

## Schlussbericht

### Regionale Klimasimulationen zur Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse in heutigen und zukünftigen Klimaten

Auftragnehmer: Max-Planck-Institut für Meteorologie

Kennzeichen: 203010

Auftragsbezeichnung: REMO

Laufzeit des Auftrags: 01.05.00-30.04.03

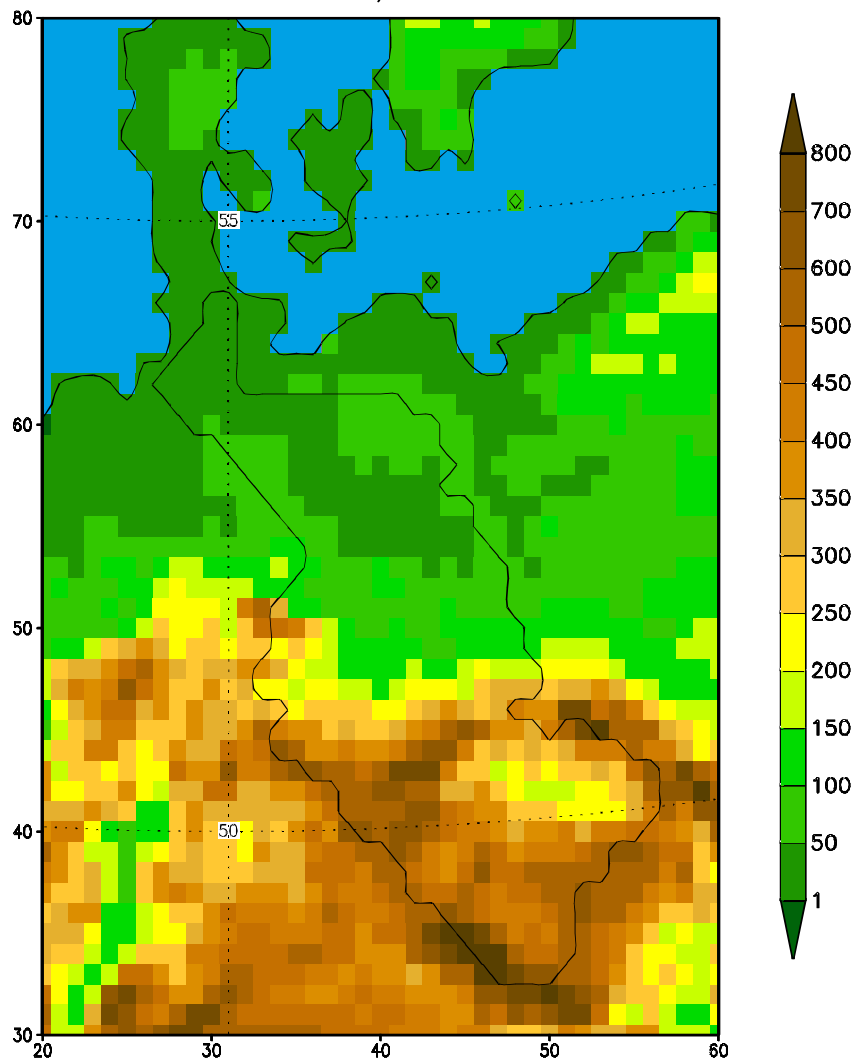


Abbildung 1: REMO 0.16° Orographie [m] mit Elbeeinzugsgebiet

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis .....	2
1. Einleitung .....	3
2. Aufgabenstellung und Einbindung in das Gesamtvorhaben .....	3
3. Das regionale Klimamodell REMO .....	3
3.1. Validierungslauf.....	4
3.2. Kontroll- und Szenarien - Modellläufe .....	4
3.3. Durchgeführte Modellläufe .....	5
4. Validierung.....	6
4.1. Datenmaterial .....	6
4.2. Niederschlag.....	6
4.3. Mittlere Tagesniederschlagssummen .....	7
5. Klimaänderungen .....	7
6. Zusammenfassung.....	9
7. Literatur.....	11
ANHANG.....	12

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: REMO 0.16° Orographie [m] mit Elbeeinzugsgebiet .....	1
Abbildung 2: Gesamtniederschlag [mm/Monat] für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebiets (1979-1998) .....	12
Abbildung 3: Mittlere Tagesniederschlag Dezember bis Februar .....	13
Abbildung 4: Mittlere Tagesniederschlag März bis Mai .....	13
Abbildung 5: Mittlere Tagesniederschlag Juni bis August .....	14
Abbildung 6: Mittlere Tagesniederschlag September bis November .....	14
Abbildung 7: Mittlere Jahrestemperatur gemittelt über das Elbeeinzugsgebiet (REMO 5.0, 0.5 °, SRES B2) .....	7
Abbildung 8: A) Mittlere Monatstemperaturen und B) Niederschlagssummen .....	15
Abbildung 9: Mittlere Jahresniederschlag [mm/Jahr] REMO 0.16 ° .....	16
Abbildung 10: Niederschlagsintensitäten .....	17

## 1. Einleitung

Die Gesamtzielsetzung von GLOWA-Elbe ist die Entwicklung integrierter Strategien zur nachhaltigen Bewältigung von durch den Globalen Wandel bedingten Wasserverfügbarkeitsproblemen und Wassernutzungskonflikte und den daraus resultierenden Umwelt- und sozio-ökonomischen Problemen im Elbe-Einzugsgebiet.

Weitere Projektziele:

- Erfassung und Modellierung der komplexen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen hydrologischem Kreislauf, Klima, Landnutzung und Gesellschaft im Elbe-einzugsgebiet
- Ableitung von regionalen Zukunftsszenarien
- Anwendung der entwickelten Instrumente im Elbegebiet zum Nachweis ihrer Eignung für die vorausschauende Erkennung und Analyse der sich in Verbindung mit dem Globalen Wandel ergebenden Probleme und Konflikte sowie zur Ableitung von Handlungsstrategien und Maßnahmen zu ihrer Überwindung

## 2. Aufgabenstellung und Einbindung in das Gesamtvorhaben

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist, für den europäischen Raum mit dem regionalen Klimamodell REMO hochaufgelöste Simulationen für heutige und zukünftige Klimate durchzuführen, um die Niederschlagsverhältnisse (Variabilität, Extrema etc.) der letzten 30 Jahre in Europa zu untersuchen und die REMO-Ergebnisse an Hand von Beobachtungen zu validieren um herauszufinden, ob Änderungen im zukünftigen Klima Veränderungen im Niederschlagsverhalten mit sich bringen.

## 3. Das regionale Klimamodell REMO

Das dreidimensionale hydrostatische regionale Klimamodell REMO (Regionalmodell) wird verwendet, um zum Beispiel die meteorologischen Größen Niederschlagsaktivität, Niederschlagsmenge und Verdunstung, die für den Wasserhaushalt bestimmend sind, zu berechnen (Jacob 2001, Jacob et al., 2001).

REMO ist aus dem Europa-Modell des Deutschen Wetterdienstes (DWD) hervorgegangen (Majewski, 1991). Die prognostischen Variablen des Modells sind die horizontalen Windkomponenten, der Bodendruck, Temperatur, spezifische Feuchte sowie Flüssigwassergehalt. Es kann alternativ mit den physikalischen Parametrisierungen des Europa-Modells des DWD und mit denen des globalen Klimamodell ECHAM 4 (Roeckner et al., 1996) betrieben werden. Für die hier vorliegenden Untersuchungen wurde REMO mit ECHAM4 Physik gerechnet, da diese auf Klimasimulationen abgestimmt ist. Weitere genaue Modellbeschreibungen findet man bei Semmler (2002) und Majewski et al. (1995). Hier wird nur kurz auf die wichtigsten Änderungen von Modell Version 5.0 zu 5.1 eingegangen.

Von Modellversion REMO 5.0 zu 5.1 wurden die Initialisierung der Bodenfeuchte und die Schneeparametrisierung geändert und der Jahresgang der Vegetation implementiert (Blattflächenindex, Vegetationsbedeckungsgrad, Albedo). Die Bodenbibliothek mit den Oberflächenparametern Albedo, Rauigkeitslänge, Vegetations- und Waldbedeckungsgrad, Blattflächenindex, Feldkapazität, Bodenart, Orographie und orographische Varianz sowie Land-See-Maske als untere feste Randbedingung wurde aktualisiert. Weiterhin ist es in REMO 5.1 nun möglich, dass eine einzelne Gitterbox anteilig mit Meereis, Meer und Festland bedeckt ist. In der Version 5.0 war nur eines der drei Arten pro Gitterbox möglich.

Gerade die Weiterentwicklungen im Bereich der Vegetation und Bodenfeuchte erscheinen auch für die Klimasimulationen innerhalb von GLOWA-Elbe als sehr relevant, da sie zu einer erheblichen Verbesserung des Jahresganges des Niederschlags in Zentraleuropa führen (Rechid, 2001). Aus diesem Grund wurden alle Simulation noch einmal mit REMO 5.1 im KLIWA-Projekt durchgeführt. Teile dieses Neuen REMO 5.1 Modelllaufs konnten auch innerhalb von GLOWA-Elbe genutzt werden.

### 3.1. Validierungslauf

Um für den Validierungslauf die gleiche Länge wie für Kontroll- und Szenarienlauf zu erhalten, würden 30 Jahre konsistente Reanalysen als Randbedingung für REMO benötigt. Es war geplant, Daten aus dem ERA40 Projekt vom ECMWF zu verwenden. Leider gab es beim ECMWF in der Erstellung der ERA40 Daten Verzögerungen, so dass erst seit August 2003 auf die ERA40 Daten zugegriffen werden kann. Aus diesem Grund wurde der Validierungslauf auf 1979-1998 gekürzt. Diese Modellsimulation wird auf  $0.5^\circ$  horizontaler Auflösung mit Reanalysen vom ECMWF für den Zeitraum 1979-1993 und mit Analysen (1994-1998) angetrieben; die Ergebnisse dieser Berechnung werden als Randantrieb für die Simulation  $0.16^\circ$  horizontaler Auflösung verwendet.

Die Ergebnisse beider Simulationsabschnitte mit unterschiedlichem Antrieb wurden als gut befunden, da im Übergang von 1993 zu 1994 kein Bruch in den Wasserhaushaltsgrößen in REMO mit  $0.5^\circ$  horizontaler Auflösung festgestellt werden konnte.

### 3.2. Kontroll- und Szenarien - Modellläufe

Für die Simulation zukünftiger Klimate wird das International Panel on Climate Change Szenario B2 zugrunde gelegt (Houghton, 2001). Nach einer doppelten dynamischen ‚downscaling‘ Methode erhält man mit dem gekoppelten globalen Atmosphären-Ozean Zirkulationsmodell ECHAM4-OPYC3 mit einer T42 Horizontalauflösung als Antrieb, Ergebnisse für REMO mit  $0.5^\circ$  horizontaler Auflösung, welches wiederum als Antrieb für REMO mit  $0.16^\circ$  horizontaler Auflösung verwendet wird. Die verwendete Orographie in REMO mit  $0.16^\circ$  horizontaler Auflösung wird in Abbildung 1 dargestellt.

Für das Szenario sind alle notwendigen Antriebsdaten seit Projektbeginn existent. Für den Kontrolllauf gab es ebenso von 1990-99 die Antriebsfelder vom globalen Modell ECHAM4 und 6-stündigem Modelloutput (notwendig, um regionale Modelle anzutreiben).

Während der Projektlaufzeit ist ein neuer ECHAM4 Kontrolllauf erstellt worden, der die Zeit von 1960 bis 2000 abdeckt. Dieser wurde im GLOWA-IMPETUS Projekt durchgeführt. Der Globallauf des Kontrollzeitraums liegt jedoch nur in der horizontalen Auflösung T106 vor, da

REMO 0.16° von REMO mit 0.5° horizontaler Auflösung angetrieben wird, sind die unterschiedlichen horizontalen Auflösungen des Globalmodells im äußersten Rand der Doppelnestung für das Ergebnis im Elbeinzugsgebiet nur von geringerer Bedeutung.

Um fundierte Aussagen über Klimaänderungssignale im Szenarienzeitraum machen zu können ist es notwendig einen Kontrolllauf über 30 Jahre zu betrachten. Daher wurden die Ergebnisse vom Szenario mit REMO 5.0 und REMO 5.1 noch einmal mit 30 Jahren REMO 5.1 Kontrolllauf (1970-99) innerhalb von GLOWA-Elbe verglichen.

In Kontrollläufen entsprechen die relevanten globalen Treibhausgaskonzentrationen den beobachteten für den Zeitraum 1970-1990. Die Beobachtungen für 1991-2000 liegen global noch nicht vor. Deshalb werden sie aus dem B2-IPCC-Szenarien entnommen, das schon aus diesem Grund 1990 beginnt. Es wird angenommen, dass diese Konzentrationen sehr nah an den Beobachtungen liegen. Für das Szenario (2020-2049) wurden die Annahmen dem IPCC Standard für B2 entnommen. Dies gilt für die globalen und regionalen Simulationen.

Bei den globalen und regionalen Kontroll- und Szenarienläufen handelt es sich um Klimäläufe. Sie geben nicht das Wettergeschehen wieder. Dies wäre auch nur für einen Kontrollzeitraum möglich, in dem die globale Berechnung mit Hilfe der Nudging Technik und Reanalysen in der freien Atmosphäre an die realen Wetterabläufe gezwungen würde. Für das GLOWA-Elbe-Projekt bedeutet dies, dass nur mittlere Zustände und deren Statistik verglichen werden können.

REMO verwendet als Randantriebe Druck, Wind, Feuchte und Temperatur aus dem Globalmodelllauf, der somit auch noch einen gewissen, wenn auch geringen, Einfluss auf die 0.16° Regionalsimulation hat. Um die Ergebnisse aus den Kontroll- und Szenarienläufen korrekt zu interpretieren, ist es auch notwendig, die Technik, die bei der Erstellung der Globalläufe gewählt wurde, zu verstehen.

Die globalen Simulationen wurden mit einem gekoppelten Ozean/Atmosphärenmodell durchgeführt. Die Kontrollsimulation startete 1860 und wurde unter Berücksichtigung des, durch beobachtete Treibhausgaskonzentrationen hervorgerufenen, Strahlungsantriebs transient bis 1990 durchgeführt. Notwendig für diese Simulation war eine sich im Gleichgewicht befindende Ozeanströmung, die allerdings dem beobachteten Zustand von 1990 entsprach. Meeresoberflächentemperaturänderungen, die durch die atmosphärischen Bedingungen zwischen 1860 und 1990 hervorgerufen wurden, führten also zu einer Veränderung der Meeresoberflächentemperatur im Vergleich zu den 1990 tatsächlich beobachteten. Dies wird als *initial warm bias* definiert (Roeckner et al., 1999) und beeinflusst alle weiteren globalen und regionalen Modellrechnungen, die auf Anfangs- oder Randfelder dieser Simulation zurückgreifen.

Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die Ergebnisse der Kontrollläufe direkt mit Beobachtungen zu vergleichen. Roeckner et al, 1999, gehen allerdings davon aus, dass die Kontroll- und Szenarienläufe zueinander konsistent sind, und dass die modellierten Trends von dem Bias weitgehend unbeeinflusst sind.

### 3.3. Durchgeführte Modellläufe

Mit dem dreidimensionalen hydrostatischen regionalen Klimamodell REMO wurden viele verschiedene Simulationen durchgeführt. Diese Modellläufe wurden innerhalb von verschie-

denen Projekten (GLOWA-Elbe, KLIWA und BATEX) durchgeführt. Es wurden für GLOWA-Elbe auch die Ergebnisse aus den Modellläufen anderer Projekte heran gezogen, um die in GLOWA-Elbe erzeugten Ergebnisse zu bestätigen oder sogar zu verbessern.

REMO-VERSION	HORIZONTALE AUFLOESUNG	BESCHREIBUNG	ZEITRAUM
5.0	0.5°	Validierung	1979-1998
5.0	0.16°	Validierung	1979-1988
5.0	0.5°	Kontroll	1990-1999
5.0	0.16°	Kontroll	1990-1999
5.0	0.5°	Szenario	2000-2049
5.0	0.16°	Szenario	2020-2049
5.1	0.16°	Validierung	1979-2001
5.1	0.5°	Kontroll (T42)*	1990-1999
5.1	0.16°	Kontroll (T42)*	1990-1999
5.1	0.5°	Kontroll (T106)*	1960-2000
5.1	0.16°	Kontroll (T106)*	1960-2000
5.1	0.5°	Szenario (T42)*	2020-2050
5.1	0.16°	Szenario (T42)*	2020-2050

\* horizontale Auflösung des Globalmodells

## 4. Validierung

### 4.1. Datenmaterial

Als Datenmaterial wurden die 317 Niederschlagsstationen die der DWD für GLOWA-ELBE zur Verfügung gestellt hat verwendet.

Sie wurden von Herrn Dr. Gerstengarbes Arbeitsgruppe am PIK räumlich und zeitlich auf ihre Konsistenz überprüft. Es handelt sich um **nicht** korrigierte Niederschläge, das bedeutet Unterschätzung des gefallenen Niederschlags, hervorgerufen durch die Messtechnik wurden nicht bereinigt.

### 4.2. Niederschlag

In dem Vergleich der täglichen Niederschlagsmessungen im deutschen Teil des Elbeinzugsgebiets mit den Modellergebnissen wurde eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten Monatssummen des Gebietsniederschlags und des 20 jährigen Mittels festgestellt. In Abbildung 2 ist der Niederschlag berechnet mit REMO Modelversion 5.0 in Rot, berechnet mit Modellversion 5.1 in blau und die Beobachtungen in schwarz dargestellt.

In der Modellversion 5.0 bestand ein Defiziet im Sommerniederschlag Juli bis September, welches in der neuen Modellversion 5.1 nicht mehr existiert.

In Abbildung 2 wird jeweils der mittlere Monatsniederschlag für alle Januare, Februare usw. dargestellt. Die Balken steigen z.b. den jeweils trockensten und nässesten Januar. Die mittlere Monatssumme des Gesamtniederschlags für das Elbeinzugsgebiet beträgt in REMO 5.0 [5.1] (Beobachtungen) über 20 Jahre 59.9 [52.2] (53.3) mm/Monat (Abb. 2). Die einzelnen Mo-

natsummen variieren von 9.8 bis 127.3 [6.3 – 130.4] mm/Monat bei den REMO Ergebnissen und von 3.3 bis 123.3 mm/Monat in den Beobachtungen. Die mittlere Jahressumme des simulierten Niederschlags beträgt 682.9 [747.3] und die der Beobachtungen 640 mm/Jahr.

Die leichte Überschätzung des Niederschlags von REMO im Vergleich zu den Beobachtungen ist hier mit Vorsicht zu bewerten, da REMO in diesem Fall nur mit unkorrigierten Niederschlägen verglichen wurde.

Innerhalb eines weiteren Projektes wurden vom DWD korrigierte Niederschläge für die Validierung von REMO zur Verfügung gestellt und damit wurden sehr sehr gute Ergebnisse erzielt (Milliez, 2003).

Insgesamt entspricht die Variabilität der Modellergebnisse denen der Beobachtungen.

### 4.3. Mittlere Tagesniederschlagssummen

Für das Elbeinzugsgebiet gemittelte mittlere Summen der Tagesniederschläge pro Jahr sind in den Abbildungen 3 bis 6 dargestellt.

Hier werden die Modellversion 5.0 und 5.1 von REMO mit den Beobachtungen verglichen.

In den Jahreszeiten Winter (Dezember bis Februar), Frühjahr (März bis Mai) und Herbst (September bis November) zeigen beide Modellversionen zufriedenstellende Ergebnisse im Vergleich zu den Beobachtungen. Im Sommer (Juni bis August) sind die Ergebnisse der Modell Version 5.1 wesentlich besser als die alten Ergebnisse der Modellversion 5.0 im Vergleich zu den Beobachtungen (Abb. 5). (Siehe auch Kapitel 5.2).

## 5. Klimaänderungen

Um den Einfluss der globalen Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet zu untersuchen, sollen die Niederschlagsverhältnisse unter den erwarteten Veränderungen der klimatischen Bedingungen für den Zeitraum 2020 bis 2050 untersucht werden.



**Abbildung 7:** Mittlere Jahrestemperatur gemittelt über das Elbeeinzugsgebiet (REMO 5.0, 0.5 °, SRES B2)

Es ist ein deutlicher Temperaturanstieg ab 2020 im Vergleich zum Kontrolllauf 1990-99 zu erkennen (Abb.7). Auffallend sind auch die starken dekadischen Schwankungen in der Temperatur.

In Abbildung 8 a ist jeweils die Temperatur über dem Elbeeinzugsgebiet für eine Dekade des Szenarienlaufs und für den Kontrolllauf über 10 Januare gemittelt, 10 Februar und so weiter dargestellt. In der 1. Jahreshälfte ist ein deutlicher Temperaturanstieg in den Szenarienläufen im Vergleich zum Kontrolllauf zu erkennen. Im Januar besteht eine Temperaturerhöhung von 1-3 °C im Mittel. Diese Temperaturerhöhung hält bis August an und reduziert sich in der 2. Jahreshälfte auf weniger als 1 °C.

Oberflächentemperatur	Jahresmittel [°C]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
1990-99	9.3	-3.4	24.1
2020-29	10.7	-3.9	22.4
2030-39	10.3	-3.4	24.3
2040-49	11	-0.5	24.7

**Tab. 1 :** Elbeeinzugsgebiet (REMO 5.0 0.16°, SRES Szenario B2, Kontrolllauf 1990-99 (rot) und Szenarien (schwarz))

Vergleicht man die einzelnen Dekaden, wird deutlich, dass generell die Winter im Vergleich zu den Sommern stärker erwärmt werden. Das 10-Jahres-Mittel der Temperatur steigt jedoch nicht kontinuierlich an. Im Kontrolllauf 1990-99 beträgt die mittlere Temperatur 9.3 °C und steigt in der ersten Szenarien Dekade (2020-29) auf 10.7 °C, jedoch für (2030-39) auf 10.3 °C und in der 3. Dekade (2040-49) wieder auf 11 °C (Tab. 1) an.

Die Variationen der einzelnen Monate des Kontrolllaufs und der Szenariendekaden sind in etwa gleich groß.

Die mittlere Jahressumme des Niederschlags für das gesamte Elbeeinzugsgebiet steigt im Vergleich vom Kontrolllauf 1990-99 (790.2 mm/Jahr) zum Szenarienlauf von 2020-29 (869.3 mm/Jahr) an. Doch in der folgenden Dekade: 2030-39 mit 923.1 mm/Jahr ist die Änderung am deutlichsten (Tab. 2).

Niederschlag	Monatsmittel	Minimum	Maximum	Jahressumme	(Min. - Max.)
1990-99	65.8	10.5	123.6	790.2	(712.3 - 875.8)
2020-29	72.4	12.9	173.9	869.3	(587.9 – 1051.9)
2030-39	76.9	23.8	163.5	923.1	(735.6 – 1019.4)
2040-49	74.9	26.8	141.2	899.1	(809.3 – 1123.7)

**Tab. 2 :** Elbeeinzugsgebiet (REMO 5.0, 0.16°, SRES Szenario B2, Kontrolllauf 1990-99 (rot) und Szenarien (schwarz))



Die mit REMO (horizontale Auflösung  $0.16^\circ$ ) für SRES B2 berechneten mittleren Jahresniederschläge für Deutschland und seine benachbarten Staaten werden in Abbildung 9 dargestellt. Das Elbeeinzugsgebiet ist eingezeichnet.

Auf der linken Seite wird der mittlere jährliche Niederschlag für den Kontrollzeitraum 1970-99 dar gestellt. Das Elbeeinzugsgebiet ist durch einen mittleren Jahresniederschlag von 600-800 mm/Jahr geprägt. In den Küstenregionen und auf der Luvseite des Erzgebirges und des Harzes treten höhere Niederschläge auf (über 1200 mm/Jahr). Auf der Leeseite der Gebirge befinden sich Regionen mit weniger Niederschlag (unter 500 mm/Jahr).

Auf der rechten Seite werden für den Kontrolllauf und für den Szenarienlauf mit REMO 5.0 und REMO 5.1 die dekadischen Variabilitäten im Vergleich zum 30 jährigen Mittel des Kontrolllaufs dargestellt. Die dekadische Variabilität des Kontrolllaufs liegt bei  $\pm 10\%$ . Die einzelnen Dekaden des Szenarienlaufs variieren ebenso um ca. 10% von einander, unabhängig von der Modellversion. Die horizontale Struktur der Niederschlagsverteilung ändert sich von einer Modellversion zur anderen nicht für den Szenarienzeitraum. Die Ergebnisse mit der Modellversion 5.1 sind insgesamt nasser.

Die 3 Dekaden unterscheiden sich, 2020-29 lässt die geringste prozentuale Änderung erkennen, wohingegen 2030-39 die stärksten Änderungen aufweist. In allen drei Dekaden ist eine Niederschlagszunahme über 30% nördlich des Elbeeinzugsgebietes zuerkennen, welche auch 2030-39 den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebiets überdeckt. Das Gebiet östlich des Erzgebirges wird in allen drei Dekaden durch die geringsten Änderungen gekennzeichnet (unter 15 %).

Hier wird deutlich, wie wichtig es ist, die horizontalen Änderungen des Niederschlags zu betrachten. In der Mittelung über Monate oder Summierung über Jahre gehen schnell Klimaänderungssignale verloren (Tab. 1 und 2).

Im Vergleich der Niederschlagsintensitätsklassen (Abb. 10) wird deutlich, dass die Niederschläge in den höheren Klassen von 5-10 mm/Tag bis 20-30 mm pro Tag in beiden Szenarienläufen im Vergleich zum Kontrollzeitraum ansteigen. Die Starkniederschläge werden also im Szenarienzeitraum sehr zunehmen.

## 6. Zusammenfassung

Alle hier herausgefundenen Ergebnisse gelten nur für **ein mögliches Klimaszenario**. Es wurde nur **ein Globalmodell** als Antrieb verwendet und **eine Realisierung** mit **einem bestimmten Regionalmodell** durchgeführt. Es ist nicht auszuschließen, dass durch die Nutzung anderer Modelle ähnliche Ergebnisse erzielt werden, sie können jedoch auch andere Lösungen liefern. Auch das Szenario B2 ist nur eines von vielen möglichen Annahmen für die Entwicklung der Treibhausgase in der Zukunft. Vergleicht man den Anstieg der mittleren Globaltemperatur für 2050 unter Verwendung verschiedener IPCC Klimaszenarien, besteht bereits ein Temperaturunterschied von über  $1^\circ\text{C}$ .

- Die Temperaturen steigen ca. um  $1^\circ\text{C}$  für das Elbeeinzugsgebiet im Szenarienzeitraum 2020-49 im Vergleich zum Kontrollzeitraum 1990-99 an. Es besteht eine starke

dekadische Variabilität. Die Wintermonate erwärmen sich im Vergleich zu den Sommermonaten stärker.

- In den Szenarienläufen 2020-49 ist im Vergleich zum Kontrolllauf für das Elbeeinzugsgebiet eine leichte Niederschlagszunahme im Jahresmittel (ca. 15 %) zu erkennen. Bei den Winterniederschlägen ist eine stärkere Zunahme als bei den Sommerniederschlägen zu erkennen.
- Horizontal ändern sich die Niederschlagsverteilungen in jeder Dekade. Die Dekade 2030-39 ist von allen die Nässeste mit über 30% Niederschlagszunahme im deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes. Das Gebiet östlich des Erzgebirges wird in allen drei Dekaden durch die geringsten Änderungen gekennzeichnet (unter 15%).
- Für das Elbeeinzugsgebiet steigt in den Niederschlagsintensitätsklassen des Szenarienszenariens im Vergleich zum Kontrolllauf die Zahl der Tage mit Niederschlag über 10 mm/Tag um 5 % an.

## 7. Literatur

Houghton, J.T et al., (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Governmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Jacob, D., 2001: A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin, Meteorol. Atmos. Phys. 77, 61-73.

Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., André, U., Elgered, G., Fortelius, C. Graham, L. P., Jackson, S.D., Karstens, U., Koepken, Chr., Lindau, R., Podzun, R., Roeckel, B., Rubel, F., Sass, B. H., Smith, R.N.B., Yang, X. (2001) : A comprehensive model intercomparison study investigating the water budget during the BALTEX PIDCAP period, Meteorol. Atmos. Phys, 77, 19-43.

Majewski, D., (1991): The Europa-Modell of the Deutscher Wetterdienst. Seminar Proceedings ECMWF, 2, 147-191.

Majewski, D., Doms, G., Edelman, W., Gertz, M., Hanisch, T., Heise, E., Link, A., Prohl, P. Schaettler, U., Ritter, B. (1995): Dokumentation des EM/DM-Systems. Abteilung Forschung, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.

Milliez, M. (2003): Validation of today's climate simulation with the regional model REMO. Diplomarbeit am DEA Oceanologie, Meteorologie et Environnement, der Universite Pierre et Marie Curie.

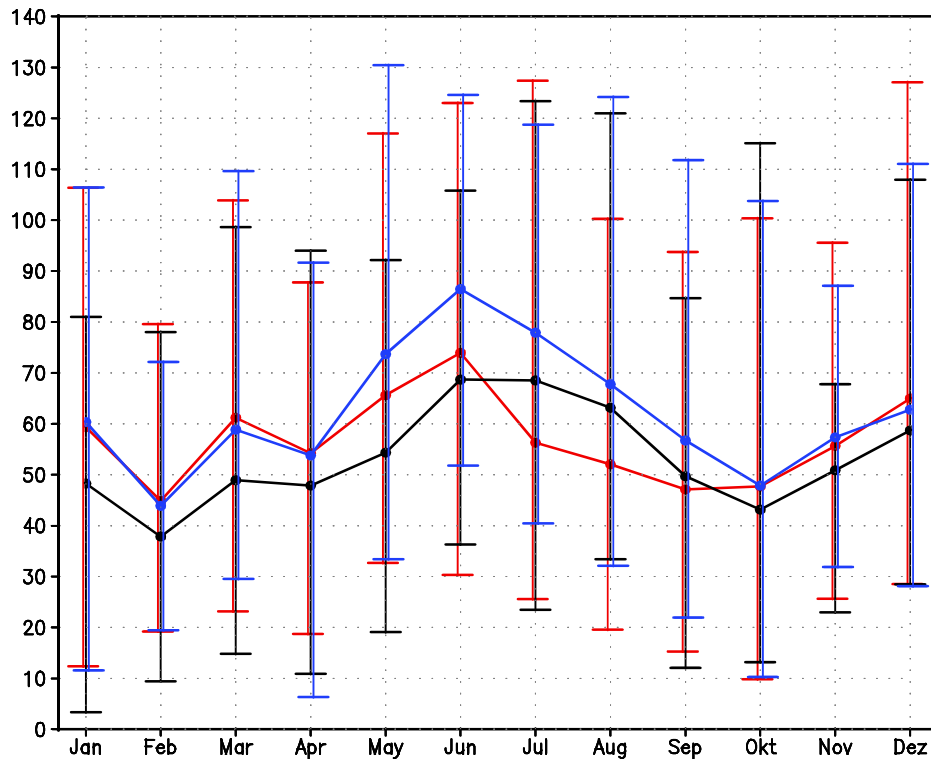
Rechid, D. (2001): Untersuchungen zur Parametrisierung von Landoberflächen im regionalen Klimamodell REMO. Diplomarbeit am Fachbereich Geographie der Universität Hannover.

Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., D menil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U., Schulzweida, U. (1996): The Atmospheric General Circulation Model ECHAM-4: Model Description And Simulation of Present-Day-Climate. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Report No. 218.

Roeckner, E., Bengtsson, L., Feichter J. (1999): Transient Climate Change Simulations with a Coupled Atmosphere-Ocean GCM Including the Trospheric Sulfur Cycle, Journal of Climate, Vol.12, 3004-3032.

Semmler, Tido (2002): Der Wasser und Energiehaushalt der arktischen Atmosphäre. Dissertation am Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg Nr. 85.

## ANHANG



**Abbildung 2:** Gesamtniederschlag [mm/Monat] für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebiets (1979-1998)

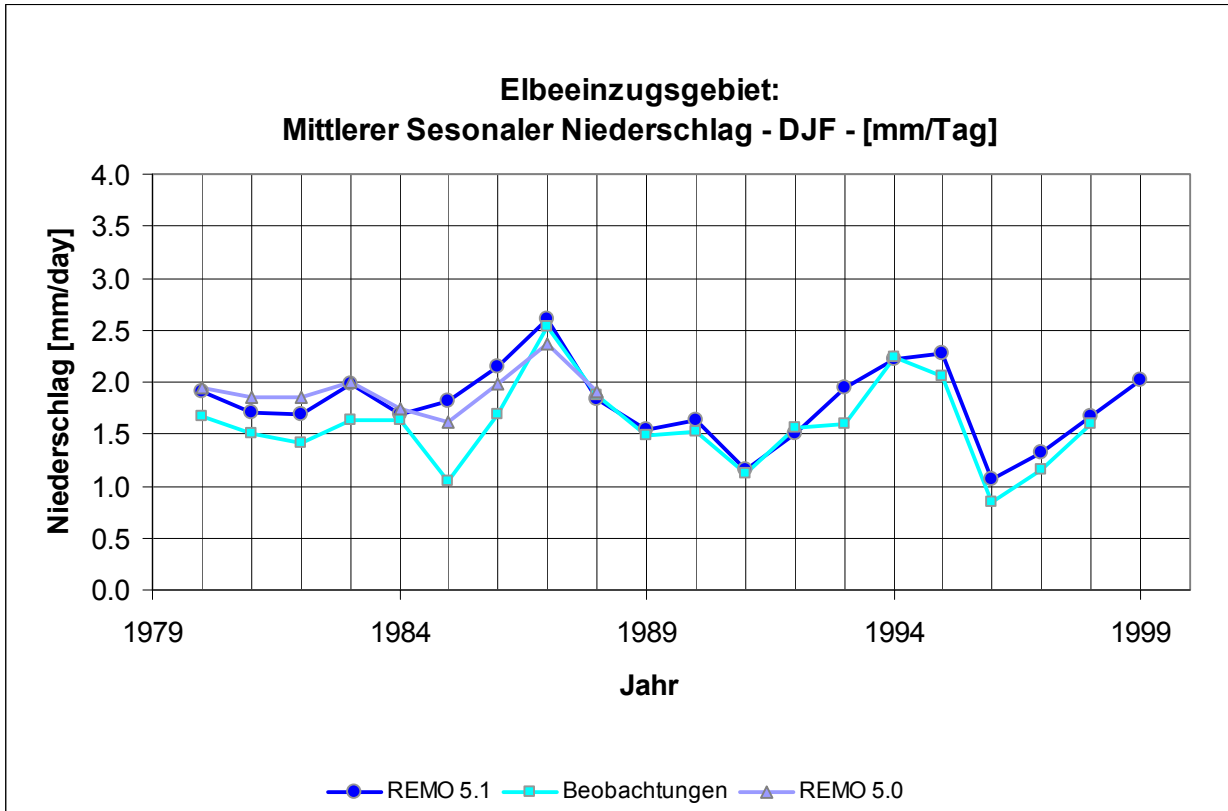


Abbildung 3: Mittlerer Tagesniederschlag (Dezember bis Februar)

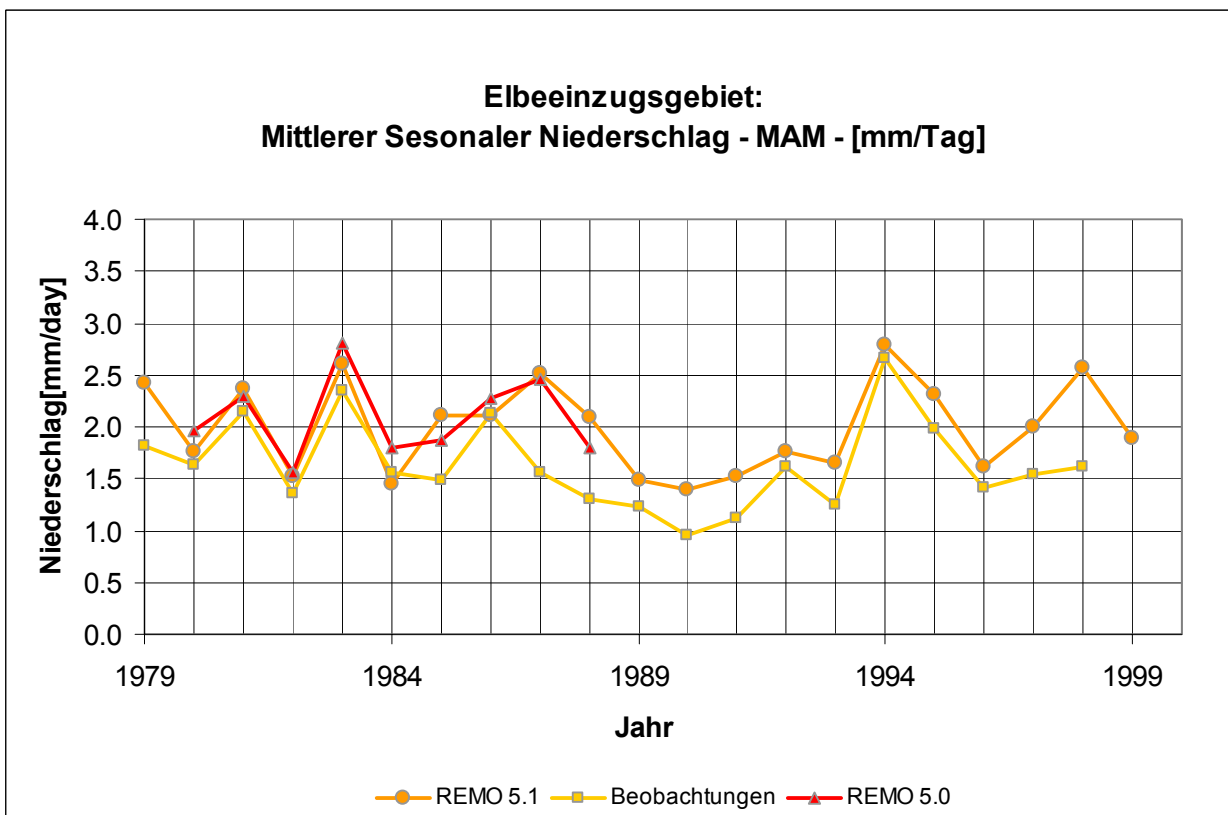


Abbildung 4: Mittlerer Tagesniederschlag (März bis Mai)

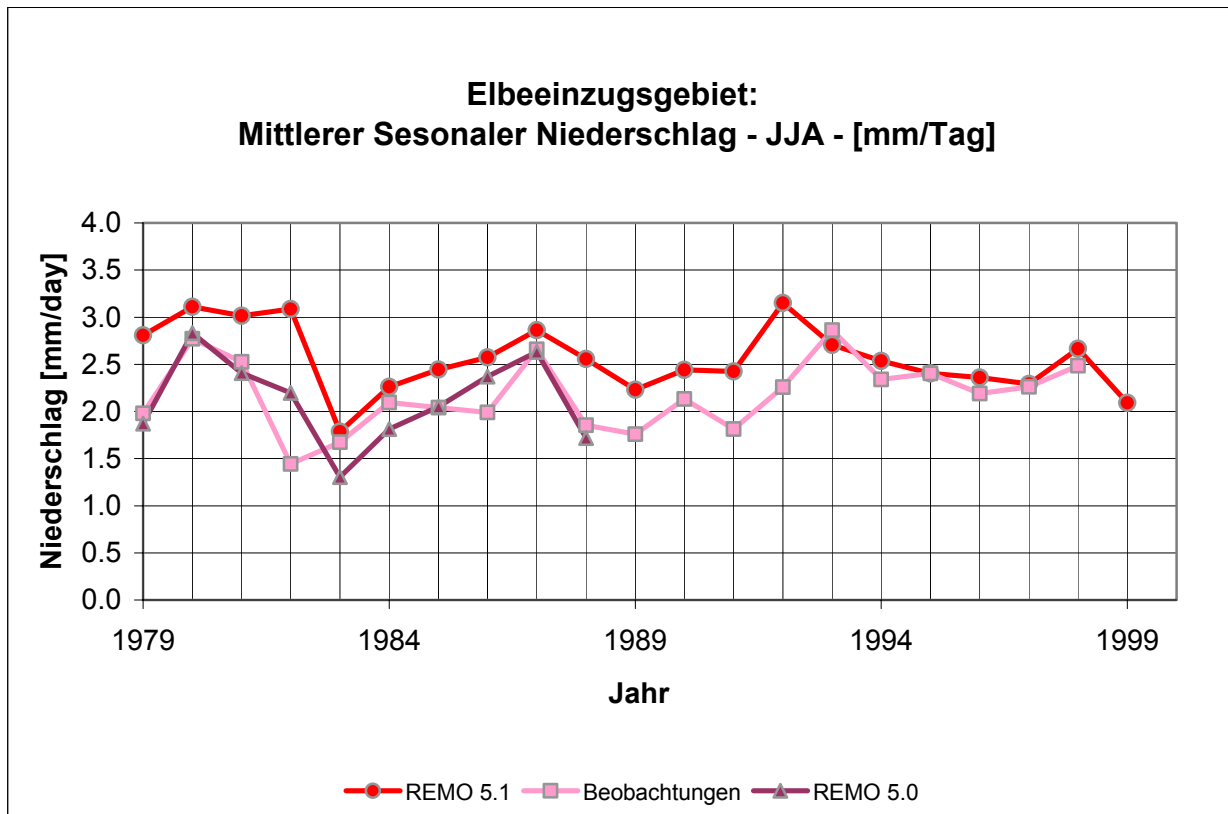


Abbildung 5: Mittlerer Tagesniederschlag (Juni bis August)

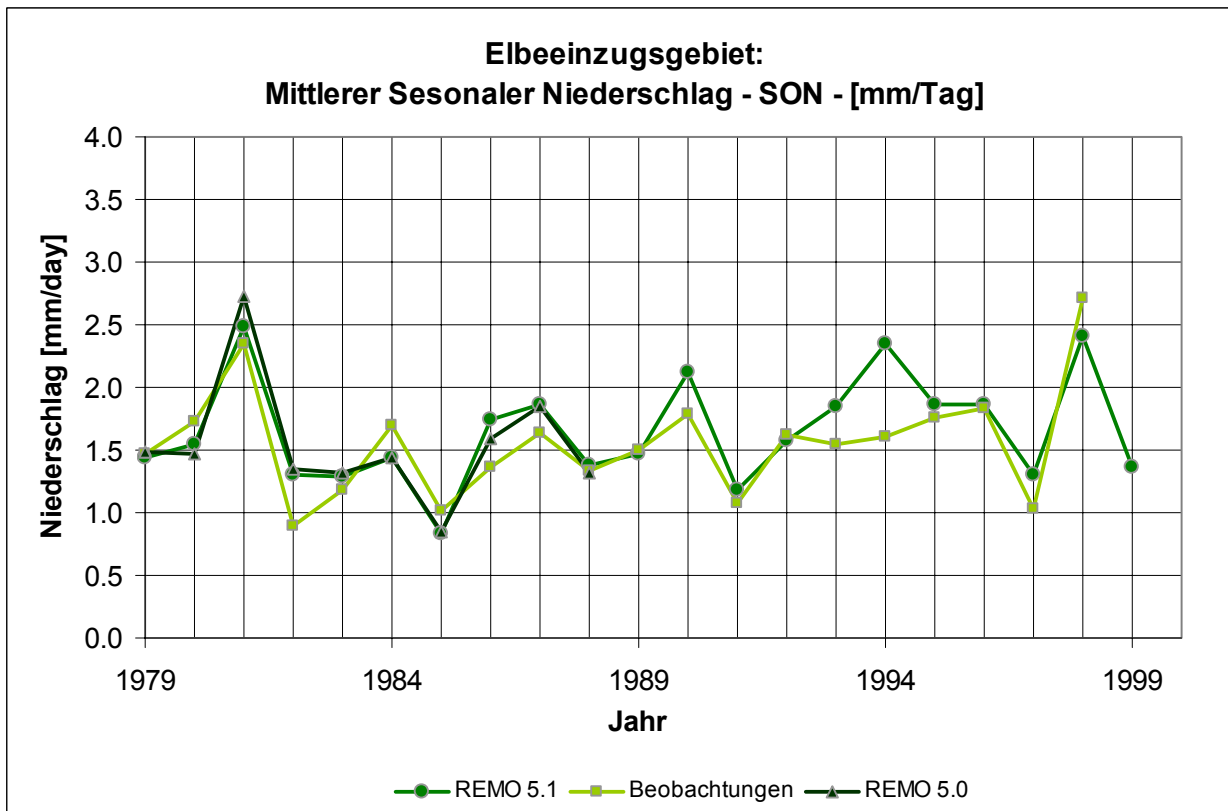
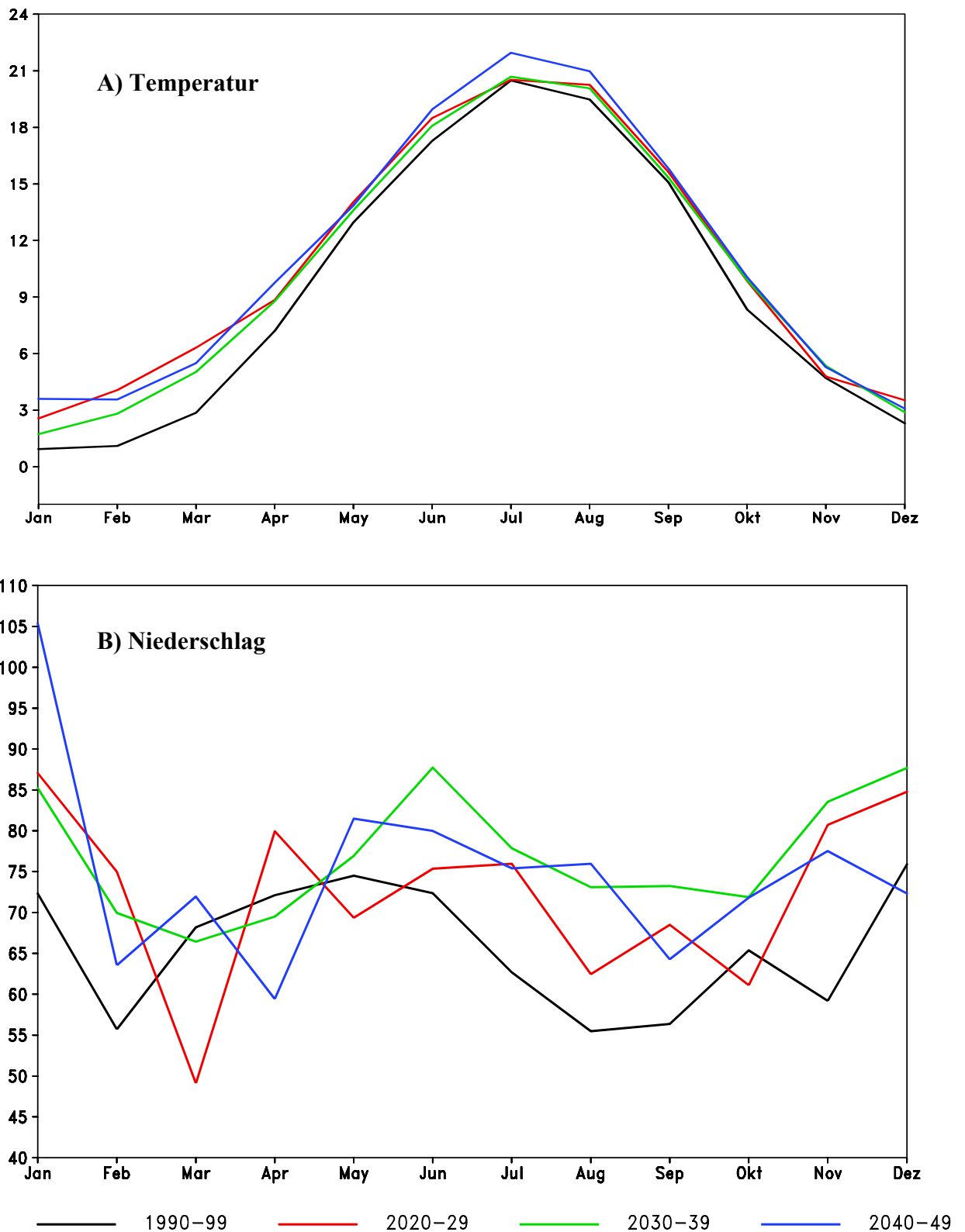
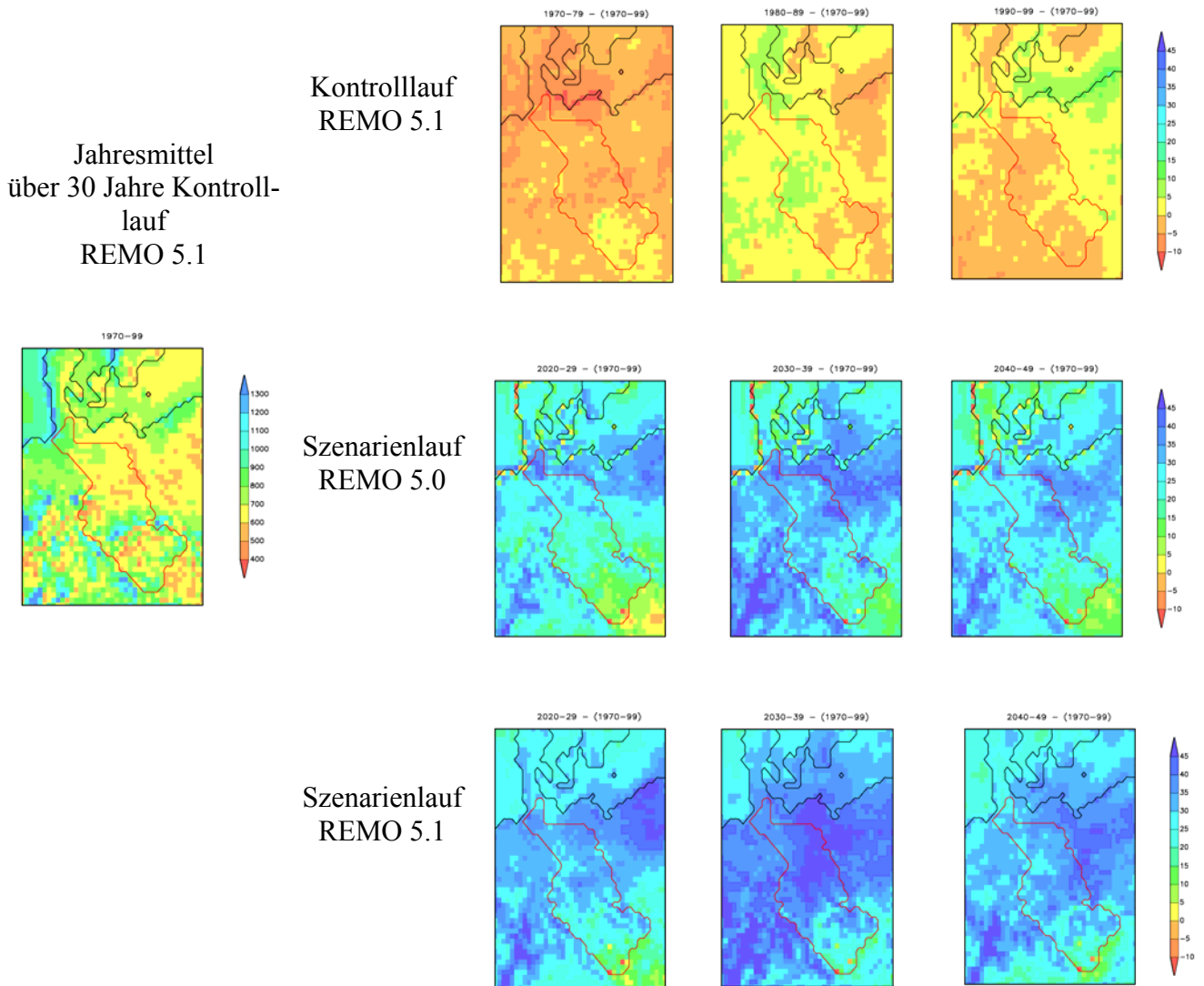


Abbildung 6: Mittlerer Tagesniederschlag (September bis November)



**Abbildung 8:** A) Mittlere Monatstemperaturen und B) Niederschlagssummen für den Kontrolllauf (1990-99) und die Szenarielläufe (2020-29: rot, 2030-39: grün, 2040-49: blau) gemittelt über das Elbeinzugsgebiet (REMO 5.0, 0.16°, SRES B2)



**Abbildung 9:** Mittlere Jahresniederschläge [mm/Jahr] REMO 0.16 °



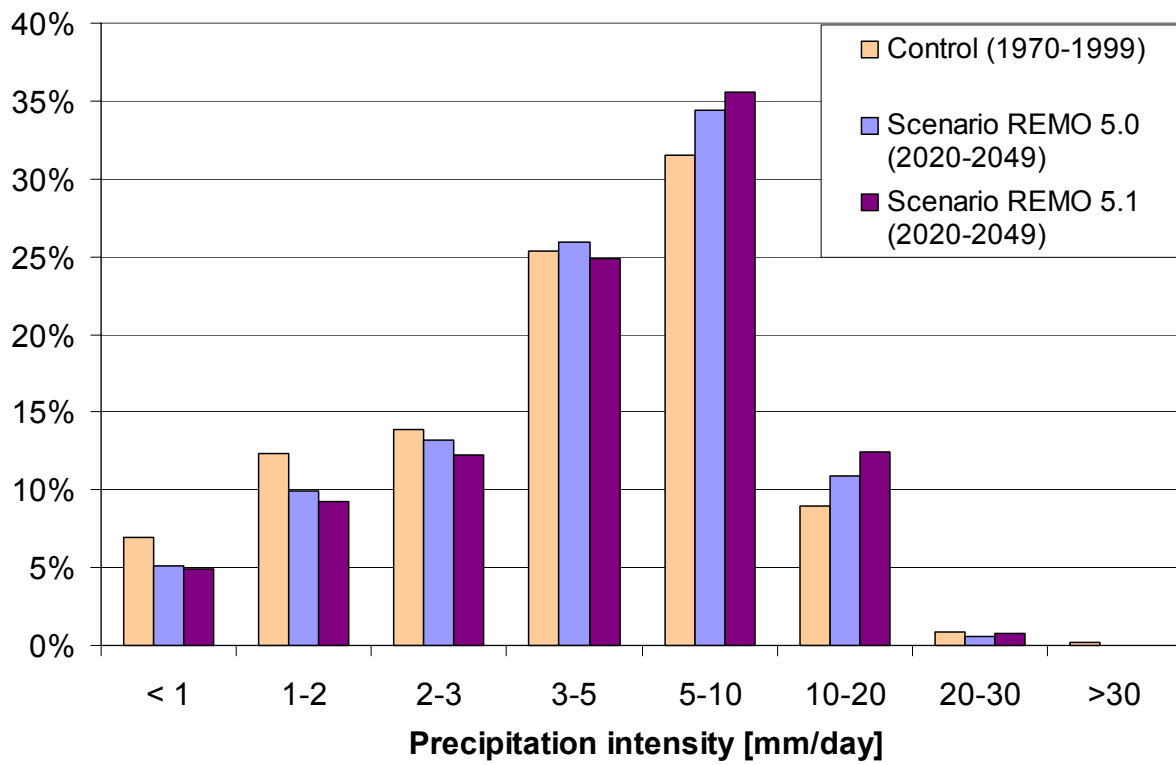


Abbildung 10: Niederschlagsintensitäten