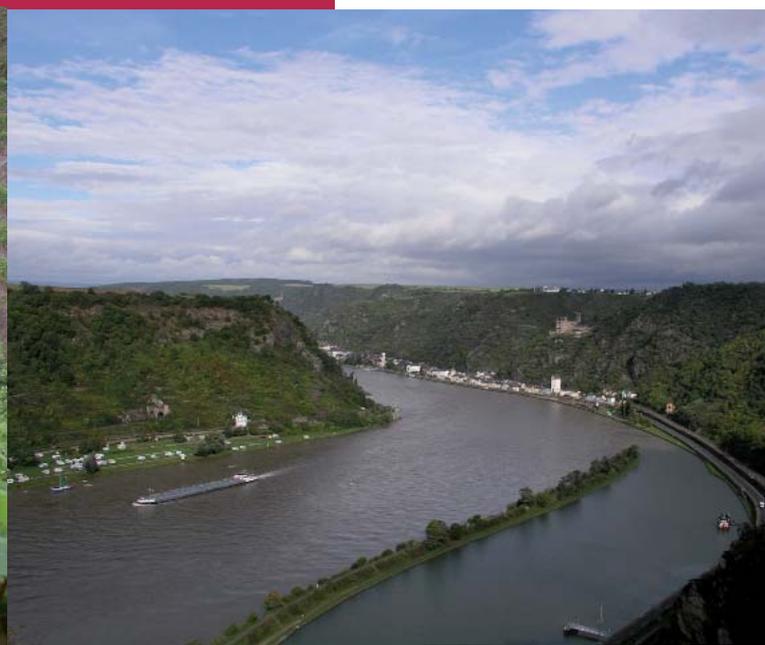




KLIMA- UND LANDSCHAFTSWANDEL IN RHEINLAND-PFALZ

WASSER THEMENBLATT



Impressum

Herausgeber:
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
bei der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft

Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Telefon: +49 (0) 6306 / 911-0
Telefax: +49 (0) 6306 / 911-200
Internet: www.klimlandrp.de
www.klimawandel-rlp.de

Verantwortlich:
Der Leiter des Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Einleitung

Wasser ist aufgrund seiner vielen Funktionen ein zentrales Element für Mensch und Natur. Das Wasservorkommen für ein bestimmtes Gebiet und für einen bestimmten Zeitraum hängt eng mit dem Klimasystem zusammen. Insbesondere Niederschlag und Verdunstung beeinflussen die Komponenten des Wasserkreislaufes (DYCK & PESCHKE 1995). Wegen dieser Wechselwirkung ist davon auszugehen, dass der erwartete anthropogen bedingte Klimawandel den natürlichen Wasserkreislauf durch veränderte Niederschlags- und Temperaturverhältnisse beeinflussen wird (IPCC 2007). Dies wird auch in Rheinland-Pfalz Folgen für den regionalen Wasserhaushalt haben (MUFV 2007). Es ist davon auszugehen, dass die einzelnen Komponenten des Wasserkreislaufes (z. B. Grund- und Oberflächenwasser) und folglich auch die von diesen Komponenten abhängigen Wassernutzer und Ökosysteme unterschiedlich stark vom Klimawandel beeinflusst werden.

Zielsetzung und Forschungsfragen

Die Aufgabe des Moduls Wasser bestand darin, Hinweise für die Wasserwirtschaft in Rheinland-Pfalz bezüglich des Klimawandels auszuarbeiten. Um eine Anpassung der Wassernutzer und Ökosysteme an den Klimawandel zu ermöglichen, war es notwendig, zunächst die Folgen für die unterschiedlichen Komponenten des Wasserkreislaufes abzuschätzen. Das Modul Wasser stellte dabei eine inhaltliche Ergänzung zu den laufenden Forschungsaktivitäten des Landes im Rahmen des Projektes „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLWA) dar.

Die konkreten Fragestellungen dieser Studie waren die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels in Rheinland-Pfalz auf

- die Wasserbilanz,
- den Wasserhaushalt von Waldstandorten und
- das Abflussverhalten der Fließgewässer.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden unterschiedliche modellbasierte Methoden eingesetzt. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend die Konsequenzen für klimasensitive Systeme abgeschätzt, Anpassungsoptionen vorgeschlagen, Chancen und Risiken sowie neue Forschungsfragen aufgezeigt.

Bilanzierung des Wasserhaushaltes

Für eine landesweite Abschätzung der Wasserbilanz wurde das Modell STOFFBILANZ (GEBEL et al. 2011, GEBEL et al. 2010, HALBFASS et al. 2010, KAISER & GEBEL 2003) verwendet. Auf Basis der durchgeführten Simulationen ließen sich sensitive Regionen in Rheinland-Pfalz identifizieren.

Die Auswertung der Wasserbilanz für den hier als Referenz verwendeten Zeitraum (1961-1990) auf Basis interpolierter gemessener Klimadaten ergab, dass die mittlere reale Evapotranspiration in Rheinland-Pfalz circa 525 mm a⁻¹ beträgt, was in etwa 66% des mittleren Niederschlags entspricht. Der übrige Anteil des Niederschlags (34%) ergibt eine landesweite mittlere Abflussspende von 271 mm a⁻¹. Regionale Unterschiede in der Wasserbilanz ergeben sich, aufgrund der klimatischen Bedingungen, zwischen Mittelgebirgslagen und Tallagen. So verdunsten in Tallagen 83% des mittleren Jahresniederschlags, 17% kommen zum Abfluss. In den Mittelgebirgslagen liegt der Anteil von Verdunstung zu Abfluss bei 61% zu 39% (s. Tab. 1).

Für die Gesamtfläche von Rheinland-Pfalz wurden die Teilkomponenten des Gesamtabflusses berechnet. Demnach beträgt der Anteil des Abflusses aus dem Grundwasser (Basisabfluss) 51% am Gesamtabfluss. Auf geneigten Flächen kann Niederschlagswasser hangparallel im Bodenkörper abfließen. Der Anteil dieses sogenannten Zwischenabflusses wurde auf 36% bestimmt. Oberflächenabfluss und Abfluss aus Dränagen tragen 11% und 2% zum Gesamtabfluss bei.

Die Wasserbilanz in Rheinland-Pfalz wurde auch auf Basis von Klimaprojektionen (regionales Klimamodell WETTREG2006, Szenarien A1B und A2) berechnet. Für die Referenzperiode (1971-2000) zeigt sich, dass der Niederschlag im regionalen Klimamodell unterschätzt wird. Der geringere Niederschlagsinput bedingt die Unterschätzung von realer Evapotranspiration und Abflussspende.

Die Simulationen der Wasserbilanz für die nahe Zukunft (2021-2050) zeigen keine eindeutige landesweite Veränderung der mittleren Abflussspende. So werden je nach Klimaszenario Änderungen zwischen -8% und +9% projiziert. Die regional differenzierte Betrachtung der Änderung zeigt für den Nordosten von Rheinland-Pfalz übereinstimmend eine leicht abnehmende Tendenz der mittleren Abfluss-

spenden. Für die übrigen Naturräume zeigt sich kein eindeutiges Änderungssignal. Insbesondere für das Nördliche Oberrheintiefland (einschließlich Rhein-

Main-Tiefland) ergibt sich eine sehr große Spannweite des Signals (s. Abb. 1).

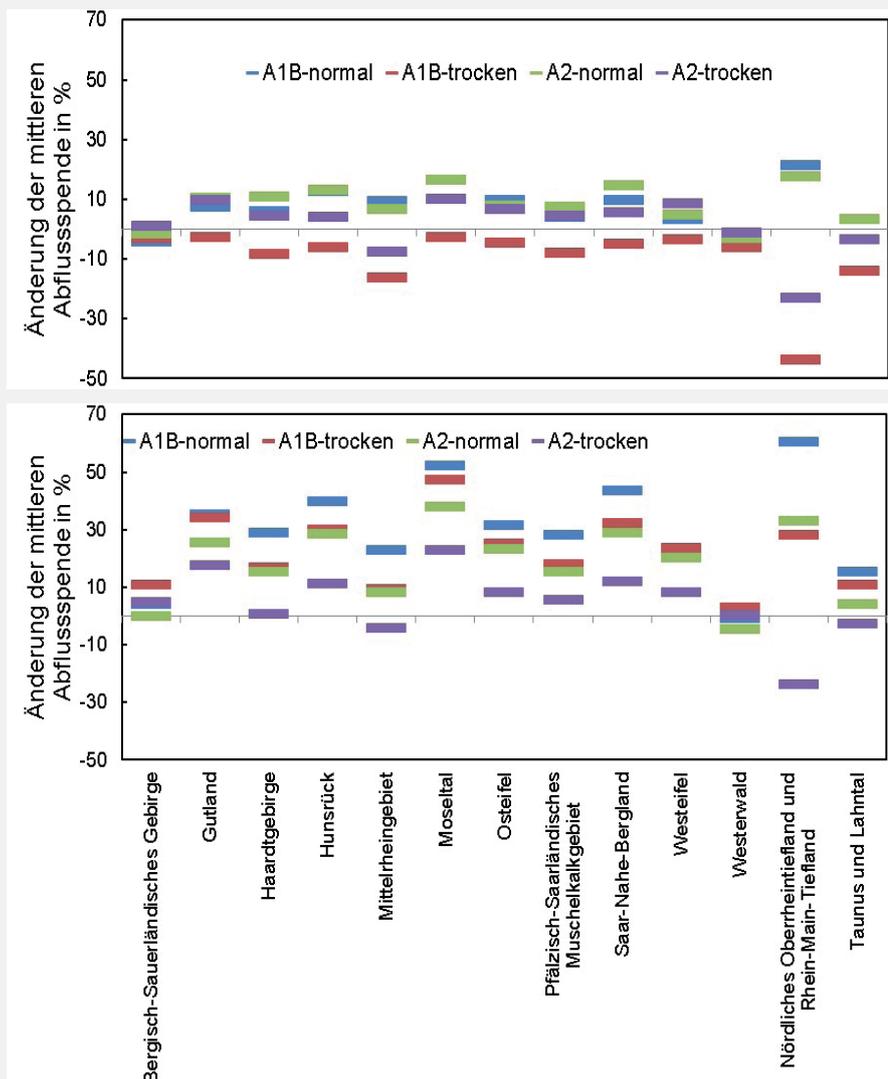
TABELLE 1:

Wasserbilanz in Rheinland-Pfalz für den Zeitraum 1961-1990 auf Basis der Simulationen mit STOFFBILANZ (Datenquelle REGNIE: Deutscher Wetterdienst).

Gebiet	Größe [km ²]	Niederschlag (REGNIE) [mm a ⁻¹]	Reale Evapotranspiration [mm a ⁻¹]	Abfluss [mm a ⁻¹]
Rheinland-Pfalz gesamt	19855	796	525	271
Mittelgebirgslagen	14575	856	524	333
Tallagen	5280	630	525	106

ABBILDUNG 1:

Änderung der mittleren Abflussspende gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000, aufgegliedert nach Naturräumen, auf Basis der Simulationen mit STOFFBILANZ für die Klimaprojektionen WETTREG2006 - Szenarien A1B und A2, oben: nahe Zukunft (2021-2050), unten: ferne Zukunft (2071-2100).



Für die ferne Zukunft zeigen alle Szenarien eine landesweite Zunahme der mittleren Abflusspenden, wobei sich das Ausmaß unterscheidet. Die Zunahme resultiert aus der projizierten Zunahme der Winter- und der gleichzeitigen Abnahme der Sommerniederschläge, wodurch sich das Abflussverhalten im Winter- und Sommerhalbjahr stärker als bisher unterscheiden würde. Regional gesehen würden sich vor allem im Westen von Rheinland-Pfalz Zunahmen der mittleren Abflusspenden ergeben. Ähnlich wie für die nahe Zukunft resultiert für das Nördliche Oberrheintiefland (einschließlich Rhein-Main-Tiefland) eine sehr große Spannweite des Änderungssignals, wobei sowohl negative als auch positive Änderungen projiziert werden. Insgesamt zeigt sich bei den Simulationen in allen Naturräumen eine Zunahme der Änderungsspannweiten für die ferne Zukunft (s. Abb. 1).

Die Auswertung unterschiedlicher Klimaprojektionen des regionalen Klimamodells WETTREG2006 mit dem Modell STOFFBILANZ hinsichtlich der Entwicklung der Wasserbilanz zeigt ein relativ einheitliches Bild für Rheinland-Pfalz: Die projizierte Zunahme des Jahresniederschlags geht mit einer deutlichen Veränderung der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge einher. So werden für den Sommer durchweg niedrigere Niederschlagsmengen projiziert, was bei den steigenden Temperaturen zu längeren Phasen von Wasserstress für Pflanzen führen könnte.

Wasserhaushalt von Waldstandorten

Der Wasserhaushalt beeinflusst Ökologie und Ökonomie. In der Forstwirtschaft wirkt sich der Klimawandel auf die Erträge und die Wüchsigkeit der Bäume aus (GAUER 2009). Insbesondere auf Böden geringen Speichervermögens oder exponierter Lage ist bei sich ändernder Niederschlagsverteilung und steigenden Temperaturen mit einer Zunahme von Trockenstress zu rechnen. Mit der zu erwartenden Zunahme des Trockenstresses werden die Bäume zunehmend ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Insekten und anderen Schädlingen verlieren (ENGESSER et al. 2008; PETERCORD 2008).

Für eine zukünftige, an den Klimawandel angepasste, Waldbewirtschaftung ist es unerlässlich zu wissen, wie die Biomasseproduktion verschiedener Baumarten durch den Klimawandel beeinflusst werden könnte. Als Indikator hierfür wird die „Wasserhaushaltsstufe“ herangezogen. Die aktuelle Methodik zu

deren Bestimmung ist jedoch vor dem Hintergrund des Klimawandels ungeeignet, da die Lufttemperatur bei der Klassifikation nicht direkt berücksichtigt wird. Aus diesem Grund wurde eine neue modellbasierte Methode entwickelt, welche die Abschätzung der zukünftigen Standortseignung von Bäumen in Rheinland-Pfalz unterstützen soll.

Zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von 100-jährigen Buchenstandorten in Rheinland-Pfalz wurden hydrologische Simulationen verschiedener Standorte mit dem Modell WaSiM-ETH durchgeführt. Die untersuchten Standorte unterscheiden sich in ihren Gelände-, Boden- und Klimaverhältnissen, um eine möglichst große Bandbreite an 100-jährigen Buchenbeständen abbilden zu können. Die Wasserhaushaltssimulationen wurden mit Hilfe eines Indikators für die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge („BWd9“) ausgewertet, wodurch ein objektiver Vergleich der Standorte zwischen Gegenwart und Zukunftsprojektion ermöglicht wurde. Die Ergebnisse wurden abschließend regionalisiert, indem sie auf einen Landschaftsraum, für den der jeweilige Standort repräsentativ ist, übertragen wurden.

Bei den Simulationen des Referenzzeitraums (1971-2000) ergaben sich mittlere Indikatorwerte zwischen 0 und 43 (Skalierung: 0-100). Aus diesen Werten lässt sich die Wasserverfügbarkeit der simulierten Standorte ableiten: niedrige Werte zeigen Standorte mit guter Wasserversorgung an, wohingegen hohe Werte auf Standorte mit Trockenstress hindeuten.

Hinsichtlich der möglichen zukünftigen Entwicklung zeigt die Auswertung der Simulationen mit Klimaprojektionen (Zeitraum 2021-2050 bzw. 2071-2100) fast ausschließlich höhere Werte des Trockenstressindikators. Es ist daher mit einer Zunahme von Perioden geringen Wasservorrats im Boden während der Vegetationsperiode zu rechnen, wobei das Änderungssignal für die ferne Zukunft wesentlich stärker ausgeprägt ist als für die nahe Zukunft. Das Ausmaß der projizierten möglichen Veränderung unterscheidet sich jedoch von Standort zu Standort.

Bei den Buchenstandorten, die bereits unter heutigen Klimabedingungen durch eine schlechte Wasserverfügbarkeit gekennzeichnet sind, handelt es sich vor allem um planare Standorte mit geringer nutzbarer Feldkapazität. Die für diese Standorte berechneten Indikatorwerte zeigen Werte > 40. Bei der Bestimmung von potenziellen zukünftig schlecht wasserversorgten Standorten gilt es daher Standort-

te zu identifizieren, welche in Zukunft Indikatorwerte dieser Größenordnung aufweisen. Die Entwicklung der Indikatorwerte für die Klimaprojektionen indiziert, dass in der Zukunft vor allem Standorte mit geringer nutzbarer Feldkapazität durch Wassermangel gefährdet sein könnten. Dabei handelt es sich sowohl um kolline Standorte als auch um planare Standorte mit geringer nutzbarer Feldkapazität. Die Gefährdung der Standorte ist deutlich stärker von den Höhenstufen abhängig als von den Bodeneigenschaften. Heute sehr gut wasserversorgte Standorte werden auch in Zukunft nicht von Trockenheit gefährdet sein.

Die naturräumlichen Auswertungen ergeben, dass in den Hochlagen der Eifel, des Hunsrücks, des Westerwaldes, des Saar-Nahe-Berglandes sowie des Haardtgebirges in der Gegenwart kaum Trockenstress auftritt. Hoher Trockenstress zeigt sich hingegen für den Mittel- und Unterlauf der Nahe, den Süden des Nordpfälzer Berglandes, den Schwemmkessel des Speyerbachs im Vorderpfälzer Tiefland, den Norden des nördlichen Oberrheintieflandes, das Bitburger Gutland, das Obere Mittelrheintal sowie die Ingelheim-Mainzer Rheinebene. Dabei handelt es sich um Regionen, welche primär eine niedrige nutzbare Feldkapazität aufweisen. In der fernen Zukunft blieben auf Basis der Simulationen die erstgenannten Naturräume der Hochlagen weiterhin am wenigsten vom Wassermangel betroffen. Hingegen wird für alle anderen Naturräume in der fernen Zukunft ein Über-

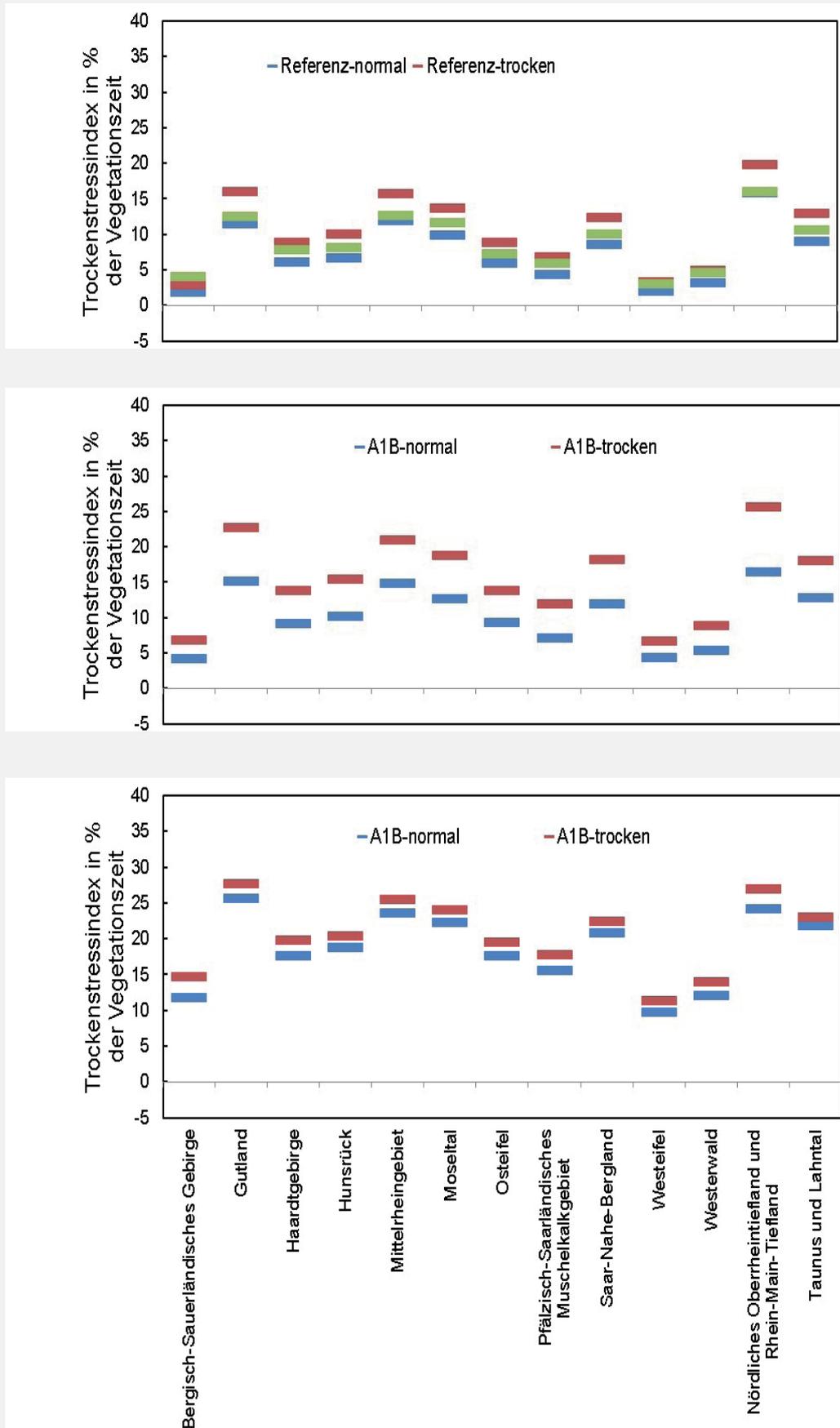
schreiten des Indikatorgrenzwertes von 15 projiziert. Im Mittel wären diese dann so stark von Wassermangel betroffen wie das Nördliche Oberrheintiefland und das Rhein-Main-Tiefland unter heutigen Bedingungen. Am stärksten von Wassermangel betroffen wären in der fernen Zukunft die Naturräume Gutland, Nördliches Oberrheintiefland, Mittelrheingebiet, Moseltal und Saar-Nahe-Bergland (s. Abb. 2).

Hinsichtlich des Ausmaßes der Änderung des Indikators BWd9 ist festzustellen, dass für die nahe Zukunft keine großen absoluten Differenzen simuliert werden. Für die ferne Zukunft ergeben sich jedoch Anstiege der Werte von bis zu +25. Speziell für Standorte mit geringer nutzbarer Feldkapazität werden große Verschiebungen simuliert.

Die im Rahmen der Studie entwickelte Methode bietet die Möglichkeit, den Wasserhaushalt von Waldstandorten in Abhängigkeit der Temperatur objektiv zu bewerten. Die vorgestellten Ergebnisse können in der forstlichen Praxis z.B. insofern Anwendung finden, als bereits heute auf eine an das „Klima angepasste“ Artenzusammensetzung hingewirkt werden kann.

ABBILDUNG 2:

Werte des Trockenstressindicators BWd9, aufgliedert nach Naturräumen in Rheinland-Pfalz, oben: Referenzzeitraum (1971-2000), mitte: nahe Zukunft (2021-2050), unten: ferne Zukunft (2071-2100).



Analyse des zukünftigen hydrologischen Verhaltens von Einzugsgebieten auf der Basis von Signature Indices

Die Abschätzung hydrologischer Veränderungen in Folge des Klimawandels ist eine der wichtigsten Fragen, die Hydrologen heute bearbeiten (BLÖSCHL & MONTANARI 2010; SCHAEFLI et al. 2011).

Mit Hilfe des Niederschlag-Abfluss-Modells LARSIM (LUDWIG & BREMICKER 2006) wurde das mögliche zukünftige hydrologische Verhalten dreier Untereinzugsgebiete der Nahe abgeschätzt. Als Modellantrieb wurden neben Messdaten auch Modelldaten des regionalen Klimamodells COSMO-CLM (CCLM) aus 2 verschiedenen Läufen verwendet. Abflussmessungen zur Validierung der Simulationen lagen für die Pegel Kronweiler, Kellenbach und Gensingen für den Zeitraum 1990 bis 2003 vor.

Da die CCLM-Daten einen systematischen Modellfehler (Bias) aufweisen, mussten die Daten vorprozessiert werden (Bias-Korrektur). Zur Quantifizierung der hydrologischen Veränderungen wurden „Signature Indices“ verwendet. Diese haben gegenüber herkömmlichen Gütemaßen einen entscheidenden Vorteil: sie ermöglichen eine Aussage darüber, worin die Unterschiede zweier Zeitreihen bestehen. Dies ist speziell dann von Interesse, wenn die Auswirkungen des Klimawandels abgeschätzt oder der Einfluss einer Bias-Korrektur auf das Abflussverhalten eines Einzugsgebiets untersucht werden soll. In dieser Studie wurden 5 Signature Indices auf der Basis der Abflussdauerlinie (YADAV et al. 2007) und 4 Signature Indices, die aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ereignisabflussbeiwerte abgeleitet werden (MERZ et al. 2006), verwendet.

Um die Fehler des hydrologischen Modells LARSIM selbst zu ermitteln, wurde für die drei Untereinzugsgebiete der Abfluss auf Basis gemessener Klimadaten simuliert und mit den gemessenen Abflüssen verglichen. Es war festzustellen, dass sich im Modell für alle Einzugsgebiete höhere Abflussbeiwerte im Sommer ergeben, was auf eine fehlerhafte Simulation der Vorereignisbedingungen hindeutet. Für die Einzugsgebiete Kronweiler und Kellenbach sind alle anderen Abweichungen relativ gering, am Pegel Gensingen weisen jedoch 8 der 9 Indices große Abweichungen auf. Dies weist auf erhebliche Fehler in der Modellkalibrierung oder Messfehler am Pegel hin.

Die in dieser Studie verwendeten Bias-Korrekturverfahren sind weitgehend in der Lage, den Bias aus den

Niederschlags- und Temperaturzeitreihen der CCLM-Läufe zu entfernen. Die Güte der Bias-Korrektur ist stark von der quantitativen und qualitativen Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten abhängig (CASPER et al. 2012).

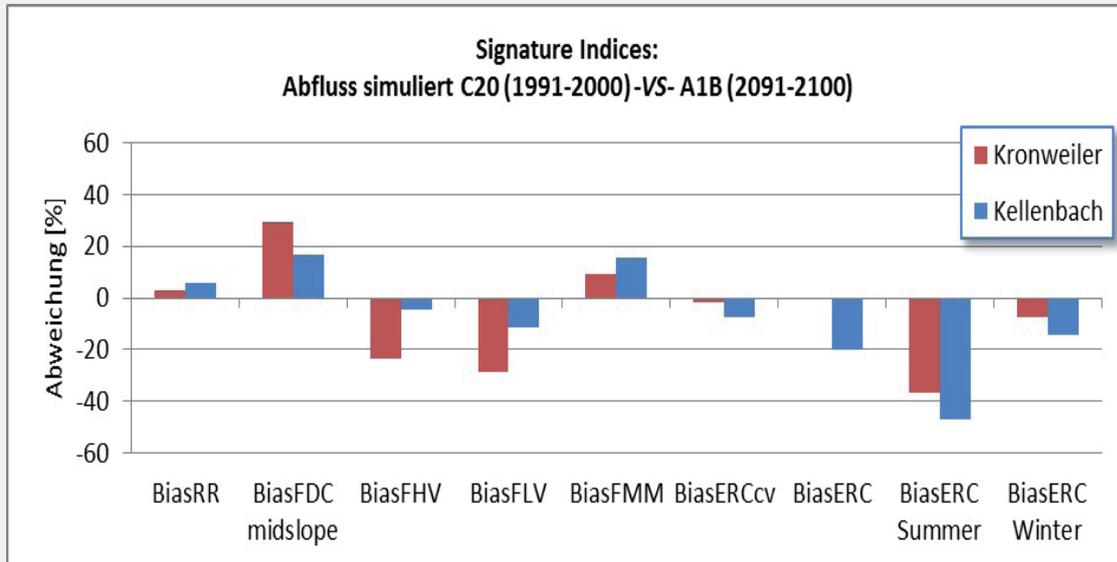
Die Betrachtung der möglichen zukünftigen Entwicklung zeigt im ersten CCLM-Lauf (Szenario A1B, Zeitraum 2015-2024) für 2 der 3 Einzugsgebiete (Kellenbach, Gensingen) eine leichte Abnahme des Jahresniederschlags und eine deutliche Temperaturzunahme. Dies bedingt eine Abnahme der Abflussspitzen (Index BiasFHV) und der Ereignisabflussbeiwerte. Auch die Wasserbilanz (BiasRR) und die Reaktivität (BiasFDCmidslope) nehmen ab. Für das Einzugsgebiet Kronweiler wird eine leichte Zunahme des Niederschlags projiziert, was durch höhere Evapotranspirationswerte ausgeglichen wird und sich in Indexwerten nahe Null ausdrückt. Nur im Spitzenabflussbereich ist eine Abnahme festzustellen (BiasFHV), was eventuell durch eine unterschiedliche zeitliche Verteilung des Niederschlags im Jahresverlauf erklärt werden kann.

Im zweiten CCLM-Lauf (Szenario A1B, Zeitraum 2091-2100) ist die Wasserbilanz (BiasRR) ebenfalls leicht erhöht. Die Abnahme im Volumen der Niedrigwasserabflüsse weist auf eine zukünftig stärkere Austrocknung im Sommer hin, die als Folge der Verdunstungszunahme durch die höheren Temperaturen interpretiert werden kann. Die höhere Temperatur bzw. Verdunstung führt hier zu einer geringeren Bodenfeuchte vor Abflussereignissen, was in geringeren sommerlichen Abflussbeiwerten resultiert (s. Abb. 3). Unter Annahme einer unveränderten jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung wäre eine positive Wasserbilanz (BiasRR) kaum zu erklären.

Die zur Abschätzung der hydrologischen Veränderungen in Fließgewässern verwendeten Signature Indices stellen ein sehr gutes Instrument zur Beantwortung der Fragestellung dar. Sie reagieren äußerst sensitiv auf den Klimainput und erlauben eine schnelle und hydrologisch aussagekräftige Interpretation der Ergebnisse. Es muss klar betont werden, dass eine fundierte hydrologische Prognose der hydrologischen Wirkung des Klimawandels nur mittels eines aufwendigen Ensembleansatzes möglich ist (KNUTTI 2008; TEUTSCHBEIN & SEIBERT 2010). Die im Rahmen dieser Studie erarbeiteten Ergebnisse sind als Fallstudie zu betrachten.

ABBILDUNG 3:

Änderung der Signature Indices auf Basis der LARSIM-Simulationen mit CCLM-Daten: Klimaprojektion (Zeitraum 2091-2100, Szenario A1B) gegen Referenzlauf (1991-2000). BiasRR: Mittelwert der Wasserbilanz, BiasFDCmidslope: Reaktivität, BiasFHV: Hochwasserabflüsse, BiasFLV: Niedrigwasserabflüsse, BiasFMM: Median (mittlere Abflüsse), BiasERCcv: Variabilität der Abflussbeiwerte, BiasERC: Feuchtespeicherung, BiasERCSummer: Abflussbeiwerte hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai-Okt), BiasERCWinter: Abflussbeiwerte hydr. Winterhalbjahr (Nov-Apr).



Stakeholderbefragungen Wasserwirtschaft

Im Zuge des Projektes wurden über die durchgeführte Stakeholderanalyse (s. eigenes Themenblatt dazu) hinaus drei Stakeholderbefragungen im Bereich der Wasserwirtschaft durchgeführt, um den aktuellen Wissenstand zum Thema Klimawandel und Anpassungsstrategien detailliert ermitteln zu können (DRESEN 2011, GLOD 2011, PRIGGE 2010).

Die Befragungen haben gezeigt, dass der Klimawandel in den Bereichen öffentliche und nichtöffentliche Wasserversorgung bereits ein wichtiges und stark diskutiertes Thema ist. Vor allem Industrieunternehmen verlassen sich dabei nicht nur auf Informationen aus den Medien, sondern entwickeln eigene Strukturen, um gezielt Informationen zu sammeln, die sie für eine erfolgreiche Anpassung benötigen. Angetrieben durch gesetzliche Vorgaben und finanzielle Interessen wird sich diese Entwicklung aller Voraussicht nach auch in Zukunft fortsetzen.

Die Betriebe der öffentlichen Wasserversorgung haben ebenfalls finanzielle Interessen, allerdings steht dort die Versorgungssicherheit an erster Stelle. Wasserversorger, die ihr Wasser zum Großteil aus Tal-

sperren beziehen, mussten bereits erste kurzzeitige Engpässe verzeichnen. Maßnahmen zur Sicherstellung der Versorgung auch in der Zukunft wurden daraufhin entweder bereits umgesetzt oder befinden sich aktuell in der Planungsphase. Die Wasserversorger, die ihr Wasser aus Tiefbrunnen beziehen, sind bereit zu handeln, wenn auch bisher keine größeren Beeinträchtigungen festgestellt wurden.

Wasserkraftwerksbetreiber müssen sich schon heute größeren Herausforderungen stellen. Die – nach den Aussagen der Betreiber – immer häufiger auftretenden Niedrigwasserstände in den Bächen und Flüssen führen neben den bestehenden Schwierigkeiten durch umfangreiche Auflagen der Gesetzgebung zu einer sinkenden Jahresarbeit und damit zu finanziellen Einbußen. Viele der Betreiber fühlen sich dieser Entwicklung weitestgehend ausgeliefert und fordern Hilfe der Politik ein, von der sie sich bisher vernachlässigt sehen. Im Bereich der Badeseen ist es in den letzten Jahren bereits vermehrt zu Beeinträchtigungen der Pegelstände und der Wasserqualität gekommen. Dennoch beschäftigen sich die Betreiber bisher kaum mit dem Thema Klimawandel, beziehungsweise haben in vielen Fällen nicht die finanziellen Mittel oder das nötige Know-how, um entsprechende Maß-

nahmen zu ergreifen. In der Binnenschifffahrt sind bedingt durch potentiell längere Phasen mit Niedrigwasser im Sommer längere Liegezeiten der Schiffe möglich. In der Fischerei wird bereits eine Verdrängung der ursprünglichen Fischarten des Rheins hin zu wärmeliebenden Arten festgestellt.

Im Bereich der Wasserversorgung im Gemüseanbau konnte nur ein Stakeholder im Raum Ludwigshafen befragt werden. Interessant war der Hinweis, dass in der jüngsten Vergangenheit vermehrt Schadereignisse auftraten (Starkniederschläge und Hagel). Auch kam es bereits zur Verknappung von Bewässerungswasser im Sommer, was im Gemüsebau wegen der hohen Bewirtschaftungsintensität sehr schnell problematisch werden kann. Für die Zukunft wird erwartet, dass andere Gemüsesorten angebaut werden müssen, die an höhere Temperaturen besser angepasst sind. Grundsätzlich positiv wird die Verlängerung der Vegetationsperiode bewertet (siehe auch Themenblatt „Landwirtschaft“). Da Anpassungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft jedoch kurzfristig möglich sind und auch bisher immer sehr schnell auf Markt- und Gesetzesvorlagen reagiert wurde, wird die Zukunft insgesamt positiv bewertet.

Ausblick und offene Forschungsfragen

Die Annahme der Stationarität von hydrologischen Prozessen, die besagt, dass Beobachtetes auch in der Zukunft gültig sein wird, hat es in der Vergangenheit ermöglicht, auf Basis langjähriger Messreihen von Niederschlag und Abfluss, wasserwirtschaftliche Anlagen zu dimensionieren und mögliche Risiken abzuschätzen. Der Klimawandel untergräbt diese Grundannahme: Die Annahme der Stationarität muss aufgegeben werden (MILLY et al. 2008). Aus der Vergangenheit lässt sich nicht mehr direkt auf die Zukunft schließen. Somit sind die meisten Bemessungsverfahren, die im Wesentlichen auf statistische Eigenschaften längerer Messreihen zurückgreifen, nicht länger anwendbar. Aktuelle Analysen meteorologischer und hydrologischer Kenngrößen in Süddeutschland (Arbeitskreis KLIWA 2011) zeigen bereits klare, wenn auch räumlich stark differenzierte Trends in den Messdaten.

Der nächste Schritt in der regionalen Klimamodellierung hin zu einer höheren räumlichen Auflösung, der auch eine direkte Modellierung konvektiver Niederschlagsdynamik ermöglichen würde, würde eine weitere Verbesserung darstellen (KNOTE 2010). Eine Ensemblebetrachtung (Emissionsszenarien, Glo-

balmodelle, Regionalmodelle) würde Aussagen über Bandbreiten und Unsicherheiten ermöglichen. Ein Vergleich der regionalisierten Ergebnisse zum Wasserhaushalt von Waldstandorten aus dieser Studie mit einem durch Fernerkundung bestimmten Trockenstress nach HILL (2011) könnte Hinweise geben, wie gut die Regionalisierung und der Trockenstressindikator BWd9 die Realität abbilden.

Projekt:	Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP)
Modul	Wasser
Bearbeitung:	Universität Trier, Fachbereich 6, Physische Geographie 54286 Trier Prof. Dr.-Ing. Markus Casper Gayane Grigoryan Prof. Dr. Günther Heinemann Dr. Reinhard Bierl
Berichtszeitraum:	April 2008 - September 2011
Homepage:	www.kwis-rlp.de www.klimawandel-rlp.de www.klimlandrp.de
Gesamtkoordination des Projekts:	Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
Zitierhinweise:	CASPER, M., GRIGORYAN, G., HEINEMANN, G., BIERL, R. (2013): Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) – Themenblatt zu den Methoden und Ergebnissen des Moduls Wasser. Hrsg.: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen.
Quellen/Literaturangaben	Ein Literaturverzeichnis kann bei Bedarf über die Verantwortlichen bezogen werden

Projektpartner KlimLandRP:



Das Landesprojekt KlimLandRP - Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz wurde gefördert mit Mitteln der Ministerien für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung sowie für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

