

Kurzbericht

Vergleich und Bewertung der regionalen Klimaszenarien

1. Einleitung

Entsprechend dem dritten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2001) hat sich das Klimasystem der Erde seit der vorindustriellen Zeit sowohl auf globaler als auch auf regionaler Ebene nachweislich verändert, wobei ein großer Teil dieser Veränderungen auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Auf der Basis verschiedener Emissionsszenarien und einer Auswahl globaler Klimamodelle wird für den Zeitraum 1990 bis 2100 eine Erhöhung der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur in der Größenordnung von 1,4 bis 5,8°C erwartet. Dieser Bereich ist etwa zwei- bis zehnmal höher als der Mittelwert der beobachteten Erwärmung während des 20. Jahrhunderts (0,6 – 0,7°C) und die berechnete Erwärmungsrate ist laut Paläoklimadaten sehr wahrscheinlich beispiellos für mindestens die letzten 10.000 Jahre. Die beobachteten Veränderungen des Meeresspiegels, der Gletschergrößen, der Schneebedeckung und des Niederschlags stehen im Einklang mit der beobachteten Erwärmung nahe der Erdoberfläche.

Die regionalspezifischen und jahreszeitlichen Veränderungen der letzten Jahrzehnte im regionalen Klima von Süddeutschland wurden im Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) durch umfangreiche Untersuchungen möglichst langer Messzeitreihen hydrometeorologischer und hydrologischer Größen nachgewiesen.

Ein wesentliches Ziel von KLIWA war und ist es, für die nächsten Jahrzehnte (Zielpunkt: Jahr 2050) möglichst gesicherte Aussagen nach dem derzeitigen Kenntnisstand über die Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt in Baden-Württemberg (BW) und Bayern (BY) zu erhalten. Diese Aussagen sollen dann als Basis für die Ermittlung der Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, d.h. für wasserwirtschaftliche Handlungsempfehlungen dienen.

2. Ableitung von Klimaszenarien

Für die Abschätzung wurden geeignete regionale Klimaszenarien mit einem realitätsnahen Emissionsszenario (B2, IPCC) erstellt. Diese Szenarien sollen als Eingangsgrößen für die in den Ländern Baden-Württemberg und Bayern verfügbaren Wasserhaushaltsmodelle (WHM) LARSIM und ASGi verwendet werden, um Aussagen über die Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt treffen zu können. Die vorliegenden Klimaszenarien gelten insbesondere für den Bereich der Länder Baden-Württemberg und Bayern, darüber hinaus auch für das Einzugsgebiet des Rheins bis zur niederländischen Grenze.

Eine im Rahmen von KLIWA erstellte Grundsatzstudie der ETH Zürich (Stand: 2000) zog das Fazit, dass es noch kein optimales Verfahren für die Erstellung regionaler Klimaszenarien aus den globalen Klimamodellen gibt. Auch der KLIWA-Workshop „Klimaszenarien“ am 14.5.2001 mit einer Reihe von externen Fachleuten zeigte, dass derzeit noch keine optimale Methode für die Ermittlung von regionalen Klimaszenarien zur Verfügung steht. Daher beschlossen die KLIWA-Partner, drei unterschiedliche Verfahren bei der Szenarienermittlung anzuwenden, um eine Bandbreite möglicher Entwicklungen zu erhalten.

Es wurden folgende Verfahren für die Szenarienermittlung ausgewählt:

- das regionale dynamische Klimamodell REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI; Bearbeitung: Dr. Jacob),
- das spezielle statistische Verfahren (unter Berücksichtigung von Wetterlagen) von Meteorological Research (MR; Bearbeitung: Dr. Enke),
- die statistische Methode des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK; Bearbeitung: Dr. Gerstengarbe).

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurden in den Aufträgen an die Klimamodellierer weitgehend identische Grundlagen und Randbedingungen vorgegeben: Messdaten 1951-2000 (54 Klimastationen aus Baden-Württemberg und Bayern, 26 Klimastationen des In- und Auslandes für das erweiterte Untersuchungsgebiet sowie ca. 400 Niederschlagsstationen), globales Klimamodell ECHAM 4, IPCC-Emissionsszenario B2, Verifikationszeitraum 1971-2000, Szenariozeitraum 2021-2050.

3. Vergleichende Darstellung der Ergebnisse

Vorgehensweise

Für die generelle Vergleichbarkeit der Ergebnisse der drei unterschiedlichen Simulationsverfahren erschien eine einfache Ergebnismittelung über die neun relativ großflächigen, aggregierten KLIWA-Regionen, in die BW und BY unterteilt wurden (siehe Bild 1), zweckmäßig. Dafür ist hier eine entsprechende Auswertung mit den vorliegenden Ergebnissen der drei Klimamodelle vorgenommen.



Bild 1: Lage der aggregierten **KLIWA-Regionen** in Süddeutschland.

Hauptziel des Vergleichs ist die Gegenüberstellung der Modellergebnisse in den KLIWA-Regionen hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen von Klimagrößen und deren Bewertung. Hierfür wurden jeweils die Simulationen der Jahre 1971-2000 als Ist-Zustand und der Jahre 2021-2050 als zukünftig erwarteter Zustand (Zukunftsszenario) definiert. Alle für die jeweiligen Modelle vorliegenden Klimagrößen sind für den Ist-Zustand und das Zukunftsszenario hinsichtlich der Kalenderjahre und der hydrologischen Halbjahre ausgewertet.

Darüber hinaus wurde aus der Differenz zwischen Zukunftsszenario und Simulation des Ist-Zustands die Veränderung ermittelt und bewertet.

Zum Ergebnisvergleich ist vollständigkeitshalber noch anzumerken: Für das PIK-Modell liegt keine Simulation für den Ist-Zustand vor; das statistische Modell beruht auf den homogenisierten Messdaten. Hilfsweise ist daher für das PIK-Modell die Differenz zwischen Zukunftsszenario und homogenisierten Messwerten verwendet werden.

In den Bildern 2 und 3 sind die absoluten Differenzen für mittlere Tagestemperaturen sowie die relativen Änderungen der mittleren Niederschlagssummen für die betrachteten Zeiträume Jahr und Halbjahre zwischen

- PIK Zukunftsszenario und homogenisierten Messwerten,
- Meteo-Research Zukunftsszenario und die Simulation des Ist-Zustandes,
- MPI Zukunftsszenario und MPI Kontrolllauf

vergleichend angegeben.

Lufttemperatur (siehe Bild 2)

Bild 2 verdeutlicht, dass die stärksten Temperaturzunahmen im Jahresschnitt mit 1,6 bis 1,9°C vom MPI- und MR-Modell simuliert werden. Beim PIK-Modell betragen die Temperaturzunahmen nur 1,1 bis 1,2°C; sie sind dadurch bedingt, dass der Temperaturtrend aus dem zugrundegelegten globalen Klimamodell abgeleitet ist.

Die Unterschiede der Temperaturzunahme zwischen den einzelnen Modellen für das hydrologische Sommerhalbjahr sind mit 1,1 (PIK) bis 1,8°C (MPI) relativ gering. Die Werte des MR-Modells mit 1,2 bis 1,4°C liegen dazwischen.

Für das hydrologische Winterhalbjahr ergeben sich sowohl mit dem MR-Modell als auch mit dem MPI-Modell Temperaturzunahmen von ca. 2°C. Beim PIK-Modell liegen die für den Winter vorhergesagten Temperaturzunahmen mit ca. 1°C deutlich niedriger. Diese Veränderungen können großen Einfluss auf die Zwischenspeicherung von Niederschlag als Schnee haben und somit entscheidend für das zukünftig zu erwartende Abflussregime sein.

Niederschläge (siehe Bild 3)

Bei den mittleren Niederschlägen des Kalenderjahres werden die stärksten Zunahmen in den meisten KLIWA-Regionen durch das MR-Modell simuliert; sie betragen im höchsten Fall ca. 17%. Die beiden anderen Modelle weisen mit wenigen Ausnahmen ebenfalls Zunahmen in der Größenordnung von maximal ca. 7% auf.

Für das Sommerhalbjahr weist das MPI-Modell fast durchweg Zunahmen von bis zu ca. 9% auf, während im Winterhalbjahr geringere Änderungen mit Zu- und Abnahmen auftreten. Beim MR-Modell treten im Sommer fast durchweg Abnahmen bis maximal 8% auf, im Winter jedoch treten überall Zunahmen auf, die bis zu ca. 34% betragen. Im Vergleich hierzu sind die Veränderungen beim PIK-Modell sowohl im Winter- als auch im Sommerhalbjahr sehr gering; in den meisten Regionen treten im Winterhalbjahr sogar Abnahmen auf.

In Bild 4 sind die relativen Veränderungen des mittleren Niederschlags zwischen dem Zukunftsszenario 2021-2050 und dem simulierten Ist-Zustand 1971-2000 für die einzelnen KLIWA-Regionen ergänzend auch flächenhaft dargestellt.

Im Einzelnen sind nachfolgend die Ergebnisse auch noch mal für die einzelnen Verfahren zusammengefasst:

Ergebnisse PIK (Dr. Gerstengarbe):

Für das Modell des PIK liegt keine Simulation des Ist-Zustandes vor. Der Ist-Zustand muss daher durch homogenisierte Messwerte repräsentiert werden, die zugleich die Grundlage des statistischen Klimamodells bilden.

Das PIK-Modell legt zur Simulation der Lufttemperatur für das Zukunftsszenario den Trend, der zwischen Kontrolllauf und Zukunftsszenario des globalen Klimamodells ECHAM4 ermittelt wurde, zu Grunde. Diese Vorgehensweise ergibt eine Zunahme der mittleren Tagestemperatur um ca. 1,1°C. Die Zunahme ist im hydrologischen Sommerhalbjahr etwas stärker ausgeprägt als im hydrologischen Winter.

Hinsichtlich der Niederschlagshöhe werden durch das PIK-Modell generell nur geringe Veränderungen zwischen den beiden 30-Jahreszeiträumen simuliert. Die stärksten Zunahmen mit maximal 7,5% (ca. 90 mm) je Jahr ergeben sich in der Region „Rhein“. Diese Zunahme des Niederschlags ist vor allem auf das hydrologische Sommerhalbjahr zurückzuführen. In den Regionen „Ostalpen“ und „Westalpen“ wird hingegen eine geringfügige Abnahme der Niederschläge vorhergesagt.

Ergebnisse Meteo-Research (Dr. Enke):

Die Simulation des Ist-Zustandes beim MR-Modell stimmt im Allgemeinen gut mit den homogenisierten Messwerten überein.

Hinsichtlich der Jahresdurchschnittstemperatur ergeben sich aus der Differenz zwischen dem Zukunftsszenario und dem simulierten Ist-Zustand für alle Regionen Temperaturerhöhungen von 1,6 bis 1,8°C. Die Zunahme fällt im hydrologischen Winter mit ca. 2°C stärker aus als im hydrologischen Sommer.

Je nach Region wird eine unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme der Jahresniederschläge simuliert, die zwischen ca. 4% (ca. 30 mm) für die Region „Mittlere Donau“ und ca. 17% (ca. 120 mm) für die Region „Unterer Main“ liegt. Die vorhergesagten Zunahmen sind nahezu ausschließlich auf die hohen Niederschläge des hydrologischen Winterhalbjahrs zurückzuführen.

Ergebnisse MPI (Dr. Jacob):

Die Simulation des Ist-Zustandes beim MPI-Modell weicht von den homogenisierten Messwerten ab. Dies ist z.T. darauf zurückzuführen, dass beim MPI-Modell Flächenmittel vorliegen, wohingegen die homogenisierten Messdaten Punktwerte sind. Zum anderen schlagen hier aber Fehleinschätzungen aus dem globalen Klimamodell (ECHAM4) durch, mit dem das MPI-Modell angetrieben wird. Die auf Grundlage des MPI-Modells zu erwartenden Veränderungen lassen sich jedoch aus dem direkten Vergleich zwischen Simulation des Ist-Zustands und Zukunftsszenario ableiten.

Hinsichtlich der mittleren Jahrestemperatur ergibt sich aus der Differenz zwischen Zukunftsszenario und simuliertem Ist-Zustand für alle Regionen eine Zunahme um ca. 1,8°C. Die Zunahme beträgt im hydrologischen Sommerhalbjahr ca. 1,7°C und im hydrologischen Winterhalbjahr ca. 2°C.

Bei den mittleren Jahresniederschlägen werden durchweg Zunahmen simuliert, die zwischen ca. 1% (ca. 10 mm) für die Region „Westalpen“ und ca. 7% (ca. 80 mm) für die Region „Bayerische Mittelgebirge“ liegen. Die im Jahresdurchschnitt ermittelten Zunahmen sind überwiegend auf die Zunahmen im hydrologischen Sommerhalbjahr, die bis maximal 9% (ca. 80 mm) in der Region „Donau und Bodensee“ betragen, zurückzuführen. Im Winterhalbjahr treten sogar Abnahmen bis zu 3% auf.

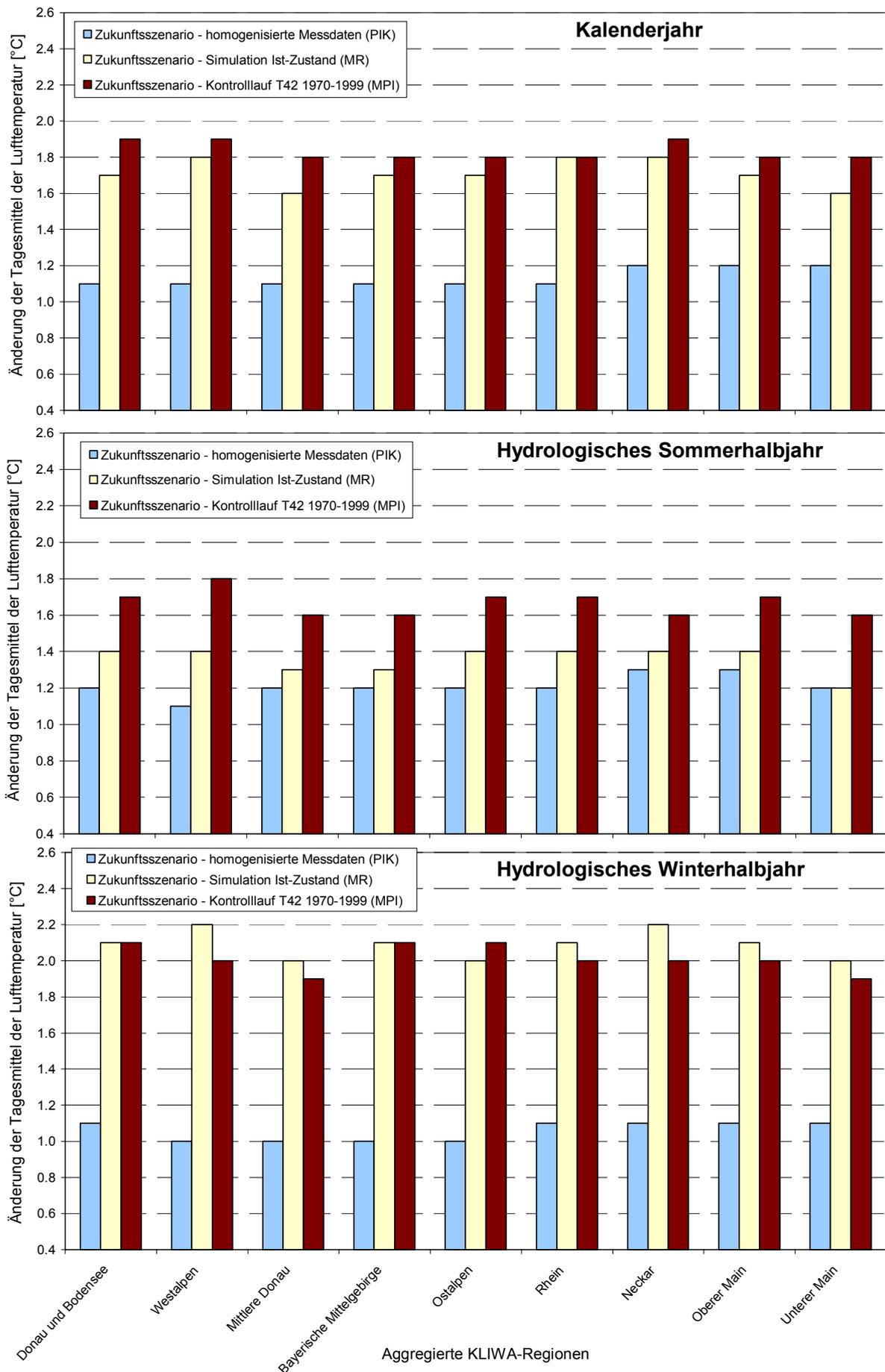


Bild 2: Absolute Veränderungen der **mittleren Tagestemperaturen** zwischen Ist-Simulation und Zukunftsszenario für die neun KLIWA-Regionen bei den Verfahren PIK, Meteor-Research und MPI.

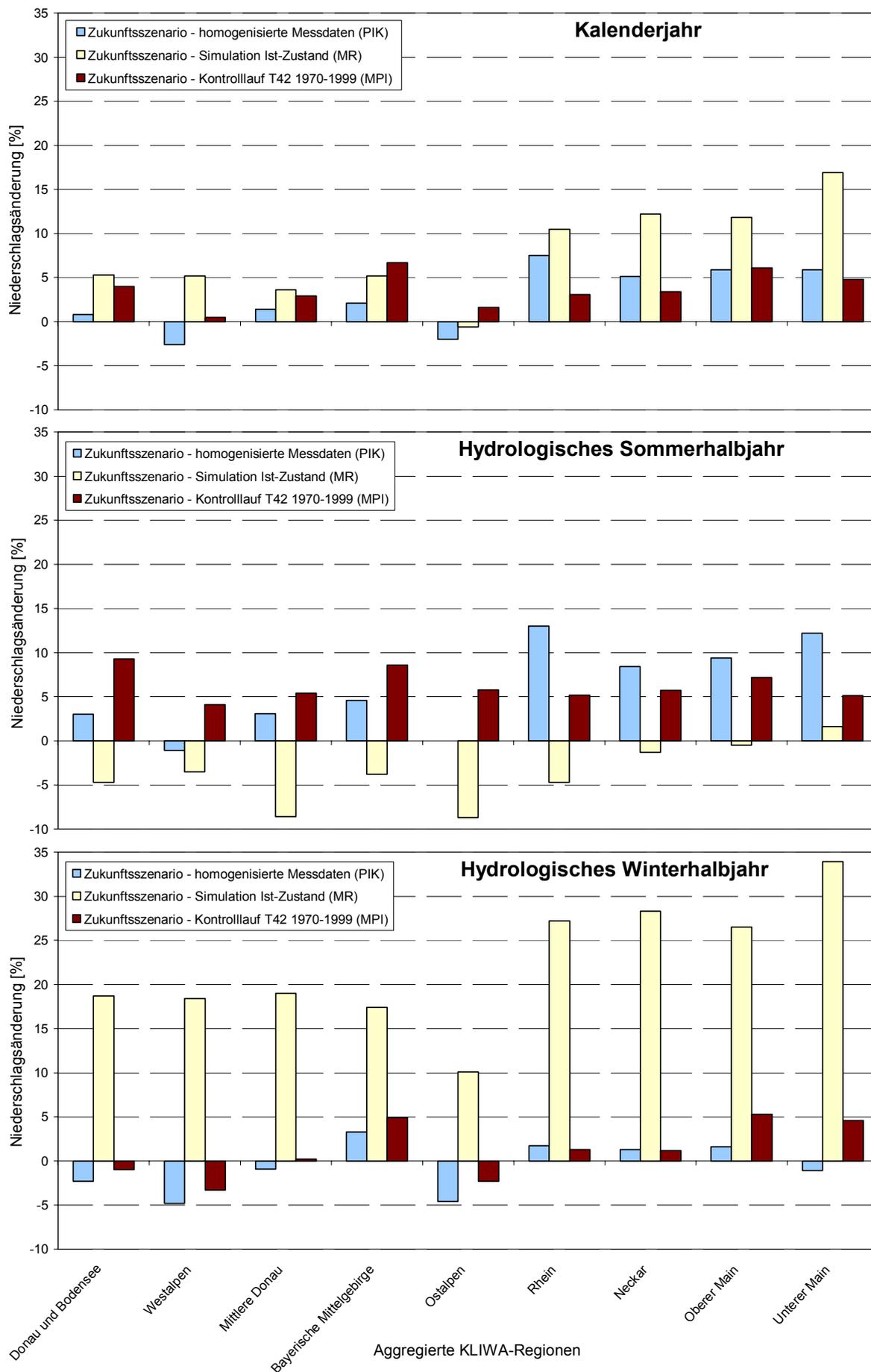


Bild 3: Prozentuale Veränderungen der **mittleren Niederschlagshöhen** zwischen Ist-Simulation und Zukunftsszenario für die neun KLIWA-Regionen bei den Verfahren PIK, Meteo-Research und MPI.

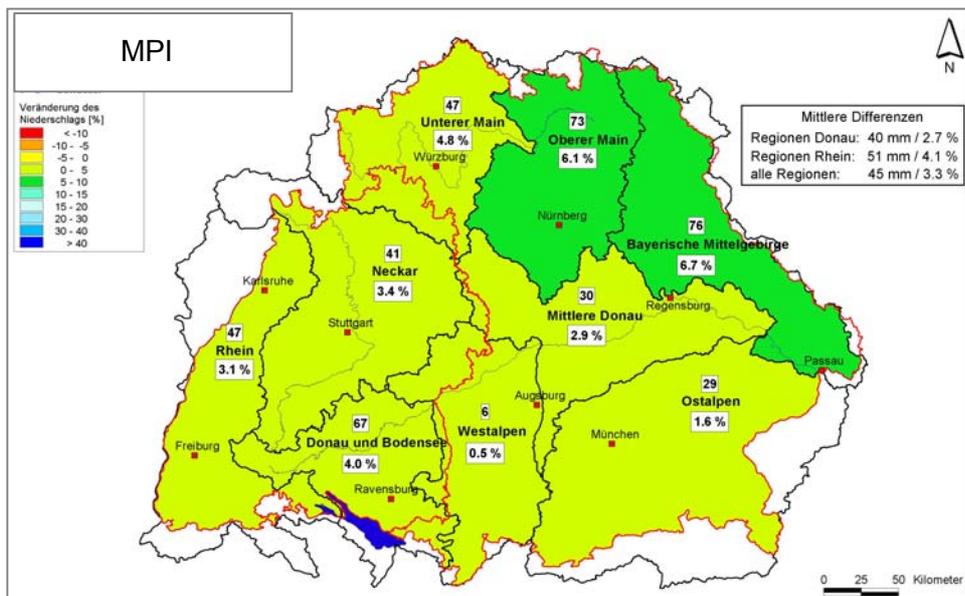
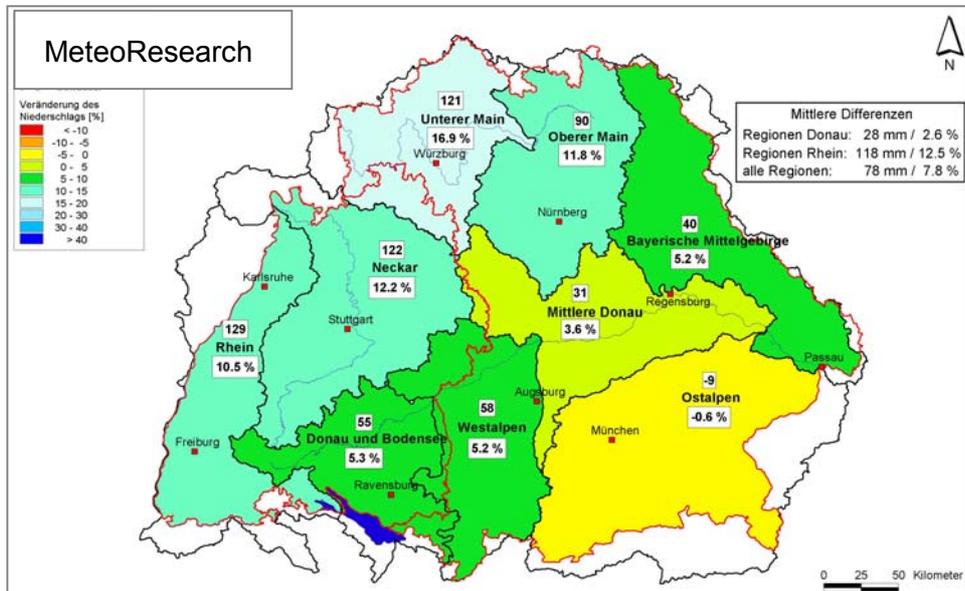
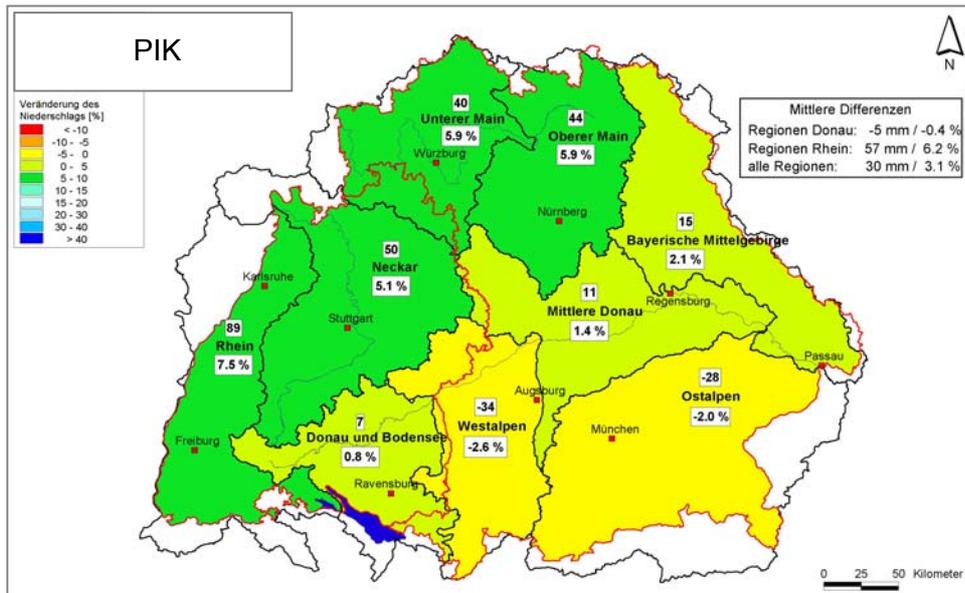


Bild 4: Veränderung des **mittleren Niederschlags** im Kalenderjahr zwischen Szenario 2021-2050 und simuliertem Ist-Zustand bei den Verfahren PIK, MR und MPI.

4. Bewertung der Verfahren zur regionalen Klimamodellierung

Die Ergebnisse der einzelnen Verfahren weisen teilweise eine erhebliche Bandbreite auf. Dies dürfte neben den verfahrenstechnischen Unterschieden auch darin begründet sein, dass sich die derzeit vorliegenden Verfahren noch in der Entwicklungsphase befinden. Die Ergebnisse machen die derzeitigen Unsicherheiten bei der Abschätzung der künftigen Entwicklung deutlich. Diese Auffassung wird auch von den Modellierern geteilt. Eine erneute Erstellung von regionalen Klimaszenarien in frühestens 5 Jahren mit verbesserten Methoden erscheint aus heutiger Sicht erforderlich. Sobald verbesserte Modelle vorliegen, wird KLIWA die regionalen Klimaszenarien fortschreiben.

Die Klimamodellierer haben teilweise Ergebnisse sowohl für ein „transientes Szenario“, d.h. über den gesamten Szenariozeitraum wird eine kontinuierliche Veränderung (Trend) des Klimas (Erwärmung) angenommen, als auch ein „Gleichgewichts-Szenario“ (wärmeres Klima über einen längeren Zeitraum um ein Szenario-Zieljahr). Um vergleichbare Ergebnisse bei den Simulationen mit den Wasserhaushaltsmodellen zu erhalten, lag den Simulationen bisher das bei allen Verfahren vorhandene transiente Szenario zugrunde.

Um auf der Basis der derzeit vorliegenden Ergebnisse trotz der Unsicherheiten unter Vorsorgeaspekten erste Konsequenzen für die Wasserwirtschaft der Länder Baden-Württemberg und Bayern ableiten zu können, wurde eine Wertung der Ergebnisse der Klimamodellierer bezüglich der methodischen Ansätze unter Einbeziehung meteorologischer und hydrologischer Bewertungskriterien durchgeführt.

Auf Grund dieser Bewertung werden die Ergebnisse des MR-Verfahrens mit Priorität den weiteren Untersuchungen und den ersten Szenariensimulationen mit Wasserhaushaltsmodellen im Rahmen von KLIWA zugrundegelegt. Dies ermöglicht es, erste Abschätzungen der zu erwartenden Veränderungen im Wasserhaushalt durchzuführen und entsprechende Aussagen zu treffen.