrotieren.xls` programmiert. Die Koordinaten der rotierten Pols sind in den Zellen B4 und B5 eintragen. Tragen Sie z. B. die Koordinaten der Station Brocken und $\lambda=10.6657^\circ$ und $\varphi=51,7655^\circ$ in die Zellen F10 und F11 ein, lässt sich in den Zellen F13 und F14 die Position in rotierten Koordinaten zu $\lambda'=-4.5326^\circ$ und $\varphi'=1.2401^\circ$ ablesen. Anschließendes Eintragen der rotierten Koordinaten in die Zellen B10 und B11 liefert wieder die ursprünglichen Koordinaten.

Mit der Gitterinformation aus dem „cdo gridde“ und den rotierten Koordinaten lässt sich errechnen, dass die Station, wie bereits in Abschnitt 3 angegeben, in der Gitterbox mit den Indizes $\text{idx}=55$ und $\text{id}_y=72$ liegt, deren Mittelpunkt die rotierten Koordinaten

$$\lambda' = -9.29^\circ + (55-1)*0.088^\circ = -4.538^\circ$$

$$\varphi' = -4.994^\circ + (72-1)*0.088^\circ = 1.254^\circ$$

hat: Da sich die Begrenzungen der Gitterbox in x- und y-Richtung im Abstand 0.044° , also einem halben Gitterboxabstand, vom Mittelpunkt befinden, liegt die Station innerhalb der Gitterbox.

Als Hilfsmittel für das Auffinden der REMO-Gitterbox, in der eine Station mit gegebenen Realkoordinaten liegt, wurde das Fortran 90 Programm „wo_bin_ich.f90“ zur Verfügung gestellt. Dies können Sie verwenden, falls Sie einen Fortran 90 Compiler zur Verfügung haben. Öffnen Sie dazu die „f90“-Datei mit einem Text-Editor und tragen Sie unter der Kommentarzeile „! HIER DIE POSITION IN REALEN LONLAT-KOORDINATEN EINGEBEN:“ die Koordinaten der gewünschten Station ein, im Falle des Brocken:

```
lam=10.6657
phi=51.7655
```

Kompilieren Sie das Programm und führen es aus. Es werden die Indizes der Gitterbox ausgegeben, in der die Station liegt:

Die REMO-BOX ist:

idx= 55
idy= 72

6. Ausgabe im ASCII-Format (Langversion)

Auch für die Ausgabe von Modelldaten in ASCII-Format sind die CDOs geeignet. Dazu stehen die CDO-Befehle „output“ für unformatierte Ausgabe und „outputf,Format“ für formatierte Ausgabe zur Verfügung. „Format“ ist dabei das Ausgabeformat in der Form, die es unter anderem auch für die Programmiersprachen C und FORTRAN verwendet wird. So bedeutet das Format %9.3f,5 die Ausgabe jeder Zahl in 9 Zeichen (einschließlich Dezimalpunkt), mit 3 Nachkommastellen, und in 5 Spalten. Das Kommando

```
> cdo outputf,%9.3f,5 RE_UBA_C20_1_MM_PREC_1971-2000_mean.ieg
```

gibt alle 13189 Einträge der Datei in das Ausgabefenster aus. Die ersten Zeilen der Ausgabe lauten

```
129.981 137.643 123.796 108.537 120.624
116.603 145.191 451.922 275.554 225.994
198.569 133.205 116.930 116.586 105.527
101.324 92.838 115.914 106.867 121.993
151.274 247.470 392.430 318.913 148.793
```

Um die ASCII-Ausgabe übersichtlich zu halten, ist es oft gewünscht, Zeitreihen von nur einer einzigen oder einigen wenigen Gitterboxen ausgeben zu lassen. Rechteckige Teilbereiche können mit den CDO-Befehlen „selindexbox,idx1,idx2,idy1,idy2“ und „sellonlatbox,lon1,lon2,lat1,lat2“ ausgeschnitten werden. Mit idx1,idx2,idy1,idy2 sind dabei die begrenzenden Gitterindizes des Rechtecks bezeichnet, während die Begrenzungen mit lon1,lon2,lat1,lat2 auch in rotierten Längen- und Breitengraden angegeben werden können.

Ausgabe einer Zeitreihe von Monatsmittelwerten:

Als Beispiel wollen wir eine Zeitreihe der 9 Gitterboxen ausgeben, die um die Station Brocken liegen. In Abschnitt 5 wurde errechnet, dass sich die Station in der Gitterbox mit den Indizes idx=55 und idy=72 befindet. Wir schneiden nun die 9 Gitterboxen aus dem Gesamtgitter der monatlichen Temperaturzeitreihe des Kontrolllaufes aus, in deren Mittelpunkt diese Gitterbox liegt. Dies geschieht mit dem Befehl:

```
> cdo selindexbox,54,56,71,73 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg \\  
RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_Brocken.ieg
```

Dasselbe Resultat erhält man alternativ mit:

```
> cdo sellonlatbox,-4.627,-4.45,1.166,1.342 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1-612.ieg \\  
RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_Brocken.ieg
```

Mit dem Ausgabebefehl

```
> cdo outputf,%9.2f,9 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_Brocken.ieg
```

werden die Monatsmitteltemperaturwerte in der Form

```
272.50 273.06 273.53 271.85 272.61 274.24 273.62 274.72 275.57
274.40 274.21 275.06 274.01 274.27 275.57 275.43 276.07 276.16
274.10 274.28 274.99 272.74 273.24 275.29 274.82 275.63 276.34
278.17 278.53 279.13 276.73 277.52 279.50 278.90 279.78 280.46
280.11 280.58 281.09 278.99 279.73 281.51 280.85 281.78 282.84
u. s. w
```

ausgegeben, wobei jede Zeile einen Zeitschritt repräsentiert, und die 9 Gitterpunktwerte in den Spalten stehen. Die Nummerierung der Gitterboxen erfolgt dabei von links nach rechts und von unten nach oben

(siehe Abb. 1).

7	8	9
4	5	6
1	2	3

Abb. 1: Reihenfolge, in der die Gitterboxen für die ASCII-Ausgabe aufgezählt werden. Die Station Brocken liegt in Gitterbox Nummer 5.

Die Koordinaten der Gitterboxmittelpunkte im ent-rotierten Koordinatensystem können entweder über die Rücktransformation aus Abschnitt 5 errechnet werden, oder sie können direkt aus den Dateien `RE_UBA_CONST_PHI.ieg` und `RE_UBA_CONST_RLA.ieg` ausgelesen werden, die aus der CERA-Datenbank heruntergeladen worden sind:

```
> cdo outputf,%9.2f,9 -selindexbox,54,56,71,73 RE_UBA_CONST_RLA.ieg
```

liefert für die Längen-Koordinaten die Ausgabe

```
10.53 10.67 10.81 10.51 10.65 10.80 10.50 10.64 10.78
```

und

```
> cdo outputf,%9.2f,9 -selindexbox,54,56,71,73 RE_UBA_CONST_PHI.ieg
```

liefert die Breiten-Koordinaten:

```
51.68 51.69 51.70 51.77 51.78 51.79 51.86 51.87 51.88
```

Beachten Sie, dass die Längen-Koordinaten für Gitterboxen mit demselben Index `idx` und Breiten-Koordinaten mit demselben Index `idy` nicht völlig gleich sind. Der Grund liegt darin, dass das unrotierte Koordinatensystem leicht schief im rotierten liegt.

Für die ASCII-Ausgabe in eine Datei wäre es wünschenswert, in der linken Spalte zusätzlich noch das Datum (bei stündlichen Daten zusätzlich die Uhrzeit) auszugeben. Bei der Ausgabe nur einer einzigen Zahlenreihe ist dies wie in Abschnitt 3 gezeigt mit dem CDO-Befehl „`outputts`“ möglich, bei mehreren Spalten leider nicht. Die in einem Datensatz vorkommenden Daten lassen sich jedoch separat mit dem CDO-Befehl „`showdate`“ ausgeben:

```
> cdo showdate RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_Brocken.ieg
```

Ausgabe:

```
1950-01-00 1950-02-00 1950-03-00 1950-04-00 1950-05-00 1950-06-00 ...
```

Es gibt weitere „`show`“-Befehle für die Uhrzeit („`showtime`“), Jahre („`showyear`“), Monate („`showmon`“), u.s.w.. Alle Ausgaben der „`show`“-Befehle werden ohne Zeilenumbruch mit Leerzeichen getrennt ausgegeben. Mit einem geeigneten Textverarbeitungsprogramm sollte es möglich sein, die Daten/Uhrzeiten in eine Spalte zu bringen und sie der ASCII-Datenausgabe hinzuzufügen.

Verwendung von Gebietsmasken:

Ist man an Zeitreihen über Gebietsmittel interessiert, empfiehlt sich die Verwendung von Masken. Die beiliegende Maskendatei `maske_brd.ieg` enthält für alle Gitterboxen innerhalb des deutschen Staatsgebiets

den Wert 1, alle anderen sind auf 0 gesetzt (Abb. 2). Eine Maske für das Bundesland Niedersachsen liegt ebenfalls bei.

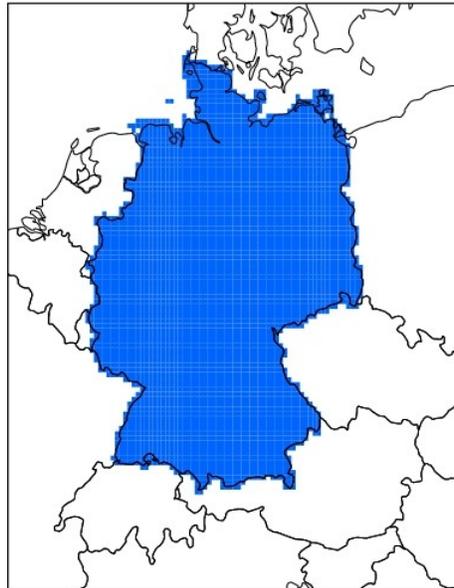


Abb. 2: Maske für das deutsche Staatsgebiet. Blau eingefärbte Gitterboxen sind auf den Wert 1 gesetzt, alle anderen auf 0.

Der folgende CDO-Befehl bildet das Flächenmittel über alle Gitterboxen des Datensatzes `RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg`, bei denen der entsprechende Eintrag in `maske_brd.ieg` ungleich 0 (in diesem Fall also 1) ist:

```
> cdo fldmean -ifthen maske_brd.ieg RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000.ieg \<\  
    RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_brd.ieg
```

Dabei wird die Fläche der Gitterboxen als Gewicht berücksichtigt (die Flächen der Gitterboxen unterscheiden sich leicht aufgrund der Gitterverzerrung der Längen- und Breitengrade). Es wird also eine Zeitreihe mit Flächenmitteln über das Deutschland-Gebiet gebildet:

```
> cdo outputf,%9.2f,1 RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_brd.ieg  
274.76  
276.41  
277.05  
280.31  
282.39  
...
```

In diesem Fall, in dem pro Zeitschritt nur eine einzige Spalte ausgegeben wird, ist auch der CDO-Befehl „`outputts`“ möglich:

```
> cdo outputts RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1950-2000_brd.ieg  
1950-01-00 00:00:00 274.758026123  
1950-02-00 00:00:00 276.411590576  
1950-03-00 00:00:00 277.050354004  
1950-04-00 00:00:00 280.314544678  
1950-05-00 00:00:00 282.39050293  
...
```

7. Visualisierung mit GrADS

In diesem letzten Abschnitt soll demonstriert werden, wie man Datensätze mit GrADS als Horizontal-

Plots darstellt. Installieren Sie GrADS nach Anleitung der anfangs angegebenen Homepage. Beachten Sie, dass sie die beiliegende Datei `map_uba` in das Arbeitsverzeichnis kopieren. Sie enthält die Information für das Zeichnen der Karte (Land-See-Grenze, Staatsgrenzen) im rotierten Koordinatensystem des UBA-Gitters, da GrADS das rotierte Koordinatensystem nicht selbständig erkennt. Weiterhin werden die ebenfalls beiliegenden ASCII-Dateien „.gs“ benötigt. Sie enthalten GrADS-Skripte für die Anfertigung von Horizontalplots.

Um ein Daten-File öffnen zu können, benötigt GrADS eine sog. „Control“-Datei (Endung „.ctl“), die mit den CDOs erzeugt werden kann:

```
> cdo gradsdas RE_UBA_CONST_GEOSP.ieg
```

Dadurch wird eine Datei `RE_UBA_CONST_GEOSP.ctl` mit folgendem Inhalt erzeugt:

```
* Generated by CDO version 1.4.3
*
DSET ^RE_UBA_CONST_GEOSP.ieg
XYHEADER 644
XDEF 109 LINEAR -9.290000 0.088000
YDEF 121 LINEAR -4.994000 0.088000
ZDEF 1 LEVELS 0
TDEF 1 LINEAR 00:00Z01jan2000 1mn
TITLE RE_UBA_CONST_GEOSP_1 109x121 grid
OPTIONS sequential big_endian
UNDEF -9e+33
VARS 1
var129 0 99 var129
ENDVARS
```

Rufen Sie nun das Programm mit

```
> grads
```

auf. Auf die Frage, ob der „Landscape mode“ geöffnet werden soll, antworten Sie mit „no“. Daraufhin öffnet sich das GrADS-Fenster im Hochformat. Rufen Sie nun das GrADS-Skript zur Darstellung der UBA-Orographie auf:

```
ga-> run horiplot_orographie.gs
```

Darauf sollte der in Abb. 3 dargestellte Plot im GrADS-Fenster zu sehen sein. Eine kurze Beschreibung der einzelnen Skript-Zeilen ist im Anhang C gegeben. Das Programm können Sie mit

```
ga-> quit
```

wieder verlassen. Es sollte sich nun eine Datei mit dem Namen „Orographie_UBA.gm“ im aktuellen Verzeichnis befinden, die den Plot als „GrADS-Metafile“ enthält. Sie kann mit dem Befehl

```
> gxeps -c Orographie_UBA.gm
```

in ein EPS-File verwandelt werden (dieses Grafikformat wird von Linux und von Windows erkannt). Das Tool „gxeps“ kann ebenfalls von der GrADS-Homepage heruntergeladen werden. Nach dem Aufruf sollte sich die EPS-Datei im aktuellen Verzeichnis befinden (Anmerkung: „gxeps“ gibt nach dem erfolgreichen Aufruf keine weitere Meldung aus).

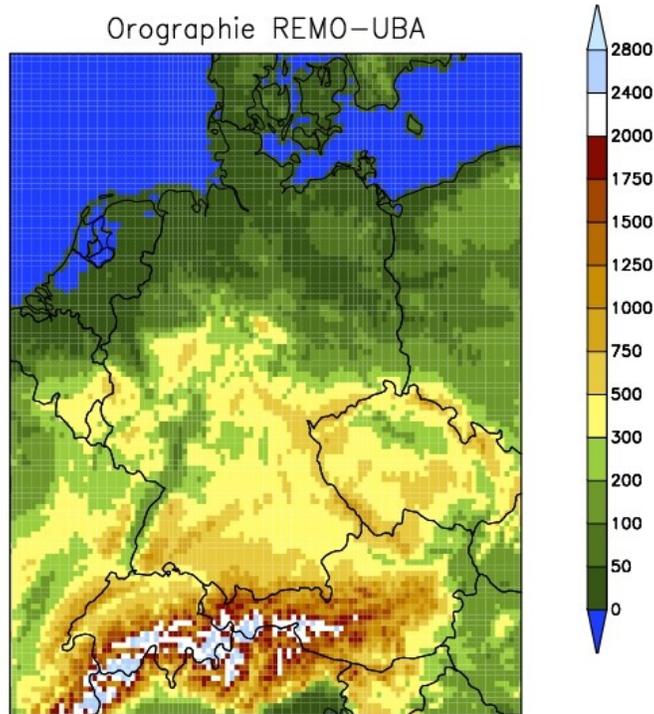


Abb. 3: Vom GrADS-Skript „horiplot_orographie.gs“ erzeugte Orographie.

Die Befehlszeilen in dem Skript können auch einzeln als GrADS-Kommandozeilen eingegeben werden, jedoch ohne die Anführungszeichen.

Wenn Sie eine unrotierte Karte, z. B. die DS 3-Orographie in `ds3_oro.ieg` plotten möchten (siehe dazu Anhang B), muss in Zeile 3 statt der rotierten Karte `map_uba` eine unrotierte Karte aus dem GrADS-Paket angegeben werden, z. B. `hires` (die nur die Land-Wasser-Grenzlinien, aber keine Staatsgrenzen enthält), siehe Abb. 4.

Ein Skript, das die jahreszeitlichen Mitteltemperaturen plottet, ist mit `horiplot_temperatur.gs` gegeben. Es öffnet die in Abschnitt 4 erzeugte Datei `RE_UBA_C20_1_MM_TEMP2_1971-2000_yseasmean_Celsius.ieg`, für die zunächst mit `„cdo gradsdcs“` eine CTL-Datei erzeugt werden muss. Der Skript ist analog zu `horiplot_orographie.gs` aufgebaut, mit ein paar Unterschieden: Der Befehl `„set t 2“` vor dem `„display“`-Befehl legt fest, dass der zweite Zeitschritt in der Datei geplottet wird, in diesem Fall also den Monat 05, der das MAM- (Frühlings-) Mittel beinhaltet. Mit dem `„display“`-Befehl wird statt der Variable `„var129“` (Orographie) die Variable `„var167“` (2m-Temperatur) geplottet.

Um den Sommer (JJA) zu plotten, muss diese Zeile in `„set t 3“` umgeändert werden. Die Änderungen für die Sommertemperatur sind in dem Skript auskommentiert (`„*“`-Zeichen). Die Plots für Frühling und Sommer sind in Abb. 5 dargestellt.

Orographie entrotiert

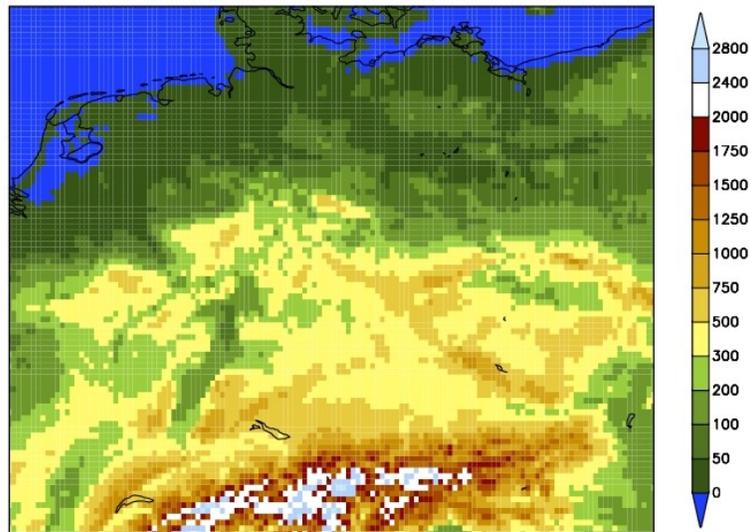
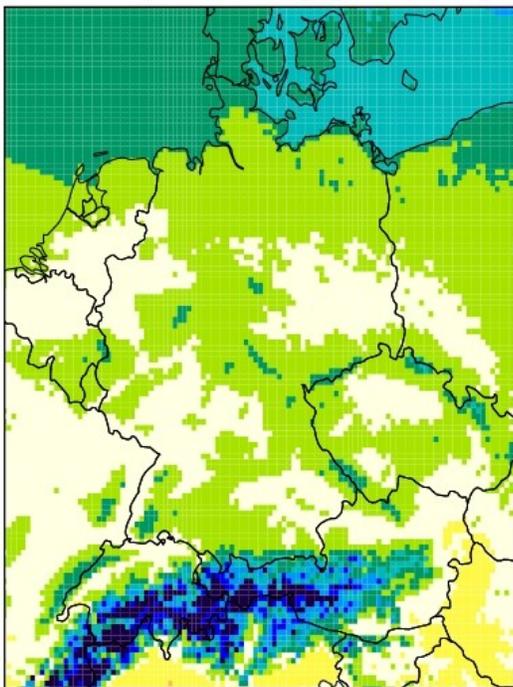


Abb. 4: Entrotierte Orographie.

2m Temperatur in [C], Fruehling



2m Temperatur in [C], Sommer

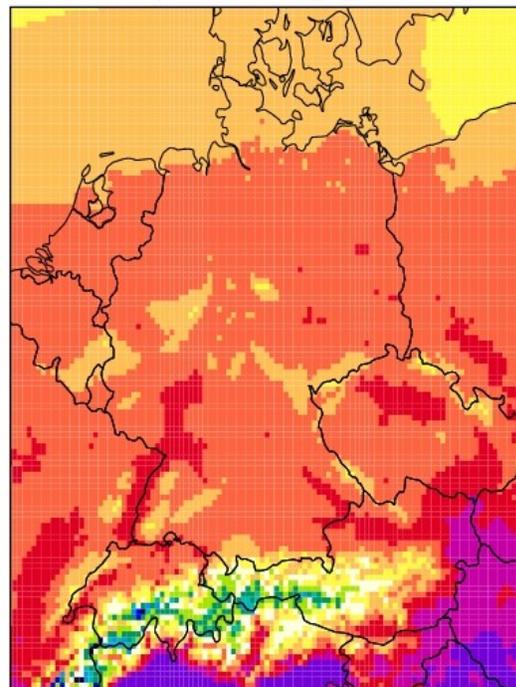


Abb. 5: Vom GrADS-Skript „horip1ot_temperatur.gs“ erzeugte Plots für die mittleren Temperaturen im Frühling (links) und Sommer (rechts).

Anhang A: Einstellungen für Windows-Nutzer (CDO und GrADS)

Wenn Sie eine Windows-Version der CDO benutzen, ist es sinnvoll, in der Eingabeaufforderung zu arbeiten. Die lässt sich zum Beispiel auf besonders elegante Art und Weise mit dem kostenlosen Werkzeug „Open Command Window here“ öffnen. Für das Microsoft 32. Bit Windows XP findet sich der download hier:

<http://www.microsoft.com/windowsxp/downloads/powertoys/xppowertoys.msp>

Bei der Angabe von Dateinamen auf der Kommandozeile muss auch stets der richtige Pfadname angegeben werden. Um sich die Angabe des Pfades zu sparen, ist es sinnvoll, mit „cd“ in den Pfad zu wechseln, in dem die Dateien liegen. Um dem System den Pfad anzugeben, unter dem es das CDO-Programm finden kann, können Umgebungsvariablen gesetzt werden. Dies hat den Vorteil, dass beim Aufruf von CDO nicht jedes Mal der gesamte Pfad zum ausführbaren CDO-Programm angegeben werden muss. Um Umgebungsvariablen zu setzen, rufen Sie in der „Systemsteuerung“ die „Systemeigenschaften“ auf (Abb. A1, links). Wählen Sie unter „Erweitert“ den Schalter „Umgebungsvariablen“ an. Es öffnet sich ein neues Fenster (Abb. A1, rechts), in dem Sie in Feld „Systemvariablen“ die Umgebungsvariable „Path“ anpassen müssen. Fügen Sie dazu den Pfad hinzu, in dem die ausführbare Datei „cdo.exe“ steht (die Pfade sind durch Semikolons getrennt).

Um die Pfadvariable zu verändern benötigen sie i.d.R. Administrationsrechte. Alternativ kann der Pfad auch in der Eingabeaufforderung mit dem Path-Befehl gesetzt werden (z. B. wenn die CDOs auf dem Laufwerk C im Verzeichnis cdo liegen mit: path= c:\cdo;%path%)..

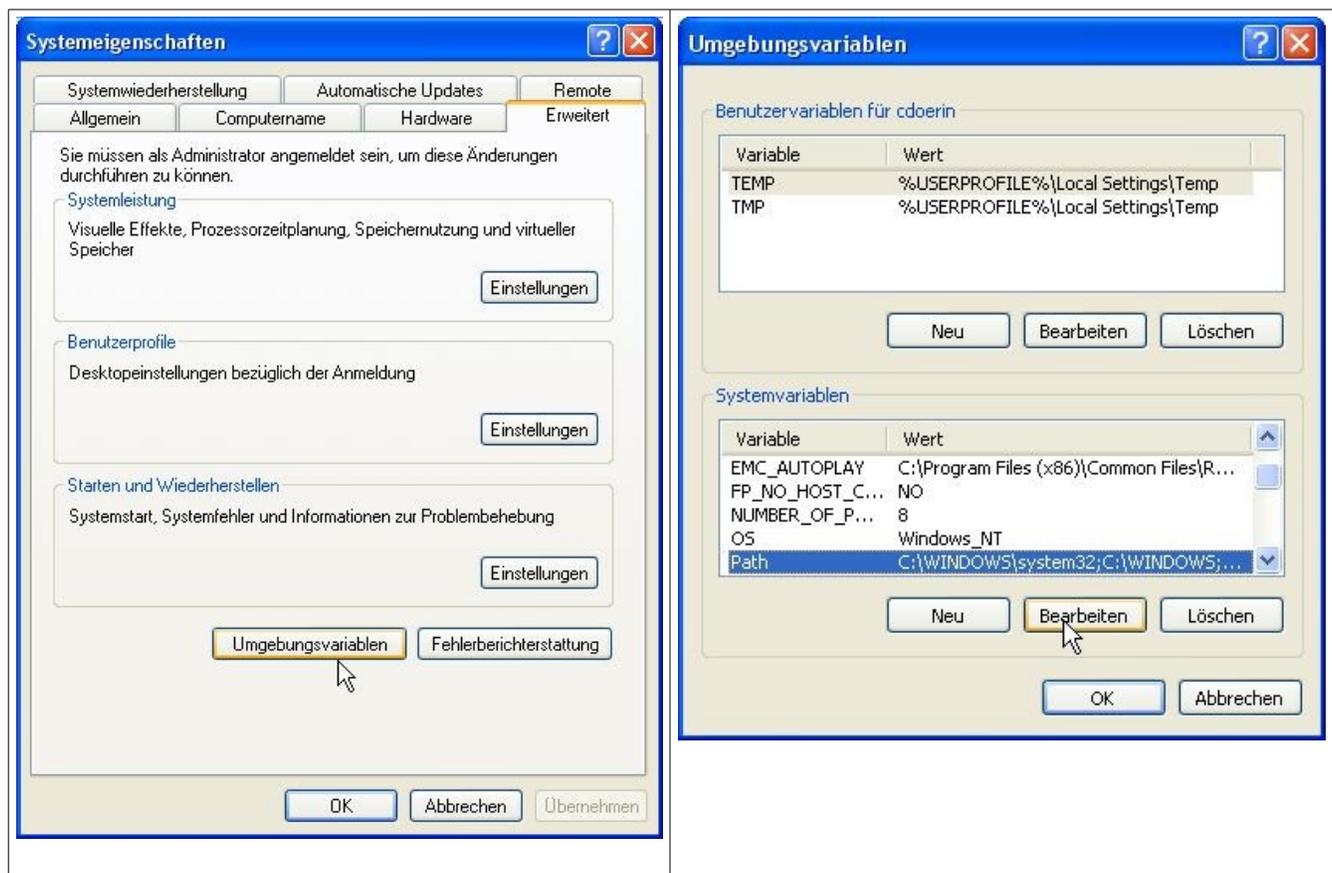


Abbildung A1: Setzen von Umgebungsvariablen

Um die Windows-Version von GrADS zu installieren, starten Sie das Installationsprogramm mit Administratorrechten (Abb. A2, links).

Nach dem Aufruf des Programms sollte sich das GrADS-Eingabefenster öffnen (Abb. A2, rechts). Geben Sie als erstes „no“ für Hochformat und „yes“ für Querformat ein. Danach öffnet sich zusätzlich das GrADS-Ausgabefenster. Wie oben für die CDOs beschrieben, muss bei der Angabe von Dateinamen auf die richtigen Pfade geachtet werden. Auch das Setzen von Umgebungsvariablen kann auf dieselbe Weise durchgeführt werden.

In Abb. A3 ist die Eingabe des Beispiels aus Abschnitt 7 zu sehen.

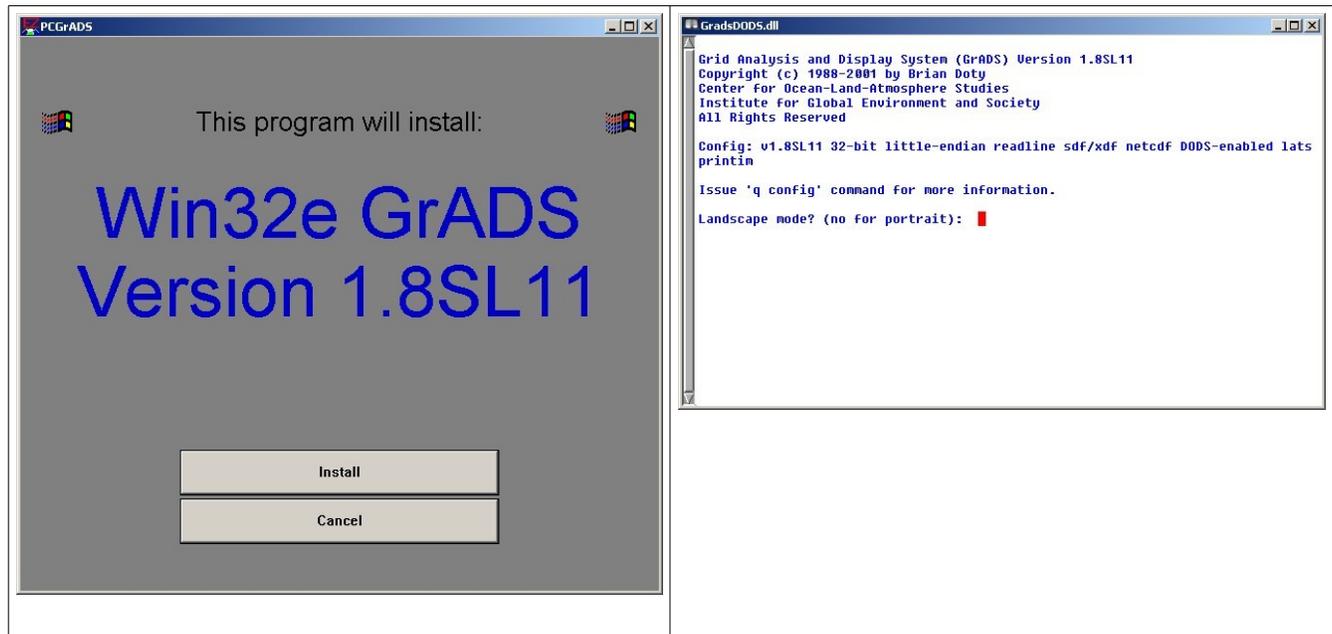


Abbildung A2: Installation und Aufruf von der Windows-Version von GrADS

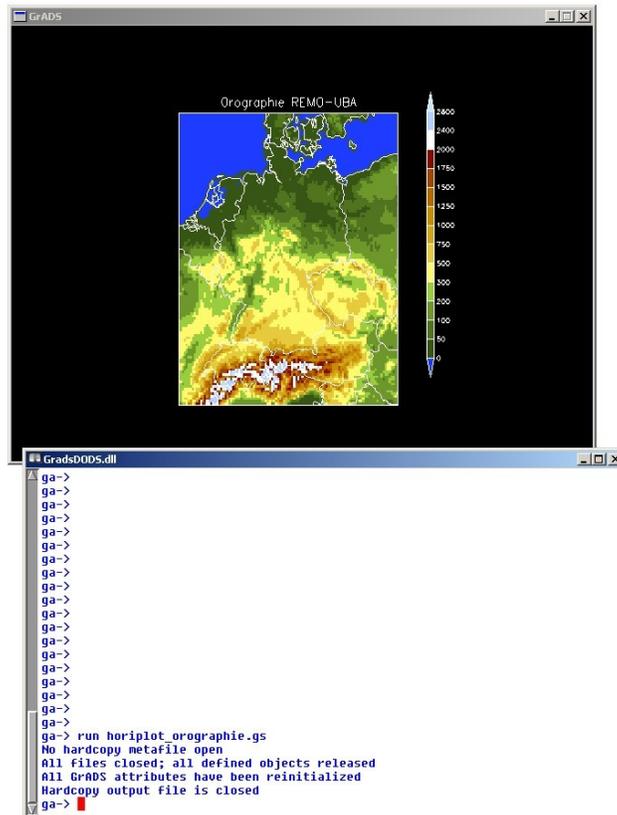


Abbildung A3: GrADS-Eingabe- (unten) und Ausgabefenster (oben)

Falls Sie mit Windows arbeiten und gerne unter einer Linux-Umgebung arbeiten möchten, könnten Sie die Verwendung der freien „**cygwin**“-Software in Erwägung ziehen, die eine Linux-ähnliche Umgebung bereitstellt. Informationen zu cygwin und die Möglichkeit zum Herunterladen der Software finden Sie unter:

<http://cygwin.com>

Mit cygwin können Sie die wichtigsten Linux-Shell-Kommandos verwenden. Dort gibt es auch zusätzlich einen freien, kostenlosen Fortran-Compiler.

Anhang B: Interpolation auf ein anderes Gitter

Unter Umständen ist es nötig, einen Datensatz auf ein anderes Gitter zu bringen, z. B. von einem rotierten auf ein unrotiertes, oder auf ein Gitter von niedrigerer bzw. höherer Auflösung. Decken sich das ursprüngliche und das neue Gitter nicht, dann muss interpoliert werden. Da dadurch immer Information verloren geht, sollte man sich überlegen, ob man auch ohne Interpolation auskommt, was jedoch nicht immer möglich ist. Auch für die Interpolation stellen die CDOs Routinen zur Verfügung.

Im Folgenden wollen wir die jahreszeitlichen Mittel der Monatssummen des Niederschlags und der Temperatur auf ein unrotiertes Gitter von 0.1° Auflösung bringen. Es ist dasselbe Gitter, auf dem die Daten auf der CERA-Datenbank unter dem ent-rotierten Format DS 3 angeboten werden (in Abschnitt 2 erklärt). Legen Sie zunächst mit einem Text-Editor eine Datei mit dem Namen `grid_ds3.txt` an, die die Gitterinformation des ent-rotierten Gitters enthält (ähnlich der Ausgabe des Befehls „`cdo griddes`“):

```
gridtype = lonlat
```

```

gridsize = 12328
xname    = lon
xlongname = longitude
xunits   = degrees_east
yname    = lat
ylongname = latitude
yunits   = degrees_north
xsize    = 134
ysize    = 92
xfirst   = 3.95
xinc     = 0.1
yfirst   = 45.85
yinc     = 0.1

```

Für ein unrotiertes Gitter muss die Information über die Position des Nordpols nicht angegeben werden. Interpolieren Sie nun die Niederschlagssummen auf das in `grid_ds3.txt` definierte Gitter mit dem Befehl:

```
> cdo remapcon,grid_ds3.txt RE_UBA_C20_PREC_1971-2000_yseasmean.ieg RE_UBA_C20_PREC_yseasmean_DS3.ieg
```

Der Befehl („`remapcon`“) führt eine sogenanntes konservatives Remapping durch, d. h. dass die Interpolation massenerhaltend ist. Neben der konservativen gibt es auch eine abstandsgewichtete („`remapdis`“), eine bilineare („`remapbil`“), eine bikubische („`remapbic`“), und weitere Methoden. Für Niederschläge, bei denen man eine Erhaltung der Gesamtmenge wünscht, mag die konservative Methode sinnvoll sein.

Für die Interpolation der Temperatur sollte zusätzlich eine Höhenkorrektur durchgeführt werden, da sich die interpolierte Orographie von der vorgegebenen Orographie des Zielgitters (sofern diese existiert) unterscheiden kann. Wie bereits in Abschnitt 3 für die Stationsdaten, wird im Folgenden auch für die Interpolation eine Temperaturabnahme von 0.65 K pro 100 m Höhe angenommen. Für die Temperatur könnte man eine abstandsgewichtete Interpolationsmethode empfehlen („`remapdis`“), die eine glatte Temperaturverteilung erzeugt. Interpolieren Sie zunächst die Temperaturmittel auf das Zielgitter:

```
> cdo remapdis,grid_ds3.txt RE_UBA_C20_TEMP2_1971-2000_yseasmean.ieg RE_UBA_C20_TEMP2_yseasmean_DS3.ieg
```

Um die Höhenkorrektur durchzuführen, wenden Sie *dieselbe* Interpolationsroutine auf die Orographie des Ausgangsgitters an:

```
> cdo remapdis,grid_ds3.txt RE_UBA_CONST_GEOSP_1 RE_UBA_CONST_GEOSP_1_remapdis.ieg
```

Die beiliegende Orographie mit den Dateinamen `ds3_oro.ieg` wurde dagegen direkt für das Zielgitter erzeugt. Es ist gewissermaßen die „echte“ REMO-Orographie für dieses Gitter und unterscheidet sich von dem interpolierten, wie der Aufruf

```
> cdo info -sub RE_UBA_CONST_GEOSP_1_remapdis.ieg ds3_oro.ieg
```

offenbart: In orographisch stark strukturierten Gebieten wie den Alpen ergeben sich Differenzen bis zu über 1000 m. Dies macht die Notwendigkeit von nachfolgenden Höhenkorrekturen offensichtlich. Erzeugen Sie nun den Datensatz mit den Höhenkorrekturen in °C mit dem Befehl

```
> cdo mulc,0.0065 -sub RE_UBA_CONST_GEOSP_1_remapdis.ieg ds3_oro.ieg hoehenkorrektur.ieg
```

und addieren Sie ihn auf die interpolierten Temperaturen, um den höhenkorrigierten Datensatz zu erhalten:

```
> cdo add RE_UBA_C20_TEMP2_yseasmean_DS3.ieg hoehenkorrektur.ieg RE_UBA_C20_TEMP2_yseasmean_DS3_hkorr.ieg
```

Anhang C: Erläuterung der beiliegenden GrADS-Skripten

Es folgt eine kurze Beschreibung der einzelnen Kommandozeilen des in Abschnitt 7 verwendeten

GrADS-Skripts „horipLOT_oroGraphie.gs“. Eine ausführlichere Erklärung der Befehle kann in der in Abschnitt 1 angegebenen GrADS-Dokumentation gefunden werden.

Herstellen des Ausgangszustandes:

```
'reinit'
```

Öffnen des Orographie-Datensatzes über die CTL-Datei:

```
'open RE_UBA_CONST_GEOSP.ctl'
```

Zeichnen der rotierten Landkarte:

```
'set mpdset map_uba'
```

Darstellungsmodus: Jede Gitterbox wird als Kasten dargestellt:

```
'set gxout grfill'
```

Größe des Plots einschränken:

```
'set parea 1 6.8 1. 8.7'
```

Abschalten der Gitterbeschriftung (es würden nur die Längen- und Breitengrade des rotierten Gitters dargestellt werden):

```
'set xlab off'  
'set ylab off'
```

Definition der Farbpalette:

```
'set rgb 27 55 86 22'  
'set rgb 32 80 116 32'  
'set rgb 38 110 152 44'  
'set rgb 47 155 206 62'  
'set rgb 48 255 250 110'  
'set rgb 52 231 202 62'  
'set rgb 55 213 166 26'  
'set rgb 57 201 142 2'  
'set rgb 60 183 106 0'  
'set rgb 63 165 70 0'  
'set rgb 68 135 10 0'  
'set rgb 96 255 255 255'  
'set rgb 97 180 210 255'  
'set rgb 98 198 231 255'
```

Setzen der Höhenlevel:

```
'set clevs 0 50 100 200 300 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2400 2800'
```

Setzen der für die Darstellung verwendeten Werte aus der Farbpalette (Anzahl muss um 1 kleiner sein als die Anzahl der Höhenlevel):

```
'set ccols 4 27 32 38 47 48 52 55 57 60 63 68 96 97 98'
```

Ein paar Einstellungen, wie Ausrichtung der Farblegende, Ausschalten der hochauflösenden Karte und Ausblenden des GrADS-Logos:

```
'set barbase top'  
'set poli off'  
'set grads off'
```

Zeichnen der Variable mit dem Namen „var129“ (die Orographie) als Horizontalplot:

```
'display var129'
```

Zeichnen der Farblegende (das Skript liegt dem GrADS-Paket bei):

```
'run cbarn.gs'
```

Schreiben der Titelzeile:

```
'draw title Orographie REMO-UBA'
```

Öffnen der Ausgabedatei, Ausgabe, und Schließen der Datei:

```
'enable print Orographie_UBA.gm'
```

```
'print'
```

```
'disable print'
```