

Abschätzung der Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf die Bewirtschaftung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr

Gerd Morgenschweis, Georg zur Strassen (Ruhrverband Essen),
Simone Patzke, Dirk Schwanenberg (WL | Delft Hydraulics)

10 Abschätzung der Auswirkung von möglichen Klimaänderungen auf die Bewirtschaftung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr

10.1 Veranlassung

Im Zeitraum von Juli 2004 bis Februar 2006 wurde von WL | Delft Hydraulics, einem im Bereich Wasser renommierten niederländischen Forschungsinstitut, im Auftrag des Ruhrverbands eine Methodik zur Analyse der langfristigen Bewirtschaftung der Talsperren entwickelt, mit der die Betriebssicherheit und die Grenzleistungsfähigkeit des vorhandenen Talsperrensystems untersucht wurde (WL, 2006). Hierzu wurden lange Zeitreihen des täglichen Niederschlags und der Lufttemperatur mit stochastischen Modellansätzen erzeugt (bis 10 x 1.000 Jahre) und als Eingangsdaten für die beim Ruhrverband vorhandenen und seit Jahren operationell erfolgreich eingesetzten Flussgebietsmodelle genutzt. Aufbauend darauf konnten mit Variantenrechnungen die Auswirkungen von veränderten Randbedingungen – wie z. B. die Erweiterung der Hochwasserschutzräume, ökologisch orientierte veränderte dynamische Abgaberegeln oder die Einführung neuer Grenzwerte des Mindestabflusses – auf die Leistungsfähigkeit des vorhandenen Systems ermittelt werden, um die Machbarkeit solcher Nutzungsänderungen quantitativ bewerten zu können. In Kapitel 10 des vorjährigen Jahresberichtes Ruhrwassermenge 2005 wurde hierüber detailliert berichtet (Ruhrverband, 2006).

Im gleichen Zeitraum wurde vom Ruhrverband die vorhandene lange Zeitreihe des berechneten Gebietsniederschlags mit Hilfe statistischer Verfahren auf Trends analysiert. Hierzu wurde das Programm TREND Vers. 5.0 aus dem Softwarepaket ZEITREIHEN des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG, 2002) der Universität Karlsruhe eingesetzt. Es zeigen sich sowohl in der Jahressumme der untersuchten Zeitreihe von 1927 – 2005 als auch insbesondere im Winterhalbjahr (November – April) signifikante Trends. Als Beispiel sind in Bild 17 die Niederschlagssummen des Winterhalbjahres dargestellt, die einen mit einem Signifikanzniveau von 98 % gesicherten Anstieg der winterlichen Niederschläge belegen. Im Gegensatz dazu zeigen die Niederschläge des Sommerhalbjahres (Mai – Oktober) keinen Trend. Insgesamt, das heißt für das gesamte Abflussjahr, paust sich jedoch der winterliche positive Trend – wenn auch mit einer etwas schwächeren Signifikanz von 95 % – auch im Jahresniederschlag durch.

Dies belegen auch die in Tabelle 13 zusammengestellten Ergebnisse der Trenduntersuchungen von Monats- und Jahreszeitensummen des Gebietsniederschlags, wobei die Anstiege in den Monaten Dezember und insbesondere März sowie im hydrologischen Winterhalbjahr wie auch meteorologischen Winter im Hinblick auf die besonders hohe statistische Sicherheit herausragen. Diese Ergebnisse können als Hinweis auf ein verändertes Niederschlagsregime im Einzugsgebiet der Ruhr gedeutet werden.

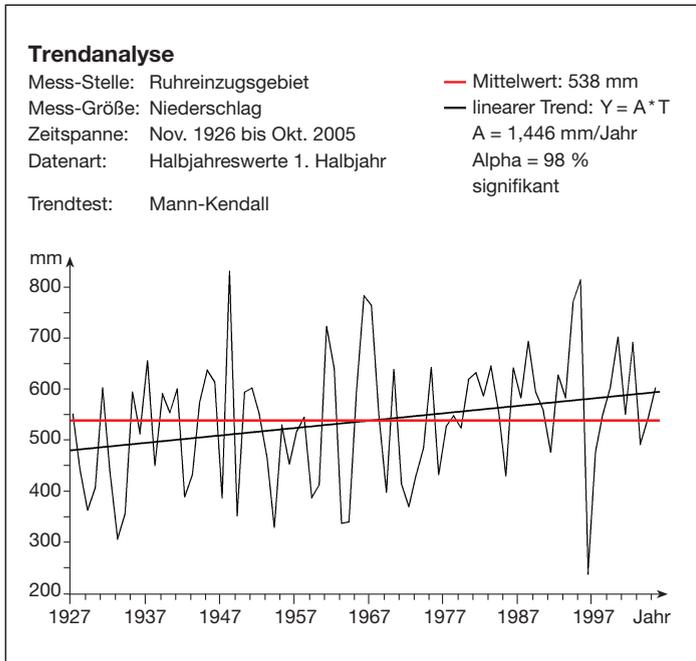


Bild 17: Trendanalyse des Gebietsniederschlags der Winterhalbjahre im Einzugsgebiet der Ruhr (1927 bis 2005)

Fig. 17: Trend analysis of the areal winter precipitation of the Ruhr catchment basin from 1927 to 2005

Tabelle 13: Trenduntersuchungen des Gebietsniederschlags im Ruhreinzugsgebiet (1927 bis 2005)

Table 13: Trends in the mean annual precipitation depths of the Ruhr catchment basin from 1927 to 2005

Zeitabschnitt	Mittelwert mm	Signifikanz	Alpha %
November	97	NEIN	50
Dezember	104	JA	95
Januar	102	JA	80
Februar	81	NEIN	50
März	77	JA	99,5
April	77	JA	50
Mai	74	JA	50
Juni	91	NEIN	50
Juli	97	NEIN	50
August	91	JA	80
September	82	JA	80
Oktober	86	NEIN	50
1. Halbjahr (Nov. – April)	538	JA	98
2. Halbjahr (Mai – Okt.)	521	NEIN	50
Abflussjahr (Nov. – Okt.)	1.059	JA	95
Meteorologischer Winter (Dez. – Febr.)	287	JA	98
Meteorologisches Frühjahr (März – Mai)	228	JA	90
Meteorologischer Sommer (Juni – Aug.)	279	JA	50
Meteorologischer Herbst (Sept. – Nov.)	265	JA	50

Als im Herbst 2006 neue wissenschaftliche Erkenntnisse über mögliche Klimaänderungen in der Fachöffentlichkeit diskutiert und regionale Aussagen zu prognostizierten Klimaänderungen mit Hilfe neu entwickelter Klimamodelle angekündigt wurden, entstand die Idee, mit Hilfe der Methodik der Langfristanalyse den Effekt möglicher Klimaänderungen auf die Grenzleistungsfähigkeit des Talsperrensystems im Einzugsgebiet der Ruhr vorausschauend zu untersuchen. Hiermit wurde WL | Delft Hydraulics am 19.12.2006 beauftragt.

Das Projektteam setzte sich aus Dr.-Ing. Dirk Schwanenberg, Frau Dipl.-Ing. Simone Patzke und Dr. Jaap Kwadijk zusammen. Das Projekt wurde im Zeitraum Februar bis Juli 2007 ausgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchung (WL, 2007) sollen hiermit der Fachöffentlichkeit vorgestellt werden.

10.2 Ergebnisse globaler Klimamodelle zum Klimawandel

Wegen der weltweiten Bedeutung eines möglichen Klimawandels und der nur international zu lösenden wissenschaftlichen Fragen haben die Umweltorganisation der Vereinten Nationen (United Nations Environmental Program, UNEP) und die Weltmeteorologenorganisation (World Meteorological Organisation, WMO) 1988 gemeinsam den Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) gegründet. Dieses internationale Gremium, zusammengesetzt aus den renommiertesten Wissenschaftlern der betroffenen Wissenschaftsbereiche, arbeitet den wissenschaftlichen Sachstand auf und unterstützt so die weitere Forschung und die erforderlichen Maßnahmen der Politik.

Bisher sind vier umfassende Sachstandsberichte erschienen, der letzte im Frühjahr 2007. Die Ergebnisse des 3. Berichts (IPCC, 2001) und des aktuellen Berichts (IPCC, 2007a und 2007b) bilden die wesentliche Grundlage für die hier vorgestellten Untersuchungen.

10.2.1 SRES-Emissionsszenarien

Den Berechnungen aktueller globaler Klimamodelle liegen die sogenannten SRES-Szenarien zugrunde. Eine Gruppe von Wissenschaftlern des IPCC leitete 2000 diese Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios [SRES], IPCC, 2000) aus einer Reihe von möglichen Annahmen über die zukünftige gesellschaftliche Entwicklung und die daraus resultierende zukünftige Klimaentwicklung ab. Die insgesamt 40 SRES-Szenarien lassen sich in die vier „Familien“ A1, A2, B1 und B2 unterteilen. Jede Familie bildet unterschiedliche globale Strategien im Umgang mit den Ressourcen ab. Dabei werden mögliche Ausprägungen des Umweltbewusstseins und des Wissenstransfers miteinander kombiniert (UBA, 2007).

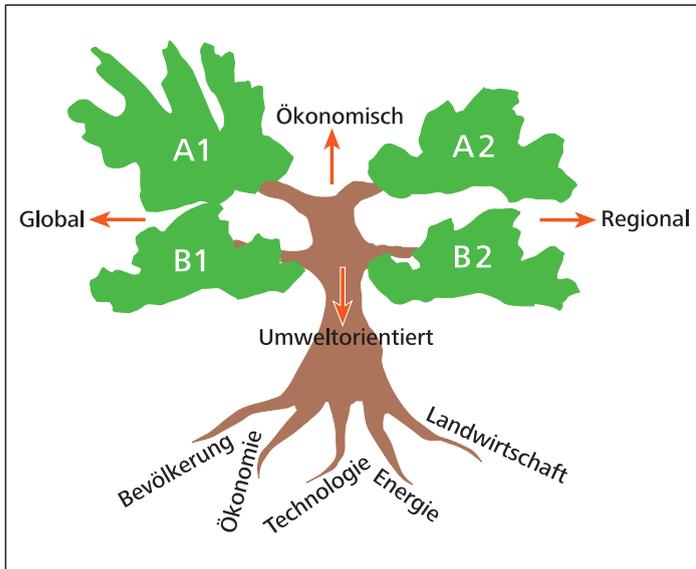


Bild 18: Grundstruktur der SRES-Szenarien (UBA, 2007)
 Fig. 18: Basic structure of the SRES scenarios (UBA, 2007)

Die nachfolgenden Erläuterungen zu den einzelnen SRES-Familien sind dem IPCC-Bericht (IPCC, 2001) entnommen. In Bild 18 ist die Grundstruktur der SRES-Szenarien abgebildet.

A1-Szenarien:

Bei den A1-Szenarien wird davon ausgegangen, dass zukünftig ein sehr starkes Wirtschaftswachstum zu erwarten ist. Die Weltbevölkerung erreicht in der Mitte des 21. Jahrhunderts ihr Maximum und nimmt danach ab. Zudem erfolgt eine schnelle Einführung neuer und effizienterer Technologien. Es wird angenommen, dass die Welt zunehmend globaler wird und sich so regionale Unterschiede bei den Einkommen, in kultureller und sozialer Hinsicht und in der technologischen Entwicklung weitgehend ausgleichen. Die A1-Szenarien werden zusätzlich in drei verschiedene Untergruppen eingeteilt. Diese unterscheiden sich in der vorherrschenden Nutzung der Energiequellen:

- A1FI: intensive Nutzung fossiler Brennstoffe
- A1T: starke Nutzung nicht-fossiler Energieträger
- A1B: ausgewogene Mischung fossiler und nicht-fossiler Energieträger

Demnach sind die A1-Szenarien durch eine vorwiegend ökonomische und globale Betrachtungsweise gekennzeichnet. Das A1B-Szenarium kann als „globaler Mittelweg“ betrachtet werden.

A2-Szenarien:

Bei den A2-Szenarien wird die Annahme getroffen, dass die Welt heterogen geprägt ist, d. h. die lokalen Besonderheiten bewahrt bleiben, die Geburtenhäufigkeit weiter regional sehr unterschied-

lich bleibt und die Weltbevölkerung daher ständig zunimmt. Zudem wird davon ausgegangen, dass die ökonomische Entwicklung primär regional bestimmt wird und das Wachstum des Bruttosozialprodukts und die technologische Entwicklung regional unterschiedlicher und langsamer verlaufen als bei den anderen Hauptgruppen.

Die A2-Szenarien gehen demnach wie A1 von einer primär ökonomisch orientierten Welt aus.

B1-Szenarien:

Für die B1-Szenarien werden ähnliche Annahmen getroffen wie für die A1-Szenarien. Die Welt entwickelt sich demnach global orientiert, jedoch mit dem Unterschied, dass ein schneller Wandel der wirtschaftlichen Struktur zu einer Dienstleistungs- und Informationsökonomie erfolgt. Materialverbrauch wird reduziert und es werden sauberere und ressourcenschonende Technologien eingeführt. Es wird angenommen, dass die Entwicklung auf eine globale Lösung des Nachhaltigkeitsproblems im wirtschaftlichen und sozialen Bereich sowie im Umweltbereich ausgerichtet ist, einschließlich einer ausgewogenen Wohlstandsverteilung.

Die B1-Szenarien gehen von einer ökologischen und nachhaltigen künftigen Entwicklung der Menschheit aus.

B2-Szenarien:

Bei den B2-Szenarien wird davon ausgegangen, dass lokale Lösungen der wirtschaftlichen, sozialen und umweltorientierten Nachhaltigkeitsfragen verfolgt werden. Es erfolgt die Annahme, dass die Weltbevölkerung ständig zunimmt, wenn auch weniger stark als bei den A2-Szenarien. Die Wirtschaftsentwicklung wird sich auf mittlerem Niveau abspielen und der technologische Wandel wird weniger schnell und regional unterschiedlicher sein als bei den A1- und B1-Szenarien. Es wird auf lokaler und regionaler Ebene Wert gelegt auf Umweltschutz und eine ausgewogene Verteilung des Wohlstands.

Die B2-Szenarien gehen wie B1 von einer primär ökologischen Entwicklung aus, jedoch auf regionaler Ebene.

10.2.2 Ergebnisse globaler Klimamodelle für verschiedene SRES-Szenarien

In Bild 19 ist der zeitliche Verlauf der CO₂-Emission der SRES-Szenarien dargestellt. Dabei ist die CO₂-Emission definiert als die gesamte globale Emission, die sich aus den Quellen Energie, Industrie und Landnutzungsänderung ergibt. Es ist ersichtlich, dass bei Szenario A1B und Szenario B1 der CO₂-Ausstoß bis zum Jahr 2050 ansteigt und danach rückläufig ist. In Szenario A2 steigt die CO₂-Emission kontinuierlich.

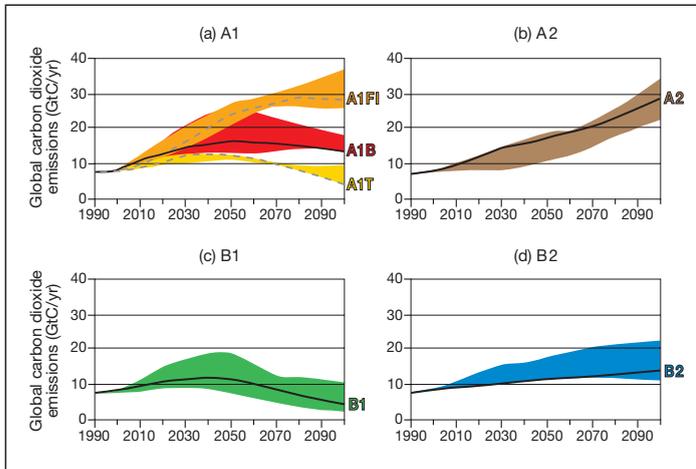


Bild 19: Entwicklung der gesamten globalen CO₂-Emission aus Energie, Industrie und Landnutzungsänderung von 1990 bis 2100 (in Gigatonnen C/a) für die SRES-Szenarien (IPCC, 2000)

Fig. 19: Total global annual CO₂ emissions due to energy, industry, land-use change from 1990 to 2100 (in gigatonnes of carbon, Gt C/yr) for the four scenario families (IPCC, 2000)

In den weiteren Untersuchungen werden die drei SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 verwendet.

Die globalen Temperaturänderungen, die sich aus den einzelnen Szenarien ergeben, sind in Bild 20 dargestellt.

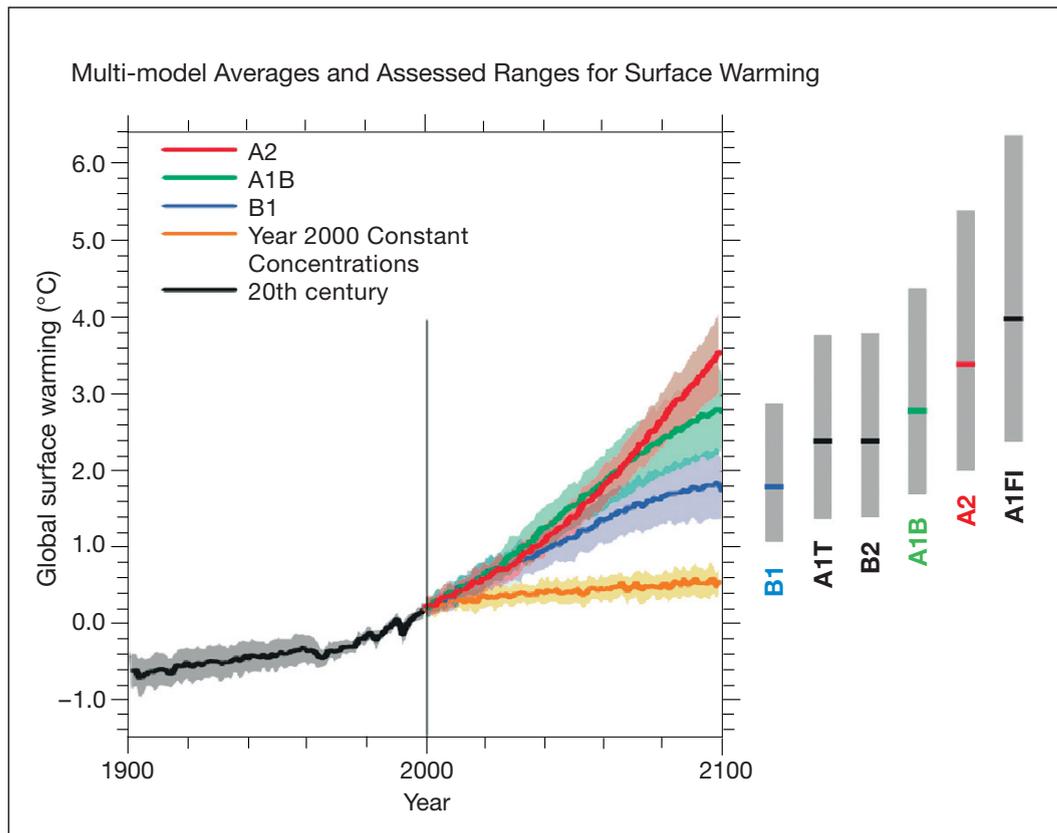


Bild 20: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur im 20. und 21. Jahrhundert in Abhängigkeit von verschiedenen SRES-Szenarien (IPCC, 2007a)

Fig. 20: Multi-model means for surface warming in the 20th- and 21th-century (compared with the 1980 – 1999 baseline period) for different SRES scenarios (IPCC, 2007a)

Bei den dem Bild 20 zugrundeliegenden Daten handelt es sich um die neuesten, im Februar 2007 vorgestellten Ergebnisse. Es sind Mittelwerte und zugehörige Spannweiten aus allen weltweit verfügbaren Klimamodellen (multi-model) dargestellt.

Beim Vergleich der in Bild 20 dargestellten Szenarien-Familien lässt sich feststellen, dass von den drei ausgewählten Szenarien das Szenario A2 mit einer Änderung von +3,4 °C die stärkste Erwärmung aufweist. Szenario B1 hat mit +1,8 °C Änderung die geringste Temperaturerwärmung zur Folge. Die Temperaturänderung von Szenario A1B liegt mit +2,8 °C zwischen derjenigen der beiden anderen Szenarien A2 und B1. Insgesamt lässt sich sagen, dass das Klimaszenario A2 das extremste Szenario ist, gefolgt von Szenario A1B und Szenario B1.

Die prognostizierten Temperaturerhöhungen haben weiterreichende Auswirkungen auf verschiedene Bereiche, die für Mensch und Umwelt relevant sind. IPCC Working Group II (IPCC, 2007b) bewertet zum ersten Mal die Klimafolgen im Zusammenhang mit der künftigen erwarteten Temperaturerhöhung in Hinblick auf z. B.

- Wasser und seine Verfügbarkeit (Hochwasser, Niedrigwasser)
- Ökosysteme (Tier- und Pflanzenbestand)
- Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion
- Gesundheit (Hitzewellen, Dürren, Epidemien) etc.

10.3 Ergebnisse regionaler Klimamodelle zum Klimawandel im Einzugsgebiet der Ruhr

Um die zukünftige klimatische Entwicklung und deren Auswirkungen auch regional abschätzen zu können, wurden in den letzten Jahren verschiedene Methoden entwickelt, um regional hoch aufgelöste Klimaszenarien aus den globalen Klimamodellen (bzw. den SRES-Szenarien) abzuleiten.

Im Rahmen des Programms „Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland“ wurden im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) mit den regionalen Klimamodellen REMO (s. Kapitel 10.3.1) und WETTREG (s. Kapitel 10.3.2) jeweils drei Klimaprojektionen für Deutschland abgeleitet. Die Berechnungen basieren auf Ergebnissen des am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg, entwickelten globalen Klimamodells ECHAM5/MPI-OM. Grundlage für die drei Projektionen bildeten die drei in Kapitel 10.2.1 beschriebenen SRES-Szenarien A1B, A2 und B1.

Die Berechnungsergebnisse dieser Klimaprojektionen werden zur Bewertung der Effekte möglicher Klimaänderungen auf das Ruhrtalsperrensystem herangezogen. Die REMO- und WETTREG-Datensätze wurden vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt und können frei zugänglich über die Climate and Environmental Data Retrieval and Archive (CERA) – Datenbank des World Data Center for Climate (WDCC) – bezogen werden¹.

In Kapitel 10.3.3 wird untersucht, wie die beiden Modelle WETTREG und REMO die drei SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 für das Ruhreinzugsgebiet abbilden. Die Datensätze der Modelle werden hinsichtlich der Temperatur- und Niederschlagsänderung insbesondere im Referenzzeitraum 1961 – 1995 ausgewertet, der auch die Grundlage für die Generierung der synthetischen Daten bildet.

10.3.1 Regionales Klimamodell REMO

Das regionale Klimamodell REMO (Regional Model) ist ein dynamisches Regionalisierungsverfahren, welches vom MPI-M entwickelt wurde (MPI, 2007). Es bildet die dynamischen Vorgänge in der Atmosphäre in deutlich höherer räumlicher Auflösung als die globalen Modelle ab. Das REMO-Modellgitter hat eine Auflösung von 10 x 10 km (Bild 21). Details zu dem Modell sind in UBA (2006) und MPI (2007) beschrieben. Der Modellierungszeitraum umfasst die Jahre von 1951 bis einschließlich 2100. Der Zeitraum von 1951 bis 2000 diente dabei als Kontrolllauf zur Validierung des Modells.

Für die Analyse der Temperatur- und Niederschlagsdatensätze wird das arithmetische Mittel aller im Ruhreinzugsgebiet gelegenen Rasterpunkte des Modells gebildet. Die entsprechenden Punkte sind in Bild 21 durch weiße Sterne gekennzeichnet.

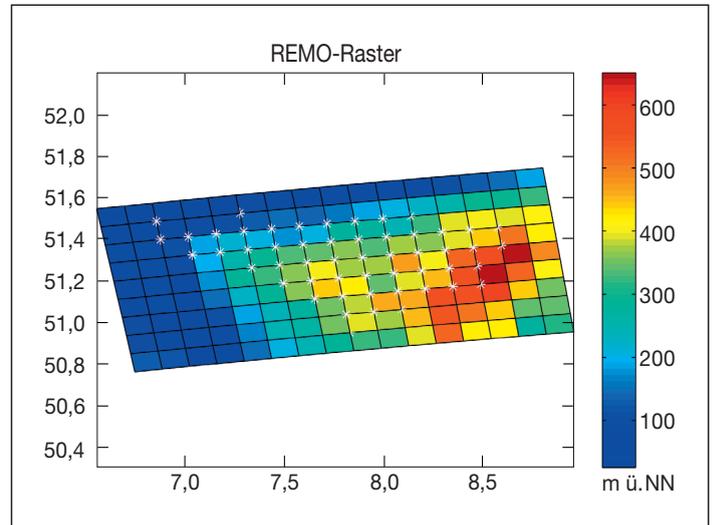


Bild 21: Räumliche Auflösung von REMO im Einzugsgebiet der Ruhr mit Geländehöhen

Fig. 21: Geographical resolution of the regional climate model REMO in the Ruhr catchment basin including topography

10.3.2 Regionales Klimamodell WETTREG

Von der Firma Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC) wurde das statistische Modell WETTREG entwickelt. Dieses Modell nutzt die statistischen Wechselbeziehungen bisheriger Klimabeobachtungen – vor allem den Einfluss der Großwetterlagen auf das Lokalklima. WETTREG arbeitet mit Stationsdaten von Klima- und Niederschlagsstationen. Die räumliche Auflösung ist dabei so groß, wie Messreihen dieser Stationen zur Verfügung stehen (UBA, 2007). Die vorliegenden Zeitreihen umfassen die Jahre 1961 bis einschließlich 2100, wobei der Zeitraum 1961 bis 2000 zur Validierung des Modells mit Hilfe von Klimadaten diente. Details zu dem Modell sind in UBA (2007) beschrieben.

Für die Analyse der WETTREG-Daten wird bei der Mittelwertbildung auf eine räumliche Interpolation der Stationswerte verzichtet, da im Untersuchungsgebiet keine wesentliche räumliche Variation der Temperatur- und Niederschlagsänderung unter den Stationen festgestellt werden kann. Es wird deswegen auf eine einfache arithmetische Mittelung der Stationsdaten im Ruhreinzugsgebiet zurückgegriffen. Für den Parameter Temperatur sind dies die Klimastationen Arnsberg, Brilon, Eslohe, Essen-Bredeneu und Siegen sowie für den Parameter Niederschlag die Stationen Brilon, Eslohe und Siegen.

10.3.3 Analyse der Ergebnisse von REMO und WETTREG

In diesem Kapitel wird überprüft, wie die beiden regionalen Modelle REMO und WETTREG die drei ausgewählten SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 (Kapitel 10.2.1) hinsichtlich Temperatur- und Niederschlagsänderungen für das Ruhreinzugsgebiet abbilden.

¹<http://cera-www.dkrz.de/CERA/index.html>

Temperaturänderung

In Bild 22 sind die Gebietsmittel der Temperaturänderungen der einzelnen Szenarien für das Ruhreinzugsgebiet dargestellt. Die Auswertung erfolgt für das 10-jährige Mittel. Je nach Szenario werden für das Ruhreinzugsgebiet Temperaturanstiege bis zum Jahre 2100 zwischen +2 und +3,5 °C prognostiziert.

Vergleich zwischen den REMO- und WETTREG-Ergebnissen:

- Die Kontrollrechnungen für den Zeitraum 1961 – 1995 zeigen eine gute Übereinstimmung.
- Die Temperaturänderungen werden in den einzelnen Szenarien konsistent prognostiziert. Insbesondere die Ergebnisse für Szenario B1 weisen eine hohe Übereinstimmung auf.
- Bei den Szenarien A1B und A2 fallen in REMO die Temperaturänderungen im Vergleich zu WETTREG ab dem Jahr 2050 um 0,5 bis 1,0 °C höher aus. Nach Aussage der Modellentwickler liegt dies daran, dass das Wetterlagenkonzept von WETTREG in der warmen Jahreszeit gegen Ende des Jahrhunderts an seine Grenzen stößt und dadurch eine leichte Unterschätzung der Temperaturentwicklung möglich scheint.

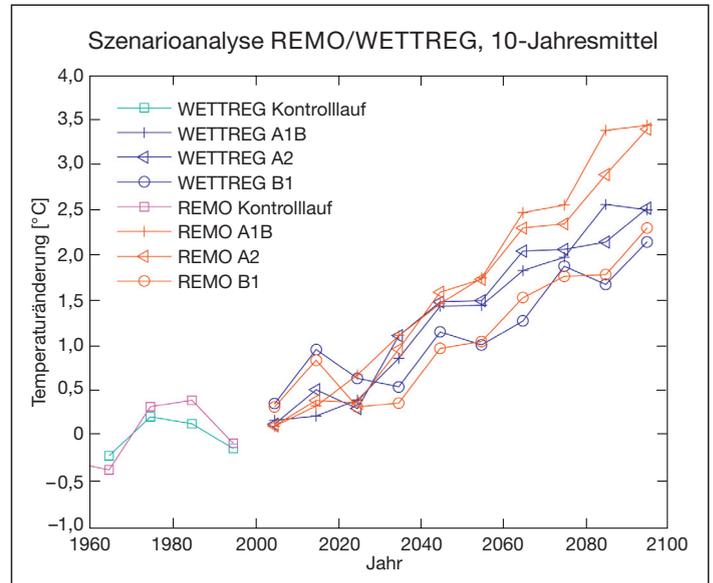


Bild 22: 10-jähriges Mittel der Jahresmitteltemperaturen im Ruhreinzugsgebiet von 1960 bis 2100: Ergebnisse der Modelle WETTREG und REMO für die SRES-Szenarien A1B, A2 und B1

Fig. 22: Ten-year mean of mean annual temperature in the Ruhr catchment basin from 1960 to 2100: Results of the regional models WETTREG and REMO for the SRES scenarios A1B, A2 and B1

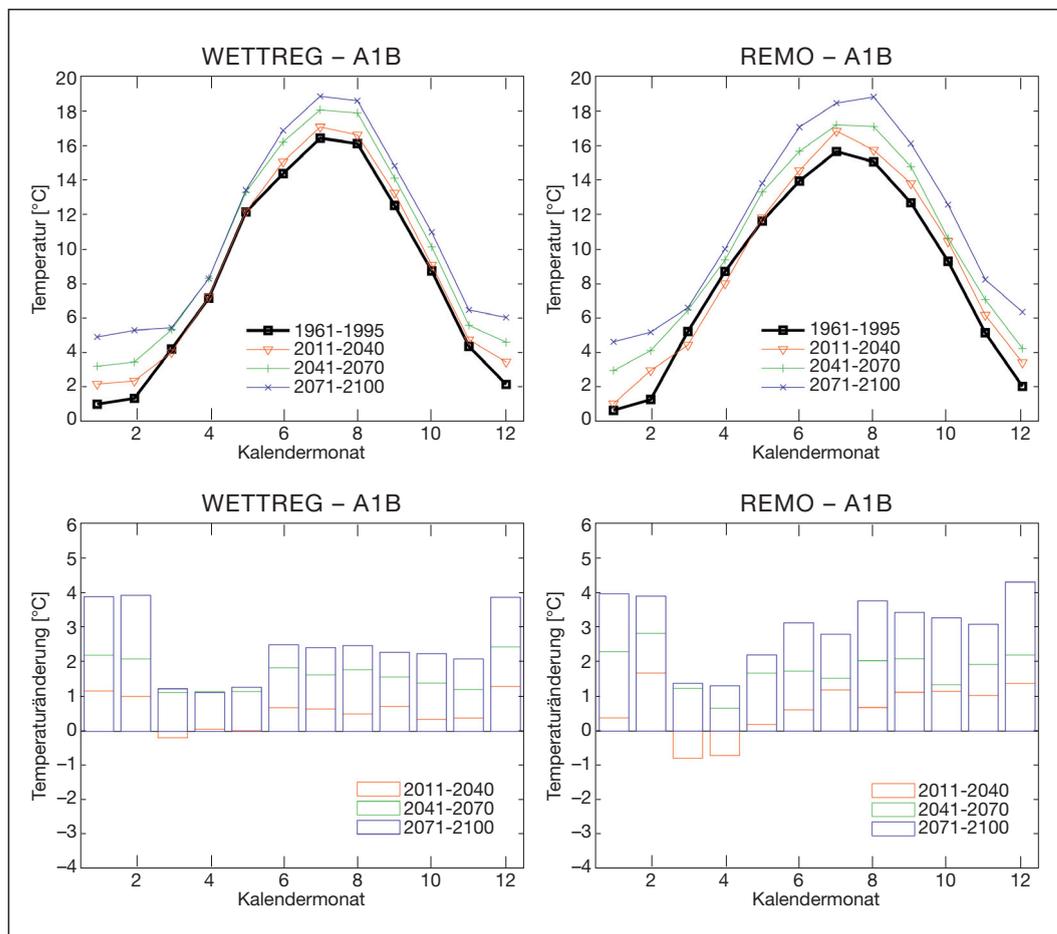


Bild 23: Mittlere Temperatur und Temperaturänderung im Ruhreinzugsgebiet getrennt nach Kalendermonaten für Szenario A1B

Fig. 23: Mean monthly temperature and changes of temperature in the Ruhr catchment basin taking the scenario A1B as an example

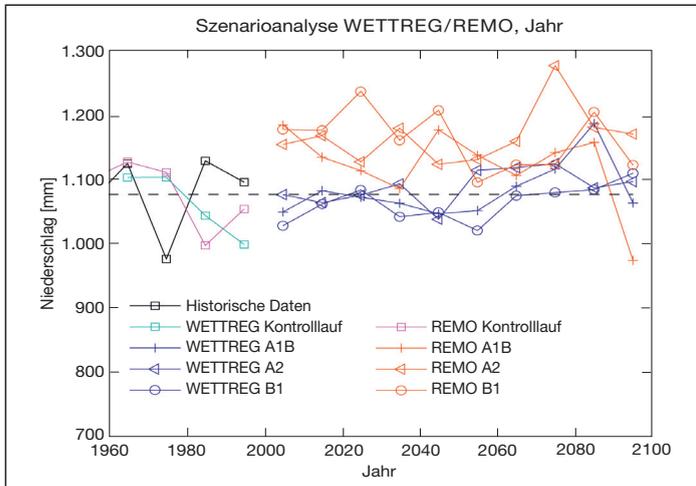


Bild 24: 10-jähriges Mittel der Jahresniederschlagssummen im Ruhreinzugsgebiet der Modelle WETTREG und REMO für die SRES-Szenarien A1B, A2 und B1
 Fig. 24: Ten-year mean of annual precipitation depth in the Ruhr catchment basin of the regional climate models WETTREG and REMO for the scenarios A1B, A2 and B1

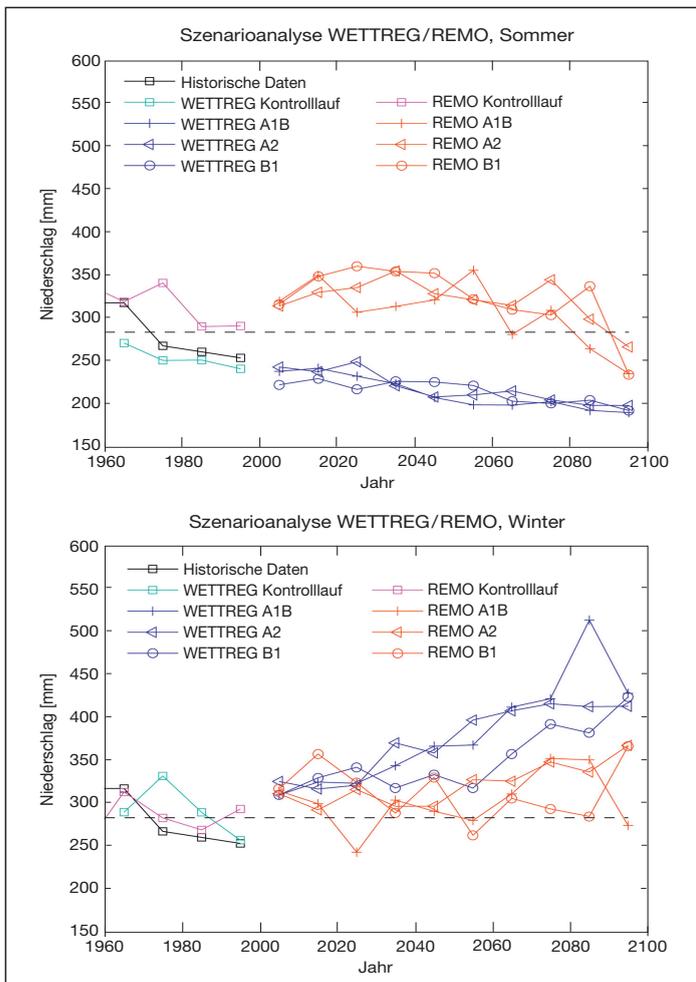


Bild 25: 10-jähriges Mittel der Niederschlagssummen in WETTREG und REMO im Sommer (oben) und Winter (unten)
 Fig. 25: Ten-year mean of precipitation depth during the summer (on top) and winter (at the bottom) as results of the regional models WETTREG and REMO

In Bild 23 sind die Ergebnisse für das Szenario A1B aus WETTREG und REMO getrennt nach Kalendermonaten dargestellt. Auf der oberen Abbildung ist die mittlere Temperatur als Ganglinie abgebildet, auf der unteren Abbildung die Temperaturänderung, jeweils in Bezug auf den Referenzzeitraum 1961–1995.

Für die Auswertung werden die Zeiträume 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100 verwendet, da auch der Deutsche Wetterdienst eine 30-jährige Zeitspanne, z. B. als Referenzperiode 1961–1990, für die Auswertung seiner Daten verwendet.

Bild 23 belegt, dass bei beiden Modellen der höchste Temperaturanstieg im Winter und der geringste im Frühjahr erfolgt. In beiden Modellen wird dies konsistent abgebildet.

Niederschlagsänderung

Grundsätzlich ist zu den Ergebnissen der Analyse der Niederschlagsänderungen zu bemerken, dass es sich beim Niederschlag um eine meteorologische Größe handelt, die sich im Vergleich zur Temperatur deutlich weniger genau modellieren lässt, da es generell das Wetterelement mit der größten raumzeitlichen Variationsbreite ist. Die Unsicherheit in den Niederschlägen ist somit in allen Modellen entsprechend größer.

Dies spiegelt sich auch in den in Bild 24 und Bild 25 dargestellten Ergebnissen zu den für das Ruhreinzugsgebiet projektierten Niederschlagssummen wider. So weisen die in Bild 24 dargestellten 10-jährigen Mittel der Jahresniederschlagssummen schon in den Kontrollläufen z.T. deutliche Unterschiede zwischen den beiden Modellen auf.

Vergleich der WETTREG- und REMO-Ergebnisse:

- Insgesamt weisen die Niederschlagssummen in den Kontrollberechnungen vergleichbare Werte auf, wenn auch die Unterschiede deutlich größer sind als bei den entsprechenden Temperaturergebnissen (vgl. Bild 22).
- Bei den Projektionen in die Zukunft schließen in Bild 24 die Niederschlagswerte der WETTREG-Szenarien in etwa auf dem Niveau der Kontrollläufe an, um dann im weiteren Verlauf leicht anzusteigen.
- Die REMO-Summen liegen dagegen etwa 80 mm höher und weisen einen Sprung im Vergleich zum Kontrolllauf auf. Zudem ist im REMO-A1B Szenario in der letzten Dekade (2091–2100) eine deutliche Verminderung der Niederschlagssumme von ca. 200 mm zu beobachten.

Insgesamt bleiben danach – unabhängig von den Klimaszenarien – die Jahresniederschläge im Ruhreinzugsgebiet bis Ende 2100 in etwa unverändert.

Betrachtet man die Niederschlagsänderungen getrennt nach Sommer und Winter in Bild 25 (die Definition der Jahreszeiten erfolgt dabei nach dem meteorologischen Kalender, d.h. der Sommer umfasst die Monate Juni, Juli und August, der Winter die Monate Dezember, Januar und Februar), so zeigt sich für das Einzugsgebiet der Ruhr generell ein leichter Rückgang im Sommer und ein deutlicher Anstieg der Niederschläge im Winter.

Es werden aber auch die deutlichen Unterschiede zwischen den in REMO und WETTREG für den Sommer prognostizierten Niederschlagssummen offensichtlich. Die Niederschlagserhöhung bis 2100 im Winter beträgt demnach in REMO ca. 50 mm und in WETTREG etwa 150 mm.

Bei der Analyse der monatlichen Niederschlagssummen von Szenario A1B lässt sich in WETTREG eine massive Umverteilung von Niederschlag aus dem Sommer in den Winter feststellen (siehe Bild 26). Dies entspricht nach CEC (2007) der Modelllogik von WETTREG, dass im Winter eine drastische Zunahme warmer Westwindwetterlagen und damit auch eine Zunahme von Niederschlägen erfolgt. Im Sommer hingegen sind warme Wetterlagen mit häufigeren Trockenperioden verbunden. In REMO tritt eine größere Umverteilung des Niederschlags aus dem Winter in den Sommer nur im Mittelungszeitraum 2071–2100 auf.

10.4 Klimafolgenanalyse für das Ruhrtalsperrensystem

Im Jahresbericht „Ruhrwassermenge 2005“ wurde eine Methodik zur Analyse der Betriebssicherheit des Ruhrtalsperrensystems vorgestellt. Die dazu benötigten langen Zeitreihen (10 x 1.000 Jahre) der Niederschlagssummen und der täglichen mittleren Temperatur wurden dabei mit Hilfe eines stochastischen Modells des Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) auf Tagesbasis erzeugt und als Eingangsdaten für die beim Ruhrverband im Rahmen der Talsperrenbewirtschaftung seit Jahren eingesetzten Wasserhaushalts- und Bewirtschaftungsmodelle verwendet (WL, 2006).

Das daraus resultierende an die aktuellen Verhältnisse im Ruhreinzugsgebiet angepasste Langfristmodell soll nun genutzt werden, um die Effekte von prognostizierten Klimaänderungen hinsichtlich der Sicherstellung der überregionalen Wasserversorgung zu analysieren.

Dazu wurden in einem ersten Schritt für das Ruhreinzugsgebiet Simulationen der drei REMO-Klimaszenarien A1B, A2 und B1 für den Zeitraum 1961–2100 durchgeführt. Die Berechnungen dienen einer Analyse möglicher Veränderungen des Wasserdargebots im Ruhreinzugsgebiet.

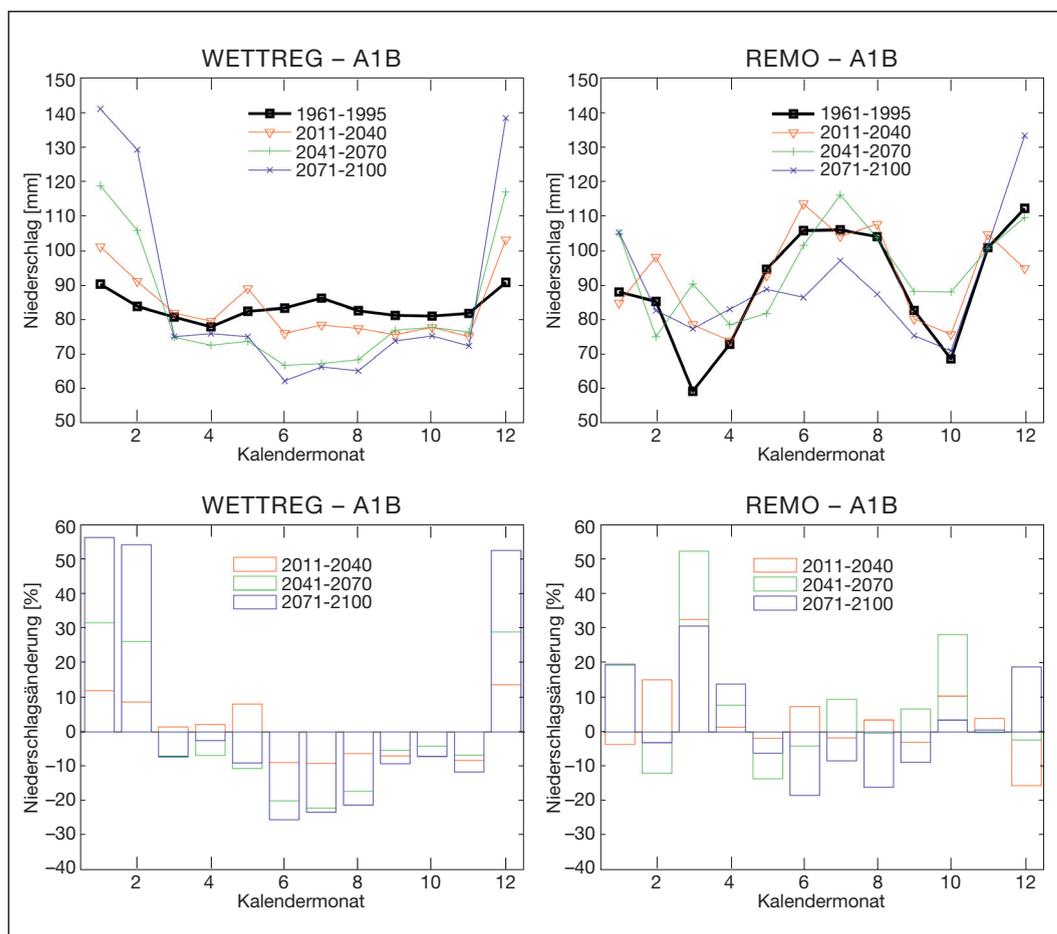


Bild 26: Monatliche Niederschlagssummen und deren Änderung für Szenario A1B aus WETTREG (links) und REMO (rechts)

Fig. 26: Monthly precipitation totals and changes in these totals for scenario A1B from WETTREG (left) and REMO (right)

Hierzu werden die vorhandenen hydrologischen Kontinuumsmodelle mit den von REMO prognostizierten Tageswerten von Lufttemperatur, spezifischer Luftfeuchte und Niederschlag als Eingangsgrößen verwendet (siehe Kapitel 10.4.1).

In einem zweiten Schritt wurden regionale Klimaszenarien aus dem vorhandenen regionalen Klimamodell REMO auf der Grundlage der in Kapitel 10.3.3 vorgestellten Ergebnisanalyse abgeleitet; dazu wurden die synthetischen Zeitreihen (10 x 1.000 Jahre) derart transformiert, dass sie die Effekte einer angenommenen Klimaänderung abbilden (Kapitel 10.4.3). Aufbauend darauf werden in einem letzten Schritt Langzeitsimulationen mit vier ausgewählten synthetischen Zeitreihen von jeweils 1.000 Jahren für die oben definierten Szenarien durchgeführt und die jeweilige Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls des Talsperrensystems im Vergleich zum Basis-Szenario S0, das den heutigen Ist-Zustand darstellt, analysiert (Kapitel 10.4.4).

10.4.1 Abschätzung der Auswirkungen von projizierten Klimaänderungen auf den Abfluss

Um die Veränderung der Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Ruhr abschätzen zu können, wurden hydrologische Simulationsberechnungen auf Tagesbasis mit den Flussgebietsmodellen des Ruhrverbands für den Zeitraum 1961–2100 durchgeführt. Als Antrieb für die hydrologischen Modelle wurden die vom regionalen Klimamodell REMO für die SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 (Kapitel 10.3.1) berechneten Tageswerte von Lufttemperatur, Niederschlag und spezifische Luftfeuchte verwendet. Die Simulationsberechnungen erfolgen für den Zeitraum 1961–2100, wobei die Daten von 1961–2000 für den Kontrolllauf und die Daten von 2001–2100 für die Szenarioberechnungen dienen. Die Durchführungen der Berechnungen mit Delft-FEWS ist in WL (2007) detailliert beschrieben.

Die Wasserentziehung wird für den gesamten Simulationszeitraum auf dem aktuellen Niveau von $8 \text{ m}^3/\text{s}$ fixiert. Eine mögliche zukünftige Veränderung der Wasserentziehung wird somit nicht berücksichtigt.

Ergebnisse

Als ein wesentliches Ergebnis der Simulation liefern die hydrologischen Modelle Abflussganglinien an allen in den Modellen diskretisierten Pegeln im Ruhreinzugsgebiet. Da die aufgrund einer Klimaänderung beobachteten relativen Veränderungen im Abfluss an allen Pegeln in etwa gleich ausfallen, beschränkt sich die Präsentation der Ergebnisse auf die Summe der Talsperrenzuläufe der sechs großen Talsperren Bigge, Verse, Ennepe, Möhne, Sorpe und Henne sowie auf den Pegel Hattingen, der den Gesamtabfluss im Einzugsgebiet repräsentiert.

Beispielhaft werden im Folgenden nur die Ergebnisse des „mittleren“ Szenarios A1B graphisch dargestellt, für die anderen beiden Szenarien A2 und B1 wird auf WL (2007) verwiesen. In Bild 27 ist zum einen der Abfluss am Pegel Hattingen (a), zum anderen der Gesamtzufluss zu den Talsperren (b) dargestellt. Die Abbildung beinhaltet die Jahresmittelwerte, die 10-Jahresmittel und die Mittel für die 30-jährigen Zeiträume 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100, sowie das Mittel für den Referenzzeitraum 1961–1995 der synthetischen Daten.

In Bild 28 sind zum einen die Monatsmittelwerte des Abflusses (Linien) und der Abflussänderung (Balken) am Pegel Hattingen (a) und des Gesamtzuflusses zu den Talsperren (b) für die Analysezeiträume 2011–2040, 2041–2070 und 2071–2100 in Bezug auf den Referenzzeitraum 1961–1995 dargestellt.

Vergleicht man die 30-Jahresmittel für **Szenario A1B** bleiben die Abflüsse im Zeitraum 2011–2070 in etwa auf demselben Niveau wie im Referenzzeitraum (Bild 27). In der letzten Periode 2071–2100 vermindert sich der Abfluss am Pegel Hattingen und der Gesamtzufluss zu den Talsperren – im Vergleich zum Bezugszeitraum – um jeweils ca. $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Betrachtet man die monatlichen Abflussänderungen in Bild 28, erfolgt für diese Periode im Herbst eine Abflussminderung am Pegel Hattingen von bis zu 40%. Dies resultiert u. a. aus den bereits in Kapitel 10.3.3 beschriebenen Niederschlagsänderungen und der gleichzeitig stattfindenden Temperaturerhöhung. Der Zufluss zu den Talsperren vermindert sich im Spät-

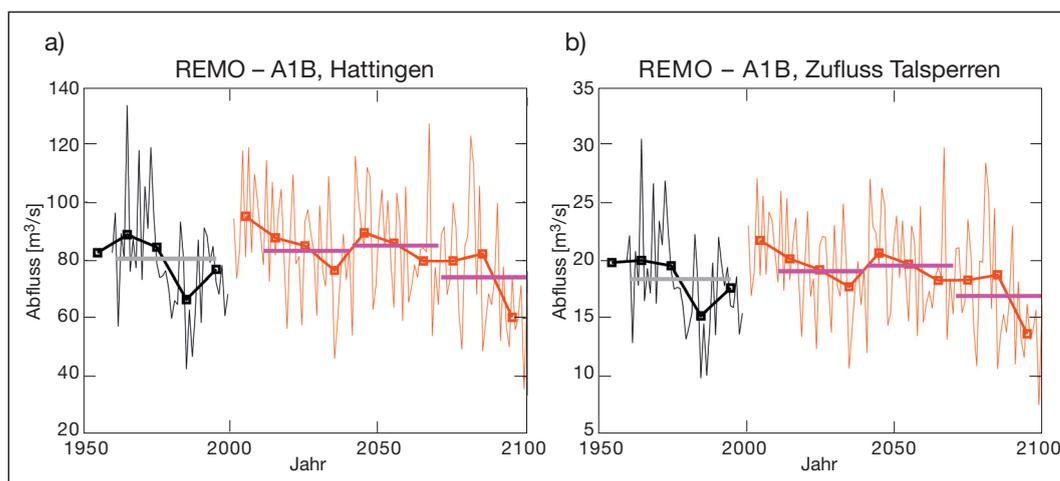


Bild 27: Abfluss am Pegel Hattingen (a) und Gesamtzufluss zu den Talsperren (b) für Szenario A1B aus REMO
Fig. 27: Mean annual runoff at the gauging station at Hattingen (a) and total inflow to the reservoirs (b) for scenario A1B from REMO

herbst um bis zu 45 %. Die Zunahme der Abflüsse in den Wintermonaten beruht auf der Steigerung der Niederschläge in diesem Zeitraum von bis zu 20 %.

Für **Szenario A2** ist bei Betrachtung des 30-jährigen Abflussmittels zwischen Kontrolllauf und Szenarienlauf ein Sprung zu beobachten, der auch in den Mittelwerten der Niederschlagsdaten auffiel (siehe Kapitel 10.3.3). Der Abfluss ist im Vergleich zum Zeitraum 2011–2040 im Referenzzeitraum am Pegel Hattingen im Mittel $10 \text{ m}^3/\text{s}$ niedriger. In den Szenarienläufen selbst ist kein eindeutiger Trend in den 30-jährigen Mitteln sowohl für den Pegel Hattingen als auch für den Gesamtzufluss der Talsperren ersichtlich. Betrachtet man die monatlichen Abflussänderungen, erfolgt für die verschiedenen Perioden im Winter und Frühjahr zumeist eine Abflusserhöhung von bis zu 45 %. Im Sommer und Herbst ist für den Zeitraum 2011–2040 eine Abflusszunahme von bis zu 30 % zu verzeichnen. Für die beiden anderen Zeiträume 2041–2070 und 2071–2100 ergeben sich Minderungen im monatlichen Abfluss von bis zu 15 %.

Auch bei **Szenario B1** ist bei Betrachtung des 30-jährigen Abflussmittels ein Anstieg des Niederschlags zwischen dem Kontrolllauf und dem Szenarienlauf zu beobachten. Der Abfluss im Referenzzeitraum am Pegel Hattingen ist im Mittel ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$ niedriger. Im Zeitraum 2041–2100 vermindert sich der Abfluss im Mittel von

ca. $100 \text{ m}^3/\text{s}$ auf knapp $90 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies ist auch im Gesamtzufluss der Talsperren zu erkennen. Dort liegt der mittlere Zufluss in den letzten 60 Jahren gleichbleibend bei ca. $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Betrachtet man die monatlichen Abflussänderungen, erfolgt für den Zeitraum 2011–2040 im gesamten Jahr eine Zunahme des Abflusses von bis zu 40 %. In der Periode 2041–2070 erhöhen sich die Abflüsse in allen Monaten um bis zu 25 %. Nur im Februar ist eine Minderung von 10 % zu verzeichnen. Im Zeitraum 2071–2100 ist im Herbst, Winter und Frühjahr eine Erhöhung des Abflusses von bis zu 30 % zu beobachten. Im Sommer nimmt der mittlere Abfluss dagegen um bis zu 20 % ab.

Diskussion der Ergebnisse

Die berechneten Abflüsse im Kontrollzeitraum erscheinen im Vergleich zu den Messungen des Ruhrverbands relativ hoch. Bei einer monatlichen Differenzierung gilt dies speziell für die Sommermonate. Diese Beobachtung ist konsistent mit der Analyse der von REMO berechneten Niederschläge, die insbesondere im Sommer im Vergleich zu Messungen des Ruhrverbands als zu hoch erachtet werden (siehe Kapitel 10.3). Auf einen direkten Vergleich mit gemessenen Abflüssen wird an dieser Stelle jedoch verzichtet, da dies eine Berücksichtigung des langjährigen Trends in der Wasserentziehung nötig machen würde, auf die bewusst verzichtet wurde, um den Effekt der Klimaänderung zu isolieren.

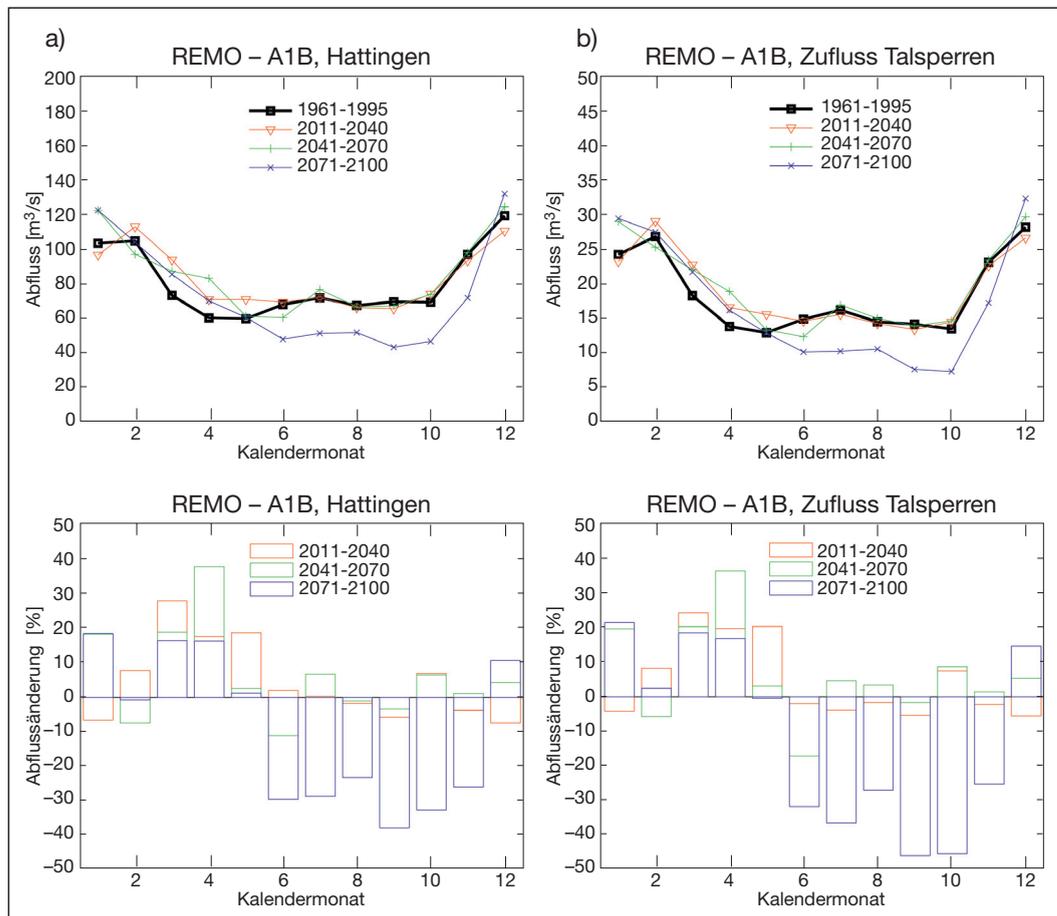


Bild 28: Monatsmittelwerte des Abflusses und der Abflussänderung am Pegel Hattingen (a) und Monatsmittelwerte des Gesamtzuflusses zu den Talsperren (b) bzw. deren prozentuale Änderung für Szenario A1B aus REMO

Fig. 28: Mean monthly runoff and changes in runoff at the gauging station at Hattingen (a) and mean monthly inflow to the reservoirs (b) resp. its percentual changes in this value for scenario A1B from REMO

Bei der Auswertung der Szenarien wird generell festgestellt, dass zwischen dem Zeitraum 2011–2040 und dem Referenzzeitraum 1961–1995 eine nochmalige Erhöhung des Abflusses beobachtet wird. Dies resultiert aus der Niederschlags-erhöhung (siehe Kapitel 10.3.3) im Übergang von der Kontrollrechnung auf die Szenarienberechnungen, die bisher nicht schlüssig erklärt werden kann und die möglicherweise auf eine Inkonsistenz im REMO-Modell hindeutet. Im weiteren Verlauf der Szenarioberechnung bis hin zum Zeitraum 2071–2100 verringert sich der Abfluss in den Szenarien A2 und B1 im Jahresmittel nur geringfügig, zeigt aber insbesondere im Sommer eine deutliche Abminderung, die auf die höhere Verdunstung als Effekt der Temperaturerhöhung zurückzuführen sein dürfte. In Szenario A1B verringert sich der Abfluss im Zeitraum 2071–2100 deutlich. Seine monatliche Differenzierung zeigt, dass dafür im Wesentlichen die Jahreszeiten Sommer und Herbst verantwortlich sind, die zu etwa gleichen Teilen auf geringere Niederschläge und eine höhere Verdunstung aufgrund der Temperaturerhöhung zurückzuführen sind.

10.4.2 Modellszenarien für die Langfristanalyse

Auf Grundlage der in Kapitel 10.3.3 erläuterten Analysen werden für die Untersuchung möglicher Klimaentwicklungen auf das Ruhrtalesperrsystem vier Modellszenarien definiert. Ursprünglich waren diese Berechnungen jeweils für die drei SRES-Szenarien A1B, A2 und B1 vorgesehen. Aufgrund der oben vorgestellten Analyse stellt es sich aber heraus, dass die Variation zwischen den Modellen WETTREG und REMO bei der Berechnung eines einzelnen Szenarios insbesondere beim Parameter Niederschlag größer ist als die Variation der drei Szenarien untereinander. Auf eine Differenzierung zwischen den einzelnen Emissionsszenarien wird deshalb verzichtet. Stattdessen wird auf das mittlere (und nach unserer Meinung wahrscheinlichste) Szenario A1B zurückgegriffen und jeweils für die Modelle REMO und WETTREG verwendet.

Um die relativ sicher eintretende Temperaturerhöhung und die relativ unsichere Niederschlagsentwicklung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Grenzleistungsfähigkeit des Talesperrsystems zu differenzieren, wurden das zweite und vierte regionale Klimaszenario nur mit einer Temperaturerhöhung definiert.

Die vier Szenarien ergeben sich somit wie folgt:

- K1: Niederschlags- und Temperaturänderung aus WETTREG
- K2: Temperaturänderung aus WETTREG, keine Niederschlagsänderung
- K3: Niederschlags- und Temperaturänderung aus REMO
- K4: Temperaturänderung aus REMO, keine Niederschlagsänderung

Mit den regionalen Klimaszenarien K2 und K4 kann abgeschätzt werden, wie sich allein eine Temperaturänderung auf das Einzugsgebiet auswirkt. Ein Vergleich zwischen K1 und K3 sowie K2 und K4 liefert darüber hinaus eine Abschätzung der Modellunsicherheiten der Regionalisierungsmethoden REMO und WETTREG.

10.4.3 Transformation der Klimadaten

Für die Berechnung der vier regionalen Klimaszenarien wurden synthetische Zeitreihen mit einer Länge von mehreren 1.000 Jahren derart transformiert, dass sie den möglichen Klimaänderungen im Vergleich zu einem Referenzzeitraum von 1961–1995 entsprechen.

Hierzu wird auf eine Methodik des Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, 2006) zurückgegriffen. Das Verfahren basiert auf einer relativ einfachen Skalierung von Tageswerten von Temperatur und Niederschlag. Dazu werden die folgenden Parameter bzw. deren Veränderung im Vergleich zu einem Referenzzeitraum benötigt:

ΔT_{50}	Median-Temperatur (°C)
ΔT_{90}	90-Perzentil-Temperatur (°C)
ΔT_{10}	10-Perzentil-Temperatur (°C)
ΔP_m	mittlerer Niederschlag (%)
ΔW	Frequenz nasser Tage (%)
ΔP_{mwd}	mittlerer Niederschlag (%), bezogen auf nasse Tage
ΔP_{50wd}	Median-Niederschlag (%), bezogen auf nasse Tage
ΔP_{99wd}	99-Perzentil der nassen Tage (%)

Der mittlere Niederschlag an nassen Tagen wird dabei als einziger Parameter nicht für die Transformation benötigt, da er sich bereits in der Frequenz der nassen Tage und dem mittleren Niederschlag widerspiegelt. Dieser Parameter kann später zur Kontrolle der Transformation herangezogen werden. Die KNMI-Transformation, angewandt auf die REMO- und WETTREG-Daten, ergibt die vorher beschriebenen statischen Parameter.

Die Parameter werden für die Zeiträume 1961–1995 und 2071–2100 erstellt und verglichen. Die Ergebnisse der Auswertung für das Szenario A1B sind in Tabelle 14 differenziert nach Jahreszeiten dargestellt. Die Jahreszeiten entsprechen dem meteorologischen

Tabelle 14: Statistische Parameter des Szenarios REMO-A1B für den Zeitraum 2071 bis 2100 bezogen auf den Zeitraum 1961 bis 1995
 Table 14: Statistical parameters of the REMO-A1B scenario for the period from 2071 to 2100 in comparison to the period from 1961 to 1995

Parameter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
ΔT_{50}	+1,61	+3,26	+3,03	+4,11	+3,00
ΔT_{90}	+2,10	+3,63	+3,73	+3,45	+3,21
ΔT_{10}	+2,26	+2,90	+3,74	+3,53	+3,11
ΔP_m	+9,85	-14,17	-1,74	+12,40	+0,86
ΔW	-0,51	-13,70	-4,58	+0,86	-4,64
ΔP_{mwd}	+10,43	-0,61	+2,97	+11,48	+5,82
ΔP_{50wd}	+17,68	-23,66	-2,47	+11,36	-0,52
ΔT_{99wd}	-11,12	+30,55	+9,25	+8,40	+9,95

Tabelle 15: Statistische Parameter des Szenarios WETTREG-A1B für den Zeitraum 2071 bis 2100 bezogen auf den Zeitraum 1961 bis 1995
 Table 15: Statistical parameters of the WETTREG-A1B scenario for the period from 2071 to 2100 in comparison to the period from 1961 to 1995

Parameter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahresmittel
ΔT_{50}	+1,12	+2,50	+2,12	+3,88	+2,41
ΔT_{90}	+1,28	+2,10	+2,04	+3,46	+2,22
ΔT_{10}	+1,12	+2,14	+2,14	+4,30	+2,43
ΔP_m	-6,15	-23,09	-9,21	+54,07	+5,01
ΔW	-7,38	-22,89	-9,72	+21,02	-3,84
ΔP_{mwd}	+1,49	-0,26	+0,91	+27,03	+7,17
ΔP_{50wd}	+4,03	-19,14	-4,35	+35,21	+3,21
ΔT_{99wd}	+4,40	+13,47	-1,58	+5,37	+5,45

Kalender, d.h. der Frühling umfasst die Monate März, April und Mai, der Sommer die Monate Juni, Juli und August, der Herbst die Monate September, Oktober und November und der Winter umfasst die Monate Dezember, Januar und Februar.

In allen Jahreszeiten ist ein genereller Temperaturanstieg zu verzeichnen. Im Jahresmittel steigt die Temperatur um ca. +3,0 °C an. Der größte Temperaturanstieg ist mit ca. +4,1 °C im Winter zu verzeichnen. Im Frühling wird ein Anstieg von +1,6 °C, im Sommer ca. +3,3 °C und im Herbst ca. +3,0 °C vorhergesagt. Der mittlere Niederschlag vermindert sich im Sommer um ca. 14,2 % und im Herbst um ca. 1,7 %, wogegen im Frühjahr ein Anstieg von 9,9 % und im Winter ein Anstieg von 12,4 % prognostiziert wird.

		ΔT_{50}	ΔT_{90}	ΔT_{10}	ΔP_m	ΔW	ΔP_{mwd}	ΔP_{50wd}	ΔT_{99wd}
Frühling	K1	+1.12	+1.28	+1.12	-6.15	-7.38	+1.49	+4.03	+4.40
	K2	+1.12	+1.28	+1.12	0	0	0	0	0
	K3	+1.61	+2.01	+2.26	+9.85	-0.51	+10.43	+17.68	-11.12
	K4	+1.61	+2.01	+2.26	0	0	0	0	0
Sommer	K1	+2.50	+2.10	+2.14	-23.09	-22.89	-0.26	-19.44	+13.47
	K2	+2.50	+2.10	+2.14	0	0	0	0	0
	K3	+3.26	+3.63	+2.90	-14.17	-13.70	-0.61	-23.66	+30.55
	K4	+3.26	+3.63	+2.90	0	0	0	0	0
Herbst	K1	+2.12	+2.04	+2.14	-9.21	-9.72	+0.91	-4.35	-1.58
	K2	+2.12	+2.04	+2.14	0	0	0	0	0
	K3	+3.03	+3.73	+3.74	-1.74	-4.58	+2.97	-2.47	+9.25
	K4	+3.03	+3.73	+3.74	0	0	0	0	0
Winter	K1	+3.88	+3.46	+4.30	+54.07	+21.02	+27.03	+35.21	+5.37
	K2	+3.88	+3.46	+4.30	0	0	0	0	0
	K3	+4.11	+3.45	+3.53	+12.40	+0.86	+11.48	+11.36	+8.40
	K4	+4.11	+3.45	+3.53	0	0	0	0	0

Die Parameter wurden analog zum beschriebenen Vorgehen auch für WETTREG ausgewertet und sind in Tabelle 15 dargestellt. In allen Jahreszeiten ist ein genereller Temperaturanstieg zu verzeichnen. Im Jahresmittel steigt die Temperatur um ca. +2,4 °C an. Der größte Temperaturanstieg ist mit ca. 3,9 °C im Winter zu verzeichnen. Im Frühling wird ein Anstieg von +1,1 °C, im Sommer ca. +2,5 °C und im Herbst ca. +2,1 °C vorhergesagt. Der mittlere Niederschlag vermindert sich im Frühling um ca. 6,2 %, im Sommer um ca. 23,1 % und im Herbst um ca. 9,2 %, wogegen im Winter ein Anstieg von 54,1 % prognostiziert wird. Im Jahresmittel steigt der mittlere Niederschlag um 5,0 % an.

Zur Übersicht sind die Parameteränderungen für die vier für die Langfristanalyse definierten regionalen Klimaszenarien in Tabelle 16 zusammengestellt.

Die beschriebene Transformationsmethodik wird als neues Modul in das vorhandene Analysewerkzeug implementiert. Es können nun sowohl historische als auch synthetische Zeitreihen derart transformiert werden, dass sie die Effekte einer angenommenen Klimaänderung abbilden. Die Klimaänderung wird dabei über eine konfigurierbare Datei mit der Änderung der statistischen Parameter des entsprechenden Klimaszenarios beschrieben. Nähere Informationen dazu finden sich in WL (2007).

Tabelle 16: Zusammenstellung der statistischen Parameter für die regionalen Klimaszenarien K1, K2, K3 und K4 geordnet nach Jahreszeiten

Table 16: Summary of the statistical parameters of the four seasons for the regional scenarios K1, K2, K3 and K4

Tabelle 17: Übersicht der regionalen Klimaszenarien für die Langzeitsimulationen
 Table 17: List of regional climate scenarios

Szenario	Bemerkung
S0 – Basisszenario	Referenzberechnung: aktuelle Bewirtschaftungsregeln, Entziehung 8 m ³ /s
K1 – Regionales Klimaszenario 1	SRES–Szenario A1B, Parameter aus WETTREG
K2 – Regionales Klimaszenario 2	SRES–Szenario A1B, nur Temperaturänderungsparameter aus WETTREG
K3 – Regionales Klimaszenario 3	SRES–Szenario A1B, Parameter aus REMO
K4 – Regionales Klimaszenario 4	SRES–Szenario A1B, nur Temperaturänderungsparameter aus REMO

10.4.4 Ergebnisse der Langzeitsimulationsrechnungen

Zur Abschätzung der Folgen einer möglichen Klimaänderung für das Ruhrtalsperrensystem wurden vier Langzeitsimulationen durchgeführt. Die vier zugrundeliegenden Modellszenarien basieren auf dem SRES-Szenario A1B in Kombination mit den Ergebnissen aus den regionalen Klimamodellen WETTREG und REMO. Tabelle 17 gibt einen Überblick über die berechneten regionalen Klimaszenarien, zusätzlich ist das zu Vergleichszwecken verwendete Basis-szenario S0 aufgelistet. Für die Berechnung der Szenarien werden die vier synthetischen Zeitreihen R2, R3, R6 und R9 verwendet (siehe WL, 2006). Die Simulationsdauer beträgt somit insgesamt 4.000 Jahre. Ein Ausfall einer Talsperre wird dann festgestellt, wenn der Inhalt der Talsperre 2 % des vorhandenen Speichervolumens unterschreitet.

Die regionalen Klimaszenarien K1 bis K4 basieren auf dem Basis-szenario S0 (vgl. Ruhrwassermenge 2005) und geben somit hinsichtlich der Talsperrenbewirtschaftung und Wasserentziehung

Tabelle 18: Ausfallereignisse der Talsperren im regionalen Klimaszenario K1 im Vergleich zu S0 (in Klammern)
 Table 18: Failure statistics for regional scenario K1

Talsperre	Unterschreitungsdauer K1 (S0) in Tagen	Anzahl Ereignisse K1 (S0)	Wiederkehrintervall K1 (S0) in Jahren
Henne	567 (890)	9 (8)	444 (500)
Möhne	354 (703)	8 (8)	500 (500)
Sorpe	303 (739)	7 (7)	571 (571)
Ennepe	0 (0)	0 (0)	– (–)
Verse	0 (0)	0 (0)	– (–)
Bigge	0 (0)	0 (0)	– (–)

den aktuellen Systemzustand wieder. Eine mögliche Änderung in der Wasserentziehung/-entnahme aufgrund von Klimaänderungen in der Zukunft wird nicht berücksichtigt. Für die Klimatransformation werden die jahreszeitlichen Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsparameter aus WETTREG für das SRES-Szenario A1B für K1 bis K4 herangezogen (siehe Tabelle 16).

Regionales Klimaszenario K1

Die im Zeitraum von 4.000 Jahren auftretenden Ausfallereignisse sind in Tabelle 18 im Vergleich zu Szenario S0 zusammengestellt.

Ausfallereignisse treten nur in der Nordgruppe auf. Bei der Anzahl der Ausfallereignisse ergibt sich nur eine geringfügige Änderung. Beim regionalen Klimaszenario K1 weisen die Sorpe- und Möhnetalsperre im Vergleich zu Szenario S0 mit sieben bzw. acht Fällen die gleiche Anzahl Ausfallereignisse auf. Die Wiederkehrintervalle betragen 571 und 500 Jahre. Die Hennetalsperre fällt neunmal aus, einmal mehr als im Basisszenario. Das Wiederkehrintervall verringert sich von 500 auf 444 Jahre.

Die Unterschreitungsdauer der Ereignisse, d.h. der Zeitraum mit einer leeren Talsperre, verringert sich bei einigen Talsperren um mehr als die Hälfte. Für das Klimaszenario K1 beträgt die Unterschreitungsdauer an der Henne 567 Tage. Sie verringert sich somit

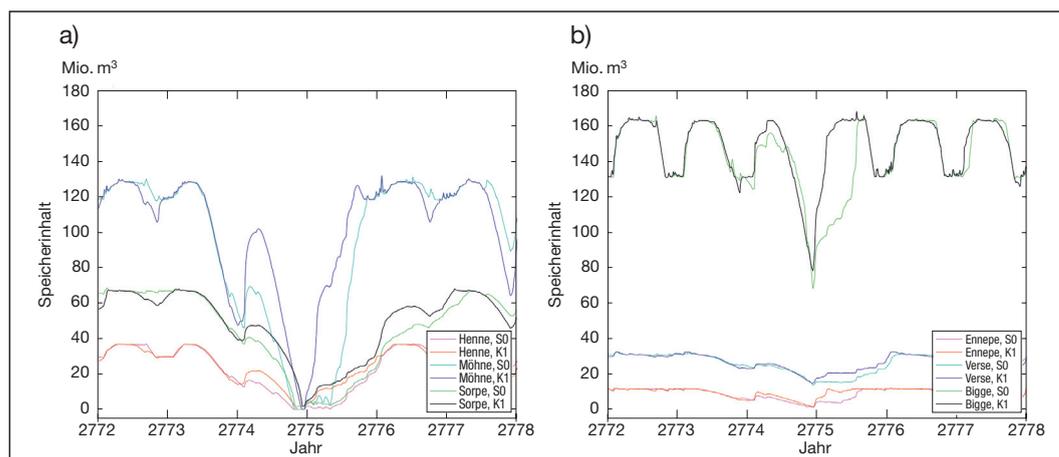


Bild 29: Regionales Klimaszenario K1: Ganglinien der Speicherinhalte der Talsperren in der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b) im Vergleich zu Szenario S0

Fig. 29: Regional scenario K1: Hydrographs showing the storage volume of the northern (a) and southern (b) group of reservoirs

Tabelle 19: Ausfallereignisse der Talsperren im regionalen Klimaszenario K2
 Table 19: Failure statistics for regional scenario K2

Talsperre	Unterschreitungsdauer K2 (S0) in Tagen	Anzahl Ereignisse K2 (S0)	Wiederkehrintervall K2 (S0) in Jahren
Henne	3.009 (890)	17 (8)	235 (500)
Möhne	2.779 (703)	18 (8)	222 (500)
Sorpe	2.705 (739)	16 (7)	250 (571)
Ennepe	465 (0)	8 (0)	500 (-)
Verse	324 (0)	3 (0)	1.333 (-)
Bigge	340 (0)	4 (0)	1.000 (-)

im Vergleich zu Szenario S0 um ca. 36 %. Die Unterschreitungsdauer an der Möhnetalsperre verringert sich um die Hälfte auf 354 Tage, die an der Sorpetalsperre verringert sich um ca. 59 % und beträgt 303 Tage.

In Bild 29 sind die Speicherinhaltsganglinien der Talsperren der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b) für ein Ausfallereignis in der Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 im Vergleich zum Basisszenario S0 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Talsperren aufgrund der Veränderung der Niederschlagsverteilung im Sommer stärker belastet und im Winter schneller wieder aufgefüllt werden. Dies erklärt die geringeren Unterschreitungsdauern im Vergleich zum Basisszenario bei einer in etwa gleichen Anzahl von Ausfallereignissen. In Bild 30 ist dies für die Möhne- und Biggetalsperre beispielhaft dargestellt. Es werden wie bereits zuvor ein Ausfallereignis in der Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 (a) und ein Ausfallereignis in der Reihe R3 um das Jahr 2244 (b) betrachtet. Deutlich ist in beiden Fällen die starke Wiederbefüllung im Winter zu erkennen.

Regionales Klimaszenario K2

Die im Zeitraum von 4.000 Jahren vorhandenen Ausfallereignisse sind in Tabelle 19 im Vergleich zu Szenario S0 zusammengestellt.

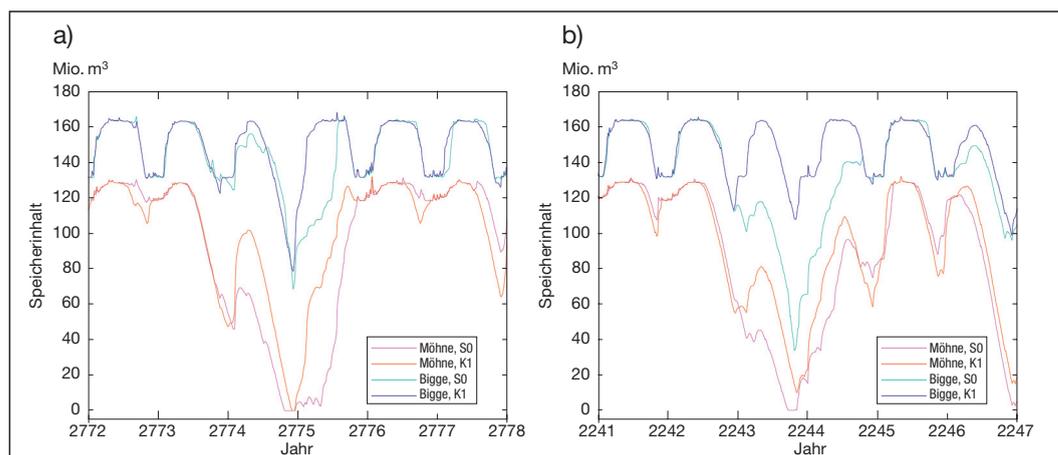


Bild 30: Regionales Klimaszenario K1: Ganglinien der Speicherinhalte der Möhne- und Biggetalsperre anhand von zwei Ausfallereignissen

Fig. 30: Regional scenario K1: Hydrographs of the storage volume during two system failures at the Moehne and Bigge reservoirs

Ausfälle treten sowohl in der Nord- als auch in der Südgruppe auf. Im Vergleich zu Szenario S0 verdoppelt sich die Anzahl der Ereignisse. Die Hennetalsperre weist im Szenario K2 17 Ausfallereignisse auf, die Möhne- und Sorpetalsperre weisen 18 bzw. 16 Ereignisse auf. Das Wiederkehrintervall verringert sich bei der Hennetalsperre von 500 auf 235 Jahre, bei der Möhnetalsperre von 500 auf 222 und bei der Sorpetalsperre von 571 auf 250 Jahre. Die Unterschreitungsdauer bei den Talsperren beträgt ungefähr das Vierfache von der jeweiligen Unterschreitungsdauer der Talsperren im Ist-Zustand.

Erstmals treten auch Ausfallereignisse in der Südgruppe als Folge des Ausfalls der Nordgruppe auf. In den 4.000 simulierten Jahren fällt die Ennepetalsperre insgesamt achtmal aus. Damit ergibt sich ein Wiederkehrintervall von 500 Jahren. Die Unterschreitungsdauer umfasst 465 Tage. Die Versetalsperre fällt dreimal aus, dies entspricht einem Wiederkehrintervall von 1.333 Jahren. Die Unterschreitungsdauer beträgt 324 Tage. Die Biggetalsperre weist vier Ausfallereignisse auf. Das Wiederkehrintervall beträgt 1.000 Jahre, die Unterschreitungsdauer liegt bei 340 Tagen.

In Bild 31 sind die Speicherinhaltsganglinien der Talsperren der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b) für das schon bei dem vorhergehenden Szenario beschriebene Ausfallereignis in der Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 im Vergleich zum Basisszenario S0 dargestellt.

Sowohl in der Nordgruppe als auch in der Südgruppe ist eine deutliche Mehrbelastung zu erkennen.

Regionales Klimaszenario K3

Die im Zeitraum von 4.000 Jahren vorhandenen Ausfallereignisse sind in Tabelle 20 im Vergleich zu Szenario S0 zusammengestellt.

Ausfallereignisse treten sowohl in der Nord- als auch in der Südgruppe auf. Im Vergleich zu Szenario S0 ergeben sich deutlich mehr Ausfälle.

Henne- und Möhnetalsperre weisen jeweils 21 Ausfälle auf.

Tabelle 20: Ausfallereignisse der Talsperren im regionalen Klimaszenario K3
 Table 20: Failure statistics for regional scenario K3

Talsperre	Unterschreitungsdauer K3 (S0) in Tagen	Anzahl Ereignisse K3 (S0)	Wiederkehrintervall K3 (S0) in Jahren
Henne	3.160 (890)	21 (8)	190 (500)
Möhne	2.716 (703)	21 (8)	190 (500)
Sorpe	2.734 (739)	20 (7)	200 (571)
Ennepe	564 (0)	9 (0)	444 (-)
Verse	473 (0)	3 (0)	1.333 (-)
Bigge	446 (0)	5 (0)	800 (-)

Bei Szenario S0 ergeben sich im Vergleich dazu 8 Ausfallereignisse. Das Wiederkehrintervall verringert sich von 500 auf 190 Jahre. Die Anzahl der Ausfälle der Sorpetalsperre steigt von 7 auf 20, das Wiederkehrintervall verringert sich damit von 571 auf 200 Jahre. Alle Talsperren der Südgruppe weisen in Szenario K3 Ausfälle auf. Die Ennepetalsperre fällt neunmal aus und weist ein Wiederkehrintervall von 444 Jahren auf. Die Versetalsperre fällt dreimal aus. Hier ergibt sich ein Wiederkehrintervall von 1.333 Jahren. Die Biggetalsperre fällt fünfmal aus, das Wiederkehrintervall beträgt 800 Jahre.

Auch die Unterschreitungsdauern sind im Vergleich zu Szenario S0 deutlich gestiegen. Für die Hennetalsperre ergibt sich mit 3.160 Tagen eine Erhöhung um ca. 355 %. Die Unterschreitungsdauer der Ausfallereignisse an der Möhnetalsperre umfasst 2.716 Tage und ist im Vergleich zum Basisszenario um ca. 386 % gestiegen. Die Unterschreitungsdauer der Sorpetalsperre wächst um ca. 370 % auf 2.734 Tage. Ennepe-, Verse- und Biggetalsperre weisen Unterschreitungsdauern zwischen 440 und 570 Tagen auf. In Bild 32 sind die Speicherinhaltsganglinien der Talsperren der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b) für das schon bei den vorhergehenden Szenarien beschriebene Ausfallereignis in der Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 im Vergleich zum Basisszenario S0 dargestellt.

Sowohl in der Nordgruppe als auch in der Südgruppe ist eine deutliche Mehrbelastung zu erkennen.

Regionales Klimaszenario K 4

Die im Zeitraum von 4.000 Jahren vorhandenen Ausfallereignisse sind in Tabelle 21 im Vergleich zu Szenario S0 zusammengestellt.

Ausfallereignisse treten sowohl in der Nord- als auch in der Südgruppe auf. Im Vergleich zu Szenario S0 erhöht sich die Anzahl

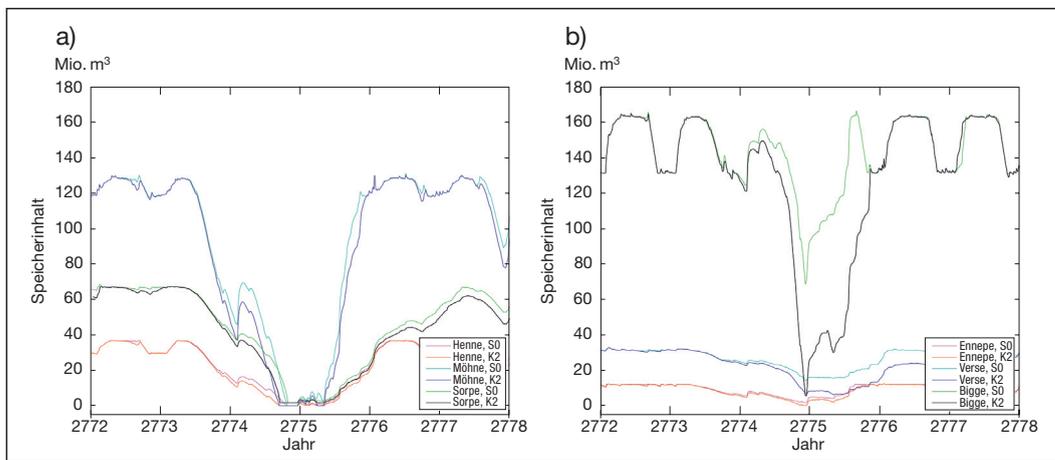


Bild 31: Regionales Klimaszenario K2: Ganglinien der Speicherinhalte der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b)

Fig. 31: Regional scenario K2: Hydrographs showing the storage volume of the northern (a) and southern (b) group of reservoirs

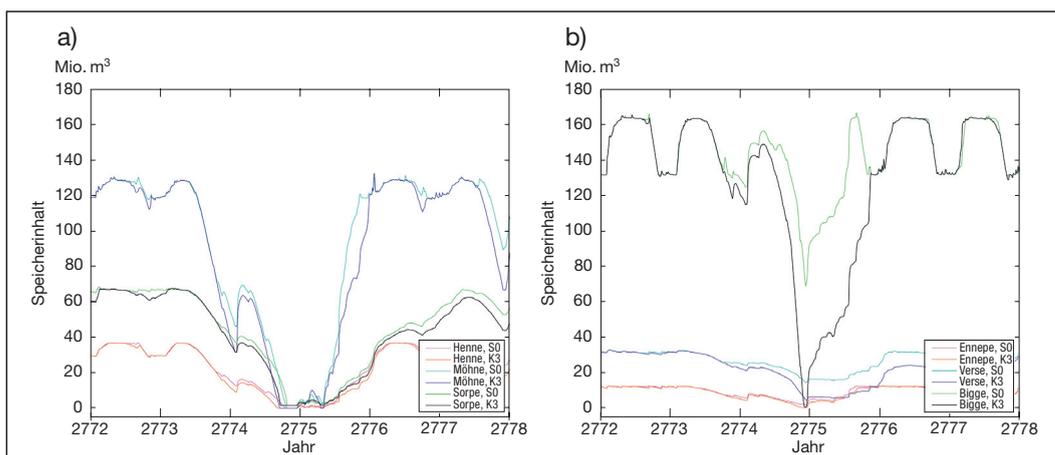


Bild 32: Regionales Klimaszenario K3: Ganglinien der Speicherinhalte der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b)

Fig. 32: Regional scenario K3: Hydrographs showing the storage volume of the northern (a) and southern (b) group of reservoirs

Tabelle 21: Ausfallereignisse der Talsperren im regionalen Klimaszenario K4
 Table 21: Failure statistics for regional scenario K4

Talsperre	Unterschreitungsdauer K4 (S0) in Tagen	Anzahl Ereignisse K4 (S0)	Wiederkehrintervall K4 (S0) in Jahren
Henne	4.373 (890)	22 (8)	182 (500)
Möhne	3.983 (703)	21 (8)	190 (500)
Sorpe	4.309 (739)	19 (7)	211 (571)
Ennepe	888 (0)	11 (0)	364 (-)
Verse	724 (0)	4 (0)	1.000 (-)
Bigge	709 (0)	10 (0)	400 (-)

der Ereignisse in der Nordgruppe um beinahe das Dreifache. Die Hennetalsperre weist bei K4 22 Ausfälle auf, die Möhne- und Sorpetalsperre weisen 21 bzw. 19 Ereignisse auf.

Das Wiederkehrintervall verringert sich damit bei der Hennetalsperre von 500 auf 182 Jahre, bei der Möhnetalsperre von 500 auf 190 und bei der Sorpetalsperre von 571 auf 211 Jahre. Die Unterschreitungsdauer bei den Talsperren beträgt das Fünf- bis Sechsfache von der jeweiligen Unterschreitungsdauer der Talsperren im Ist-Zustand.

Wie bei K2 treten in Szenario K4 – als Folge des Ausfalls der Nordgruppe – auch Ausfälle in der Südgruppe auf. In den 4.000 simulierten Jahren fällt die Ennepetalsperre insgesamt elfmal aus, damit ergibt sich ein Wiederkehrintervall von 364 Jahren. Die Unterschreitungsdauer umfasst 888 Tage. Die Versetalsperre fällt viermal aus, dies entspricht einem Wiederkehrintervall von 1.000 Jahren. Die Unterschreitungsdauer beträgt 724 Tage. Die Biggetalsperre weist 10 Ausfallereignisse auf. Das Wiederkehrintervall beträgt 400 Jahre, die Unterschreitungsdauer liegt bei 709 Tagen. In Bild 33 sind die Speicherinhaltsganglinien der Talsperren der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b) für das schon bei den vorhergehenden Szenarien beschriebene Ausfallereignis in der Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 im Vergleich zum Basisszenario S0 dargestellt.

Sowohl in der Nordgruppe als auch in der Südgruppe ist eine deutliche Mehrbelastung zu erkennen.

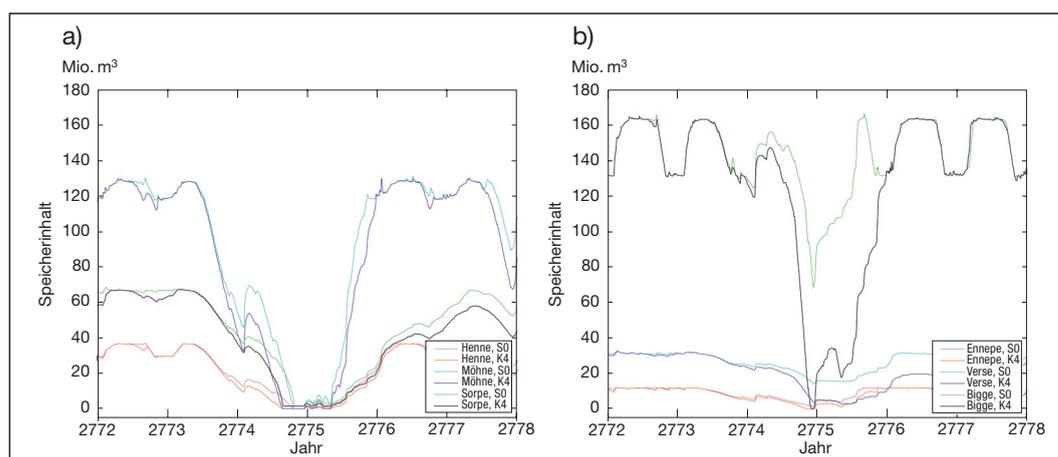


Bild 33: Regionales Klimaszenario K4: Ganglinien der Speicherinhalte der Nordgruppe (a) und der Südgruppe (b)

Fig. 33: Regional scenario K4: Hydrographs showing the storage volume of the northern (a) and southern (b) group of reservoirs

10.4.5 Diskussion der Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien

Die Tabellen 22 bis 27 geben die Ausfallereignisse an allen Talsperren für den Ist-Zustand und die vier regionalen Klimaszenarien zusammenfassend wieder. Die Ergebnisse beziehen sich auf die Analyse der Zeitreihen R2, R3, R6 und R9, d. h. auf einen Simulationszeitraum von 4.000 Jahren. Ein Ausfallereignis tritt ein, wenn der Speicherinhalt einer Talsperre 2% des möglichen Speichervolumens unterschreitet.

In Bild 34 sind die beiden Ausfallereignisse in Zeitreihe R9 um das Jahr 2775 (a) und in Zeitreihe R3 um das Jahr 2244 (b) für die Möhnetalsperre für die vier regionalen Klimaszenarien und das Basisszenario S0 vergleichend dargestellt. Bild 35 zeigt dieselben Ereignisse für die Biggetalsperre in der Südgruppe.

Die regionalen Klimaszenarien K2, K3 und K4 sind in ihren Auswirkungen auf das Talsperrensystem der Ruhr deutlich extremer als Szenario K1. Im Vergleich zum Basisszenario S0 wirkt sich das Regionalszenario K1 sogar leicht entlastend auf die Talsperren aus.

Für das regionale Klimaszenario K1 werden die Niederschlags- und Temperaturänderungsparameter aus den WETTREG-Ergebnissen übernommen (Tabelle 16). Im Frühling, Sommer und Herbst fällt bis zu -23% weniger Niederschlag, dafür erhöht sich der Niederschlag im Winter um +54%. Die Klimaerwärmung ist mit +4°C im Winter am höchsten. In dieser Jahreszeit hat eine Erwärmung jedoch einen geringeren Einfluss auf die Verdunstung als im Sommer. Die Verschiebung von Niederschlag vom Sommer in den Winter sowie die leichte Erhöhung der Jahresniederschläge führen somit insgesamt zu einer Erhöhung des Wasserdargebots. Ein weiterer Effekt der Niederschlagsverschiebung vom Sommer in den Winter ist die stärkere Belastung der Talsperren im Sommer und deren schnellere Wiederbefüllung im Winter. Dies führt zu kürzeren Ausfallereignissen und spiegelt sich in der starken Verringerung der Unterschreitungsdauern wider. Die Anzahl dieser kürzeren Ausfallereignisse reduziert sich nur leicht.

Beim regionalen Klimaszenario K2 werden nur die Temperaturänderungsparameter aus den WETTREG-Ergebnissen berücksichtigt.

Tabelle 22: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Hennetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 22: Summary of the failure statistics of the Henne reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	890	8	500
K1	WETTREG (N, T)	567	9	444
K2	WETTREG (T)	3.009	17	235
K3	REMO (N, T)	3.160	21	190
K4	REMO (T)	4.373	22	182

Tabelle 23: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Möhnetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 23: Summary of the failure statistics of the Moehne reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	703	8	500
K1	WETTREG (N, T)	354	8	500
K2	WETTREG (T)	2.779	18	222
K3	REMO (N, T)	2.716	21	190
K4	REMO (T)	3.983	21	190

Tabelle 24: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Sorpetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 24: Summary of the failure statistics of the Sorpe reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	739	7	571
K1	WETTREG (N, T)	303	7	571
K2	WETTREG (T)	2.705	16	250
K3	REMO (N, T)	2.734	20	200
K4	REMO (T)	4.309	19	211

Tabelle 25: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Ennepetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 25: Summary of the failure statistics of the Ennepe reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	0	0	–
K1	WETTREG (N, T)	0	0	–
K2	WETTREG (T)	465	8	500
K3	REMO (N, T)	564	9	444
K4	REMO (T)	888	11	364

Tabelle 26: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Versetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 26: Summary of the failure statistics of the Verse reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	0	0	–
K1	WETTREG (N, T)	0	0	–
K2	WETTREG (T)	324	3	1.333
K3	REMO (N, T)	473	3	1.333
K4	REMO (T)	724	4	1.000

Tabelle 27: Zusammenstellung der Ausfallereignisse der Biggetalsperre für alle regionalen Klimaszenarien

Table 27: Summary of the failure statistics of the Bigge reservoir for all regional scenarios

Szenario	Beschreibung	Unterschreitungs- dauer in Tagen	Anzahl Ereignisse	Wiederkehrintervall in Jahren
S0	Ist-Zustand	0	0	–
K1	WETTREG (N, T)	0	0	–
K2	WETTREG (T)	340	4	1.000
K3	REMO (N, T)	446	5	800
K4	REMO (T)	709	10	400

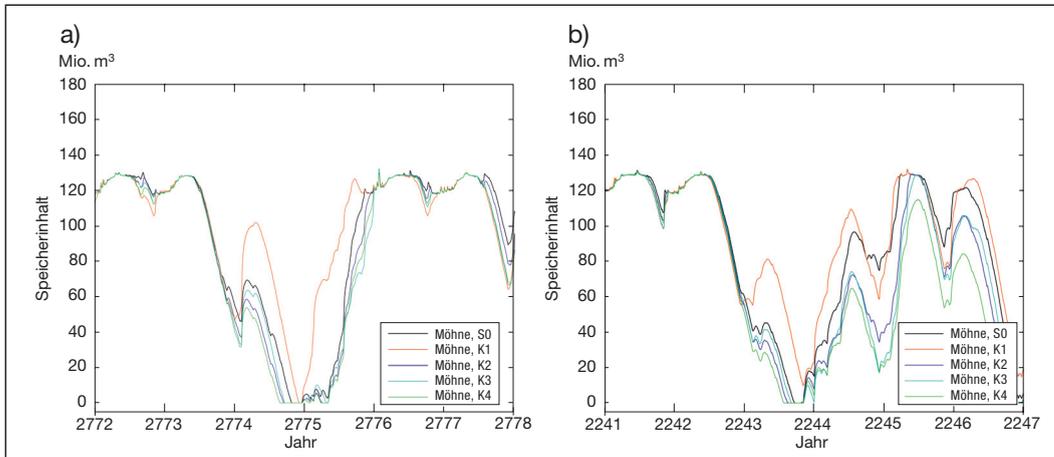


Bild 34: Regionale Klimaszenarien K1 bis K4: Ganglinien der Speicherinhalte der Möhnetalsperre während zwei Ausfallereignissen

Fig. 34: Regional scenarios K1 to K4: Hydrographs showing the storage volume of the Moehne reservoir during two systems failures

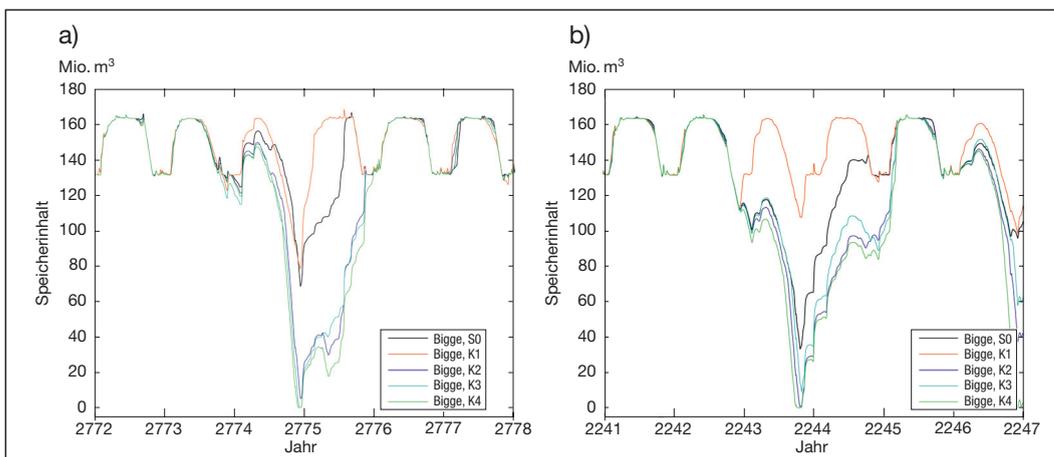


Bild 35: Regionale Klimaszenarien K1 bis K4: Ganglinien der Speicherinhalte der Biggetalsperre während zwei Ausfallereignissen

Fig. 35: Regional scenarios K1 to K4: Hydrographs showing the storage volume of the Bigge reservoir during two system failures

Aufgrund der damit verbundenen höheren Verdunstung erhöht sich die Belastung auf das Talsperrensystem. Die entlastende Wirkung der Niederschlags-erhöhung und -umverteilung entfällt. Im Vergleich zum Basisszenario mit 8 Ausfällen treten 18 Ausfallereignisse an der Möhnetalsperre auf. Erstmals werden auch Ausfälle in der Südgruppe verzeichnet.

Das regionale Klimaszenario K3 beinhaltet die Niederschlags- und Temperaturänderungsparameter aus den REMO-Ergebnissen. Es ist extremer als das vergleichbare WETTREG-Szenario K1: Sowohl in der Nord- als auch in der Südgruppe erhöhen sich die Ausfälle deutlich.

Im regionalen Klimaszenario K4 werden nur die Temperaturänderungsparameter aus den REMO-Ergebnissen berücksichtigt. Wie auch bei K2 entfällt damit die entlastende Wirkung der Niederschlagsumverteilung in den Winter. Da diese Umverteilung im Vergleich zu den WETTREG-Szenarien allerdings wesentlich geringer ausfällt, ist auch der Unterschied zwischen K3 und K4 nur relativ klein. Im Vergleich zu den drei anderen Szenarien handelt es sich bei K4 um das extremste Szenario. Sowohl die Anzahl der Ausfallereignisse als auch die Unterschreitungsdauer erhöhen sich deutlich. Dieses Verhalten ist allein auf die Temperaturänderung und die damit verbundene höhere Verdunstung zurückzuführen.

10.5 Zusammenfassung

In dieser Studie wurden auf der Basis der SRES-Klimaszenarien und den darauf aufbauenden regionalen Klimamodellen WETTREG und REMO vier unterschiedliche regionale Klimaszenarien für das Ruhr-einzugsgebiet definiert und ihre Effekte auf das Talsperrensystem analysiert. Für die Berechnung der Klimaszenarien wurden synthetische Zeitreihen mit einer Länge von mehreren 1.000 Jahren derart nach einem Verfahren des KNMI transformiert, dass sie den möglichen Klimaänderungen in einem Zeitraum von 2071–2100 im Vergleich zu einem Referenzzeitraum von 1961–1995 entsprechen. Die Transformationsmethodik wurde in das Langfristanalysewerkzeug integriert.

Eine Langfristanalyse wurde mit vier synthetischen Zeitreihen von jeweils 1.000 Jahren für jeweils vier regionale Klimaszenarien durchgeführt. Der Analysezeitraum umfasst somit insgesamt 4.000 Jahre. Als Referenz gilt das Basisszenario S0, das bereits in der vorhergehenden Langfristanalyse des Ruhr-Talsperrensystems erstellt wurde. Die aktuelle Wasserentziehung aus dem Ruhrs-System von $8 \text{ m}^3/\text{s}$ wird auch bei den Klimaszenarien verwendet. Mögliche Änderungen in der Entziehung werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit des Ruhrtalesperrensystems hinsichtlich der Sicherstellung der überregionalen Wasserversorgung infolge der Klimaänderungen in Zukunft deutlich höher sein könnte als bisher und sich in drei der vier berechneten Klimaszenarien mehr als verdoppelt. Die Erhöhung der Ausfallwahrscheinlichkeit beruht zum größten Teil auf der Annahme, dass in Zukunft eine Erwärmung des Klimas stattfinden wird, die eine höhere Verdunstung bewirkt. Diese Prognose gilt als relativ sicher. Die Vorhersage der Niederschlagsänderung und damit auch die Vorhersage ihres Einflusses auf das Ruhrtalesperrensystem bleibt dagegen unsicher und kann beim heutigen Stand der Wissenschaft nicht eindeutig beantwortet werden. Eine deutliche Verschiebung des Niederschlags vom Sommer in den Winter, wie sie mit dem regionalen Modell WETTREG vorhergesagt wird, würde sich positiv auf das System auswirken. Die Folgen der Temperaturerhöhung würden deutlich abgeschwächt werden. Die in REMO berechnete Niederschlagsänderung verhält sich dagegen im Hinblick auf die Grenzleistungsfähigkeit in etwa neutral.

Als wahrscheinlichstes Szenario kann in der zeitlichen Entwicklung bis zum Jahre 2100 von einer deutlichen Reduzierung der heutigen Betriebssicherheit des Talsperrensystems ausgegangen werden. Das bisherige Wiederkehrintervall von 500 Jahren könnte dabei auf einen Wert von ca. 200 Jahren absinken. Eine Beibehaltung der heutigen Betriebssicherheit kann entweder durch eine Verringerung der Mindestabflüsse an den Pegeln (z. B. in Villigst) oder durch zusätzliche Speichervolumina etwa in der Größenordnung der Möhne- oder Biggetalsperre abgefangen werden.

Literatur:

- CEC (2007): E-Mail von Herrn Dr. Enke vom 10.5.2007.
- IPCC (2000): Special Report on Emissions Scenarios, 2000, Nakicenovic, Nebojsa and Swart, Rob (eds.), Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- IPCC (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Summary for Policy-makers and Technical Summary of the Working Group I Report, Cambridge 2001.
- IPCC (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC WGI), Cambridge 2007.
- IPCC (2007b): Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaption and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC WG II), Cambridge 2007.
- IWG (2002): Softwarepaket Zeitreihen, Version 5.0, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Universität Karlsruhe.
- KNMI (2006): KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, KNMI-publication: WR-2006-01, May 2006, pp82, De Bilt.
- MPI (2007): REMO Homepage des MPI:
<http://www.mpimet.mpg.de/home.html>.
- Ruhrverband (2006): Jahresbericht Ruhrwassermenge 2005.
- UBA (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier gemeinsam mit Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg, Sept. 2006.
- UBA (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht Umwelt Bundesamt, Januar 2007.
- WL (2006): Langzeitbewirtschaftungsanalyse Ruhrtalesperrensystem. WL | Delft Hydraulics, Delft, Januar 2006.
- WL (2007): Klimafolgenanalyse Ruhrtalesperrensystem. WL | Delft Hydraulics, Delft, Juni 2007.



Kronprinzenstraße 37, 45128 Essen
Postfach 10 32 42, 45032 Essen
Telefon (02 01) 178-0
Fax (02 01) 178-14 25
www.ruhrverband.de

Nachdruck – auch auszugsweise –
nur mit Quellenangabe gestattet.

Gedruckt auf umweltfreundlich hergestelltem
Papier aus 50% recycelten Fasern.