



RheinlandPfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,
ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

KLIMAWANDELBERICHT

GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

FÜR NATURSCHUTZ UND BIODIVERSITÄT, BODEN, WASSER,
LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND WALD



IMPRESSUM

Titel:

Klimawandelbericht - Grundlagen und Empfehlungen für Naturschutz und Biodiversität, Boden, Wasser, Landwirtschaft, Weinbau und Wald

Herausgeber:

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz • Stiftsstraße 9 • 55116 Mainz
• Internet: www.mwkel.rlp.de • E-Mail: poststelle@mwkel.rlp.de • Telefon: 0 61 31 / 16 - 0

Bearbeitung:

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

in Kooperation mit

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht
Landesamt für Geologie und Bergbau
Dienstleistungszentren Ländlicher Raum

Bildbeiträge:

© 2013

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (Fotoarchiv)
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (Fotoarchiv)
Dienstleistungszentren Ländlicher Raum

Textsatz, Bildbearbeitung und Gestaltung:

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Druck:

NINO Druck GmbH • Im Altenschemel 21 • 67435 Neustadt

Mainz, November 2013

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Rheinland-Pfalz herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch Wahlbewerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

KLIMAWANDELBERICHT

GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

FÜR NATURSCHUTZ UND BIODIVERSITÄT, BODEN, WASSER,
LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND WALD



VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

der Klimawandel ist ein globales Phänomen, das auch in Rheinland-Pfalz spürbar ist und sämtliche Umwelt- und Gesellschaftsbereiche betrifft. Mit einer zukunftsweisenden Energie- und Klimaschutzpolitik leistet Rheinland-Pfalz einen Beitrag zur Begrenzung des Klimawandels. Dennoch wird es unvermeidbare Klimaveränderungen geben, an die wir uns anpassen müssen. Dieser Verantwortung sind wir uns bewusst.

Der vorliegende Bericht beschreibt Grundlagen und liefert allgemeine Empfehlungen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in Rheinland-Pfalz. Bezogen auf die Handlungsfelder Naturschutz und Biodiversität, Boden, Wasser, Landwirtschaft, Weinbau und Wald werden Fakten und Hinweise zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz gegeben. Der Bericht zielt damit auf besonders relevante und flächenwirksame Handlungsfelder bzw. auf Handlungsfelder, zu denen landesspezifische Erkenntnisse vorliegen. Außerdem haben wir damit begonnen, weitere Handlungsfelder zu untersuchen. Der Bericht will das Bewusstsein für die Relevanz des Klimawandels stärken, Hilfe zur Selbsthilfe geben und Wege aufzeigen, wie mit dem Thema Klimawandel weiter umgegangen werden kann. Neben Risiken werden auch Chancen aufgezeigt.

Die Anpassungsstrategie der EU sowie die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) betonen den regionalen und lokalen Bezug des Klimawandels und die Notwendigkeit vor Ort zu analysieren, zu entscheiden und umzusetzen. Genau hier setzen wir mit den dargestellten Grundlagen und Empfehlungen an. Ausgehend vom aktuellen Wissenstand und den vielfältigen Aktivitäten zum Themenkomplex Klimawandel in Rheinland-Pfalz werden Wege zur Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel aufgezeigt. Die konkrete Weiterentwicklung wird in den Fachressorts im Dialog mit den Akteuren erfolgen. Die Anpassung kann allerdings nur erfolgreich sein, wenn wir die Gesellschaft aktiv in die Planungs-, Entscheidungs- und Umsetzungsprozesse einbinden.

Bereits im Jahr 2007 hat Rheinland-Pfalz mit einem Klimabericht erste fachspezifische Kenntnisse zu möglichen Folgen des Klimawandels und zu Anpassungsmaßnahmen geliefert. Das Projekt Klimawandel und Wasserwirtschaft (KLIWA) der Länder Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst widmet sich den Folgen von Klimaveränderungen auf die Wasserwirtschaft. Auswirkungen des Klimawandels auf die Landnutzung, auf Land- und Forstwirtschaft, die Biodiversität und auf Boden und Wasser untersuchte das Landesprojekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz – KlimLandRP. Weitere Meilensteine sind die Ergebnisse der „Enquete-Kommission Klimawandel“ des rheinland-pfälzischen Landtags. Als zentrale Empfehlung der Kommission wurde im Jahr 2010 das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen eingerichtet. Das dort entwickelte Klimawandelinformationssystem 'kwis-rlp' bietet einen umfassenden Service rund um „Klimawandel – Folgen – Anpassung“.

Im Sinne einer umfassend nachhaltigen Entwicklung und Zukunftsvorsorge zielt der vorliegende Bericht auch auf die Wahrung der natürlichen Lebensgrundlagen, die Verantwortung für eine lebenswerte Umwelt und eine sozial und ökonomisch leistungsfähige Gesellschaft in Rheinland-Pfalz.

Ich würde mich sehr freuen, wenn die Grundlagen und Empfehlungen zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz dazu anregen, im eigenen beruflichen und privaten Umfeld das Bewusstsein für den Klimawandel zu stärken und die notwendige Anpassung zu unterstützen.



Staatsministerin und stellvertretende Ministerpräsidentin von Rheinland-Pfalz
Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung

INHALTSVERZEICHNIS

1	HINTERGRUND.....	6
1.1	Anlass.....	7
1.2	Inhalt.....	8
1.3	Informationsquellen	8
1.4	Unsicherheit, Entscheidungsdruck und Komplexität	9
2	KLIMAWANDEL-NETZWERK.....	11
3	AKTUELLES KLIMA UND KLIMAPROJEKTIONEN FÜR RHEINLAND-PFALZ.....	14
3.1	Aktuelles Klima	15
3.2	Mögliche künftige Klimaveränderungen in Rheinland-Pfalz.....	17
3.3	Klimawandel in der Landes- und Regionalplanung.....	22
4	BODEN.....	25
4.1	Ausgangslage.....	26
4.2	Auswirkungen des Klimawandels	28
4.3	Anpassung an den Klimawandel.....	33
4.4	Informations- und Untersuchungsbedarf	34
5	WASSER	37
5.1	Ausgangslage.....	38
5.2	Auswirkungen des Klimawandels	38
5.3	Anpassung an den Klimawandel.....	48
5.4	Informations- und Untersuchungsbedarf	50
6	LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU.....	51
6.1	Ausgangslage.....	52
6.2	Auswirkungen des Klimawandels	52
6.3	Anpassung an den Klimawandel.....	63
6.4	Informations- und Untersuchungsbedarf	66

7	NATURSCHUTZ UND BIODIVERSITÄT	67
7.1	Ausgangslage.....	68
7.2	Auswirkungen des Klimawandels	70
7.3	Anpassung an den Klimawandel.....	72
7.4	Informations- und Untersuchungsbedarf	76
8	WALD	77
8.1	Ausgangslage.....	78
8.2	Auswirkungen des Klimawandels	79
8.3	Anpassung an den Klimawandel.....	85
8.4	Informations- und Untersuchungsbedarf	89
9	PARTIZIPATION UND KOMMUNIKATION	90
10	INFORMATIONSMANGEL	94
10.1	Klimawandelinformationssystem 'kwis-rlp' für Rheinland-Pfalz	95
10.2	Kommunale Anpassung an den Klimawandel.....	96
10.3	Klimawandel in der Umweltbildung	99
11	AUSBLICK	100
12	ZUSAMMENFASSUNG	103

1 HINTERGRUND

*Es geht nicht darum, die
Zukunft vorherzusagen.*

*Es geht darum, auf die
Zukunft vorbereitet zu sein!*

Perikles (5.Jh. vor Christus)

1.1 Anlass

Der seit Beginn der Industrialisierung im Wesentlichen menschenverursachte Klimawandel ist inzwischen unter Wissenschaftlern nahezu unbestritten, wenngleich über Tempo, Ausmaß und konkrete Folgen nach wie vor große Unsicherheit besteht.

Der vorliegende Bericht zeigt u.a. Anforderungen an ein Konzept zum Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels, bezogen auf ausgewählte Handlungsfelder, auf. Die Hinweise und allgemeinen Empfehlungen beziehen sich auf die Landnutzung (Landwirtschaft, Weinbau und Forstwirtschaft), die Umweltressourcen Boden und Wasser sowie auf Biodiversität und Naturschutz.

Um die Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren und den Klimawandel zu begrenzen, hat die Erreichung der Klimaschutzziele oberste Priorität – sowohl auf der internationalen, der europäischen als auch der nationalen Ebene. Doch auch wenn es global gelänge, die Emissionen sofort auf ein klimaverträgliches Maß zu reduzieren, würde der Klimawandel aufgrund der bereits erhöhten Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre und der verzögerten Reaktion des Klimasystems mindestens einige Jahrzehnte weiter voran schreiten. Folglich wird es auch bei Einhaltung des 2-Grad-Ziels, d. h. der globalen Begrenzung der Temperaturerhöhung auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, unvermeidbare Klimaveränderungen geben, an die wir uns – auch in Rheinland-Pfalz – anpassen müssen. Die unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels sind durch vorsorgende Anpassungsmaßnahmen zu begrenzen. Dazu will der vorliegende Bericht einen Beitrag leisten.

Die allgemeinen Empfehlungen und Hinweise fassen den landesspezifischen Informationsstand zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz aus relevanten Dokumenten sowie laufenden und abgeschlossenen Projekten zusammen und verstehen sich als offenes System, das entsprechend dem Bearbeitungs- und Erkenntnisfortschritt ausgebaut und erweitert werden kann. Die enge Verknüpfung und Verlinkung zum Klimawandel-

informationssystem 'kwis-rlp' (vgl. Kap. 10) für Rheinland-Pfalz gewährleistet, dass neue Entwicklungen und Erkenntnisse zeitnah und kontinuierlich verfügbar sein werden.

Rheinland-Pfalz befasst sich seit mehreren Jahren intensiv mit dem Klimawandel. Der Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007 hat bereits wesentliche Fakten zur Thematik geliefert und Forschungsfragen aufgezeigt. Das langjährige Kooperationsvorhaben Klimawandel und Wasserwirtschaft (KLIWA) der Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz mit dem Deutschen Wetterdienst liefert fortlaufend neue und erweiterte Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Ressource Wasser. Die Enquete-Kommission „Klimawandel“ des rheinland-pfälzischen Landtags hat in ihrem Abschlussbericht im Jahr 2009 für eine Reihe von Handlungsfeldern relevante Hinweise zu Folgen und Anpassungsoptionen gegeben und den künftigen Informations- und Aktionsbedarf skizziert. Mit den im Jahr 2011 bzw. 2013 abgeschlossenen Projekten KlimLandRP und ForeStClim wurde die Informations- und Wissensbasis bei ausgewählten Handlungsfeldern gezielt erweitert und durch die Bearbeitung weiterer Forschungsprojekte und den Aufbau des Klimawandelinformationssystems innerhalb des 2010 gegründeten Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrums für Klimawandelfolgen ergänzt. Die vielfältigen Informationen wurden bei der Erstellung des Klimawandelberichts gezielt integriert.

1.2 Inhalt

Die zur Erstellung des vorliegenden Berichts herangezogenen Informationsquellen sind einleitend im **Kapitel 1** aufgelistet. Ein weiteres Unterkapitel widmet sich zentralen Herausforderungen, denen sich die Anpassung an den Klimawandel stellen muss.

Die bereits existierenden vielfältigen Vernetzungen von Institutionen und Interessengruppen im Themenkomplex „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ verdeutlicht das in **Kapitel 2** dargestellte Klimawandel-Netzwerk.

Das aktuelle Klima und in die Zukunft gerichtete Klimaprojektionen für mögliche Klimaveränderungen sind Voraussetzungen, um die Wirkungen des Klimas auf unterschiedliche Handlungsfelder abschätzen zu können (**Kapitel 3**).

Mit der Konzentration auf Boden und Wasser, auf Naturschutz und auf die gesamte Landnutzung werden in den **Kapiteln 4 bis 8** Handlungsfelder aufgegriffen, die (I) die vielfältige Kulturlandschaft und bedeutende Landnutzungsformen wie das Landschaftselement Wald und den Weinbau in Rheinland-Pfalz prägen, (II) besondere Relevanz im Hinblick auf Klimawandelfolgen und -anpassung haben und (III) zu denen bereits umfangreiches, landesspezifisches Wissen aus laufenden und abgeschlossenen Projekten sowie Expertise vorliegt. Als Basis für die verschiedenen Landnutzungsformen und Prozesse sind die Handlungsfelder Boden und Wasser dargestellt, die Landnutzung gliedert sich in die Handlungsfelder Wald und Landwirtschaft (einschließlich Weinbau). Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Naturschutz und die Biodiversität sowie mögliche Handlungsansätze sind im Handlungsfeld Naturschutz abgebildet.

Um Anpassungsstrategien zu entwickeln, die von weiten Teilen der Gesellschaft mitgetragen werden, ist die Partizipation gesellschaftlicher Akteure und der betroffenen Bevölkerung in Planungs- und Entscheidungsprozessen unverzichtbar. Im **Kapitel 9** sind Leitfragen und Inhalte einer möglichen Partizipations- und Kommunikations-

strategie aufgezeigt. Am Beispiel der Ergebnisse der Stakeholderanalyse des Projekts KlimLandRP wird darauf eingegangen, wie gesellschaftliche Akteure in Rheinland-Pfalz den Klimawandel wahrnehmen und bewerten.

Rheinland-Pfalz verfügt bereits über vielfältige Informations- und Beratungsangebote rund um Klimawandel, Folgen und Anpassung – auch auf kommunaler Ebene. Das **Kapitel 10** „Informationsangebote“ gibt einen Überblick über Serviceleistungen, Aktivitäten im kommunalen Bereich und die Integration des Klimawandels in die Umweltbildung.

Das Wissen im Themenfeld „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ wächst ständig – nicht zuletzt infolge der Bearbeitung neuer Handlungsfelder. Im **Kapitel 11** „Ausblick“ wird dargestellt, wie erweitertes und neues Wissen in die Informationsinstrumente einfließt, welche Schritte für einen erfolgreichen Wissenstransfer notwendig sind und wo es Informationslücken gibt.

Das **Kapitel 12** fasst wesentliche Aussagen des Klimawandelberichts zusammen.

1.3 Informationsquellen

Für den Bericht wurden im Wesentlichen folgende Informationsquellen bzw. Projektergebnisse herangezogen:

- Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007
- Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Klimawandel“ des rheinland-pfälzischen Landtags
- Projekt Klimawandel und Wasserwirtschaft (KLIWA) (www.kliwa.de)
- Landesprojekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (www.klimlandrp.de)
- Klimawandelinformationssystem kwis-rlp für Rheinland-Pfalz (www.kwis-rlp.de)
- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)

- Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen (2013): Eine EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel

1.4 Unsicherheit, Entscheidungsdruck und Komplexität

Der Klimawandel ist für die unterschiedlichen Handlungsfelder eine große Herausforderung, die sich vor allem in Unsicherheit, Entscheidungsdruck, Komplexität und Langfristigkeit widerspiegelt.

Die Unsicherheit besteht im Wesentlichen darin, dass trotz des als gesichert geltenden Trends eines Temperaturanstiegs über das Ausmaß und den raum-zeitlichen Eintritt von Klimaveränderungen keine gesicherten Aussagen gemacht werden können. Folglich sind auch die konkreten Folgen für einzelne Handlungsfelder und die Wirkung von Anpassungsmaßnahmen nicht sicher abschätzbar. Auch das menschliche Verhalten kann nicht vorhergesagt werden. Unsicherheit begegnet uns außerdem bei Rückkopplungen z. B. infolge klimabedingter Vegetations- und Landnutzungsveränderungen, die großräumig auf das Klima rückwirken können. Kurzfristig liegt eine erhebliche Unsicherheit darin, dass die natürliche Variabilität von Klimaschwankungen kaum modellierbar ist und damit nur schwer von den anthropogenen Ursachen getrennt werden kann.

Bei aller Unsicherheit über die künftige Klimaveränderung und die daraus resultierenden Folgen ist in den Handlungsfeldern insofern ein mehr oder weniger großer Entscheidungsdruck gegeben, als Landnutzer, Kommunen oder Unternehmer heute Planungs- und Maßnahmenentscheidungen treffen müssen, die in ihrer Auswirkung Jahre bis Jahrzehnte in die Zukunft reichen können. Waldbewirtschaftende müssen beispielsweise kurzfristig entscheiden, mit welchen Baumarten sie Waldflächen nach Sturmwurf wiederbegründen.

Darüber hinaus sind die Zusammenhänge zwischen Ursachen, Folgen des Klimawandels und Wirkung von Anpassungsmaßnahmen ausgesprochen komplex. Einerseits können beobachtete Trends in der Vergangenheit nicht einfach linear in die Zukunft fortgeschrieben werden, andererseits ist der Klimawandel oft nicht die alleinige Ursache für Umwelt- und Landnutzungsveränderungen.

In diesem Spannungsfeld bewegt sich die Erforschung des Klimawandels. Die damit verbundenen Schwierigkeiten und Herausforderungen sind kein Grund, auf Anpassungsstrategien und Auswirkungen zu verzichten. Im Gegenteil: Es müssen frühzeitig und vorsorgend mögliche Auswirkungen analysiert und bewertet und aus heutiger Sicht strategisch die richtigen Weichen gestellt werden. Nur so können Fehlentwicklungen und nicht mehr steuerbare Prozesse vermieden werden, um die Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme, der Wirtschaft und der Gesellschaft zu erhalten.

Damit wird bei der Anpassung an den Klimawandel ein Vorsorgeprinzip angewendet, wie es in der Rio-Erklärung von 1992 und der völkerrechtlich verbindlichen Klimarahmenkonvention verankert ist. Der Abschlusserklärung des Erdgipfels von Rio 1992 zufolge „darf ein Mangel an vollständiger wissenschaftlicher Gewissheit kein Grund dafür sein, kostenwirksame Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltverschlechterungen aufzugeben.“ In der ebenfalls 1992 in Rio verabschiedeten Klimarahmenkonvention heißt es in Artikel 3: „Die Vertragsparteien sollen Vorsorgemaßnahmen treffen, um den Ursachen der Klimaänderungen vorzubeugen, sie zu verhindern oder so gering wie möglich zu halten und die nachteiligen Auswirkungen der Klimaveränderungen abzuschwächen. In Fällen, in denen ernsthafte oder nicht wieder-gutzumachende Schäden drohen, soll das Fehlen einer völligen wissenschaftlichen Gewissheit nicht als Grund für das Aufschieben solcher Maßnahmen dienen.“

Vor diesem Hintergrund ist ein Handeln zukunftsweisend, das die Widerstandsfähigkeit bzw. Resilienz der Handlungsfelder und betrachteten

Systeme stärkt und Akteure sowie die Bürgerinnen und Bürger durch „echte Partizipation“ einbindet (Kap. 9). Aktivitäten müssen im Sinne von „No-regret“-Maßnahmen einerseits robust genug sein, um den vielfältigen heute schon absehbaren Entwicklungen begegnen zu können, andererseits müssen sie auch flexibel sein, um auf nicht absehbare Entwicklungen reagieren und neue Erkenntnisse und Erfahrungen einbinden zu können. Ein solches adaptives Management sollte in einem fortführenden Dialog mit Akteuren,

Entscheidungsträgern und nicht zuletzt mit den Bürgerinnen und Bürgern entwickelt werden. Die Partizipation der Öffentlichkeit ermöglicht einen Zugewinn an Wissen und Information, sorgt für Transparenz und Akzeptanz und stellt die Legitimität der entwickelten Anpassungsoptionen sicher. Darüber hinaus kann die Beteiligung auf dem Weg zu gemeinsamen Lösungen soziale Lernprozesse initiieren und die Anpassungskapazität verbessern.

2 KLIMAWANDEL-NETZWERK



Die Aktivitäten und Projekte zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz sind Teil eines regionalen und nationalen Netzwerks rund um „Klimawandel – Folgen – Anpassung“. Unter der fachlichen Leitung des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung (MWKEL) ist das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen in enger Zusammenarbeit mit dem Referat Klimawandel und Umweltmeteorologie des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) die zuständige Fachbehörde für die Wahrnehmung querschnittlicher Aufgaben und ist Knotenpunkt sowie Netzwerkelement im regionalen und nationalen Klimawandelnetzwerk (Abbildung 1).

Mit der Erweiterung und Vertiefung der Klimawandelforschung wird das Netzwerk in den nächsten Jahren ausgebaut. Das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum hat in Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und

Gewerbeaufsicht die Aufgabe

- Forschung, Monitoring und Aktivitäten zum Klimawandel zu vernetzen
- eigene Forschungsprojekte durchzuführen bzw. Forschungsprojekte mehrerer Partner zu koordinieren
- regionale Anpassungsoptionen in Zusammenarbeit mit anderen Fachdienststellen und Forschungseinrichtungen zu erarbeiten
- das Klimawandelinformationssystem von Rheinland-Pfalz zu betreiben und weiter zu entwickeln
- ein Netzwerk mit Hochschulen, Bundes- und Landeseinrichtungen, Verbänden, Wirtschaft etc. aufzubauen und zu pflegen
- fachbezogene Öffentlichkeitsarbeit zu betreiben und
- Beiträge zu Berichten der Landesregierung zu liefern

Abbildung 1:
Zusammenfassender Überblick über die rheinland-pfälzische Netzwerkstruktur



Rheinland-Pfalz ist über das Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz und das Kompetenzzentrum in die länderübergreifenden nationalen Prozesse zum Klimawandel im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) eingebunden. Die Bundesregierung hat im Dezember 2008 die DAS beschlossen. Die Strategie und ihre Umsetzung werden Akteurinnen und Akteuren aus Wissenschaft, Politik und Gesellschaft helfen, Regionen und Gesellschaftsgruppen zu identifizieren, die von den Folgen des Klimawandels besonders betroffen sind. Wesentliches Ziel der DAS ist es, die Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen und einzelnen gesellschaftlichen Gruppen zu stärken, damit sie für die Zukunft vorbereitet sind. Das für die Bundesebene zuständige Kompetenzzentrum „Klimafolgen und Anpassung“ im Umweltbundesamt – kurz KomPass genannt (www.anpassung.net) – unterstützt die Umsetzung der DAS sowohl fachlich als auch organisatorisch und ist Wegweiser und Ansprechpartner für bundesweite Anpassungsaktivitäten.

Rheinland-Pfalz ist über sein landesspezifisches Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen in das Deutsche Klimaportal integriert und ist Mitglied im Klimanavigator. Dieser wurde vom Climate Service Center der Helmholtz-Gesellschaft in Hamburg zusammen mit zahlreichen deutschen Klimaforschungseinrichtungen als nationales Internetportal für Klimainformationen entwickelt. Der Klimanavigator gibt einen Überblick über die klimarelevante Forschung in Deutschland sowie über Klimawandel und Klimaanpassungsinitiativen.

3 AKTUELLES KLIMA UND KLIMAPROJEKTIONEN FÜR RHEINLAND-PFALZ

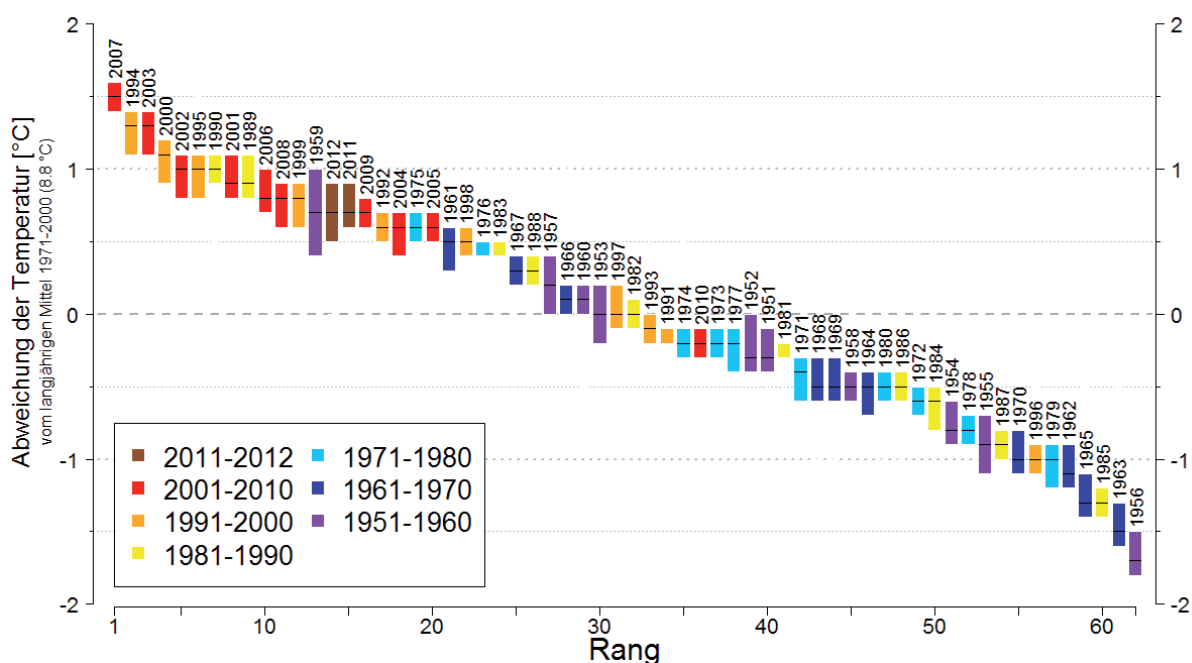


3.1 Aktuelles Klima

Die langjährige Jahresmitteltemperatur liegt in Rheinland-Pfalz für den Zeitraum 1961-1990 bei 8,6 °C. Innerhalb der letzten gut 130 Jahre von 1881 bis 2012 ist sie um rund 1,3 °C angestiegen, wobei der Anstieg im Sommer und im Winter auf gleichem Niveau liegt. Eine deutliche Erhöhung der Jahresmitteltemperatur zeigen vor allem die beiden vergangenen Jahrzehnte. Unter den 20 wärmsten Jahren seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Rheinland-Pfalz im Jahre 1881 liegen, wie Abbildung 2 verdeutlicht, allein 18 Jahre im Zeitraum von 1989 bis 2012.

Bei der Niederschlagsmenge ergibt sich für das Gesamtjahr ein positiver Trend von +11,1 % in den vergangenen gut 130 Jahren. Westwindwetterlagen sind in den letzten 50 Jahren tendenziell häufiger geworden, verbunden mit einer Erhöhung der mittleren Niederschläge im Winter, insbesondere in den Mittelgebirgslagen Eifel, Hunsrück und Pfälzerwald. Vor allem der Frühling (+16,1 %) und der Winter (+28,6 %) sind nahezu in ganz Rheinland-Pfalz deutlich feuchter geworden. Auch winterliche Starkniederschläge haben an Intensität und Häufigkeit zugenommen.

Abbildung 2:
Rangfolge der Abweichung der Tagesmitteltemperatur im meteorologischen Jahr vom langjährigen Mittel der Jahre 1971 bis 2000

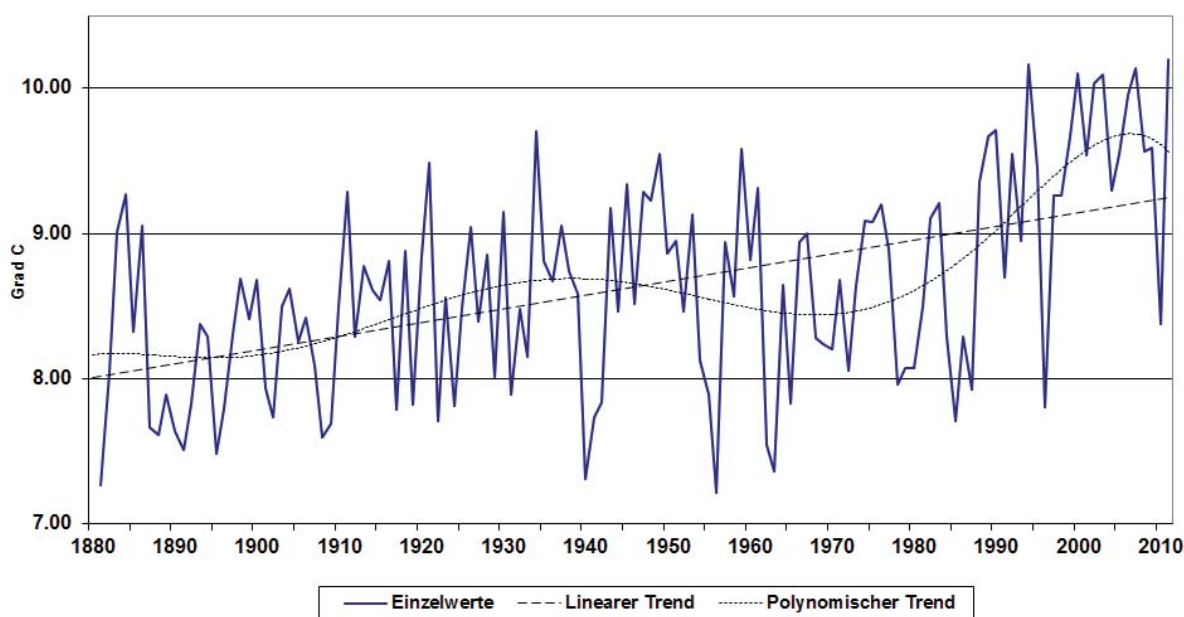


Dargestellt sind die Jahre seit 1951. Das wärmste Jahr (2007) steht an erster Position, das kälteste an letzter Position; die Dekaden sind zur besseren Erkennung der starken Erwärmung in den jüngsten Jahren unterschiedlich eingefärbt

Die Sommermonate zeigen hingegen eine leicht fallende Tendenz (-3,4 % im Mittel) der Niederschlagsmenge. Bei aller Unsicherheit über das künftige Ausmaß der Veränderungen der Temperatur und des regionalen Niederschlags werden sich die beobachteten Trends nach den vorliegenden regionalen Klimaprojektionen auch künftig fortsetzen. Generell müssen wir uns auf häufigere

Extremwetterereignisse wie zum Beispiel stärkere und länger anhaltende Hitzeperioden einstellen. Rheinhessen, der Oberrheingraben und das Koblenz-Neuwieder Becken gehören dabei schon heute zu den trockensten Regionen von Deutschland. Sie gelten als besonders vulnerable Regionen.

Abbildung 3:
Beobachtete Jahresmitteltemperaturen in Rheinland-Pfalz ab 1881

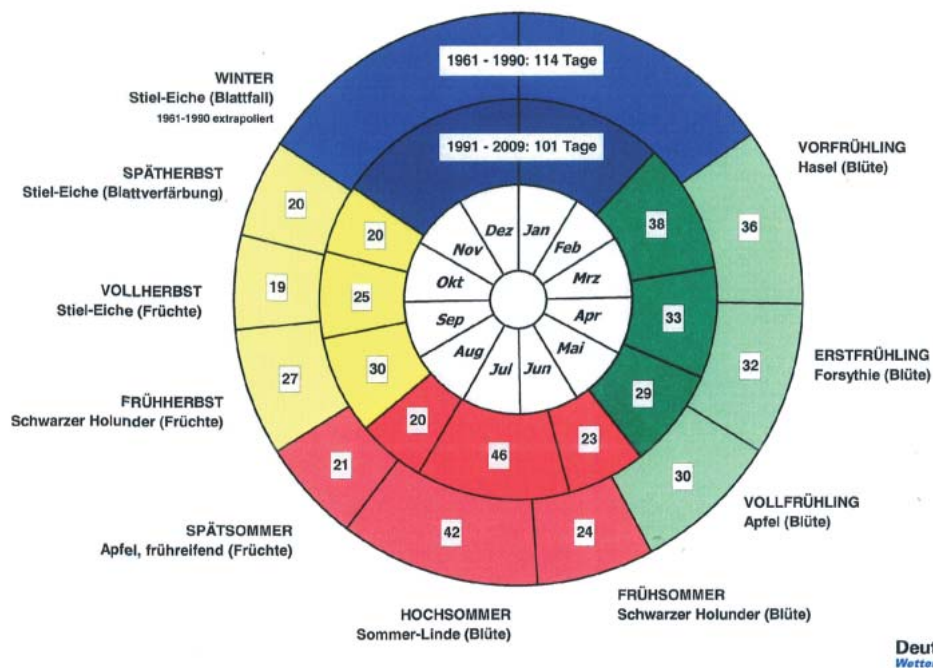


Datenquelle: Deutscher Wetterdienst

Phänologische Uhren geben Auskunft, inwiefern sich die Klimaveränderung bereits auf die Phänologie ausgewirkt hat. Es wird z. B. erhoben, wann der Haselstrauch blüht, wann frühe Apfelsorten reifen und zu welchem Zeitpunkt sich die Blätter der Stieleiche im Herbst verfärben. Dazu regelmäßig und nach festgelegten Standards erhobene Daten definieren neben anderen Ereignissen in der Natur den Beginn und das Ende von Jahreszeiten.

Werden die phänologischen Uhren unterschiedlicher Zeiträume verglichen, hat sich der Winter im Zeitraum 1991-2009 gegenüber 1961-1990 um 13 Tage verkürzt. Während der Frühling und der Sommer in Rheinland-Pfalz aktuell zwar früher beginnen aber kaum länger andauern als in der Vergangenheit, hat sich der Herbst zeitlich um fast 10 Tage ausgedehnt (Abbildung 4).

Abbildung 4:
Phänologische Uhr für Rheinland-Pfalz



Der innere farbliche Ring markiert den gegenwärtigen Zeitraum von 1991-2009, der äußere Ring die Vergangenheit von 1961-1990. Die Farben bedeuten: blau = Winter; grün = Frühling; rot = Sommer; gelb = Herbst.
Quelle: Deutscher Wetterdienst

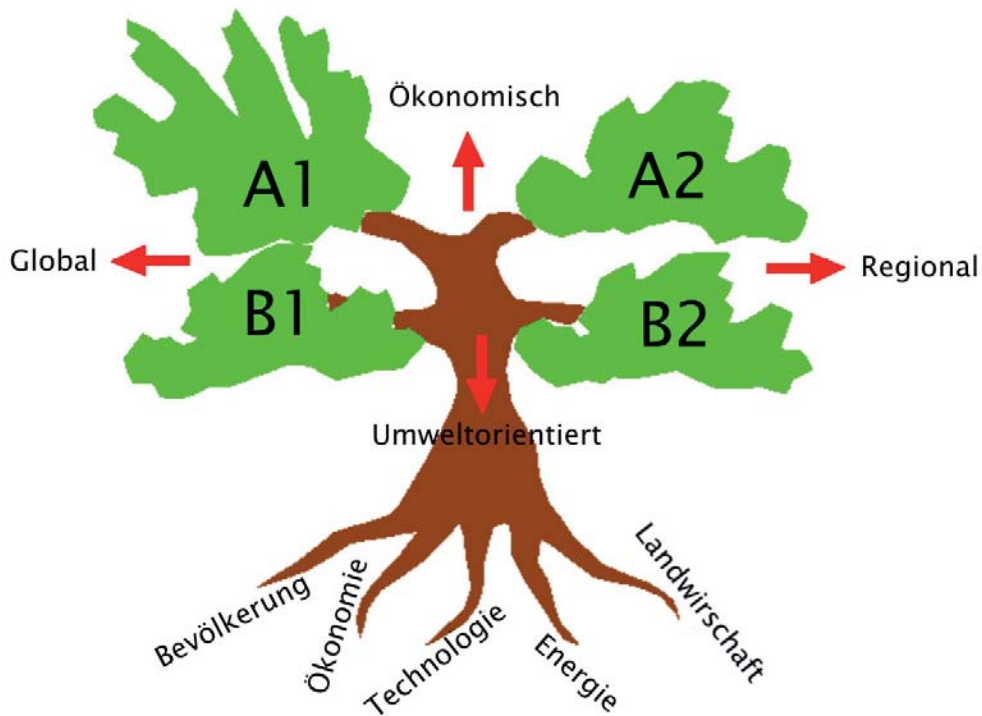
3.2 Mögliche künftige Klimaveränderungen in Rheinland-Pfalz

Emissionsszenarien

Welche Mengen an Treibhausgasen in die Atmosphäre emittiert werden, hängt von weltweiten ökonomischen, sozialen und politischen Entwicklungen ab. Diese sind grundsätzlich nicht vorhersagbar. Eine Prognose des in der Zukunft herrschenden Klimas ist daher nicht möglich. Aus diesem Grund wird die Bandbreite an möglichen Klimaveränderungen über die Verwendung unterschiedlicher Szenarien für Treibhausgasemissionen

abgebildet. Die Grundlage dafür sind Annahmen über die künftige Entwicklung der Menschheit, d. h. über die technologische Entwicklung, den Einsatz fossiler und erneuerbarer Energien sowie die Bevölkerungsentwicklung. Daraus ergibt sich eine vielfältige Palette von gleich wahrscheinlichen Emissionsszenarien, die wiederum die Grundlage für Projektionen der künftigen Klimaentwicklung sind. Deshalb spricht man auch von Projektionen des Zukunftsklimas, unter der Annahme von Entwicklungsszenarien. Bereits für den 3. IPCC Report (2001) wurden Szenariengruppen (Abbildung 5) zur Beschreibung der zukünftigen Konzentrationen an Treibhausgasen in der Atmosphäre definiert. Sie sind auch Grundlage der aktuell zur Verfügung stehenden regionalen Klimaprojektionen.

Abbildung 5:
Zukünftige Klimaentwicklung - Szenariengruppen



Szenariengruppen (z. B. A1) zur Beschreibung der zukünftigen Konzentrationen an Treibhausgasen in der Atmosphäre auf Basis der „Special Report on Emissions Scenarios“ („SRES“, IPCC 2000), als Grundlage zur Klimawandelfolgenabschätzung im 3. und 4. Sachstandsbericht des IPCC. Mit dem Ende September 2013 veröffentlichten 5. Sachstandsbericht des IPCC („AR5“) wurden als neue Szenarienfamilie sogenannte RCP-Szenarien („Representative Concentration Pathways“) eingeführt. Es kann angenommen werden, dass die Ergebnisse auf der Grundlage des global und auch für Rheinland-Pfalz bevorzugten SRES-Szenarios A1B nach wie vor im Rahmen der möglichen Klimaänderung liegen. Nach den RCP-Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP6.0 wäre mit einer geringeren, nach dem Hochemissionsszenarios RCP8.0 mit einer stärkeren Klimaänderung zu rechnen

Klimaprojektionen liegen hauptsächlich für die drei Zukunftsszenarien A1B, A2 und B1 vor. Damit wird versucht, einen möglichst breiten Entwicklungskorridor für das zukünftige Klima abzudecken.

Die Szenarienfamilie A1 beschreibt eine künftige Welt mit sehr raschem wirtschaftlichem Wachstum und mit einer Weltbevölkerung, deren Zahl bis Mitte des 21. Jahrhunderts zu- und danach abnimmt sowie mit einer raschen Einführung von neuen und effizienteren Technologien. A1B bedeutet innerhalb der Familiengruppe eine Ausgeglichenheit über alle Energieträger hinweg.

Die Szenarienfamilie A2 beruht auf einer zukünftig sehr heterogenen Welt. Die Geburtenraten der verschiedenen Regionen nähern sich nur langsam an, was zu einem kontinuierlichen Anstieg der Weltbevölkerung führt. Wirtschaftliches Wachstum ist vor allem regional orientiert, der technologische Wandel vollzieht sich fragmentierter und langsamer als in den anderen Szenarienfamilien.

Die Szenarienfamilie B1 beschreibt eine Welt mit der gleichen globalen Bevölkerung wie im Szenario A1, aber mit raschen Veränderungen in den wirtschaftlichen Strukturen hin zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, mit deutlich geringerer Materialintensität sowie Einführung von emissionsarmen und ressourcenschonenden Technologien.

Die Szenarienfamilie B2 beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Langsamer als bei A2 steigt die Weltbevölkerung, die wirtschaftliche Entwicklung liegt auf einem mittleren Niveau und es wird ein weniger rascher, dafür aber vielfältiger technologischer Fortschritt als in den B1- und A1-Familien angenommen. Die Szenarienfamilie B2 kann zwischen B1 und den A-Szenarien eingeordnet werden und wurde für Rheinland-Pfalz nicht weiter betrachtet.

Im Ergebnis dieser unterschiedlichen Entwicklungen steigen die jährlichen globalen Treibhausgasemissionen in allen Szenarien bis 2050 an. Anschließend sinken sie in B1 unter die Werte von 1990. Auch in A1B gehen sie zurück, während in A2 der Anstieg ungebremst weiter geht.

Klimamodelle

Klimamodelle bilden auf der Basis der Energiebilanz der Erde die wesentlichen Aspekte des Erdklimas ab. Die Klimamodelle werden laufend weiter entwickelt. Globale Klimamodelle liefern Daten in einer horizontalen räumlichen Auflösung von ca. 80 x 80 bis 360 x 360 km. Auf Rheinland-Pfalz entfallen somit nur wenige Rasterzellen, wodurch unterschiedliche Höhenlagen, Geländeverhältnisse und Luv- bzw. Lee-Lagen unberücksichtigt bleiben. Das mögliche künftige Klima in Rheinland-Pfalz wird somit viel zu undifferenziert wiedergegeben. Zur Beantwortung regionaler Fragestellungen sind diese regionalklimatischen Besonderheiten jedoch zu berücksichtigen. Deshalb wurden Verfahren und Modelle zur Regionalisierung entwickelt. Sie werden von globalen Modellen angetrieben und liefern Aussagen für einen räumlich begrenzten Ausschnitt. Es stehen nach der Regionalisierung Klimadaten als Rasterdaten mit einer Auflösung von 10 x 10 bis 50 x 50 km oder Stationsdatensätze zur Verfügung. Zum regionalen Downscaling werden statistische Methoden oder dynamische Modelle (ähnlich den Globalmodellen) mit geringerem Gitterabstand verwendet.

- Statistische Verfahren verwenden die Messreihen von Klimastationen und entwickeln auf deren Basis Zukunftszeitreihen für diese Stationen. Aus den Globalmodellläufen werden die Muster der atmosphärischen Zirkulation oder das Temperatursignal entnommen.
- Dynamische Verfahren fokussieren auf Teilregionen des globalen Modells und rechnen in diesen Gebieten mit deutlich höherer räumlicher Auflösung („Nesting“), wobei am Rand des jeweiligen Teilrechengebietes die Antriebsdaten aus einem globalen Klimamodell zum Einsatz kommen. Hochentwickelte dynamische Regionalisierungen sind sehr aufwendig und erfordern hohe IT-Kapazitäten.

Für Rheinland-Pfalz erfolgte die hochauflösende Regionalisierung mit zwei statistischen und zwei dynamischen Regionalisierungsverfahren.

In den landesspezifischen Projekten zum Klimawandel wurden, soweit möglich, die Ergebnisse aller verfügbaren Regionalmodelle berücksichtigt. Dabei kommen sowohl die statistischen Verfahren WETTREG2006, WETTREG2010 und STAR als auch die dynamischen Modelle CLM und REMO zur Anwendung.

Klimaveränderung in Rheinland-Pfalz bis 2100

Für die jeweils zugrunde gelegten Entwicklungsszenarien zeichnen die Klimamodellrechnungen kein einheitliches Bild des zukünftigen Klimas. Vielmehr gibt es einen Korridor an möglichen Klimaveränderungen, der aus den unterschiedlichen Modellen, den Szenarien und einer Vielzahl von Modellläufen resultiert. Dennoch verbleibt eine gewisse Unsicherheit bei den Korridorgrenzen, da alle bisher für Rheinland-Pfalz verfügbaren regionalen Klimaprojektionen auf einem einzigen Globalmodell (ECHAM 5/MPI-OM) fußen. Die Ergebnisse der Klimamodelle und auch der Regionalisierung sind außerdem nicht „punktgenau“. Dies bedeutet, dass sie keine kleinräumigen bzw. lokalen Aussagen zulassen, sondern lediglich regionale Aussagen ermöglichen.

Ebenso wie andere Regionen in Deutschland wird Rheinland-Pfalz sehr wahrscheinlich kein grundlegend neues Klima bekommen. Es kann aber

angenommen werden, dass bereits bekannte, bisher seltene Situationen wie der Hitzesommer 2003 in der Zukunft häufiger vorkommen oder sogar die Regel sein werden. Nach dem bisherigen Trend gibt es deutliche Hinweise auf die Zunahme extremer Wetterereignisse wie Starkniederschläge und Trockenperioden. Werden bei einzelnen Parametern wie der Temperatur sogenannte Kipppunkte überschritten, könnten irreversible Schäden auftreten, wenn nicht rechtzeitig gehandelt wird. Bei ungebremstem Klimawandel wird dieses Risiko bis 2100 stark ansteigen.

Neben dem klaren Erwärmungstrend zeigen sämtliche verwendeten Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts eine Tendenz zu steigenden Winterniederschlägen, während im Sommer häufigere und längere Trockenperioden sowie vermehrt Niederschlagsereignisse in Form von Starkregen erwartet werden. Die mittlere Jahrestemperatur wird je nach Regionalmodell mehr oder weniger stark ansteigen (Abbildung 6), wobei regionale Unterschiede zu berücksichtigen sind. Wie aus dem Thermopluviogramm (eine kombinierte Darstellung der Temperatur und des Niederschlages) in Abbildung 6 erkennbar ist, wird für die nahe Zukunft je nach Modell für den Sommer ein Temperaturanstieg von bis zu knapp 2 °C projiziert. Bei der Niederschlagsveränderung sind sich die Modelle schon im Vorzeichen nicht einig; die

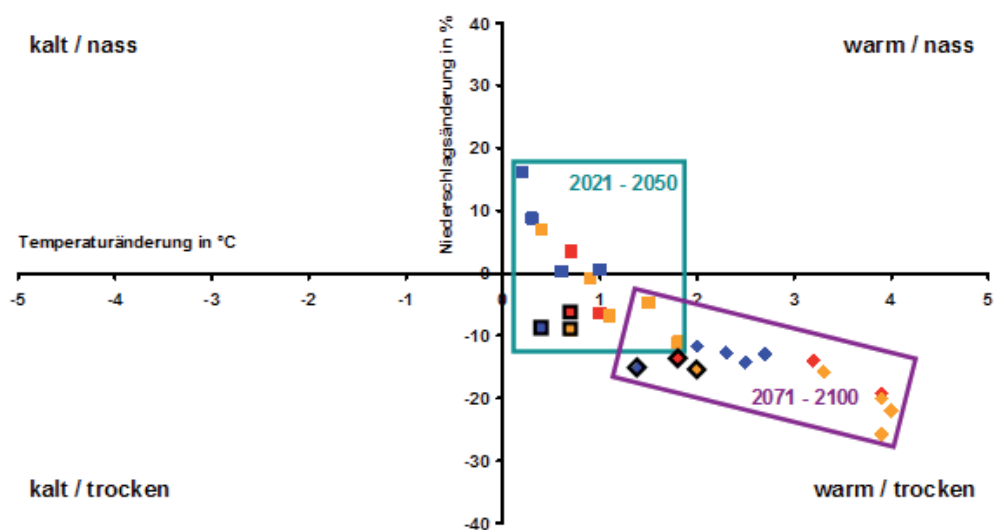
Veränderungen im Sommer gegenüber heute reichen von -10 % bis circa +20 %. Der Temperaturanstieg für die ferne Zukunft schwankt zwischen etwa 1,5 °C bis 4 °C, der einheitliche Niederschlagsrückgang im Sommer bewegt sich zwischen ca. 5 und 25 %.

Als Beispiel für eine Klimaprojektion soll das Emissionsszenario A1B herangezogen werden, das mit dem Regionalmodell WETTREG2010 gerechnet folgende Projektion liefert: Bis Ende 2100 wird für Rheinland-Pfalz ein mittlerer Temperaturanstieg von ca. 3,7 °C projiziert (Abbildung 7). Die Niederschläge würden in der Vegetationszeit (Mai bis September) um durchschnittlich 15 bis 20 % zurückgehen.

Die enorme Variabilität in Rheinland-Pfalz spiegelt das räumliche Muster unterschiedlicher Reliefverhältnisse, Höhenlagen sowie Luv- und Lee-Lagen wider. Die Zahl der Hitzeperioden mit Temperaturen über 30 °C und einer Minstdauer von zwei bis fünf Tagen wird gegen Ende des 21. Jahrhunderts zwei- bis dreimal so häufig sein wie in der Referenzperiode. Eine Zunahme der Westwetterlagen bedeutet vor allem im Winterhalbjahr höhere Niederschläge.

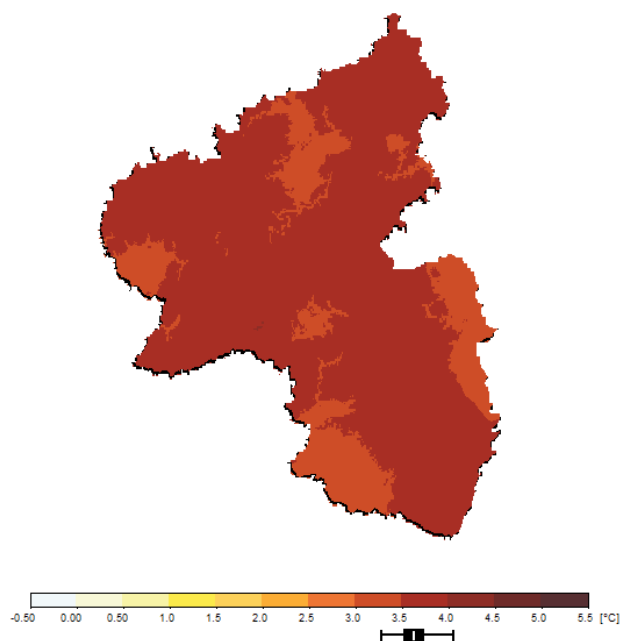


Abbildung 6:
Tagesmitteltemperatur - Beispiel einer Klimaprojektion



Thermopluviogramm der Abweichungen von der Referenzperiode (1971-2000) für Rheinland-Pfalz für die Zeiträume 2021–2050 (Quadrate) und 2071-2100 (Rauten) und die Szenarien B1 (blau), A2 (rot) und A1B (orange); gerechnet mit einem Ensemble unterschiedlicher regionaler Klimamodelle; Projektionen des Modells WETTREG2006 sind durch schwarz umrandete Symbole gekennzeichnet

Abbildung 7:
Thermopluviogramm - Abweichung von Jahrestemperatur und Niederschlag im Sommer



Modell WETTREG2010, Szenario A1B, Zeitraum 2071-2100. Dargestellt ist die mögliche Veränderung der mittleren Jahrestemperatur. Weitere Projektionen zu verschiedenen Parametern finden sich unter www.kwis-rlp.de

3.3 Klimawandel in der Landes- und Regionalplanung

Klimaschutz- bzw. klimawandelrelevante Themenfelder sind für die Raumordnung nicht neu und waren auch in der Vergangenheit bereits ein Abwägungsbelang für räumliche Konfliktlösungen. Die Raumordnung versteht sich daher als Querschnittsthema, das sämtliche raumbedeutsamen Planungen und Entscheidungen anderer Handlungsfelder integriert.

Die aktuelle Diskussion und die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Klimawandel des interdisziplinären landesspezifischen Forschungsprojektes Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) zeigen, dass wir in Rheinland-Pfalz mit veränderten Raumnutzungsstrukturen rechnen müssen und auch die Raumordnung neue Aufgaben- und Handlungsfelder in den Blick nehmen muss.

Der wachsenden Bedeutung des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird deshalb im Raumordnungsgesetz (ROG) durch die Aufnahme eines Grundsatzes (vgl. § 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG) Rechnung getragen. Die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) hat vor diesem Hintergrund im Jahr 2013 ein „Handlungskonzept der Raumordnung im Hinblick auf räumliche Konsequenzen des Klimawandels“ beschlossen. Das Handlungskonzept berücksichtigt die Ergebnisse raumordnerischer Modellvorhaben¹ sowie des Arbeitskreises „Klimawandel und Raumplanung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL).

Während Fragen der Klimawandelfolgen in der Vergangenheit in der raumordnerischen Betrachtung von Einzelaspekten wie Klima-, Freiraum- und Hochwasserschutz und ihren absehbaren Auswirkungen betrachtet wurden, bestehen vor dem Hintergrund der zu erwartenden Klimawandelfolgen nun viel weitergehende qualitative An-

sprüche an eine stärker vorsorgend ausgerichtete Raumordnung.

Infolge des Klimawandels werden sich Landschaftsbilder und Raumnutzungen verändern, was zu zusätzlichen konkurrierenden Nutzungsansprüchen an den Raum führen kann. Diese komplexen Veränderungen und absehbaren Nutzungskonflikte erfordern schon jetzt strategische und integrative Planungsansätze. Landes- und Regionalplanung sehen sich vor die Aufgabe gestellt, weitreichende Raumnutzungsentscheidungen zu treffen, die u. a. sowohl Vermeidungs- und Minderungsstrategien als Beitrag zum Klimaschutz als auch Anpassungsmaßnahmen als Beitrag zur Folgenbewältigung an die zu erwartenden Klimaveränderungen berücksichtigen. Für die Anpassung an den Klimawandel sind die Risikoversorge für Hochwasserschutz in den Flussgebieten, der Schutz vor Hitzefolgen und vor Wasserknappheit sowie die Berücksichtigung klimabedingter Veränderungen im Tourismusverhalten und in den Lebensräumen von Tieren und Pflanzen von wesentlicher Bedeutung.

Klimaschutzmaßnahmen der Landes- und Regionalplanung umfassen vor allem die Handlungsfelder einer energiesparenden und verkehrsvermeidenden Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung, der räumlichen Vorsorge für eine klimaverträgliche Energieversorgung insbesondere mit erneuerbaren Energien und der Sicherung von CO₂-Senken. Die Raumordnung schafft somit die Voraussetzungen dafür, dass die verbindlichen Ziele des Klimaschutzes umgesetzt werden können.

Der zentrale Beitrag der rheinland-pfälzischen Landes- und Regionalplanung bei „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ kann exemplarisch an den folgenden Themenschwerpunkten ausgewählter Handlungsfelder verdeutlicht werden:

- Überschwemmung: Der vorbeugende Hochwasserschutz in Flussgebieten ist durch Sicherung und Rückgewinnung von zusätzlichen

¹ Wie kann Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel beitragen? Ergebnisbericht des Modellvorhabens der Raumordnung „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (KlimaMORO), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Forschungen Heft 157

Retentionsräumen, die Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen sowie durch die Verbesserung des Wasserrückhaltes in der Fläche der Flusseinzugsbereiche weiter zu entwickeln. Grundlage hierfür bilden vor allem die Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikomanagementpläne der Wasserwirtschaft.

- Grundwasserneubildung: Um die angesichts zunehmender Wasserknappheiten und Dürre künftig absehbaren regionalen Konflikte bei der Nutzung von Wasserressourcen lösen zu können, sollen schon heute vorsorglich verstärkt Wasservorratsgebiete raumordnerisch gesichert sowie stark Wasser verbrauchende Nutzungen vorausschauend gelenkt werden.
- Schutz vor Hitzefolgen: Unter dem Aspekt der Gesundheit (insbesondere in Bezug auf das Bioklima) trägt die Raumordnung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung verstärkt bioklimatischen Belastungsgebieten Rechnung. Durch das voraussichtlich häufigere Auftreten von Wärmeperioden und Hitzewellen im Sommer wird der Klimawandel insbesondere in verdichteten Räumen die bereits vorhandenen „Wärmeinseln“ verstärken und neue entstehen lassen.
- Frischluftschneisen: Zur Abmilderung und Begrenzung negativer Hitzefolgen sind bei der Siedlungsentwicklung Entstehungsgebiete sowie Ausgleichs- und Abflussbahnen für Frisch- und Kaltluft freizuhalten. Hier ergeben sich enge Berührungspunkte der Regionalplanung und der Stadtentwicklung. Insbesondere die Umsetzung kleinklimatischer Anpassungsstrategien setzt eine intensive Kooperation zwischen Stadt und Umland voraus.
- Freiräume: Insbesondere in Verdichtungsräumen sind ergänzend im Umfeld von Siedlungsflächen großräumig klimatisch bedeutsame Freiflächen wie regionale Grünzüge und Grünzäsuren auszuweisen.
- Tourismus: Die Veränderungen im Tourismusverhalten erfordern ggf. neue Investitionen und neue Infrastrukturen, die entsprechend raumordnerisch vorbereitet werden müssen. Die Entwicklung neuer, klimaangepasster Konzeptionen kann gemeinsam mit Unternehmen

und Verbänden aus dem Tourismusbereich durch Modellvorhaben der Raumordnung vorbereitet werden.

- Naturschutz/Biodiversität: In diesem Bereich wird es infolge des Klimawandels zu temperaturbedingten Ausweich- und Wanderungsbewegungen von Tier- und Pflanzenarten kommen. Die Raumordnung kann diese Verschiebung der Lebensräume durch die Sicherung eines regions- und länderübergreifenden, funktional zusammenhängenden Netzes ökologisch bedeutsamer Freiräume sowie die Minimierung weiterer Zerschneidungen begleiten.

Die Landesplanung in Rheinland-Pfalz ist mit ihren zahlreichen formellen und informellen Instrumenten zur Koordination von unterschiedlichen Raum- bzw. Bodennutzungsansprüchen schon heute gut aufgestellt. So enthält das Landesentwicklungsprogramm IV (LEP IV) erstmals ein eigenes programmatisches Schwerpunktthema „Klimawandel und nachhaltige Energiepolitik“ (Abbildung 8). In ihm werden bereits die Kerninhalte des aktuellen MKRO-Beschlusses übernommen bzw. berücksichtigt. Im Rahmen der Fortschreibung des LEP IV werden die raumrelevanten Handlungsfelder und Instrumente, die zur Bewältigung der Anforderungen des Klimaschutzes und des Klimawandels beitragen können, darzustellen sein.

Für die anstehende Fortschreibung der regionalen Raumordnungspläne wird es in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung sein, dass die vom Klimawandel betroffenen Fachplanungen ihre Informationen über die Auswirkungen des Klimawandels räumlich konkretisiert bereitstellen. Insbesondere auf Ebene der Regionalplanung können darüber hinaus aufgrund der bestehenden regionalen Netzwerke und der Verbindungen zur kommunalen Umsetzungsebene (regionale Klimawandel-Governance) verstärkt informelle Instrumente wie regionale Entwicklungskonzepte, auch zur Bewusstseinsbildung und Schaffung von Akzeptanz, erfolgreich angewandt werden.

Abbildung 8:
Beispiel für klimarelevante raumordnerische Instrumente: LEP IV, Karte 14, Grundsatz 113



Die klimaökologischen Ausgleichsräume und Luftaustauschbahnen sollen aufgrund ihrer besonders günstigen Wirkungen auf klimatisch und lufthygienisch belastete Siedlungsbereiche weitgehend von beeinträchtigenden Planungen und Maßnahmen freigehalten werden

Verständnis und Akzeptanz der kommunalen Akteure bilden wichtige Voraussetzungen für eine Berücksichtigung der Belange von Klimaschutz und Klimawandel auch auf der Ebene der Bauleitplanung. Seit dem Inkrafttreten der „Klimaschutznovelle“ des Baugesetzbuches am 30. Juli 2011 sind Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels ein ausdrückliches Ziel der Bauleitplanung: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden“ (§ 1a Abs. 5 Baugesetzbuch). Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel greifen dabei vor allem bei der Ausweisung neuer Baugebiete.

Abschließend ist festzustellen, dass die Raumordnung als raum- und fachübergreifende Planung unter Einbeziehung aller raumrelevanten Fachplanungen und Raumnutzer eine aktiv steuernde und koordinierende Rolle, sowohl bei der vorausschauenden Bewältigung der Folgen des Klimawandels durch Anpassungsstrategien als auch im Hinblick auf wirksame Vermeidungs- und Minderungsstrategien, übernehmen kann.

4 BODEN



4.1 Ausgangslage

Böden erfüllen wichtige Funktionen für Mensch und Umwelt und spielen darüber hinaus eine wesentliche Rolle im Klimageschehen. Das Klima beeinflusst die Bodenentwicklung und die Bodenfunktionen. Klimaänderungen wirken sich auf den Wasserhaushalt, den Stofftransport und den Stoffumsatz in Böden aus. Umgekehrt haben anthropogene Eingriffe und klimabedingte Veränderungen der Stoff- und Energieflüsse der Böden Auswirkungen auf das Klima. „Bodenschutz und Klimaschutz sind daher miteinander verbunden – Klimaänderungen beeinflussen den Boden und veränderte Bodenverhältnisse beeinflussen das Klima.“ (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2010).

Böden sind ein zentraler Bestandteil im globalen Kohlenstoffkreislauf. Sie stehen in Wechselbeziehung zu klimawirksamen Gasen wie Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4). Nach den Meeren sind Böden die zweitgrößten Kohlenstoffspeicher – in Böden ist weltweit ungefähr fünfmal so viel Kohlenstoff gespeichert wie in der oberirdischen Biomasse und etwa doppelt so viel wie in der Atmosphäre. Durch eine unangepasste Nutzung und Bewirtschaftung können Böden aber auch Treibhausgase in die Atmosphäre abgeben.

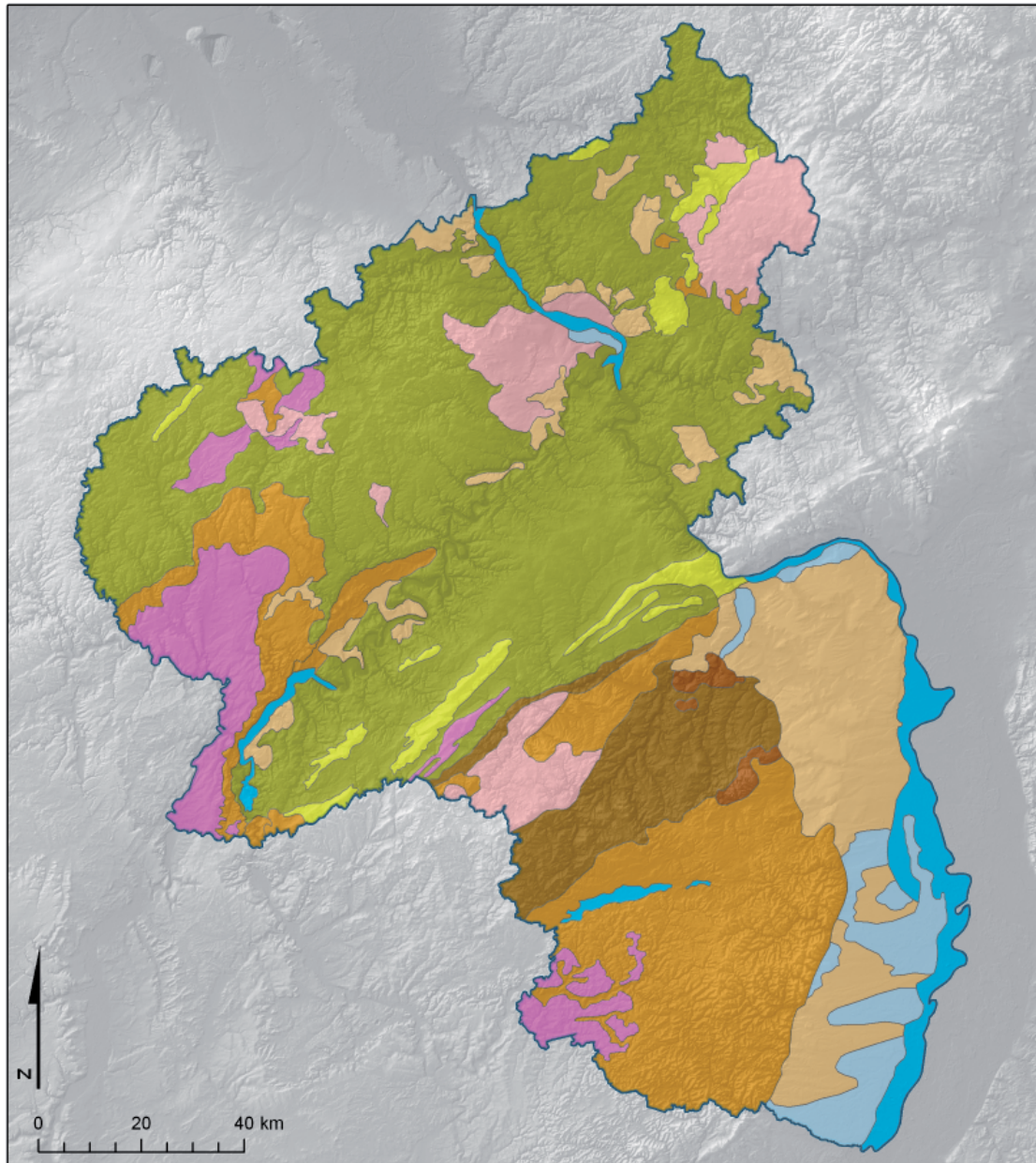
Böden besitzen darüber hinaus als poröse Körper wichtige Speicher- und Regelungsfunktionen im hydrologischen Kreislauf. Das Porenvolumen, die Verteilung verschiedener Porengrößen und

-formen und deren Kontinuität beeinflussen den Luft-, Wärme-, Nährstoff- und Wasserhaushalt des Bodens. Das Bodenwasser reagiert unmittelbar und stark auf Veränderungen innerhalb des Systems. Im Bodenwasserhaushalt zeigt sich die zeitliche Veränderung des Wassergehaltes im Boden, bedingt durch die Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Wasser.

Böden wirken in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften unterschiedlich stark als Filter, Puffer und Transformator für verschiedene Stoffe. Sie können sowohl als mechanische Filter für Stoffeinträge wirksam sein als auch durch chemische Reaktionen eingetragene Stoffe binden. So können organische Schadstoffe beispielsweise im Laufe der Zeit von Bodenorganismen abgebaut und der Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser verhindert bzw. verringert werden. Die ökologischen Regelungsfunktionen beeinflussen damit unmittelbar die Qualität des Grundwassers.

Rheinland-Pfalz hat Anteil an zehn Bodengroßlandschaften (Abbildung 9) mit einer Vielzahl von Bodenformengesellschaften und unterschiedlichen Bodentypen. Der projizierte Klimawandel wird voraussichtlich zu einer differenzierten Veränderung der Standortbedingungen in Rheinland-Pfalz führen, die von der regionalen Ausprägung des zukünftig zu erwartenden Niederschlags- und Temperaturregimes, von Relief, Bodeneigenschaften und Landnutzung abhängen wird.

Abbildung 9:
Bodengroßlandschaften in Rheinland-Pfalz



Bodengroßlandschaften (BGL) in Rheinland-Pfalz

- | | |
|--|---|
| ■ BGL der Auen und Niederterrassen | ■ BGL mit hohem Anteil an Ton- und Schluffsteinen |
| ■ BGL der Hochflutlehm-, Terrassensand- und Flussschottergebiete | ■ BGL der basischen und intermediären Vulkanite, z. T. wechselnd mit Lösslehm |
| ■ BGL der Lösslandschaften des Berglandes | ■ BGL mit hohem Anteil an sauren bis intermediären Magmatiten und Metamorphiten |
| ■ BGL mit hohen Anteilen an carbonatischen Gesteinen | ■ BGL der Ton- und Schluffschiefer mit wechselnden Anteilen an Grauwacke, Kalkstein, Sandstein und Quarzit, z. T. wechselnd mit Lösslehm |
| ■ BGL mit hohem Anteil an Sand-, Schluff-, und Tonsteinen, häufig im Wechsel mit Löss | ■ BGL mit hohen Anteilen an Quarzit, Grauwacke, Sandstein, Konglomerat sowie Ton- und Schluffschiefer |

Quelle: Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

4.2 Auswirkungen des Klimawandels

Auch wenn fachlicher Konsens über die grundsätzlichen Klimawirkungen auf Böden besteht, erschwert die Komplexität des Systems Boden mit seinen vielen internen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen quantitative Vorausagen zu den Auswirkungen der Klimaänderungen. Langfristige Veränderungen von Temperatur und Niederschlag werden sich auf den Stoffhaushalt im Boden auswirken. Eine steigende Temperatur und eine veränderte Verteilung von Niederschlägen haben zuallererst Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt. Das wirkt sich auf alle Prozesse im Boden aus, die durch Wasser beeinflusst werden. Mögliche Folge abnehmender Bodenwassergehalte sowie veränderter Phasen von Austrocknung und Wiederbefeuchtung ist die Verringerung der Abbauleistung des Bodens für verschiedene Stoffe. Dies beeinträchtigt das Bodenökosystem mit seiner Vielfalt an Bioorganismen, die Interaktion zwischen den Organismen und damit den mit ihnen verbundenen Stoffumsatz sowie den Stofftransport in Böden.

Die möglichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen stehen dabei, wie die folgenden Unterkapitel zeigen, insbesondere im Zusammenhang mit Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes, einer zunehmenden potenziellen Erosionsgefährdung, dem Risiko von abnehmenden Humusgehalten und -vorräten, dem Risiko der Bodenverdichtung, Veränderungen der Biodiversität und des Stoffhaushalts.

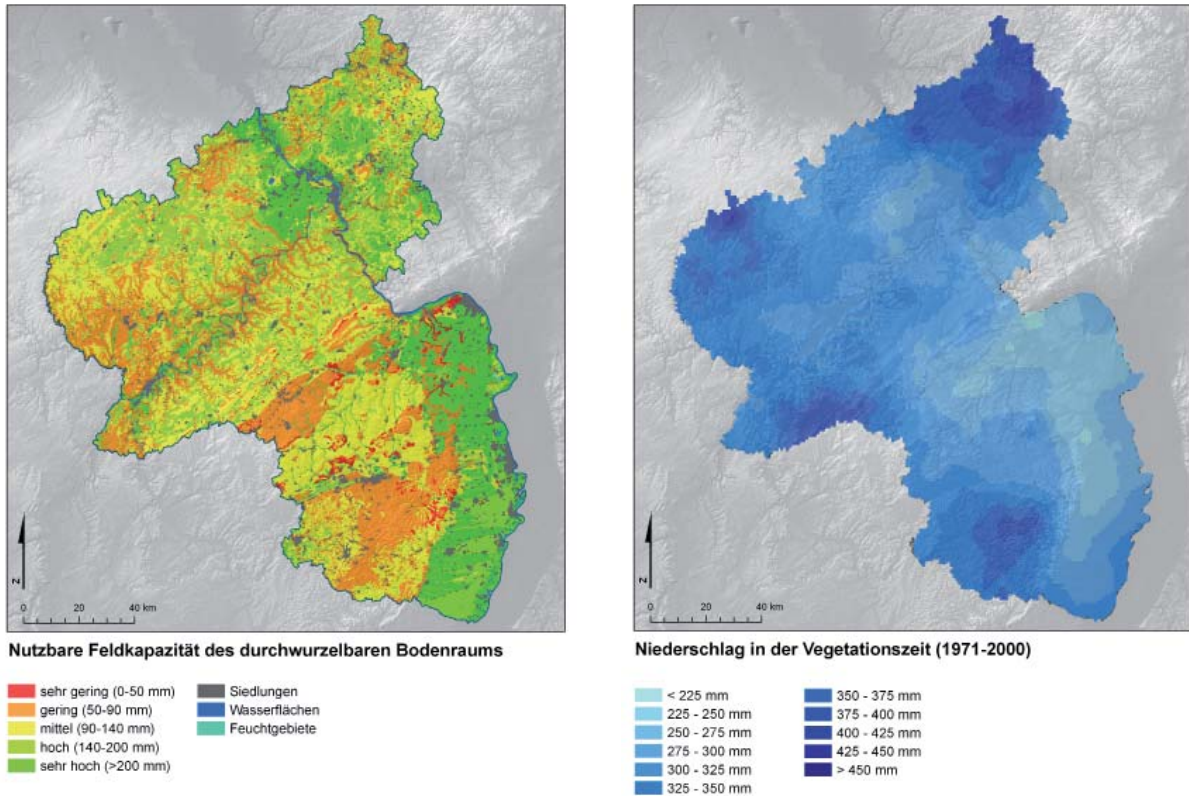
Wasserhaushalt

Der Boden besteht neben seinen festen Bestandteilen aus unterschiedlich großen Hohlräumen, die sowohl die Speicherung als auch die Versickerung von Wasser ermöglichen. Der Boden ist in der Lage, in unterschiedlich großen Mengen Wasser zu speichern und den Pflanzen zur Verfügung zu stellen (Abbildung 10). Die von verschiedenen Klimamodellen projizierten saisonalen Veränderungen des Niederschlags (Zunahme der

Niederschlagsmenge im Winter, Rückgang der Niederschlagsmenge im Sommer, Zunahme der Niederschlagsintensitäten) können sich in Kombination mit steigenden Temperaturen und damit einer höheren Verdunstung auf den Bodenwasserhaushalt auswirken. Trockenere Sommer können auf einzelnen Standorten bei grundwasserfernen Böden zu einer deutlichen Verringerung der pflanzenverfügbaren Bodenwasservorräte führen. Dadurch steigt die Gefahr von Trockenstress und einem damit verbundenen Produktionsrückgang in der Land- und Forstwirtschaft. Durch zunehmende und andauernde Trockenheit in den Sommermonaten, in Verbindung mit einer steigenden Intensität der Niederschläge bei gleichzeitiger reduzierter Wasseraufnahmekapazität der ausgetrockneten Böden, kommt es zu verstärktem Oberflächenabfluss. Das Niederschlagswasser infiltriert nicht am Standort, sondern fließt oberflächlich ab, was den Wassermangel am Standort weiter verstärken kann. Als Folge könnte die Wahrscheinlichkeit von lokalen und regionalen Hochwasserereignissen zunehmen. Eine Erhöhung der Niederschlagsintensitäten kann darüber hinaus zu einer Verlagerung von Schadstoffen mit dem Sickerwasser in das Grundwasser führen.

Die nutzbare Feldkapazität ist ein Maß für die im Boden für Pflanzen verfügbare Wassermenge. Diese wichtige bodenkundliche Größe wird aus Bodendaten abgeleitet. Im Maßstab der Bodenübersichtskarte 1:200.000 lassen sich Regionen identifizieren, die aufgrund der großen Verbreitung von Böden mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität besonders von einem Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode in Kombination mit einer erhöhten Verdunstung betroffen sein werden. Im Vergleich mit der Karte der Niederschlagsmengen in der Vegetationszeit zeigt sich, dass in Regionen, in denen schon heute relativ wenig Niederschlag in der Vegetationszeit fällt, wie z. B. in Rheinhessen, der nördlichen Pfalz, dem Neuwieder Becken oder dem Moseltal, Böden mit einem hohen Wasserspeichervermögen verbreitet sind, so dass geringere Niederschlagsmengen in der Vegetationszeit für einen längeren Zeitraum ausgeglichen werden können.

Abbildung 10:
Nutzbare Feldkapazität - Niederschlag in der Vegetationszeit



Links: Karte der nutzbaren Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraums im Maßstab der landnutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1:200.000 (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2009). Rechts: Niederschläge in der Vegetationszeit (Mai-September) für den Zeitraum 1971-2000 (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht)

Bodenerosion

Der Begriff Bodenerosion bezeichnet Prozesse, die durch auf die Bodenoberfläche aufprallende Regentropfen, fließendes Wasser oder Wind ausgelöst werden. Sie umfassen Ablösung, Transport und Ablagerung von Bodenpartikeln. Ein veränderter Jahresgang der Niederschläge mit zeitweise höheren Niederschlagsintensitäten (Extremereignisse) kann bei trockenheitsbedingten Lücken in der Vegetation, längeren Zeiträumen ohne Bodenbedeckung zwischen Ernte und Einsaat auf Ackerflächen sowie einer stärkeren Austrocknung

des Bodens an der Oberfläche durch zunehmende Temperaturen im Sommerhalbjahr zu einer Erhöhung des potenziellen Erosionsrisikos der Böden gegenüber Wasser und Wind führen. In Rheinland-Pfalz dominiert die Bodenerosion durch Wasser, während Winderosion lediglich lokale Bedeutung hat. Das Risiko von Bodenerosion ist aufgrund vieler und kleinräumig variierender Einflussfaktoren (Niederschlag, Topografie, Bodenstruktur, Bewirtschaftung) sehr unterschiedlich. Aufgrund der von verschiedenen Klimamodellen projizierten Zunahme von Winterniederschlägen und Starkregenereignissen ist in aktuell erosionsgefährdeten

Gebieten (in den Weinbaulagen des mittleren Moseltals, in den Hanglagen des Rheinhessischen Tafel- und Hügellandes, im südöstlichen Teil des Saar-Nahe-Berglands, im Zweibrücker Westrich, in den Hanglagen des Gutlands, Saargaus und in Teilen des Maifeld-Pellenzer Hügellands) mit einem Anstieg der Bodenerosion auch durch Wasser zu rechnen. Darüber hinaus kann durch Landnutzungsänderungen (z. B. Grünlandumbruch) oder Änderungen im Pflanzenanbau (z. B. Maisanbau in erosionsgefährdeten Lagen), die auf veränderte klimatische Bedingungen zurückzuführen sind, das Erosionsrisiko steigen.

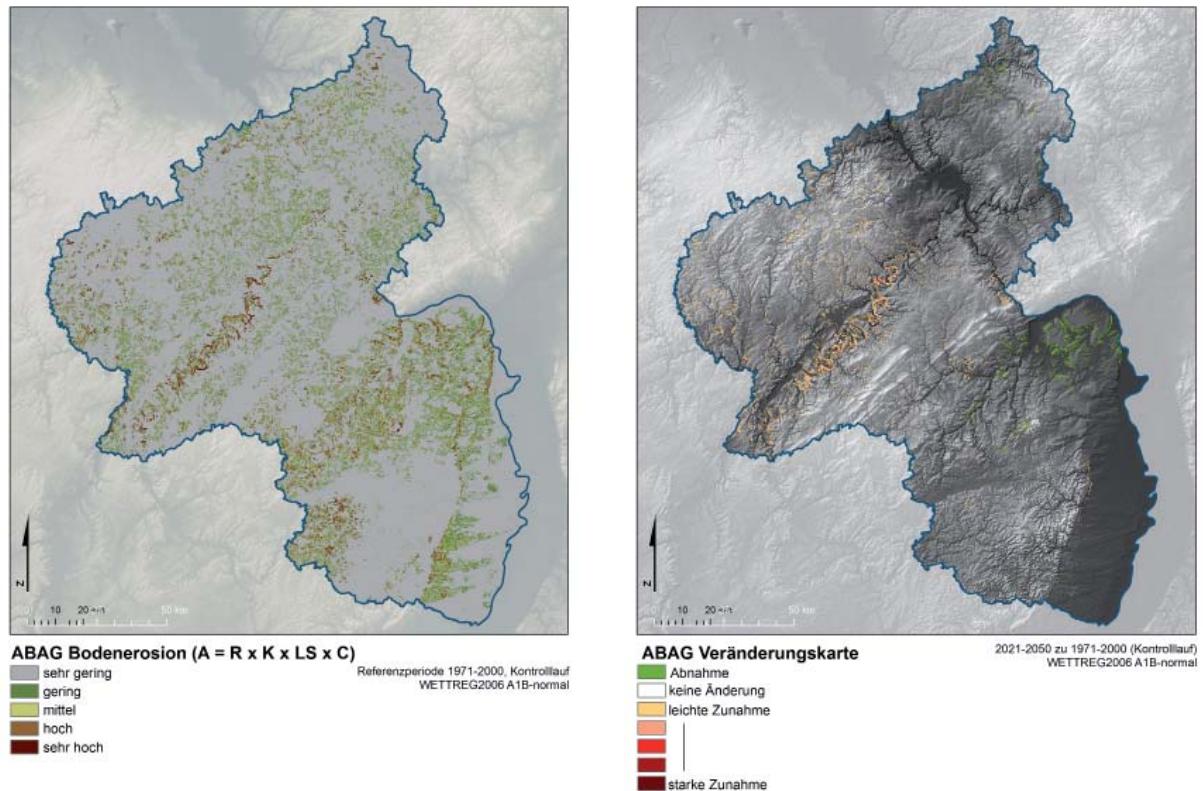
Bodenerosion kann erhebliche Schäden verursachen, die zunächst die Ackerfläche selbst betreffen, weil der besonders fruchtbare, humusreiche Oberboden und damit die Produktivität verloren gehen. Hinzu kommen Schäden am Pflanzenbestand, wie z. B. abgeschwemmte Einsaaten oder freigespülte Wurzeln und linienhafte Erosionsformen, wie Rillen, Rinnen oder sogar Gräben. Ein großer Teil des erodierten Bodens wird oft am Unterhang wieder abgelagert und kann dort ebenfalls wirtschaftliche Schäden nach sich ziehen, wenn beispielsweise Keimpflanzen verschüttet

werden oder Verschlammungskrusten die Bodenoberfläche versiegeln. Auch müssen oftmals Wege und andere Infrastrukturen aufwendig von diesem Bodenmaterial befreit werden.

Der langjährige mittlere Bodenabtrag (A) berechnet sich nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) als Produkt aus Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R), Bodenerodierbarkeitsfaktor (K), Hanglängenfaktor (L), Hangneigungsfaktor (S), Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C) und Erosionsschutzfaktor (P). Sowohl der R- als auch der C-Faktor sind klimaabhängig. Durch einen Vergleich der heutigen mit der projizierten Erosionsgefährdung (Neuberechnung des R-Faktors auf Grundlage von Klimaprojektionen) kann die Entwicklung des potenziellen Erosionsrisikos flächendeckend abgeschätzt werden. Als Ergebnis können Landschaftsräume identifiziert werden, in denen die Erosionsgefährdung infolge des Klimawandels ansteigt. Die regionalen Klimamodelle können Starkniederschläge bisher jedoch nur sehr eingeschränkt simulieren. Das Fallbeispiel in Abbildung 11 wurde mit täglichen Niederschlagsdaten des Modells WETTREG2006 (A1B-normal) berechnet.



Abbildung 11:
Mittlerer langjähriger Bodenabtrag und mögliche Veränderungen in der Zukunft



Links: Mittlerer langjähriger Bodenabtrag, berechnet nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG).
Rechts: Mögliche Veränderung des mittleren langjährigen Bodenabtrags in der nahen Zukunft (2021-2050)
(Klimaprojektion WETTREG2006 A1B-normal)

Kohlenstoff

Böden sind der größte terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff. Organisches Material ist von grundlegender Bedeutung für die Nährstoffversorgung von Böden, die Gefügeeigenschaften, das Wasserspeichervermögen, die biologische Vielfalt und die Regulierung des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Organischer Kohlenstoff gelangt durch abgestorbene Vegetationsteile oder Bodenorganismen in den Boden. Der größte Teil dieses Kohlenstoffs wird von Mikroorganismen mineralisiert, nur ein geringer Teil verbleibt im Boden und wird zu Humus, der über verschiedenen lange Zeiträume im Boden gespeichert wird.

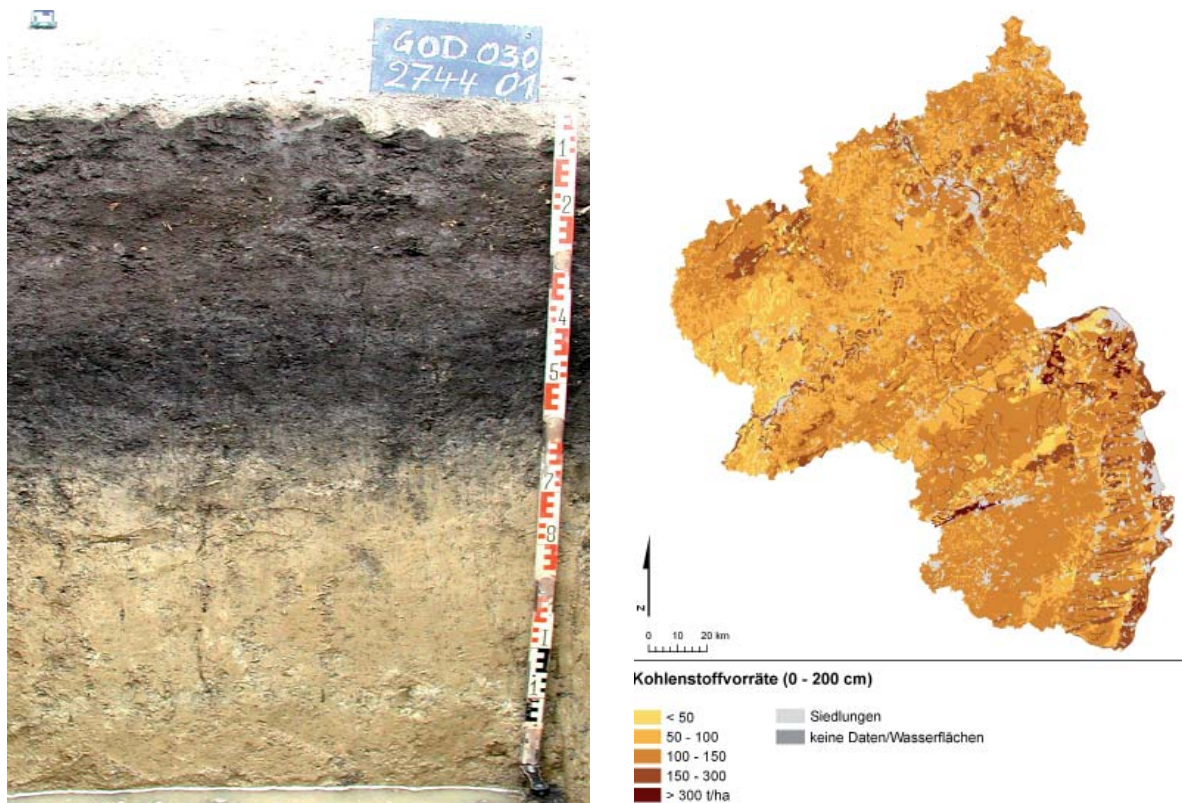
Aufgrund der großen Kohlenstoffvorräte der Böden sowie des Ausmaßes der CO_2 -Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre können bereits geringfügige Änderungen im Gehalt an organischem Kohlenstoff der Böden erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Bodenqualität haben. Ob der Abbau organischer Substanz in Böden durch einen Temperaturanstieg beschleunigt wird, hängt davon ab, ob ausreichend Bodenfeuchte vorhanden ist und die mikrobiellen Prozesse tatsächlich temperaturlimitiert sind. Eine zukünftige Häufung von Extremereignissen könnte die Produktivität der Ökosysteme und damit auch die Kohlenstoffzufuhr in Böden beeinträchtigen. Untersuchungen der direkten Folgen der Hitze- und Dürrewelle

2003 auf Ökosysteme zeigen zumindest eine drastisch reduzierte Kohlenstoffaufnahme.

Die Zunahme der Temperaturen im Winterhalbjahr und eine ausreichende Bodenfeuchte beschleunigen die Mineralisierungsprozesse der organischen Substanz. Andererseits verringert sich in den trockenen Sommermonaten auf terrestrischen Böden möglicherweise die Mineralisation. Veränderungen im Humusgehalt sind daher stark standortsabhängig. Hinsichtlich der Änderungen im Vorrat an organischer Substanz in Böden hat die Landnutzung ebenfalls einen großen Einfluss. Eine Änderung der Landnutzung kann sich als Folge des Klimawandels oder aber auch durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ergeben.

Für eine Bilanztiefe von zwei Metern errechnet sich auf der Basis der Bodenübersichtskarte 1:200.000 für Rheinland-Pfalz (Abbildung 12) ein mittlerer Kohlenstoffvorrat (C_{org}) von 115 t ha^{-1} für Ackerflächen und 128 t ha^{-1} für Grünlandflächen. Der Mineralboden der Waldstandorte hat im Mittel einen Kohlenstoffvorrat von 101 t ha^{-1} . Wird der C_{org} -Vorrat der organischen Auflagen addiert, ergibt sich ein mittlerer Kohlenstoffvorrat von 122 t ha^{-1} . Für rheinland-pfälzische Böden errechnet sich aus den vorliegenden Daten eine Gesamtkohlenstoffmenge von ca. 216 Mio. Tonnen. Besonders hohe Kohlenstoffvorräte verzeichnen Auenböden, tiefgründige Kolluvisole und ehemalige Torfmoore wie das Landstuhler Bruch in der saarländisch-pfälzischen Moorniederung.

Abbildung 12:
Kohlenstoffgehalt von Boden



Links: Schwarzerde, ein Boden in dem viel organischer Kohlenstoff gespeichert ist. Rechts: Kohlenstoffvorräte rheinland-pfälzischer Böden bis 2 m Tiefe (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz 2011)

Verdichtung

Infolge der Klimaänderung nimmt die Anzahl der frostfreien Tage zu. Dadurch erhöht sich das Verdichtungsrisiko, da im Winterhalbjahr in Kombination mit höheren Niederschlägen weniger Tage für eine bodenschonende Befahrung bzw. Bodenbearbeitung zur Verfügung stehen. Durch die Abnahme der Frosttage kann die Auflockerung des Bodens gemindert werden. Bei einer verlängerten Vegetationsperiode mit erhöhten Nutzungspotenzialen bis hin zu zwei Ernten, kann auch hier die mehrfache Bearbeitung im Jahresablauf das Verdichtungsrisiko zusätzlich erhöhen. Neben den landwirtschaftlich genutzten Böden sind insbesondere Waldböden durch das Rücken bei der Holzernte gefährdet.

Biodiversität

Mikroorganismen leisten einen entscheidenden Beitrag bei der Nährstoffbereitstellung, den Stoffflüssen und dem Stoffumsatz von Böden. Maßgeblich ist weiterhin ihre Rolle bei der Freisetzung klimarelevanter Spurengase. Standortspezifische klimarelevante Faktoren wie Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur haben Einfluss auf das Vorkommen, die Verbreitung und die Leistung der Bodenorganismen. Der Klimawandel wird aufgrund der Abhängigkeit der mikrobiellen Aktivität von Temperatur und Wassergehalt einen Einfluss auf die Bodenlebewesen und Mikroorganismen und somit indirekt auch auf die ökosystemaren Funktionen des Bodens haben. Es besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Biodiversität im Boden und zu den ökologischen Folgen einer Veränderung der Bodenfauna.

Veränderungen im Stoffhaushalt

Der Gehalt des Bodens an organischer Substanz beeinflusst die Mobilität von pflanzenverfügbaren Nähr- und Schadstoffen. Wird organische Substanz im Boden infolge des Klimawandels abgebaut, so kommt es zu einer Mobilisierung der daran gebundenen Stoffe. Diese können durch die

Erhöhung der Niederschlagsintensität verstärkt mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden und/oder durch die Erhöhung der Temperatur an der Bodenoberfläche ausgasen.

4.3 Anpassung an den Klimawandel

Eine nachhaltige, standortangepasste Bodennutzung kann negative Auswirkungen des Klimawandels verringern oder vermeiden. Im Einzelnen können folgende Empfehlungen gegeben werden:

Informieren/Beraten

- Boden- und Klimaschutz sind miteinander verbunden: Der Boden ist vom Klimawandel betroffen und Bodenschutz kann und muss Teil der Lösung des Klimaproblems sein. Diese Rolle des Bodens im Kontext der Diskussionen zum Klimawandel muss einer breiten Bevölkerung und politischen Entscheidungsträgern bewusst gemacht werden. Daher gilt es, die Rolle der Böden im und für den Klimawandel und dessen Folgen hervorzuheben und hinreichend verständlich darzustellen.
- Untersuchungsergebnisse müssen zusammengeführt und in Informationssystemen (Klimawandelinformationssystem, Bodeninformationssystem) zugänglich gemacht werden, um Beratung und politischen Entscheidungen eine aktuelle Basis zu geben.
- Um den Übergang von Forschungsergebnissen in die Praxis anwendungsbezogen und zielgenau zu erleichtern, sollten Forschung und Beratung noch enger vernetzt und z. B. in Demonstrationsvorhaben miteinander verbunden werden.

Bodendaten

- Bodendaten sind eine wesentliche Grundlage für Zustandsbeschreibungen, Szenarien und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft und den Naturschutz. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muss die

Datenbasis hochauflösender Bodeninformationen in Rheinland-Pfalz weiter verbessert werden. Darüber hinaus muss der ständige Aktualisierungsbedarf von Bodendaten nach Bodenveränderungen z. B. durch Flurbereinigungsmaßnahmen und Bodenauffüllungen gewährleistet sein. Die verteilten Strukturen der für die Erhebung parzellenscharfer Bodendaten zuständigen Behördenteile müssen durch strukturelle oder administrative Maßnahmen aufeinander abgestimmt werden.

- Aus Bodendaten abgeleitete Bodenfunktionskarten sind in Kombination mit Klimafaktoren eine wesentliche Basis für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Aspekte des Klimawandels sollten daher bereits bei der Erarbeitung von Bodenfunktionskarten berücksichtigt werden.

Monitoring

- Von entscheidender Bedeutung für die Ableitung geeigneter Anpassungsmaßnahmen ist die Erhebung (Messung) und Verfügbarmachung belastbarer Daten zu Klimawandelfolgen. Bodendauerbeobachtung und Bodenzustandserhebung leisten schon heute einen wichtigen Beitrag zum Klimafolgenmonitoring. Eine Weiterentwicklung und Abstimmung der Programme im Hinblick auf die Erfordernisse eines auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitorings ist dennoch erforderlich.

Bodenschutz

- Der Schutz der Bodenfunktionen wird vielfach unmittelbar durch die Maßnahmen anderer Handlungsfelder (Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Raumplanung) geleistet, daher ist eine enge und integrale Abstimmung der Akteure notwendig.
- Der Klimawandel und auch der Klimaschutz erfordern eine verstärkte Beachtung des Bodenschutzes. Die bewährten Grundsätze der Guten Fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung wie eine bodenschonende Befahrung, ein konsequenter Einbau von Hu-

mus als Wasser- und Nährstoffspeicher, eine reduzierte Bodenbearbeitung und der Verzicht auf Grünlandumbruch tragen dazu bei, die Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Für den Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung können Agrarumweltmaßnahmen ergänzende und grundsätzlich effektive Steuerungsinstrumente zum Erhalt und zur Verbesserung der Kohlenstoff-Senkenfunktion der Böden darstellen.

- Der mit dem Klimawandel regionalspezifisch verbundene Anstieg des potenziellen Risikos von Bodenerosion und Bodenverdichtung erfordert grundsätzlich keine andere Art von Schutzmaßnahmen als die derzeit bereits empfohlenen. Aus Sicht des Bodenschutzes wird empfohlen, zur Beurteilung der Entwicklung des Erosionsrisikos und der Effektivität von Maßnahmen gegen Erosion, praxisnahe Erosionsprognosemodelle zu nutzen sowie ein Erosionsereigniskataster aufzubauen.
- Der Flächenverbrauch bisher unversiegelter Böden bei der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung kann durch verstärkte innerstädtische Entwicklung und Brachflächenrecycling verringert werden. Darüber hinaus tragen Entsiegelung und Rekultivierung von Böden in urbanen Räumen dazu bei, das Stadtklima zu verbessern.
- Hydromorphe Böden müssen besonders geschützt werden, da sie große Mengen an Kohlenstoff speichern. Eine besondere Rolle nehmen dabei Moorböden ein, sie sollten regeneriert und erhalten werden.

4.4 Informations- und Untersuchungsbedarf

Die Auswirkungen des Klimawandels sind komplex und dynamisch und fordern unterschiedliche Wissenschaftsdisziplinen heraus. Die mit dem Klimawandel verbundenen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Fragen und Probleme lassen sich gerade für das Handlungsfeld Boden nur in einer inter- und transdisziplinären Gesamtschau sachgerecht untersuchen. Für

den Bereich Boden können folgende wesentliche Punkte genannt werden:

Bodenerosion

- Um die zukünftige Entwicklung der Bodenerosion zu beurteilen, müssen Veränderungen in der Intensität und im Auftreten von Starkniederschlägen untersucht werden. Die regionalen Klimamodelle sind dazu bisher nur eingeschränkt nutzbar. In aktuellen Forschungsprojekten wird derzeit untersucht, wie die räumliche und zeitliche Auflösung von regionalen Klimamodellen verbessert werden kann, um Veränderungen der Erosivität von Niederschlägen zu projizieren. Aber auch hier müssen Rückkopplungen berücksichtigt werden, denn neben der Änderung der Niederschlagscharakteristik wird die Temperaturzunahme weitere Parameter wie Bodenfeuchte, Evapotranspiration, Infiltration, Pflanzenwachstum und Bodenbedeckung beeinflussen, die sich wiederum auf die Bodenerosion auswirken. Bei einer verlängerten Vegetationsperiode ist mit erhöhten Nutzungspotenzialen bis hin zu zwei Ernten zu rechnen. Die mehrfache Bearbeitung im Jahresablauf kann das Erosionsrisiko zusätzlich erhöhen. Daher müssen in weiteren Untersuchungen Zukunftsszenarien für den Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor) entwickelt werden.

Bodenkohlenstoff/Humus

- Ein Vergleich der Daten der Bodenzustandserhebung Wald (BZE I 1989 und BZE II 2006) zeigt bisher keine statistisch signifikante Veränderung der Bodenkohlenstoffgehalte rheinland-pfälzischer Waldböden. Auch der ClimSoil Report (2008) der Europäischen Kommission kommt zu dem Ergebnis, dass bisher noch kein eindeutig in eine Richtung gehender Effekt des Klimawandels auf den



organischen Kohlenstoffvorrat von mineralischen Böden nachzuweisen ist. Es überlagern sich die Einflüsse von Temperaturanstieg, erhöhten CO₂-Konzentrationen und veränderten Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen. Daher ist ein landnutzungsabhängiges Monitoring des organischen Kohlenstoffs in Böden besonders wichtig.

- Der Prozess der Kohlenstoffstabilisierung im Boden, z. B. durch die Interaktion zwischen chemischen und biologischen Prozessen, muss weiter untersucht werden. Im Zusammenhang damit können prozessorientierte Bodenmodelle dabei helfen, eine Bewertung des Bodens als Quelle und/oder Senke für Kohlenstoff und klimarelevante Gase vorzunehmen.

Bodenbiodiversität

- In Verbindung mit dem Handlungsfeld Biodiversität besteht Untersuchungsbedarf bei den Auswirkungen des Klimawandels auf Vorkommen und Aktivität von Schlüsselorganismen (z. B. Regenwürmer) im Boden.
- Weiterer Untersuchungsbedarf besteht auch bei den Auswirkungen von veränderten Aktivitätsprofilen von Bodenorganismen auf das Gefahrenpotenzial von erhöhten Stoffumsätzen und Stoffmobilisierungen in Böden.

Regionale Klimamodellierung

- Flächendeckende und hochaufgelöste Bodendaten können die Aussagesicherheit von regionalen Klimamodellen möglicherweise weiter verbessern. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf, wie Bodendaten in die Klimamodellierung integriert werden können.

Die Empfehlungen und Anpassungsoptionen im Handlungsfeld Boden beruhen auf der Auswertung einer Reihe von Forschungsberichten und weiteren Dokumenten (vgl. Quellen im Anhang).

5 WASSER



5.1 Ausgangslage

Wasser ist eines der wertvollsten Geschenke der Natur. Wir alle leben von und mit Wasser. Die Wasserwirtschaft trägt die hohe Verantwortung, die Lebensgrundlage Wasser zu sichern, aber auch vor den Gefahren des Wassers zu schützen. Rheinland-Pfalz schützt seine Gewässer und verbessert ihren Zustand, wo es nötig ist. Das Land verfügt über ausreichend Trinkwasser in guter Qualität und investiert Millionen in den Hochwasserschutz.

Der Wasserkreislauf ist im Wandel. Mit der Veränderung des Klimas ändert sich auch der Wasserhaushalt. Es ist bekannt, dass sich die Temperatur auf der Erde infolge des Treibhauseffekts weltweit erwärmt und weiter erwärmen wird. Diese Entwicklung wird auch nicht mehr zu verhindern sein. Für die Wasserwirtschaft bedeutet dies, sie muss sich anpassen und Wege finden, mit diesen Veränderungen umzugehen.

Es ist davon auszugehen, dass die einzelnen Komponenten des Wasserkreislaufs (z. B. Grund- und Oberflächenwasser) und folglich auch die von diesen Komponenten abhängigen Wassernutzer und Ökosysteme unterschiedlich stark vom Klimawandel beeinflusst werden (Abbildung 13). Dem Abfluss wird bei der Änderung des Klimas eine besondere Bedeutung zugemessen. Eine Häufung der Extreme wie Hoch- und Niedrigwasser ist nicht auszuschließen.

Um Synergieeffekte bei der Ermittlung von Auswirkungen der simulierten Klimaveränderung auf hydrologische Prozesse zu nutzen, arbeitet das Land Rheinland-Pfalz bereits seit 2002 in dem Kooperationsvorhaben KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) mit. Zusammen mit den Ländern Bayern und Baden-Württemberg sowie dem Deutschen Wetterdienst werden in KLIWA Handlungsstrategien und -konzepte aus den zu erwartenden Klimaänderungssignalen erarbeitet. Das Vorhaben hat derzeit folgende Arbeitsschwerpunkte:

- Die Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushalts anhand einer Analyse vorhandener historischer Messdaten.
- Die Abschätzung der Auswirkungen möglicher

Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt mittels Simulationsrechnungen mit Wasserhaushaltsmodellen.

Von 2007 bis 2009 setzte sich die Enquete-Kommission „Klimawandel“ des Landtags von Rheinland-Pfalz in einem Themenschwerpunkt mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft auseinander und benannte erste Empfehlungen.

Von 2008 bis 2011 befasste sich das interdisziplinäre Forschungsprojekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) u. a. mit Folgen, Risiken und Chancen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft in Rheinland-Pfalz.

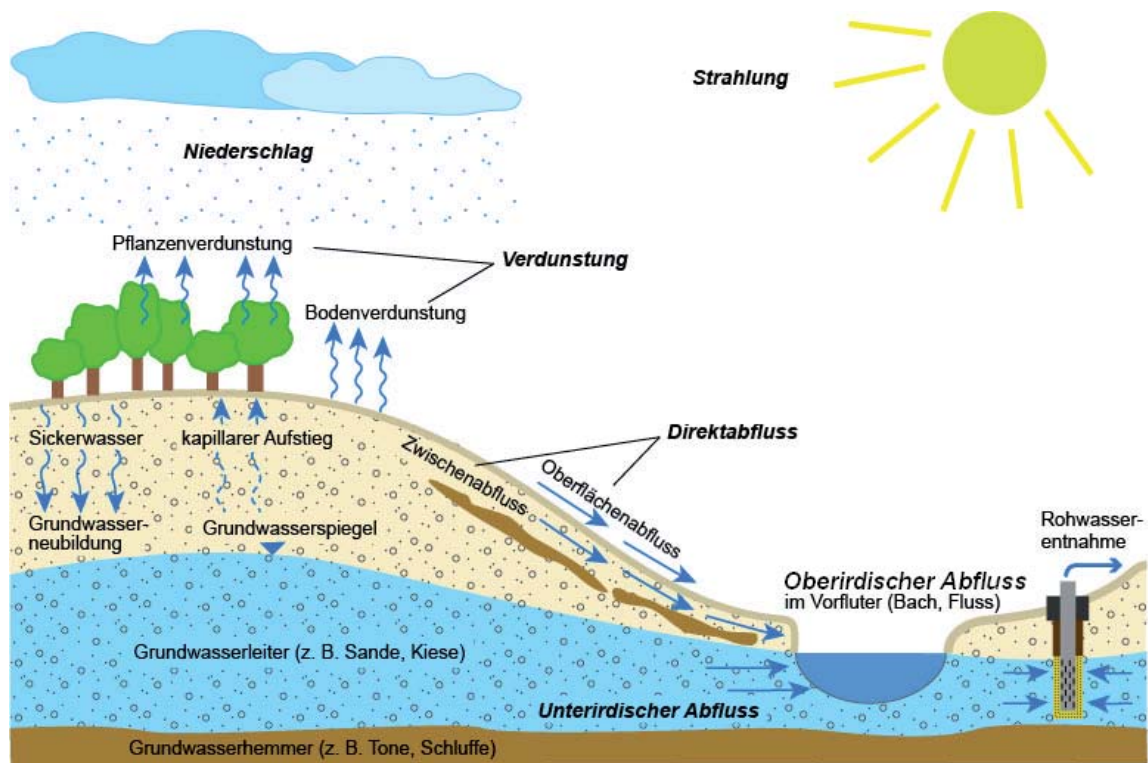
5.2 Auswirkungen des Klimawandels

Auswirkungen auf den Wasserhaushalt allgemein

Der Klimawandel führt zu Veränderungen von Klima und Wasserhaushalt. Wichtige und direkte Auswirkungen auf den Wasserhaushalt werden durch die Veränderungen von Lufttemperatur und Niederschlag erfolgen (Abbildung 13).

Die Veränderungen von Lufttemperatur und Niederschlag haben direkten Einfluss auf den ober- und unterirdischen Abfluss (Abbildung 13). Die bisher von KLIWA betrachteten regionalen Klimasimulationen für Süddeutschland zeigen, dass die Lufttemperatur bis Mitte des Jahrhunderts vermutlich weiter zunehmen wird. Als Folge der starken Erwärmung werden im Winter mehr Regen und weniger Schnee fallen. Die Zahl der Sommertage (Tage über 25 °C) wird im Vergleich zu heute zunehmen, ebenso wie die Anzahl der heißen Tage (Tage über 30 °C). Dem gegenüber wird es weniger Frosttage (Tiefsttemperatur unter 0 °C) und Eistage (Dauerfrost) geben.

Abbildung 13:
Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs



Darstellung der klimarelevanten Eingangsgrößen Niederschlag (N) und Energie (Strahlung) (Quelle: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz)

Die Auswertung unterschiedlicher Klimasimulationen hinsichtlich der Entwicklung der Wasserbilanz zeigt ein relativ einheitliches Bild für Rheinland-Pfalz:

Die jährliche Niederschlagsmenge ist im Untersuchungszeitraum 1931-2010 etwa gleich geblieben. Verändert hat sich jedoch die saisonale Verteilung des Niederschlags. Das Winterhalbjahr ist feuchter geworden, vor allem in Teilen der Eifel und des Westerwalds. Das Sommerhalbjahr ist in seinem Langzeitverhalten uneinheitlich aber überwiegend trockener geworden, insbesondere in den Monaten Juni bis August. Die zu erwartende leichte Zunahme des Jahresniederschlags in der nahen Zukunft (2021-2050) geht mit einer weiteren innerjährlichen Verschiebung des Niederschlags

vom Sommer- (Abnahme) in das Winterhalbjahr (Zunahme) einher.

Die Lufttemperatur ist eine essentielle Größe für den Wasserhaushalt, da sie wesentlich die Verdunstung beeinflusst. Die durchschnittliche Jahrestemperatur ist nach Auswertungen des DWD seit 1881 in Rheinland-Pfalz im Gebietsmittel um ca. 1,3 °C angestiegen. Dabei ist der stärkste Anstieg ab den 1990er Jahren zu verzeichnen. KLIWA-Untersuchungen zum Langzeitverhalten vorliegender Messreihen von 1931-2010 ergaben für Süddeutschland, dass die Temperaturzunahme im Mittel im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) stärker ausfiel als im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober). Für die nahe Zukunft (2021-2050) wird eine weitere

Zunahme zwischen circa 1 und 1,5 °C simuliert. Zu beachten ist allerdings, dass der Wasserhaushalt stark von dem zukünftigen Verlauf der Lufttemperatur und des Niederschlags beeinflusst wird. Die regionalen Klimasimulationen, welche die Grundlage für in die Zukunft gerichtete Wasserhaushaltssimulationen sind, variieren jedoch je nach Emissionsszenario und Klimamodell stark.

Milde Winter bedeuten im Allgemeinen auch weniger Schnee zur Abflussbildung. Auch hier ist der Trend aus den vieljährigen Messreihen klar erkennbar. Vor allem in den tiefer gelegenen Gebieten hat die Schneedeckendauer um 30 bis 40 % abgenommen, in den mittleren Lagen um 10 bis 20 %. Lediglich in den Hochlagen fiel teilweise mehr Schnee.

Fazit: Der Trend setzt sich auch in Rheinland-Pfalz fort.

- Es wird generell wärmer, sowohl im Sommer als auch im Winter.
- Die Sommer werden etwas trockener, die Winter dagegen wesentlich feuchter.
- Die Westwetterlagen, die höhere Niederschläge im Winter bringen können, werden zunehmen. Im Sommer werden Trockenwetterlagen zunehmen.

Auswirkungen auf das Abflussverhalten oberirdischer Gewässer

Eine Analyse der historischen Messdaten zum Ist-Zustand, als Ausgang für in die Zukunft gerichtete Szenarioberechnungen, ist sowohl vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) als auch durch KLIWA erfolgt.

Für die vergangenen 50 Jahre wurden in einer Studie des LUWG die jeweiligen Jahreshöchstabflüsse ausgewertet. Die Ergebnisse sagen aus, dass die Hochwasserabflüsse seit 25 bis 30 Jahren im Mittel höher ausfallen als im Zeitraum zuvor.

Im Rahmen des Projekts „Änderungen im Abflussregime des Rheins“ wurden durch die Kommission für die Hydrologie des Rheins (KHR) die der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung unterstehenden Pegel an Rhein, Mosel, Saar und Lahn ebenfalls

einer Analyse unterzogen. Diese Analyse bezieht sich im Wesentlichen auf den Zeitraum 1901 bis 2000. Weitere Trenduntersuchungen wurden von KLIWA durchgeführt.

- Auswertungen von Trenduntersuchungen am Rhein ergaben, dass die Gebietsniederschläge für das gesamte Einzugsgebiet des Oberrheins bis zum Mittelrheinpegel Kaub tendenziell zunehmen.
- Für die mittleren Abflüsse am Pegel Kaub ist ein gesicherter Anstieg für die Monate Dezember, Februar und März nachweisbar. Entsprechend ist auch die Zunahme des mittleren Abflusses für das hydrologische Winterhalbjahr und die Jahresreihe, jedoch eine Abnahme der mittleren Abflüsse im August zu verzeichnen. Bei Betrachtung der Ergebnisse für die Oberrheinpegel bis Kaub wird ersichtlich, dass die sommerlichen Abnahmen sowie die winterlichen Zunahmen der mittleren Abflüsse mit zunehmendem Einzugsgebiet statistisch immer weniger deutlich werden.
- Eine statistische Signifikanz der Zunahme von Hochwasserereignissen in den Sommermonaten ist nicht gegeben.
- Im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA ist im Monitoringbericht 2011 das Trendverhalten der Abflüsse an einzelnen Pegeln für den Zeitraum 1932 bis 2010 untersucht worden. Bei dem überwiegenden Teil der Pegel ist ein ansteigender Trend zu beobachten, der allerdings nur an einem Drittel der Pegel als signifikant anzusehen ist.
- Um die zu erwartenden Änderungen in der Zukunft zu erfassen, werden aus den vorliegenden Simulationen die Zeithorizonte „nahe Zukunft“ (2021-2050) und „ferne Zukunft“ (2071-2100) betrachtet.
- Für die nahe Zukunft (2021-2050) zeigen erste Simulationsberechnungen der Internationalen Kommission zum Schutz der Mosel und der Saar (IKSMS) im Mosel-/Saareinzugsgebiet.
- Für den mittleren Hochwasserabfluss im Winterhalbjahr mögliche Zunahmen im Schnitt von bis zu 15 %. Die Abnahme der mittleren Niedrigwasserabflüsse im Sommerhalbjahr liegt im Schnitt in einer Größenordnung von

5 %. Auch für den Rhein bis Worms erfolgten im Rahmen von KLIWA Untersuchungen bis zum Jahr 2050. Die Ergebnisse aus den KLIWA-Simulationen zeigen ebenfalls Abnahmen im Sommer- und Zunahmen im Winterhalbjahr um jeweils bis zu 15 %. In Rheinland-Pfalz sind regional differenzierte Tendenzen zu erwarten. Insbesondere für den nördlichen Oberrhein und das Mainzer Becken ergibt sich eine große Bandbreite des zu erwartenden Änderungssignals, die durch weitere Untersuchungen eingegrenzt werden soll. Diese erfolgen derzeit für das Moseleinzugsgebiet und für die weitere Landesfläche von Rheinland-Pfalz. Aufgrund der Unsicherheiten in der fernen Zukunft erfolgen im Rahmen von KLIWA zunächst Aussagen bis 2050.

- Für die ferne Zukunft (2071-2100) ergibt sich aus den Auswertungen in KlimLandRP eine landesweite Zunahme der mittleren Abflussspenden, wobei sich das Ausmaß unterscheidet. Die Zunahme resultiert aus der simulierten Zunahme der Winter- und der gleichzeitigen Abnahme der Sommerniederschläge, wodurch sich das Abflussverhalten im Winter- und Sommerhalbjahr stärker als bisher unterscheidet. Weiterhin werden geringere Niedrigwasserabflüsse projiziert. Insgesamt weisen die Simulationen auf eine Zunahme der Änderungsbandbreite für die ferne Zukunft hin.

Auswirkungen auf Hochwasser

In Rheinland-Pfalz gilt: Die Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen richtet sich grundsätzlich nach den Randbedingungen des Einzelfalls und orientiert sich an der gefährdeten Bevölkerung, den Hochwasserschadenspotenzialen sowie der Wirtschaftlichkeit.

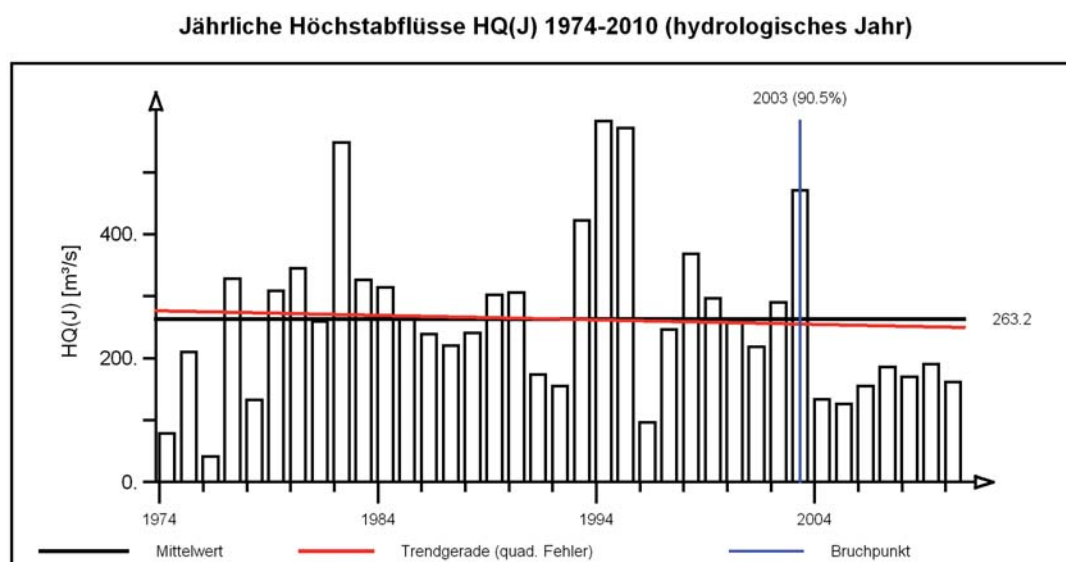
Derzeit liegen geeignete Klimasimulationen für das gesamte Rheineinzugsgebiet inkl. der Schweiz und für das Moseleinzugsgebiet vor. Berücksichtigt werden Wasserhaushaltsmodelle, welche auch die Retentionswirkung des Bodensees und der großen Alpenrandseen enthalten.



- Erste Analysen der relativen Änderungen zwischen dem Szenario der nahen Zukunft (2021-2050) und dem Ist-Zustand (Referenzperiode 1971-2000) zeigen für die Rheinpegel keine wesentlichen Veränderungen der mittleren Hochwasserabflüsse. Im Sommerhalbjahr, in dem die höchsten Abflüsse auftreten, ist mit Ausnahme der Monate Mai und Oktober sogar mit geringen Abnahmen der mittleren Hochwasserabflüsse zu rechnen. Im Winterhalbjahr von November bis April werden Zunahmen von weniger als 10 % simuliert. An den übrigen Pegeln von Nebenflüssen des Rheins zeigen sich regional differenzierte Veränderungen, die im Trendverhalten nicht immer signifikant sind.
- Im Anschluss an durchgeführte Untersuchungen für den Oberrhein werden nun flächendeckend Abflussuntersuchungen für Rheinland-Pfalz sowie für den Rheinabschnitt des Mittelrheins durchgeführt. Diese Untersuchungen sollen aufzeigen, ob weitergehende Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind.
- Für die Extremabflüsse liegen derzeit noch keine Ergebnisse vor. Untersuchungen hierzu sind in Vorbereitung.

In Abbildung 14 ist das Trendverhalten für die jährlichen Höchstabflüsse des Zeitraums 1974-2010 exemplarisch am Pegel Martinstein/Nahe dargestellt. Der Trend geht hier zu leicht sinkenden Abflüssen, der Bruchpunkt liegt im Jahr 2003. Zu beachten ist aber, dass dieser Trend nur zu 60 % signifikant ist.

Abbildung 14:
Trenduntersuchung am Pegel Martinstein/Nahe



Trenduntersuchung mittels Bruchpunktanalyse für die jährlichen Höchstabflüsse am Pegel Martinshöhe/Nahe

Auswirkungen auf Niedrigwasser

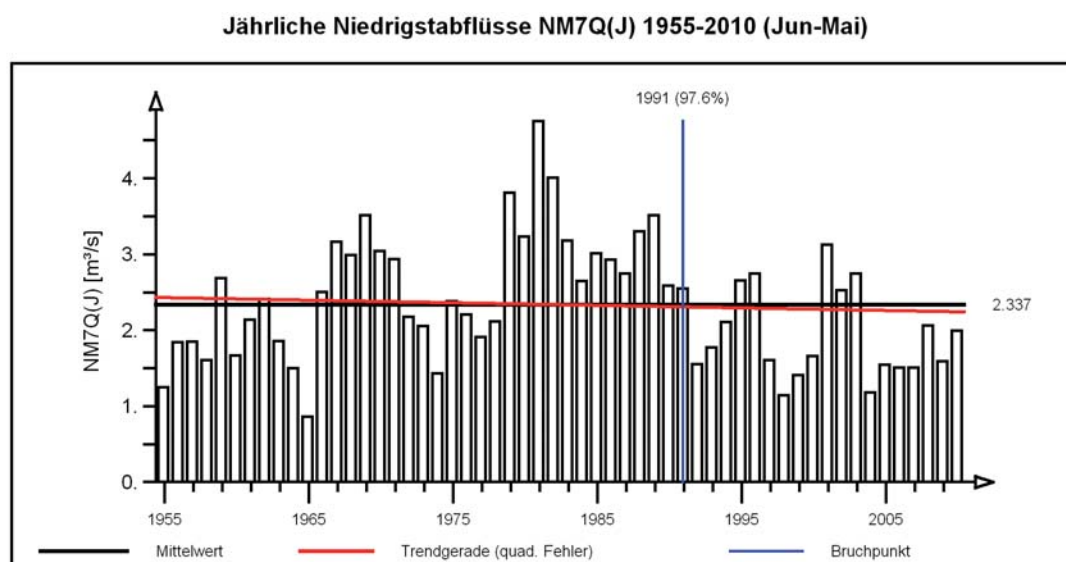
Der Klimawandel führt in Folge häufiger auftretender extremer Witterungsereignisse zu einer Beeinflussung des Wasserkreislaufs. Der Klimawandel könnte bereits Ursache für die heute schon zu verzeichnenden, immer häufigeren extremen Trockenwetterlagen sein.

Die im Rahmen von KLIWA durchgeführten Abflusssimulationen zeigen im Sommerhalbjahr erhebliche Abnahmen der mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse, die in vielen Flussgebieten bei mehr als 10 % liegen. Grundsätzlich wird für Rheinland-Pfalz in der nahen Zukunft eine abnehmende Tendenz zu erwarten sein, lediglich im Einzugsgebiet der Nahe werden auch Zunahmen simuliert. Die stärksten Rückgänge werden in den Herbstmonaten September bis November zu verzeichnen sein. Für den Rhein zeigt sich im

Zukunftsszenario eine Tendenz höherer Jahreswerte der Niedrigwasserabflüsse. Aus heutiger Sicht ist also an den Rheinpegeln keine Verschärfung der mittleren Niedrigwassersituation in der nahen Zukunft bis Mitte des Jahrhunderts zu erwarten. Die Dauer der Niedrigwasserperioden wird sich in den meisten Regionen verlängern. Für Rheinland-Pfalz sind um 25 bis 50 % verlängerte Perioden zu erwarten.

In Abbildung 15 ist das Trendverhalten für die jährlichen Niedrigstabflüsse des Zeitraums 1955-2010 exemplarisch am Pegel Odenbach/Glan im Naheinzugsgebiet dargestellt. Der Trend geht hier zu leicht sinkenden Niedrigwasserabflüssen. Zu beachten ist allerdings, dass dieser Trend nicht signifikant ist. Für das gesamte Naheinzugsgebiet werden vereinzelt jedoch leichte Zunahmen im Niedrigwasserverhalten ermittelt.

Abbildung 15:
Trenduntersuchung am Pegel Odenbach/Glan



Trenduntersuchung mittels Bruchpunktanalyse für die jährlichen Niedrigstabflüsse für gleitende 7 Tage (NM7Q) am Pegel Odenbach/Glan

Auswirkungen auf das Grundwasser (unterirdischer Abfluss)

Unter den Bilanzgrößen des Wasserhaushalts kommt der flächenhaften Grundwasserneubildung eine große Bedeutung zu. So beruht die Wasserversorgung in Rheinland-Pfalz zum überwiegenden Teil auf der Nutzung natürlicher Grundwasservorkommen. Eine Veränderung im Wasserhaushalt hätte somit direkte Konsequenzen für die Trink- und Brauchwasserversorgung wie auch für die landwirtschaftliche Bewässerung.

Aufbauend auf einem Bodenwasserhaushaltsmodell wurden für den KLIWA-Untersuchungsraum (Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz) gemeinsame Szenariosimulationen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserneubildung vorgenommen (KLIWA-Heft 17).

Die wesentlichen Erkenntnisse im Hinblick auf mögliche Veränderungen in der nahen Zukunft lassen sich für die Wasserhaushaltskomponente Grundwasser wie folgt zusammenfassen:

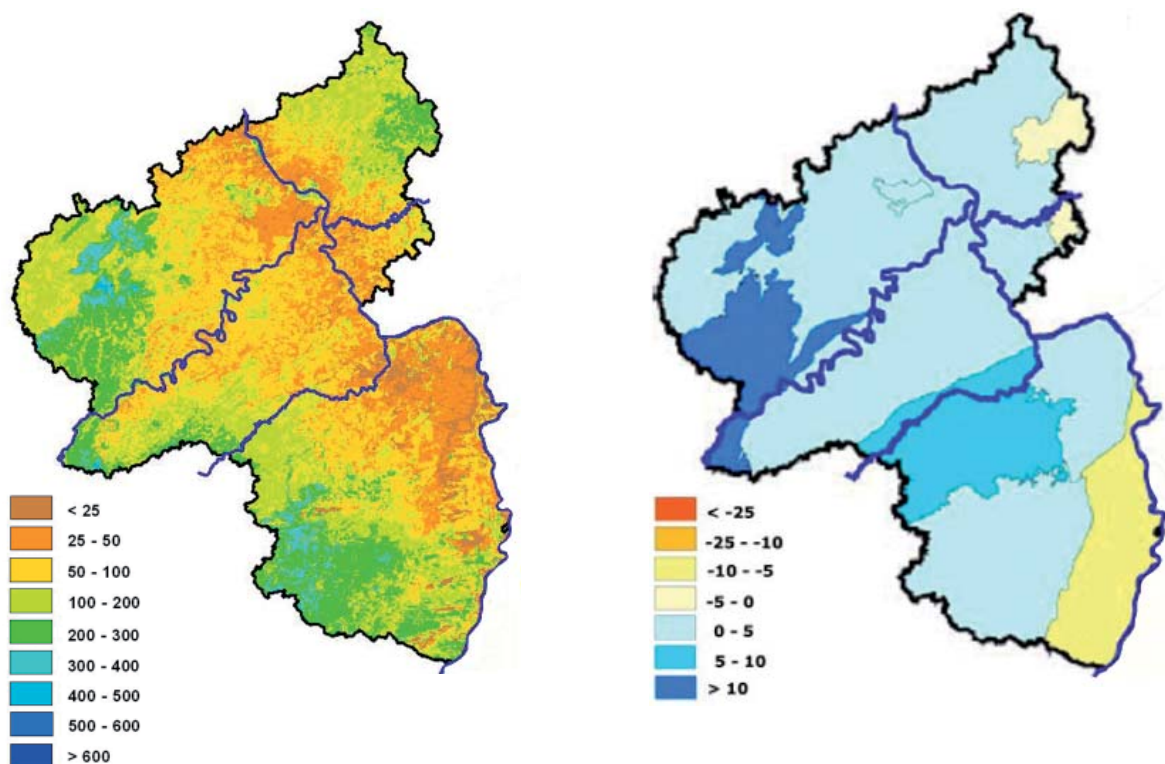
- In der nahen Zukunft (2021-2050) ist für die Landesfläche von Rheinland-Pfalz ein leichter Anstieg der jährlichen Grundwasserneubildung aus Niederschlag um +4 % (von 106 mm a⁻¹ auf 110 mm a⁻¹) zu erwarten.
- In den Naturräumen Rheinisches Schiefergebirge, Nordwesteifel, Nordpfälzer Bergland und Pfälzerwald steigt die Grundwasserneubildung stärker als im Landesmittel (zwischen +5 bis +15 mm a⁻¹).
- An Hand der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass in der nahen Zukunft mit keinen gravierenden und vor allem keinen sprunghaften Änderungen der Wasserbilanz-

komponenten zu rechnen ist. Insbesondere die durchschnittliche jährliche Grundwasserneubildung aus Niederschlag bleibt in der nahen Zukunft 2021-2050 in einer ähnlichen Größenordnung wie bereits in der Periode 1971-2000 (Abbildung 16).

- Der Trockenheitsindex beschreibt die Anzahl der Tage, an denen die für die Vegetation kritische Größe von 30 % der nutzbaren Feld-

kapazität unterschritten wird. In der Klimaperiode 1971-2000 wird dieser Schwellenwert in Rheinland-Pfalz im Mittel an etwa 61 Tagen im Jahr unterschritten. Für die Zeitspanne 2021-2050 ist im Vergleich zu 1971-2000 mit einer durchschnittlichen Zunahme von etwa 14 Trockentagen pro Jahr zu rechnen, wobei diese insbesondere in den Sommermonaten anfallen (Abbildung 17).

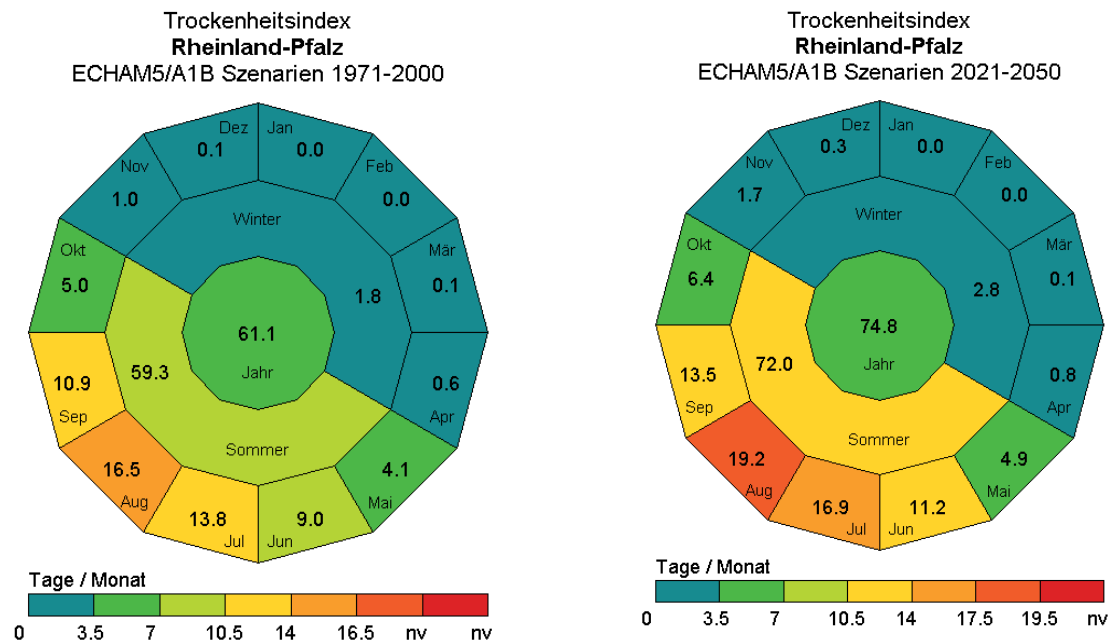
Abbildung 16:
Grundwasserneubildung



Links: Flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag (1971-2000); rechts: absolute Änderung in der nahen Zukunft (2021-2050) auf Basis von WETTREG2006 (ECHAM5/MPI-OM/A1B). Angaben in mm a⁻¹

- Eine weitere Untersuchung mit einem Bodenwasserhaushaltsmodell für den Zeitraum 1951-2010 verdeutlicht, dass die Vulnerabilität (Empfindlichkeit) der Wasserhaushaltskomponente Grundwasserneubildung in den untersuchten Naturräumen unterschiedlich hoch ist. Dies wird deutlich bei Vergleich der extremen Trockendekade 1971-1980 mit der extremen Nassdekade 1981-1990.
- In der Trockendekade ging in den rheinland-pfälzischen Naturräumen die Grundwasserneubildung auf 75-53 % im Vergleich zur Nassdekade zurück (Tabelle 1).

Abbildung 17:
Trockenheitsindex Rheinland-Pfalz



Mittlere innerjährliche Variabilität des Trockenheitsindex in Rheinland-Pfalz. Ermittelt auf Basis der homogenisierten Messdaten für den Zeitraum 1971-2000 (links) und 2021-2050 (rechts). Angaben als Tage über den jeweiligen Zeitraum

Tabelle 1:
Rückgang der Grundwasserneubildung (GWN) in den 10 Naturräumen von Rheinland-Pfalz bei Vergleich der extremen Trockendekade 1971-1980 mit der extremen Nassdekade 1981-1990

Bezeichnung der Naturräume	GWN in der Trockenperiode (1971-1980) im Vergleich zur Nassperiode (1981-1990) Rückgang auf %
Nördlicher Oberrheingraben	53
Mainzer Becken	66
Pfälzerwald	69
Nordpfälzer Bergland	76
Rheinisches Schiefergebirge	70
Südwesteifel	75
Nordwesteifel	76
Pellenz	67
Osttaunus	60
Vulkanischer Westerwald	68



- In der Vergangenheit ging man bei Fragen zur Grundwasserbewirtschaftung meist von mittleren vieljährigen klimatischen Verhältnissen und damit auch von mittleren Grundwasserangebotsverhältnissen in den jeweiligen Naturräumen aus. Bei wasserwirtschaftlichen Fragestellungen sollte die Vulnerabilität der Grundwasserneubildung eine höhere Beachtung finden.

Der Wechsel von Trocken- und Nassdekaden, wie in der Vergangenheit beobachtet, wird auch in Zukunft erwartet. Hinzu kommen die für die Zukunft projizierte Erhöhung der Monatstemperaturen und der damit verbundene erhöhte Wasserbedarf im Sommerhalbjahr. Insbesondere Quellwasservorkommen in den Mittelgebirgsregionen können in Trockendekaden in ihren Schüttungen deutlich zurückgehen. Ergiebige Grundwasserleiter, z. B. im Lockergesteinsbereich, sind demgegenüber eher in der Lage, über ihren größeren Grundwasserspeicherinhalt Trockenperioden auszugleichen.

Auswirkungen auf die Gewässerökologie und den Gewässerschutz

Die im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu erwartenden Veränderungen der Temperatur und der Niederschlagsverteilung sowie die daraus resultierenden Veränderungen der Abflussverhältnisse haben einen entscheidenden Einfluss auf Hydrologie, Chemismus und Lebensgemeinschaften von Gewässern.

Weitere wichtige Faktoren, auf die sich der Klimawandel in den Gewässern auswirken wird, sind der Eintrag von Feinsedimenten durch z. B. Bodenerosion oder auch die Aufkonzentration von Nährstoffen durch ober- und unterirdische Zuflüsse.

Veränderungen im sensiblen Bereich des Ökosystems Gewässer haben eine ganze Kette von Prozessen zur Folge, die sich letztlich auf Pflanzen und Tiere in den Gewässern auswirken können:

- Manche Arten werden seltener oder verschwinden, andere Arten wandern ein.
- Die Lebensgemeinschaften in Gewässern und die Funktionsweise des aquatischen Naturhaushalts ändern sich.

- Lokal konnte in Fließgewässern bereits eine Tendenz zur Wanderung von Lebensgemeinschaften flussaufwärts belegt werden.

Eine von KLIWA beauftragte Literaturstudie mit Fokus auf die Fließgewässer im süddeutschen Raum zeigt in Wirkungsketten die Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und der Fließgewässerintensität im regionalen Maßstab. Die Studie belegt mit einer umfangreichen Literatur- und Sensitivitätsanalyse, dass zukünftig mit Veränderungen in der Fließgewässerqualität in vielen Bereichen gerechnet werden muss, deckt aber auch große Wissenslücken auf. Welchen Einfluss der Klimawandel auf die Gewässerqualität haben wird, lässt sich heute noch nicht sagen. Damit in diesem Bereich zukünftig belastbare Daten vorliegen, wird das aktuelle Fließgewässermonitoring auf den Prüfstand gestellt und darüber hinaus werden aussagekräftige Bewertungsansätze erarbeitet. Des Weiteren werden in KLIWA weitere Untersuchungen, auch zu der gewässerökologischen Situation in Seen, durchgeführt.

Ein Kriterium der Gewässergüte ist die Trübung eines Gewässers, die sich aus der Kombination von Schwebstofffracht und Wassermenge ergibt. In den Messreihen der Schwebstofffrachten sind bisher keine Veränderungen festzustellen, die eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen wären. Hingegen hat der menschliche Einfluss durch verschiedenste Maßnahmen wie z. B. Landnutzungsänderungen oder Stauhaltung die



Schwebstofffrachten beeinflusst. Die Simulationsberechnungen der IKSr zeigen für den Rhein eine Zunahme der Sedimenteinträge.

- Die simulierten geringeren sommerlichen Abflüsse könnten in einem verstärkten Phytoplanktonwachstum resultieren. Weiterhin sind eine stärkere Sedimentation und erhöhte Stoffkonzentrationen, bei Annahme gleichbleibender Stofffrachten und abnehmender Abflüsse, denkbar.
- Aufgrund der zu erwartenden Zunahme der Häufigkeit von Starkregenereignissen und Hochwasser steigt die Gefahr des Eintrags von Abschwemmungen, wie z. B. Nährstoffen, Krankheitserregern oder anderen abbaubaren Bodenbestandteilen.
- Aufgrund der steigenden Gewässertemperaturen sinkt der Sauerstoffgehalt in den Gewässern, was zu einer Verschlechterung der Gewässergüte führt. Auch erhöhen sich die biologischen und chemischen Aktivitätsraten, was ebenfalls Auswirkungen auf die Gewässergüte haben kann. Bedingt durch höhere Bodentemperaturen und die erhöhten Aktivitätsraten von z. B. Humusabbau, Mineralisation und Auswaschung können Einträge wie der Nitratreintrag in die Gewässer ansteigen.
- Aktuelle Auswertungen der Wassertemperaturen im Rhein zeigen, dass die Jahresmitteltemperaturen infolge klimatischer Veränderungen im Zeitraum von 1978 bis 2011 um rund 1 °C angestiegen sind. Besonders deutlich werden diese Veränderungen in der Zunahme der Überschreitungshäufigkeit von Tagesmittelwerten der Wassertemperatur von über 25 °C. Die Erwärmung der Gewässer ist dabei eng mit der Lufttemperatur verbunden.
- Ein bislang wenig beachteter Aspekt sind die ökologischen Wirkungen steigender winterlicher Wassertemperaturen. Für die Gonadenreifung vieler Fischarten wirken winterliche Wassertemperaturen über 10 °C hemmend. Auch ist das Ausbleiben längerer Temperaturminimumphasen unter 2 - 3 °C in den großen Flusssystemen förderlich für die dauerhafte Etablierung wärmetoleranter Neobiota (gebietsfremde Arten). Einige dieser Arten gelten

explizit als Profiteure des Klimawandels, da sie gegenüber hohen Wassertemperaturen toleranter sind als einheimische Arten und diese verdrängen können.

Zur weiteren Untersuchung der Entwicklung der Wassertemperaturen ist in der IKSr die Arbeitsgruppe 'STEMP' eingerichtet worden, in der auch Rheinland-Pfalz mitarbeitet.

Auswirkungen auf Starkniederschläge

Die Untersuchungen im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA zeigen, dass in den vergangenen 80 Jahren Starkniederschläge in den Winterhalbjahren deutlich zugenommen haben; für die Sommerhalbjahre ist hingegen kein klarer Trend nachweisbar. Aufgrund der Unsicherheiten der Klimasimulationen verbleibt insgesamt eine Ungewissheit, so dass der Einfluss der globalen Erwärmung auf die zukünftige Ausprägung von Starkniederschlagsereignissen nicht eindeutig zu benennen ist.

- Es ist jedoch bereits möglich, in Simulationsmodellen für einzelne Standorte sogenannte Niederschlagsreihen zu generieren, die eine Klimaänderung und die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen berücksichtigen (z. B. Programmsystem 'NiedSim-Klima'). Erste Untersuchungen, die mit solchen synthetischen Niederschlagsreihen bei Planungen zur Anlagenbemessung die Klimaverhältnisse zukünftiger Jahre simulieren, sind erfolgversprechend.
- Im KLIWA-Teilprojekt „Bodenerosion“ wird weiter untersucht, wie sich das Erosionsrisiko durch Starkniederschlagsereignisse in der Zukunft verändern wird.

Das häufigere Auftreten von Starkniederschlagsereignissen und die zunehmende Intensität von Starkniederschlägen in lokal begrenzten Räumen stellen die Kommunen in Rheinland-Pfalz vor eine neue, bisher wenig bekannte Aufgabe – den Überflutungsschutz außerhalb von Flusssystemen. Während das Hochwasser an Flüssen in der Regel langsam steigt und eine gewisse Zeit für Abwehrmaßnahmen verbleibt, ist der Starkniederschlag ein Extremereignis, das oft ohne jegliche

Vorwarnung hereinbricht. Hierdurch entstehen Probleme in der Siedlungsentwässerung. Mit Einführung des Hochwasserfrühwarnsystems, das auch Radardaten umfasst, werden die möglichen Betroffenen jedoch – zumindest teilweise – in die Lage versetzt, gewisse vorbeugende Maßnahmen zu ergreifen. Weitere Informationen gibt der Leitfaden ‚Starkregen‘ des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten (MULEWF).

Die Probleme und Schäden bei der Siedlungsentwässerung entstehen durch sehr kurze, aber heftige Niederschlagsereignisse (gelegentlich Sturzregen genannt). Mit der in der Planungspraxis üblichen Methode einer Langzeitsimulation der Vergangenheit können bereits heute konkrete Aussagen über das Verhalten eines Kanalsystems unter möglichen zukünftigen Klimaveränderungen gewonnen werden.

5.3 Anpassung an den Klimawandel

Der Klimawandel findet bereits statt. Deshalb sind sowohl Anpassungsmaßnahmen für schon jetzt unvermeidliche Veränderungen angezeigt, als auch Klimaschutzmaßnahmen notwendig. Basierend auf den bisherigen Arbeiten von KLIWA, den Empfehlungen der Enquete-Kommission „Klimawandel“ für Rheinland-Pfalz sowie den Teilergebnissen des Landesprojekts KlimLandRP werden zu folgenden Handlungsfeldern Empfehlungen vorgeschlagen:

Allgemeine Empfehlungen

■ **Monitoringprogramme**

Eine auf Nachhaltigkeit gegründete Wasserwirtschaftspolitik bedarf abgesicherter Kenntnisse über die Entwicklungen des Wasserhaushaltes und der Wasserqualität. Die bestehenden Messnetze und Monitoringprogramme zur Beobachtung der meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen, Güteparameter etc. sind konsequent fortzuführen und weiterzuentwickeln. Lange Beobachtungs-

zeitreihen beschreiben die Entwicklung in der Vergangenheit und zeigen den Ist-Zustand, so dass mögliche Veränderungen frühzeitig erkannt werden können.

■ **Flussgebietsbezogene Betrachtung**

Eine flussgebietsbezogene integrative Betrachtungsweise ist wie bisher national und international weiter zu verfolgen. In den Maßnahmen- und Bewirtschaftungsplänen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) und der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) wird der Klimawandel zu berücksichtigen sein.

■ **Erfahrungen austauschen, Kommunikation verbessern, Bewusstseinsbildung stärken**

Die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder sollten ihre Erfahrungen in der Bewertung und der Verwendung regionaler Klimasimulationen austauschen, wie es bereits in KLIWA erfolgt ist, um Synergieeffekte zu erzielen und zu möglichst abgestimmten Vorgehensweisen zu gelangen.

Eine breite Diskussion über die generellen gesellschaftlichen Ziele und die Anforderungen von Natur-, Umwelt- und Klimaschutz ist notwendig. Die Bürgerinnen und Bürger sollen verstehen können, wieso Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erforderlich sind, wie die Bürgerinnen und Bürger helfen können und was getan wird, um die Gefahren für sie selbst zu minimieren.

Empfehlungen für die Oberflächengewässer

■ **Hochwasserschutzmaßnahme**

Die Bemessung hat bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen nach den Randbedingungen des Einzelfalls zu erfolgen. Berücksichtigt werden müssen alle Belange eines effizienten Hochwasserschutzes. Eine Optimalplanung orientiert sich an den Hochwasserschadenspotenzialen der gefährdeten Bevölkerung sowie der Wirtschaftlichkeit und ist unabhängig davon, ob Hochwasserereignisse durch den Klimawandel beeinflusst werden.

Im Hinblick auf den Einfluss des Klimawandels auf extreme Rheinhochwasser sollen vor allem weitere Rückhaltemaßnahmen, wie die bereits vorgesehenen Reserveräume, eingerichtet werden.

■ **Drei-Säulen-Konzept**

Das Drei-Säulen-Konzept, bestehend aus dem technischen Hochwasserschutz, der Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche und der Hochwasservorsorge, ist zu beachten.

■ **Warn- und Alarmdienste ausbauen**

Im Hinblick auf die erwartete Zunahme wasserwirtschaftlicher Extremsituationen ist es zur Verminderung von Schäden sinnvoll, Vorsorge- und Managementmaßnahmen verstärkt umzusetzen. Geeignete Vorhersagemodelle sind zu entwickeln, Warn- und Alarmdienste anzupassen und auszubauen.

■ **Flexible Lösungen bevorzugen**

Flexible „Win-win“ und „No-regret“-Maßnahmen sind bei Anpassungsmaßnahmen zu bevorzugen. So können die Risiken bei den bestehenden Unsicherheiten minimiert, und auf neue Erkenntnisse kann kostengünstig reagiert werden.

Empfehlungen Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung

- Fortschreibung oder Neuaufstellung von wasserwirtschaftlichen Planungsgrundlagen (z. B. hydrologische Gutachten zur Wasserbilanz, regionale Bewirtschaftungspläne, Beregnungspläne, Wasserversorgungspläne, Ermittlung des Wasserbedarfs für die öffentliche Wasserversorgung, Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe).
- Beachtung des veränderten Wasserhaushaltes in Trockendekaden (wie sie in der Vergangenheit regelmäßig auftraten) bei der Grundwasserbewirtschaftung (Festlegung von Wasserrechten oder Ausweisung von Wasserschutzgebieten).



- Monitoring und nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie.
- Vorsorge bei Ausweisung von Baugebieten in vernässungsgefährdeten Bereichen.
- Förderung der interkommunalen Kooperationen und Wasserversorgungsverbünde.
- Bei Aufbau und Förderung regionaler Wasserverbünde sind Leitungsstrukturen sowie Speicher- und Fördersysteme zu optimieren, um den Erhalt der Versorgungssicherheit zu gewährleisten.
- Sichern, Anpassen sowie Ausweisen von Wasserschutz-, Wasservorrang- und Wasservorbehaltsgebieten.
- Dezentrale Rückhaltung des Oberflächenwassers in der Fläche zur Grundwasseranreicherung.

Damit sich die Wasserversorgung auf kommende Veränderungen im Grundwasserhaushalt einstellen kann, sind weitere Untersuchungen über den Grundwasserhaushalt auf regionaler Ebene, wie im Kooperationsvorhaben KLIWA durchgeführt, notwendig.

Empfehlungen Gewässerökologie und Gewässerschutz

- Überprüfung des derzeitigen Monitoringverfahrens hin zur Erstellung eines gewässerökologischen Monitoringmessnetzes, um mögliche Auswirkungen des Klimawandels besser interpretieren und weitere sachgerechte Anpassungsmaßnahmen ableiten zu können.

Empfehlungen Starkniederschläge

- Grundsätzlich ist eine Neuorientierung nötig, weg von sicherheitsbetonten Bemessungs- und Nachweiskonzepten hin zu einer Bewertung, die stärker das Risiko des Abfluss- und Überflutungsverhaltens von Entwässerungssystemen berücksichtigt und daraus entsprechende Maßnahmen ableiten kann.
- Es sollte die Möglichkeit geschaffen werden, flexibel auf Veränderungen reagieren zu können, etwa durch dezentrale Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung.
- Eine der dringendsten und unbedingt erforderlichen Maßnahmen ist eine dezentrale Oberflächenentwässerung in den Außengebieten. Auf diese Weise können die Schäden durch Überschwemmungen infolge von Starkregenereignissen reduziert und die Kosten gesenkt werden.
- Anpassung der vorhandenen Abwasserinfrastruktur als vorbeugende Maßnahme. Nur die wenigsten Abwassernetze sind auf plötzlich auftretende Starkniederschläge eingestellt.
- Die Empfehlungen des Leitfadens ‚Starkregen‘ sind umzusetzen.

5.4 Informations- und Untersuchungsbedarf

■ Bemessungsverfahren und Klimamodelle weiter verbessern

Aufgrund der Instationarität des Klimawandels besteht ein Bedarf an praxistauglichen Verfahren für eine angepasste Extremwertstatistik. Die Verbesserung globaler und regionaler Klimamodelle wird auch künftig weitergehen müssen, neue Entwicklungen sind zu verfolgen und auf ihre Verwendbarkeit zu prüfen. Eine regelmäßige Rückkoppelung mit den Modellentwicklern ist notwendig.

■ Bandbreiten abschätzen (Ensembletechnik)

Die Bewertung der Klimasimulationen ist Voraussetzung zur Verwendung in weiteren Untersuchungen. Zur Abschätzung der möglichen Bandbreite des Klimawandels sind unterschiedliche Klimamodelle mit belastbaren Ergebnissen und unterschiedliche Emissions-szenarien zu verwenden.

■ Kriterien zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen

Aufgrund der unvermeidbaren Unsicherheiten sind für Anpassungsmaßnahmen, z. B. nach Vulnerabilität (Verletzbarkeit/Empfindlichkeit) des Schutzgutes oder nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, Kriterien zur Umsetzung aufzustellen.

■ Klimarobustheit prüfen

Projekte und Planungen, die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Gewässergüte haben (z. B. Hochwasserschutz, Baumaßnahmen, Wasserentnahmen, Kühlwassernutzung) sollten im Hinblick auf ihre Robustheit gegenüber Klimaveränderungen geprüft werden.

6 LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU



6.1 Ausgangslage

Landwirtschaft und Klimaveränderungen stehen in vielfältiger Wechselbeziehung zueinander. Der Agrarsektor nimmt im Zusammenhang mit Klimawandel und Klimaschutz unterschiedliche Rollen ein:

- Betroffenheit durch Auswirkungen des Klimawandels
 - auf die Verfügbarkeit von Ressourcen,
 - durch Veränderung von Ökosystemen und
 - auf Rahmenbedingungen für den Wirtschaftsbereich Landwirtschaft
- Senken: Speicherfunktion der Böden für Kohlendioxid aus dem Sektor landwirtschaftliche Bodennutzung und Forstwirtschaft (Berechnung und Verbuchung von CO₂-Senken)
- Quellen: Emittenten von Treibhausgasen (der Anteil der THG-Emissionen der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen liegt bei ca. 7 %²)

Wegen seiner unmittelbaren Abhängigkeit von Witterung und Klima gehört der Agrarsektor prinzipiell zu den klimasensitiven Wirtschaftszweigen. Die in den letzten Jahren aufgetretene ungewöhnliche Wettervariabilität und die Zunahme von Extremereignissen einerseits sowie die konkreter werdenden Modell-Projektionen des Klimawandels der Zukunft andererseits erfordern die Anpassung von Landwirtschaft und ländlichem Raum insgesamt an die veränderten Bedingungen.

Klimawandel bedingte Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft reichen von technologischen Lösungen über die Anpassung landwirtschaftlicher Betriebs- und Kulturführung hin zu politischen Weichenstellungen in Form von Struktur- und Fördermaßnahmen. Auf kurze Sicht reichen autonome Maßnahmen auf Betriebsebene aus, langfristig gesehen werden technologische und strukturelle Veränderungen jedoch unerlässlich sein.

Etwa 36 % der Landesfläche von Rheinland-Pfalz werden landwirtschaftlich genutzt (Abbildung 18, links). Das entspricht einer Fläche von ca. 700.000 Hektar, die von ca. 19.000 Betrieben bewirtschaftet werden. Den größten Sektor stellt der Ackerbau mit über 400.000 Hektar dar. Darin enthalten ist der Gemüsebau mit einer Anbaufläche³ von ca. 19.000 Hektar (Grundfläche rd. 14.000 Hektar). Der zweite große landwirtschaftliche Zweig ist die Dauergrünlandbewirtschaftung mit etwa 233.000 Hektar, gefolgt von Weinbau mit knapp 64.000 Hektar und dem Obstbau mit ca. 5.000 Hektar (STATISTISCHES LANDESAMT 2012). Der rheinland-pfälzische Agrarsektor weist im Jahr 2010 einen Produktionswert von ca. 2,2 Milliarden Euro auf (pflanzliche und tierische Erzeugung).

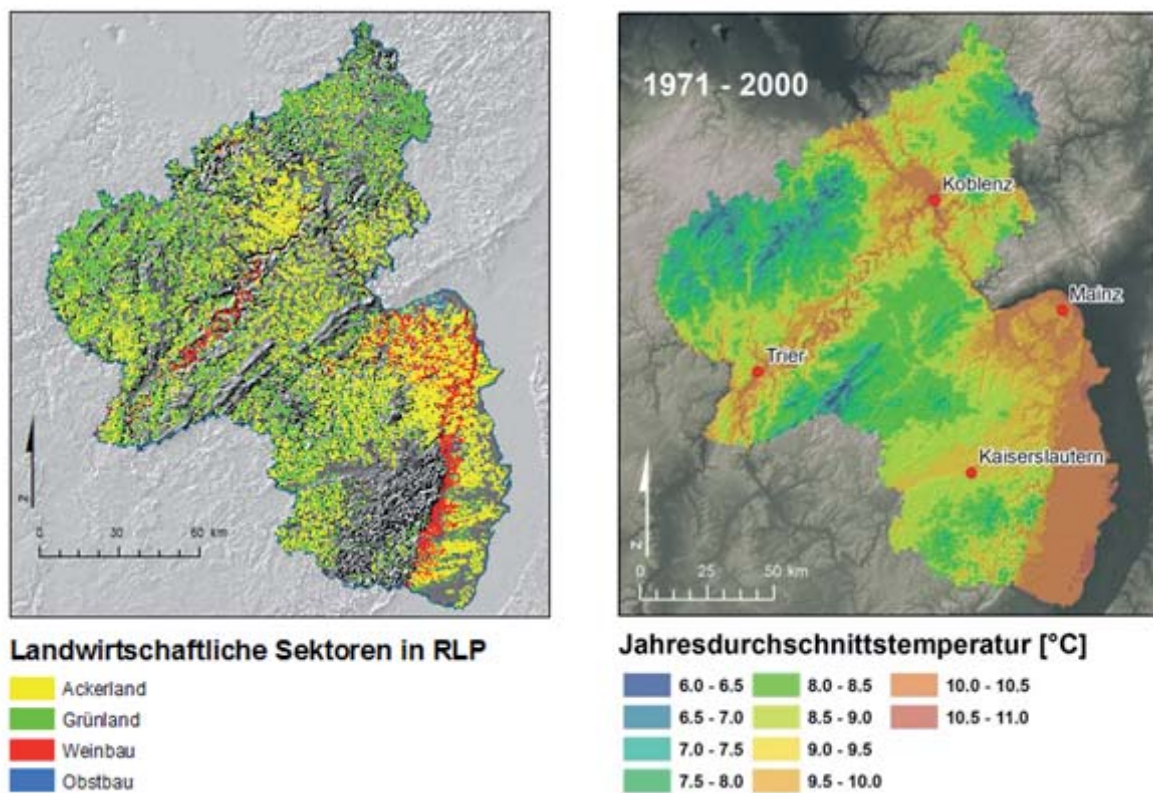
6.2 Auswirkungen des Klimawandels

Im Folgenden werden entscheidende Parameter, die für die gesamte Landwirtschaft im Rahmen der Klimaveränderung von Bedeutung sind (Tabelle 2), anhand von Beispielen aus den einzelnen landwirtschaftlichen Kulturen aufgeführt.

² Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2010

³ Die Anbaufläche berücksichtigt die Mehrfachnutzung der Grundfläche innerhalb der Vegetationszeit durch mehrere Anbausätze

Abbildung 18:
Landwirtschaftliche Nutzungen in Rheinland-Pfalz und Jahresmitteltemperaturen in Rheinland-Pfalz



Datengrundlage: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz RLP 2010 (links).
Jahresmitteltemperaturen in Rheinland-Pfalz für den Zeitraum 1971 - 2000.
Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst und Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (rechts).

Tabelle 2:
Faktoren, die im Rahmen der Klimaveränderung in der Landwirtschaft von besonderer Bedeutung sind

Charakteristikum	Auswirkung auf	Ackerbau	Grünland	Weinbau	Obstbau	Gemüsebau	Tierhaltung
• Temperatur höher	Vektoren von Infektionen						
• Vegetationsperiode länger	Sortenspektrum						
• Spätfrostgefahr höher	Standortwahl						
• Winterfröste <-18°C	Krankheiten und Schädlinge						
• Vernalisationsprobleme							
• Sommerniederschläge gering	Bewässerungsbedarf						
• Trockenstress							
• Hitzestress	Stalltechnik						
	Sonnenbrand						
• Extreme Wetterereignisse	Ertragssicherung						
	Standortwahl						

(verändert und ergänzt nach HERTSTEIN et al. 1994)

Wasserversorgung - Trockenstress

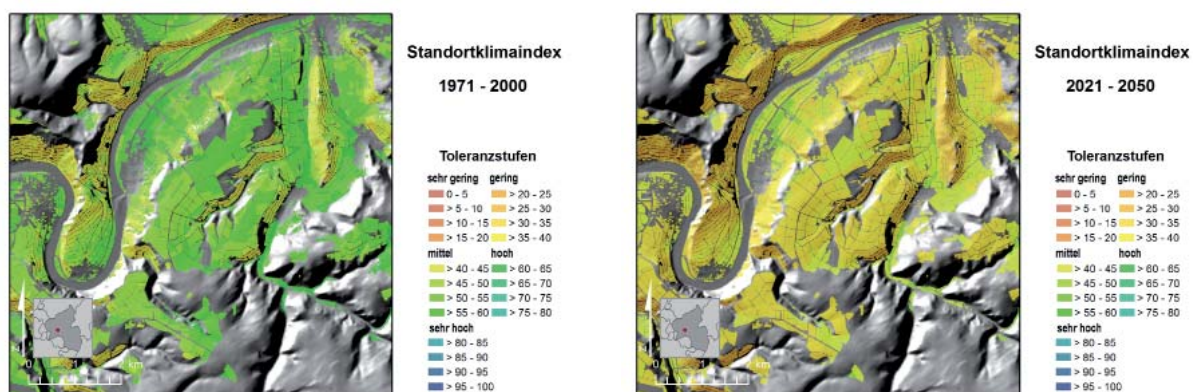
Die mit WETTREG2006 A1B-trocken landesweit durchgeführte Analyse zur Entwicklung des Standortklimaindex (Abbildung 19) (Abschätzung der Toleranz eines Standorts gegenüber Trockenstress und Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz während der Hauptvegetationsperiode von Anfang Mai bis Ende Oktober) zeigt für die Zukunft eine schlechtere potenzielle Wasserversorgung der Standorte.

Im Zeitraum 1971-2000 weisen knapp 88 % der landwirtschaftlichen Flächen mittlere Werte auf. In der nahen Zukunft (2021-2050) weisen nur noch knapp 42 % der Flächen mittlere Werte auf und bereits über 58 % der Flächen verzeichnen

geringe Werte. In der fernen Zukunft (2071-2100) könnten über 85 % der landwirtschaftlichen Standorte von einer geringen potenziellen Wasserversorgung betroffen sein.

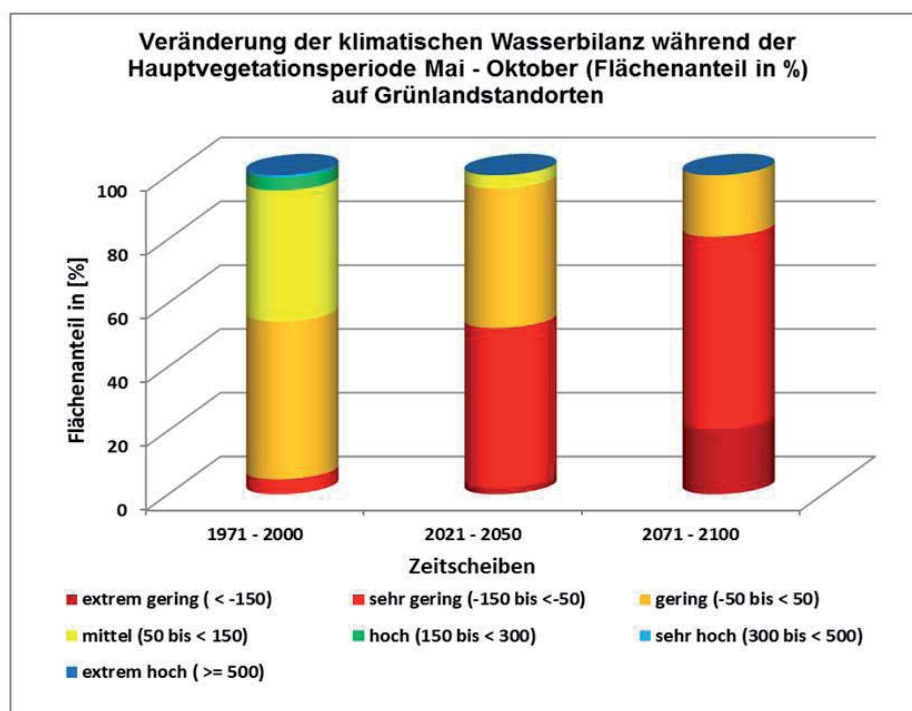
Die wichtigsten Kulturen in Rheinland-Pfalz zeigen allesamt ein deutlich zunehmendes Trockenstressrisiko aufgrund sich verschlechternder klimatischer Wasserbilanzen während der Sommermonate. Räumlich gesehen dürften die heute schon trockenen Gebiete entlang des Oberrheingrabens besonders vulnerabel gegenüber ausbleibenden Sommerniederschlägen und verlängerten Trockenperioden sein.

Abbildung 19:
Standortklimaindex auf landwirtschaftlich genutzten Standorten an der Mittelmusel



Standortklimaindex für den Referenzzeitraum (1971-2000) (links) und die nahe Zukunft (2021-2050) (rechts) (Datengrundlage: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz & Deutscher Wetterdienst Meteo Research / CEC Potsdam GmbH i.A. des Umweltbundesamtes, Projektion: WETTREG2006 A1B-trocken)

Abbildung 20:
Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz der Dauergrünlandflächen während der Hauptvegetationsperiode



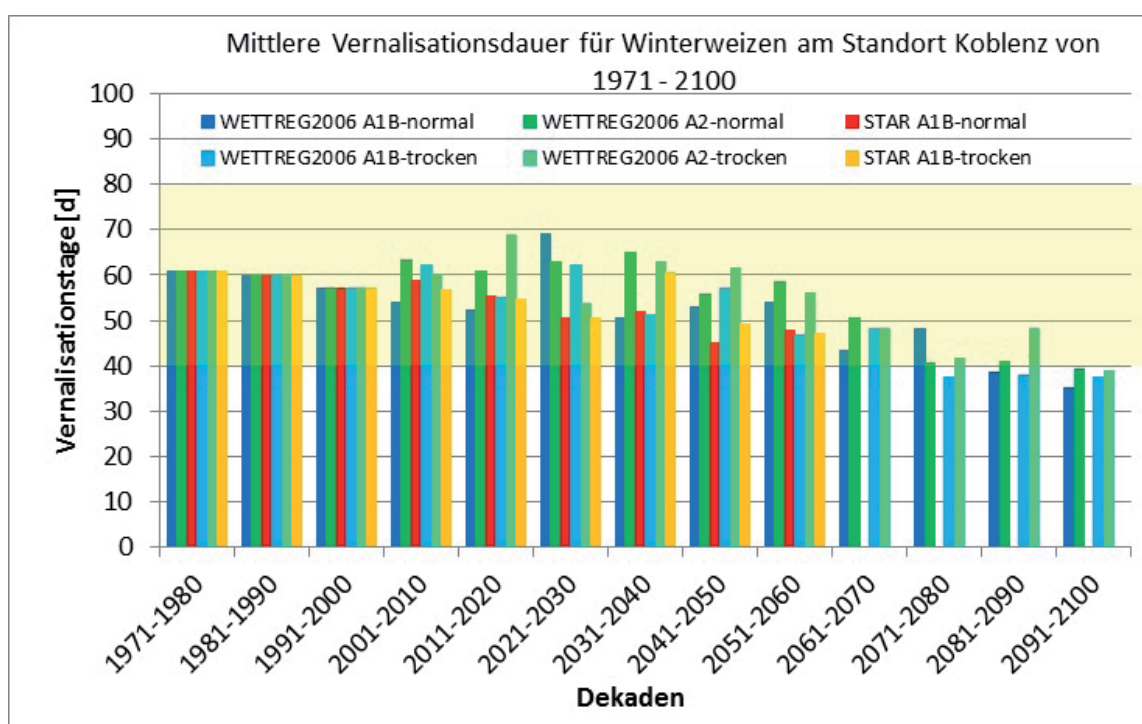
Die Bewässerungsbedürftigkeit insbesondere im Sonderkulturbereich könnte sich durch die projizierten Verhältnisse deutlich erhöhen. Insgesamt wird die Trockenstressgefährdung der einzelnen Kulturen deutlich ansteigen, weshalb mit einer Ausdehnung der Bewässerungsflächen zu rechnen ist. Diese könnte auch Kulturen betreffen, welche heute noch nicht bewässert werden.

Vernalisationsdauer

Viele Pflanzen besitzen besondere Ansprüche an das Klima, im Winter benötigen sie tiefe Temperaturen für eine uneingeschränkte Entwicklung im folgenden Frühjahr (Vernalisation). Die durchgeführten Analysen am Beispiel Winterweizen projizieren eine deutlich verringerte Vernalisations-

dauer. In wärmebegünstigten Regionen werden in der Zukunft die als kritisch angesehenen 40 Einwirkungstage kalter Temperaturen (0-5 °C) im Winter aufgrund höherer Temperaturen zum Teil deutlich unterschritten (Abbildung 21). Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf die Fläche ist aufgrund der Heterogenität des Reliefs in Rheinland-Pfalz schwierig. Dennoch lässt sich festhalten, dass bei einem Eintritt der hier verwendeten projizierten Temperaturveränderungen in wärmebegünstigten Lagen in Zukunft mit Vernalisationsproblemen zu rechnen sein wird, höher gelegene Standorte werden von diesen voraussichtlich nicht betroffen sein.

Abbildung 21:
Mittlere Vernalisationsdauer für Winterweizen



Anzahl der Vernalisationslage im Winter am Standort Koblenz (Projektionen: WETTREG2006 and STAR II)

Ertragseinbußen

Zwischen 40-50 % der jährlichen Ertragsschwankungen sind auf die Witterung während der Hauptvegetationsperiode in den Sommermonaten zurückzuführen (RÖSTEL 1999). Auswertungen zur Zuckerrübe zeigen eine deutliche Häufung von potenziell ertragsschwachen Jahren für die Zukunft. Es wirkt sich eine Kombination aus geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen in der Periode Juni-August besonders negativ auf den Ertrag aus. Besonders ertragsschwache Jahre (z. B. der Hitzesommer 2003) zeigten meist Niederschlagssummen < 110 mm (Juni-August) und Temperatursummen der Tagesmitteltemperatur > 1200 °C (Juli-August). Diese Muster treten verstärkt in zukünftigen Klimazeitreihen auf. Dies würde bedeuten, dass bei Eintreten der zugrunde gelegten Klimaprojektionen mit einer erhöhten Ertragsvariabilität und vermehrt ertragsschwachen Jahren zu rechnen sein dürfte (ohne Berücksichtigung von anbautechnischem Fortschritt).

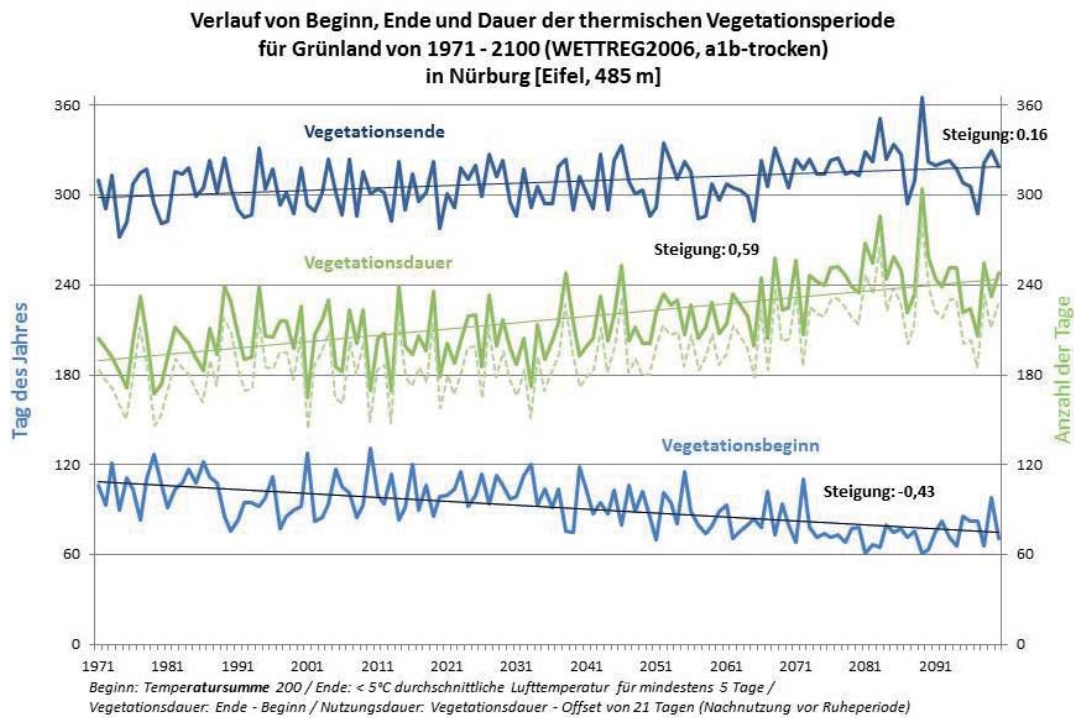


Vegetationsperiode

Die Analyse zur Veränderung des Verlaufs und der Länge der Vegetationsperiode in Reinland-Pfalz zeigt eine deutliche Tendenz hin zu einem früher einsetzenden Vegetationsbeginn, einem späteren Vegetationsende und einer damit einhergehenden verlängerten Vegetationsperiode. Der Vegetationsbeginn verfrüht sich demnach in allen betrachteten Klimaprojektionen bis zum Ende des Jahrhunderts um durchschnittlich 30-40 Tage und verschiebt sich dabei je nach Höhenlage von Anfang/Mitte April hin zu Anfang/Mitte März. Die annuellen Unterschiede variieren dabei stark. Das Vegetationsende verlagert sich im Mittel um 10-20 Tage nach hinten und fällt damit je

nach Höhenlage von September/Oktober in den Oktober bzw. November. Dies ergibt eine verlängerte Vegetationsperiode von im Mittel ca. 40-60 Tagen. Bei ausreichender Wasserzufuhr bedeutet dies z. B. bei Grünland (Abbildung 22) eine zusätzliche Anzahl von Schnitten.

Abbildung 22:
Verlauf und Länge der Vegetationsperiode am Beispiel der Klimastation Nürburg (Eifel, 485 m über NN)



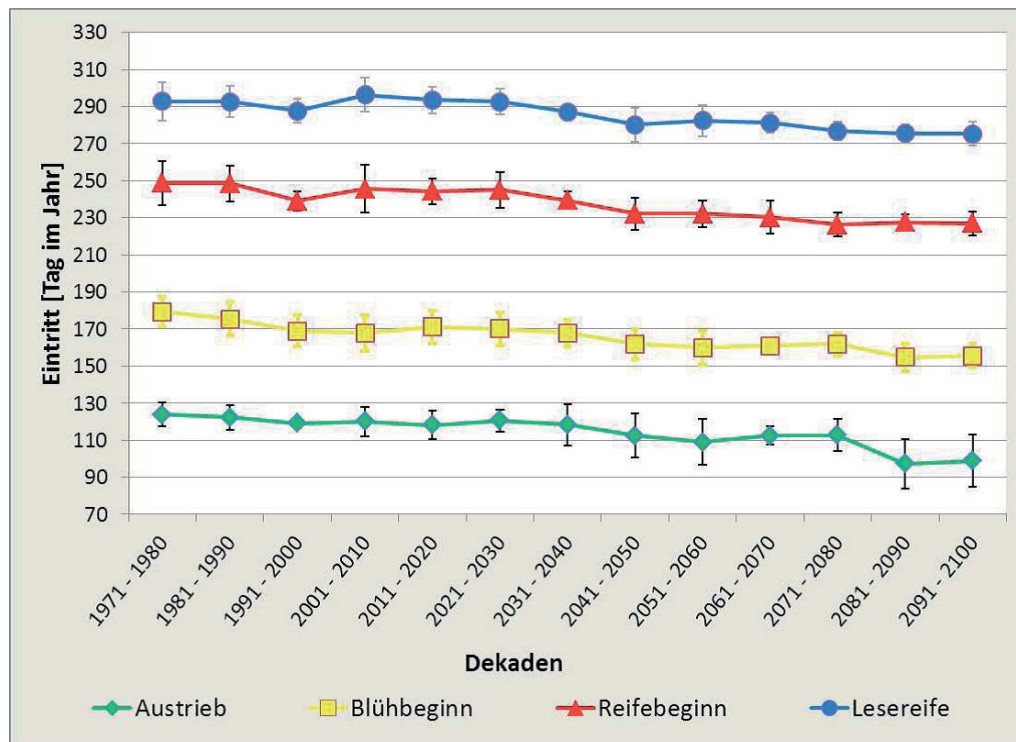
Projektion WETTREG2006 A1B-trocken. Die Darstellung der Einzeljahre ist keine Vorhersage, sondern soll lediglich die interannuelle Variabilität aufzeigen

Phänologie

Die Phänologie beschreibt die zeitliche Abfolge einzelner Entwicklungsstadien und deren Eintrittszeitpunkte bei Pflanzen. Wie Abbildung 23 verdeutlicht, verfrüht sich der Austrieb bei Reben bei Simulationen zwischen 1971-1980 und 2091-2100 im Mittel um 25-30 Tage. Auffallend ist der deutliche zeitliche Sprung in den beiden letzten

Dekaden. Hier kommt es an allen Standorten und bei sämtlichen Simulationen bereits Mitte bzw. Ende März zum Knospenaustrieb. Bei den weiteren phänologischen Phasen ist die Tendenz zur Verfrühung abgeschwächt. Während Blühbeginn und Reifebeginn meist im Mittel 20-25 Tage früher im Jahr einsetzen, zeigt die Lesereife eine Verfrühung um gemittelt 15-20 Tage.

Abbildung 23:
Eintrittszeitpunkte der wichtigsten phänologischen Phasen am Standort Trier (WETTREG2006 A1B-trocken)



Spätfrostgefährdung

Spätfrostgefahren sind im Obst- und Weinbau besonders kritisch an Knospen, jungen Trieben und Blüten. Die Auswertungen zur thermischen und radiativen Spätfrostgefährdung nach dem Knospenaustrieb ergaben, dass auch in der fernen Zukunft ein Risiko für Spätfrostgefahren besteht, das aufgrund des früheren Knospenaustriebs sogar leicht erhöht sein kann. Trotz der eher selten zu erwartenden Spätfrostereignisse kann bereits eine frostige Strahlungsnacht zu erheblichen Ernteaufschlägen und Ertragsverlusten führen. Der nach den durchgeführten Simulationen bis 2100 um 25-30 Tage früher einsetzende Knospenaustrieb und die damit einhergehende größere Wahrscheinlichkeit eines Kaltlufteinbruchs könnten die Klimaerwärmung daher nahezu kompensieren.



Wärmesumme – Beispiel Weinanbau

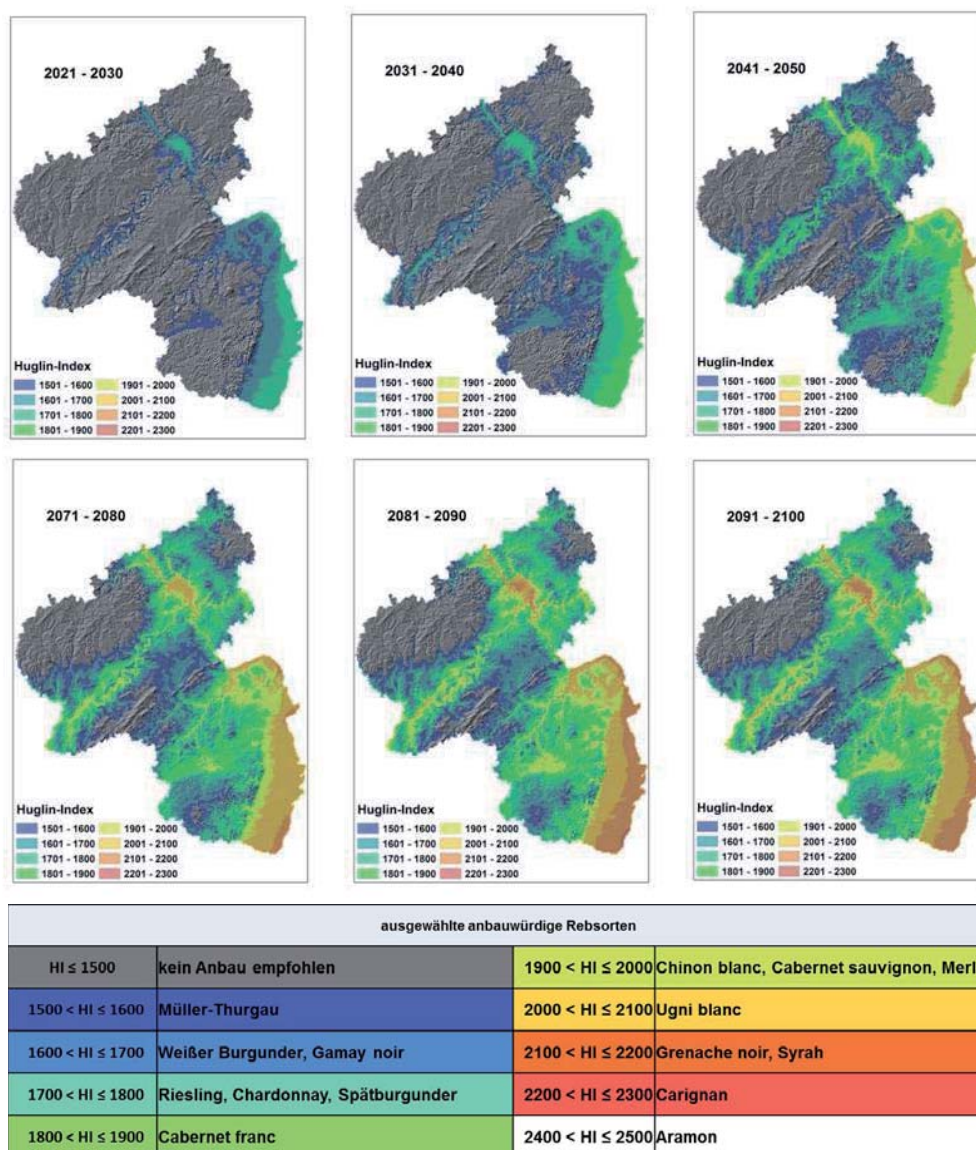
Der Huglin-Index ist eine Wärmesumme der Tagesmittel- und Tagesmaximumwerte der Lufttemperatur im Zeitraum von Anfang April bis Ende September. Konkrete Anbauempfehlungen sind aus dem Index nicht ableitbar, da er eine thermische Kenngröße ist. Hohe Indizes zeigen günstige Verhältnisse für thermisch anspruchsvolle Rebsorten an, wobei die weniger anspruchsvollen Sorten eingeschlossen sind. Lagen mit Indexwerten unter 1500 werden aufgrund der niedrigen Temperaturen nicht für Weinbau empfohlen.

Der Huglin-Index nimmt bei den verwendeten Klimaprojektionen bis Ende des Jahrhunderts deutlich zu, sowohl auf der Gesamtfläche als auch an allen untersuchten Standorten. Dieser Trend

kann bedeuten, dass zukünftig verstärkt Wärme liebende Rebsorten wie beispielsweise Cabernet sauvignon, Merlot oder Syrah angebaut werden. Dagegen könnte sich eine Überschreitung des Wärmeoptimums negativ auf so genannte „cool-climate“ Sorten wie Müller-Thurgau oder Riesling auswirken. Abbildung 24 zeigt die räumliche Entwicklung des Huglin-Index in Rheinland-Pfalz bei Annahme der Klimaprojektion WETTREG2006 A1B-trocken. Zu Beginn der Entwicklung (2021-2030) ist Weinanbau ausschließlich in den wärmebegünstigten Regionen der Flusstäler möglich, in Zukunft könnte sich der Weinanbau temperaturbedingt auf höhere Lagen einer Region ausdehnen. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums könnte Weinbau aus thermischer Sicht, bis auf die höheren Mittelgebirgsregionen, überall in Rheinland-Pfalz möglich sein.



Abbildung 24:
Zeitschnitte für die zukünftige Entwicklung des Huglin-Index in Rheinland-Pfalz
(Projektion: WETTREG2006 A1B-trocken)



Niederschlagsintensität

Starkniederschläge (> 20 mm innerhalb von 24 Stunden) können künftig in den Sommermonaten, insbesondere auch in Verbindung mit Hagelschlag, zunehmen und den Pflanzenbau stark beeinträchtigen. Die regionale Verteilung der Niederschläge sowie die unterschiedliche Änderung in der Niederschlagsmenge beeinflussen in Zukunft wesentlich den Wasserhaushalt der Kul-

turen. Insbesondere sind die generell abnehmenden Sommerniederschläge in den Klimaszenarien verantwortlich für zunehmenden Trockenstress bei Sommerkulturen und Grünland. Dies hat auch Auswirkungen auf die Wirksamkeit von Düngergaben, vor allem der Stickstoffdüngung.

Wärmebelastung

Nach den jetzigen Berechnungen wird der Klimawandel u. a. im Sommer mit extremen Hitzeperioden auftreten, welche einen Einfluss auf die Tiergesundheit haben werden. Die Körpertemperatur landwirtschaftlicher Nutztiere liegt konstant zwischen 36 und 41 °C.

Bei hohen Umgebungstemperaturen wird die lebensnotwendige Wärmeabgabe erschwert. Bei Kühen wird ein Rückgang der Milchleistung festgestellt und bei Legehennen ist eine verminderte Eiablage mit einer Eigrößenabnahme zu beobachten.

Die Schwere des Hitzestresses setzt sich aus einer Vielzahl von Faktoren zusammen.

- Aktuelle Temperatur und Luftfeuchtigkeit
- Länge der Hitzestressperiode
- Abkühlung in der Nacht
- Ventilation und Luftgeschwindigkeit in Ställen

Stress auslösende Umweltbedingungen können über den Temperatur-Feuchtigkeits-Index (THI) kalkuliert werden. Kritische THI-Werte liegen bei Masttieren um 72 bis 75 und bei Schweinen um 72 bis 74. Bei einem THI über 98 besteht bei Rindern Todesgefahr. Im Durchschnitt ist mit einem Anstieg der Häufigkeit von Tagen mit einem kritischen THI Wert um 50 % zu rechnen (THI > 70) (EITZINGER 2009).

Als Maß für die Wärmebelastung bei Geflügel wird die Enthalpie (Gesamtwärmeinhalt der Luft) herangezogen. Wird ein Enthalpiewert von 72 kJ kg⁻¹ in Ställen überschritten, tritt nach kurzer Zeit der Hitzetod bei Geflügel auf. Bei Einhaltung des Mindestluftvolumenstromes sowie optimaler Pflege und Betreuung der Tiere kann bei einer Enthalpie von bis zu 67 kJ kg⁻¹ in der Außenluft das Erreichen der letalen Grenze von 72 kJ kg⁻¹ in der Stallluft in der Regel vermieden werden.

Das Überschreiten des kritischen Enthalpiewertes von 67 kJ kg⁻¹ (Außenluft) konnte in den vergangenen Jahren nur an wenigen Tagen beobachtet werden. Zukünftig ist davon auszugehen, dass diese gefährlichen Bedingungen fast jedes Jahr mehrfach erfüllt sein werden (EITZINGER 2009).

Infektionskrankheiten

Höhere Monatsdurchschnittstemperaturen schaffen ideale Voraussetzungen für das Neuauftreten von Infektionserregern, die durch Zwischenwirte wie Stechmücken übertragen werden (COOK 1992). Darüber hinaus ist die Entwicklung von Viren, die von Insekten übertragen werden, ebenfalls temperaturabhängig. Zum Beispiel dauert der Vermehrungszyklus des Blauzungenvirus (BTV) in dem Überträger der Gnitze (Mückenart) bei 25 °C 6 bis 8 Tage, bei 30 °C nur noch vier Tage (WITTMANN et al. 2002). Mit zunehmender Temperatur steigt die Wahrscheinlichkeit für die Gnitze, sich mit BTV zu infizieren. Die zunehmende Ausbreitung von BTV Richtung Norden lässt Befürchtungen aufkommen, dass das nah verwandte Virus der Afrikanischen Pferdepest, das bei Pferden fast immer eine tödlich verlaufende Infektion bewirkt, eine vergleichbare Entwicklung zeigt.

Krankheits-, Schädlingsbefall und Auftreten von Schädnpflanzen

Steigende Temperaturen, Änderungen der Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsintensität sowie -verteilung beeinflussen das Auftreten und die Intensität von Schaderregern in allen landwirtschaftlichen Kulturen. Höhere Temperaturen und längere Trockenperioden begünstigen Auftreten und Wachstum von trockenintoleranten, sommerannuellen Schädnpflanzenarten (wie z. B. Hirse-Arten). Gleiches gilt für Schadinsekten, deren Lebensbedingungen sich durch den Klimawandel erheblich verbessern können. So ist mit früherem und stärkerem Schädlingsbefall in vielen Kulturen zu rechnen. Ferner kann sich der Trend zum Auftreten neuer, bisher eher im mediterranen Klimabereich auftretender Insekten (wie z. B. Zikaden, Blattlaus-, Schildlausarten) fortsetzen. Hieraus resultiert, oft in Verbindung mit verlängerten Wachstumsperioden im Herbst, in verschiedenen Kulturen eine deutlich erhöhte Gefahr des Auftretens von Viruskrankheiten bzw. Phytoplasmosen, die von tierischen Vektoren übertragen werden (z. B. *Barley Yellow Dwarf Virus* und *Wheat Dwarf Virus* im Getreideanbau oder *Flavescence dorée* im Weinbau). Der Einfluss

des Klimawandels auf Pilzkrankheiten kann in Abhängigkeit vom Krankheitserreger unterschiedlich ausfallen. Modellrechnungen haben ergeben, dass bestimmte Pilzkrankheiten (z. B. *Cercospora beticola* an Zuckerrüben) deutlich früher und stärker auftreten. Andererseits kann erwartet werden, dass Arten, die zum epidemischen Auftreten sehr feuchte Witterung über längere Zeiträume benötigen, zurückgedrängt werden (z. B. Falsche Mehltau-Arten). Bei Echten Mehltaupilzen steht zu erwarten, dass ihre Bedeutung zunehmen wird. Auch die aufgrund des Klimawandels veränderten Kulturmaßnahmen (z. B. Zusatzberegnung, geänderte Saatzeiten, Anbau „neuer“ Kulturen) beeinflussen in stärkerem Maße den Schadergerbefall. Generell kann mit einer gravierenderen, derzeit allerdings noch nicht genau abschätzbaren Umschichtung der Dominanzverhältnisse in den Pathosystemen der landwirtschaftlichen Kulturen gerechnet werden.

6.3 Anpassung an den Klimawandel

Basis für Empfehlungen und Hinweise zur Anpassung an den Klimawandel ist das Projekt Klim-LandRP (Modul „Landwirtschaft“). Dort wurde eine umfangreiche Datenbank zu den Parametern Standortindex, Standortklimaindex und Reliefindex erarbeitet, die es erlaubt, landwirtschaftliche Flächen hinsichtlich ihrer Nutzungsmöglichkeiten aktuell und in Zukunft unter besonderer Berücksichtigung des Klimaeinflusses zuverlässiger zu bewerten.

Ziel ist, Standorte landwirtschaftlicher Nutzung künftig konkreter und differenzierter beschreiben zu können. Die Nutzung der aufgebauten Datenbank soll durch die Vernetzung mit anderen Informationsquellen weiterentwickelt und zur zeitnahen Erfüllung von Anforderungen bzw. Nachfragen auf Abruf eingesetzt werden. Auf diesem Wege können den Nutzern flexible Entscheidungsunterstützungen angeboten werden.

Neben der praktischen Nutzbarmachung von Daten ist die Erarbeitung von „neuem“ Wissen zur Einspeisung in die Datenbasis von großer Relevanz. Dies soll über Projekte im Bereich des



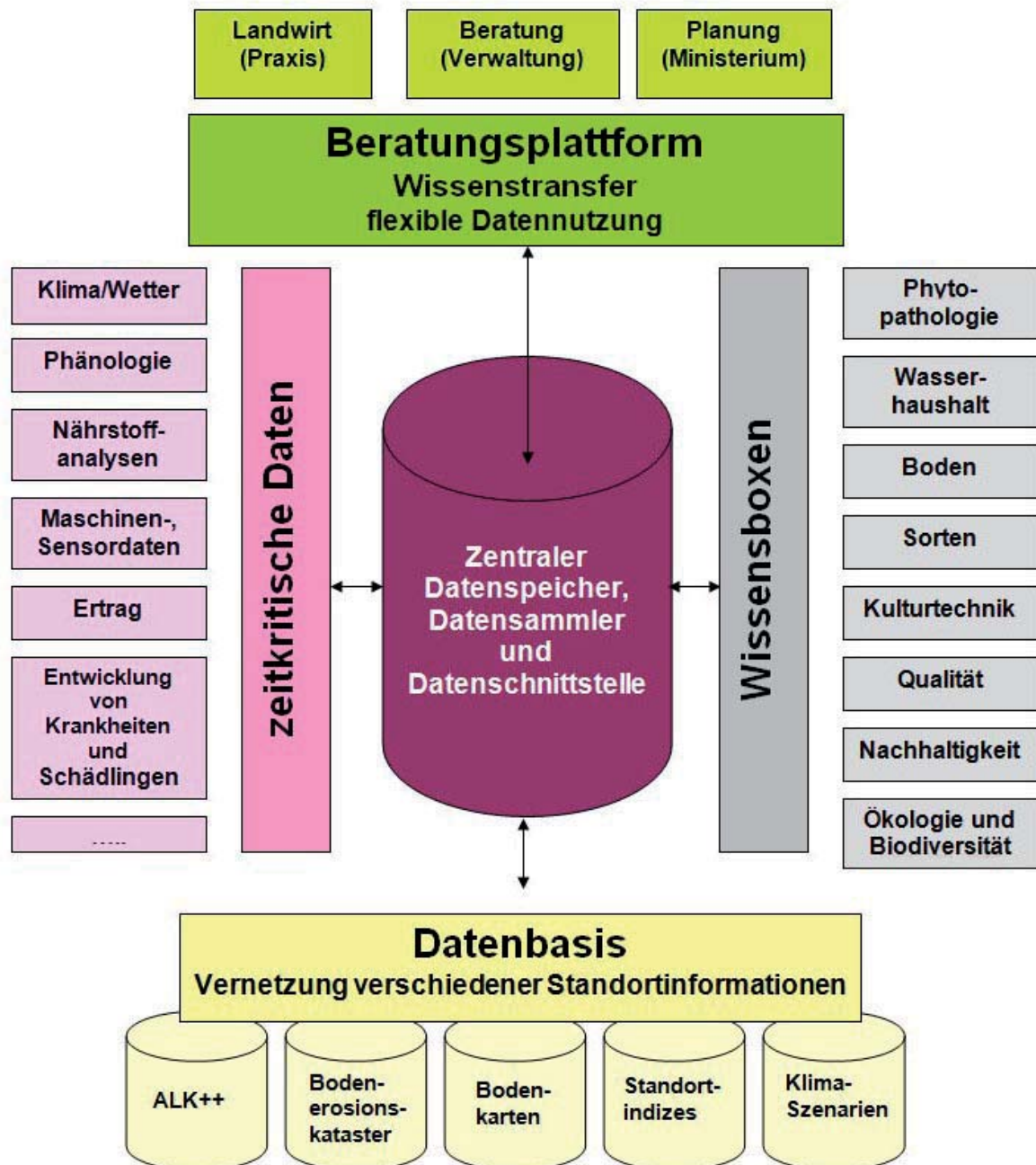
Versuchswesens und der Forschung erreicht werden (siehe Kapitel 6.4 „Informations- und Untersuchungsbedarf“).

Vorgehensweise: Die Systeme und Prozesse müssen flexibel und nach individuellen Erfordernissen abrufbar angelegt sein, da sie häufig Echtzeitforderungen unterliegen (Abbildung 25):

- Ausbau der webbasierten Beratungsplattform für die Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz mit zeitkritischen Informationen wie Entwicklung von Krankheiten und Schädlingen, aktuellen Klimadaten, Integration relevanter GIS-Produkte, wie beispielsweise das Bodenerosionskataster oder Hinweise zu kulturspezifischen Maßnahmen wie Bewässerung, Frostschutz oder Temperatursteuerung.
- Der Praxistransfer klimarelevanter Standortinformationen könnte über eine Beratungsplattform auf Basis eines „Web-GIS“ erfolgen. Möglich wäre eine Einspeisung der flurstückscharfen Informationen in bereits vorhandene Informationssysteme (z. B. Aggarportal). Hierdurch könnten Nutzer direkt auf ihre Flurstücke zurückgreifen und sich in witterungskritischen Phasen Informationen zu Trockenstresstoleranz oder Kaltluftgefährdung ihrer Flächen einholen. Diese Entscheidungshilfen könnten auch für überregionale Ebenen dienen. Hier könnten sie beispielsweise zu einer ressourcenschonenden Bewässerung beitragen.

- Aufbau einer vorkonfigurierten „WissensBox“: Informationen werden so aufbereitet, dass sie zukünftig mit semantischer Suche und regelbasierten Wissenswerkzeugen flexibel und raum-zeit-bezogen ausgewertet werden können. Diese „WissensBox“ kann auf den jeweiligen Bedarf des Landwirts, der Verwaltungs- und Beratungsebene sowie der Planungsebene (Politik) hin ausgebaut werden.
- Gegenwärtig wird mit dem (Mobilen) Agrarportal Rheinland-Pfalz bereits eine grundlegende Struktur für die Bereitstellung von GIS-orientierten Daten geschaffen. Es bietet sich an, auf die bereits geleisteten Arbeiten zurückzugreifen und Anwendungen zu schaffen, die an das System andocken.
- Das Produkt ALK++ beispielsweise liefert wertvolle Zusatzinformationen zur besseren Interpretation der Ertragskarten (z. B. TWI: Topographischer Feuchteindex) bzw. zur Optimierung der Stickstoff-Düngung unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs (z. B. feuchtes vs. trockenes Frühjahr -> unterschiedliche Ertragsprognosen für Senken innerhalb eines Schlages).

Abbildung 25:
Wissensmanagement in der Landwirtschaft



6.4 Informations- und Untersuchungsbedarf

Innerhalb des Projekts KlimLandRP wurde für den Bereich Landwirtschaft eine breite Datenbasis geschaffen. Weiterer Informationsbedarf besteht vor allem in den folgenden Themenfeldern:

- Weiterführende und vertiefende Analysen zur klimasensitiven Charakterisierung der Standorte, unter Einbeziehung neuer regionaler Klimaprojektionen und hochauflösender Geodaten
 - Wirkmodellrechnungen mit einem Ensemble unterschiedlicher Klimamodelle und Emissionsszenarien zur Abbildung des Korridors an möglichen zukünftigen Entwicklungen
 - Einrichtung eines Monitoringsystems mit Dauerbeobachtungsflächen zur Folgenabschätzung des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz und speziell auch zur Validierung der Standortindizes anhand von empirischen Daten
 - Kombination mit kulturspezifischen Parametern zur Charakterisierung der Entwicklung der landwirtschaftlichen Anbauflächen und deren Rahmenbedingungen für die verschiedenen Klimaprojektionen und landwirtschaftlichen Kulturen.
 - Die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz unter Berücksichtigung der sich veränderten Rahmenbedingungen in Abhängigkeit des Reliefindex kann für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in den jeweiligen Kulturen eine Rolle spielen und damit auch für die Wasserwirtschaft von Bedeutung sein.
 - Die Risikoabschätzung erfolgt bisher anhand von Klimadaten, die in einem groben Raster vorliegen. In Zukunft könnten die kleinklimatischen Wetterdaten des agrarmeteorologischen Messnetzes Rheinland-Pfalz hierfür Daten in einer höheren räumlichen Auflösung liefern.
- Folgende Forschungsfragen können für das Themenfeld „Klimawandel und Landwirtschaft“ in Rheinland-Pfalz aus den Untersuchungen abgeleitet werden:
- Welcher Bewässerungsbedarf besteht künftig für landwirtschaftliche Standorte und welche Bewässerungsmöglichkeiten gibt es?
 - Inwieweit wird sich das Sortenspektrum verändern und wird sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche generell verändern?
 - Inwieweit wird das Klimaoptimum für bestimmte Sorten überschritten werden, wie wirkt sich die erwartete phänologische Verfrühung und frühere Reife bei gleichzeitig verlängerter Vegetationszeit auf den Befallsdruck durch Schaderreger und Krankheiten aus?
 - Wie entwickeln sich für die Landwirtschaft relevante Schädlinge sowie Wirt-Parasit-Beziehungen?
 - Wird die bereits beobachtete Zunahme von Sonnenbrandschäden in Abhängigkeit möglicher künftiger Witterungsmuster weiter zunehmen?
 - Wie wird sich das Risiko des Auftretens von Spätfrösten entwickeln? – Könnten konträr zu den bisherigen Klimaveränderungen winterliche Schadfröste ($< -18\text{ °C}$) auch zunehmen, infolge einer möglicherweise veränderten globalen Klimadynamik?
 - Kann die Einrichtung landesweiter Referenzmessstationen zur Erfassung langjähriger Zeitreihen für relevante Strahlungsparameter weitere Basisdaten für Rheinland-Pfalz liefern?
 - Weiterer Forschungsbedarf besteht für in diesem Projekt nicht untersuchte Forschungsfelder wie den Obst- und Gemüsebau.



7 NATURSCHUTZ UND BIODIVERSITÄT



7.1 Ausgangslage

Klimatische Einflüsse

Rheinland-Pfalz ist geprägt durch eine Vielfalt an unterschiedlichen Lebensräumen und besitzt eine artenreiche Tier- und Pflanzenwelt. Für zahlreiche Arten, deren Schwerpunkt ganz oder teilweise in unserem Bundesland liegt, tragen wir eine besondere Verantwortung. Das gilt zum Beispiel für die Gefäßpflanzen der xerothermen Hanglagen, der Bergmähwiesen sowie der Moore und Nasswiesen. Mit rund 1.900 Gefäßpflanzensippen besitzt Rheinland-Pfalz im bundesdeutschen Vergleich eine relativ reiche Flora. Neben mediterranen und submediterranen Florenelementen kommen in Rheinland-Pfalz auch zahlreiche arktische, nördische oder alpine Florenelemente in den Höhenlagen vor. Diese Reliktorkommen an meist kühlnassen oder feuchten Standorten sind durch die zu erwartenden Klimaveränderungen potenziell gefährdet.

Das Klima beeinflusst die Biodiversität nicht nur auf der Ebene der einzelnen Individuen, sondern darüber hinaus werden die Interaktionen zwischen den Individuen verschiedener Arten und die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften beeinflusst. Es kann erwartet werden, dass die bereits erfolgten und zukünftigen Veränderungen des Klimas in Rheinland-Pfalz Folgen für die räumlich-zeitliche Verteilung von Tier- und Pflanzenarten sowie Ökosystemen haben werden. Der nachfolgend im Überblick dargestellte Kenntnis-

stand entstammt Untersuchungen, die sich vorzugsweise auf ausgewählte, für Rheinland-Pfalz besonders relevante, Arten(gruppen) konzentrierten. Einem umfassenden Biodiversitätsverständnis folgend, müssen jedoch künftig neben der Artenvielfalt auch die Auswirkungen des Klimawandels auf die genetische Vielfalt und die Lebensraumvielfalt verstärkt untersucht werden.

Sowohl die phänologische Plastizität als auch die Fähigkeit zur genetischen Anpassung an den Klimawandel ist jedoch begrenzt und wird bei vielen Arten nicht ausreichen, um mit dem Klimawandel mitzuhalten. Viele Pflanzenarten brauchen zum Beispiel Jahrzehnte, um ihr Areal um wenige Meter zu verlagern, während etwa wind- und wasser-verbreitete Pflanzen in jeder Generation mehrere Kilometer zurücklegen können und durch Barrieren kaum in ihrer Verbreitung behindert werden. Auch bei Tieren gibt es artspezifische Unterschiede in der Mobilität, die die Reaktionsgeschwindigkeit auf den klimatischen Wandel bestimmen. Mobile Tierarten, wie viele Vögel und Insekten, können auch größere Barrieren überwinden und damit auf Veränderungen ihrer Lebensräume schneller reagieren als weniger mobile Tiere wie Amphibien und Reptilien.

Neben direkten klimatischen Effekten wird eine veränderte Landnutzung einen maßgeblichen Einfluss auf die künftigen Areale und Anpassungsmöglichkeiten haben. Unabhängig davon könnte es veränderte biotische Interaktionen (z. B. eine Desynchronisation von Vogelzug/Bruttermin und Nahrungsangebot) geben und die Verfügbarkeit von geeigneten Habitaten für Tier- und Pflanzenarten könnte sich durch klimabedingte Einflüsse wesentlich verändern. Als Konsequenz dieser Veränderungen ist eine Arealänderung (Zuwanderung oder Aussterben) von Arten zu erwarten.

Rheinland-Pfalz hat, sowohl auf europäischer Ebene als auch in Deutschland, für bestimmte Arten und Lebensräume bereits gegenwärtig eine besondere Verantwortung. Diese könnte künftig noch größer werden, da Rheinland-Pfalz im bundesweiten Vergleich eine große Zahl potenzieller und schützenswerter Klimawandelgewinner beherbergt. Somit besteht auch als Ausbreitungsquelle eine Verantwortung für diese Arten.





Heutige Verteilung der Biodiversität und künftige Lebensraumeignung

Klimaparameter besitzen eine artspezifische Bedeutung für die heutige Verbreitung von Arten (siehe Abbildung 26). Sämtliche analysierten Gefäßpflanzen, Heuschrecken-, Käfer- und Amphibienarten sowie eine Reptilienart stimmen darin überein, dass mindestens ein Klimaparameter das heutige Verbreitungsbild in Süddeutschland signifikant beeinflusst. Die für die nächsten Dekaden angenommenen Änderungen der klimatischen Verhältnisse in Rheinland-Pfalz werden sich aber artspezifisch sehr unterschiedlich auswirken.

Bei der Gruppe der Amphibien gibt es drei Zentren der Artenvielfalt: Westerwald, Unteres Nahetal und Oberrheintal. Das Mittelrheintal ist neben Teilen des Soonwaldes und des Nahetals ein Zentrum der Artenvielfalt bei Reptilien. Die Artenvielfalt der Heuschrecken in Rheinland-Pfalz nimmt

von Norden nach Süden hin zu. Ausnahmen bilden die größeren Flusstäler (Rhein, Mosel, Nahe), in denen sich eine für die jeweilige Region erhöhte Artenvielfalt zeigen lässt. Die Pfalz kann als Zentrum der Vielfalt bei Heuschrecken betrachtet werden. Die Pflanzenartenvielfalt konzentriert sich im Mittelrheintal, im Nahetal und im Unteren Saartal. Die Verteilung der Moosarten zeigt zwei distinkte Zentren mit besonders hohen Artenzahlen, die beide in den Mittelgebirgsregionen von Rheinland-Pfalz liegen. Neben den nördlichen Bereichen der Eifel bilden der südliche Hunsrück, die Nahe Region und das Saar-Nahe-Bergeland mit Teilen des Pfälzerwaldes ein zusammenhängendes Zentrum der Moosartenvielfalt.

Heuschrecken gelten auf regionaler Ebene als gute Indikatorgruppe für Artenvielfalt. Für die Artengruppen Heuschrecken, Reptilien, Amphibien und Gefäßpflanzen konnte eine Abhängigkeit von Klimaparametern nachgewiesen werden.

Abbildung 26:
Verteilung der Vielfalt in Abhängigkeit unterschiedlicher Artengruppen in Rheinland-Pfalz



Anzahl an Arten auf einzelnen Messtischblättern der Topografischen Karte (Maßstab 1 : 25 000 = TK 25) für die Artengruppen Amphibien (A), Reptilien (B), Heuschrecken (C), Pflanzen (D) und Moose (E). Als Indexwert ist in Karte F die Gesamtartenvielfalt dargestellt

Beispielsweise beeinflusst die Jahresmitteltemperatur die Artenzahl von Amphibien und Pflanzen positiv. Die Artenzahl der Heuschrecken korrelierte positiv mit ansteigenden Januartemperaturen. Moose hingegen scheinen bei niedrigen Januartemperaturen ihre maximale Artenzahl zu erreichen. Die höchsten Moosartenzahlen (bis 350 Arten pro Messtischblatt) wurden in Regionen zwischen 650 und 1100 mm Jahresniederschlag erreicht. Außerhalb dieser Intervalle sinkt die Artenzahl der Moose. Reptilien erreichen bei sinkenden Jahresniederschlägen eine größere Artenzahl auf regionaler Ebene.

7.2 Auswirkungen des Klimawandels

In der Bilanz wird für Rheinland-Pfalz, entgegen dem europäischen Trend, eher mit einer Zunahme oder Konstanz der Artenvielfalt gerechnet. Klimabedingtes Abwandern oder Aussterben einzelner Arten ist bislang nicht beobachtet oder belegt.

Folgende Veränderungsprozesse finden teilweise bereits statt bzw. gelten für die Zukunft als wahrscheinlich:

- Die standörtlichen Eigenschaften könnten sich verändern und in der Folge auch die Lebensgrundlagen wildlebender Arten beeinflussen, die sich mehrheitlich an die Bedingungen der Kulturlandschaft angepasst haben.
- Mit Bestandsschwankungen und Arealverlagerungen ist zu rechnen: Am Beispiel der Brutvögel zeigt sich, dass es sowohl Gewinner (z. B. Bienenfresser) als auch Verlierer (z. B. Trauerschnäpper) gibt.
- Wärme liebende Arten werden weiter zunehmen und nach Norden sowie in höhere Lagen wandern.
- Viele Arten werden womöglich phänologisch früher im Jahr erscheinen.
- Bei Kälte bevorzugenden Arten bestehen noch Unsicherheiten, insbesondere für moorige oder montane Habitate. Die Artvorkommen müssen genauer identifiziert und beobachtet werden.
- Gewässerlebensräume könnten zunehmend gefährdet sein: Die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse können zu Lebensraumverlusten für die Lebensgemeinschaften der Fließgewässer und verschiedener Kleingewässer im Mittelgebirgsbereich führen. Damit wäre ein charakteristischer Anteil aquatischer Biodiversität gefährdet. Mitteleuropäische Bäche und Quellen sind aus globaler Sicht besonders artenreich.
- Tiere und Pflanzen sind in der Lage, auf klimatische Veränderungen zu reagieren – durch phänotypische Anpassung, aber auch durch genetische Variation und Selektion.

Für die Zukunft werden vor allem höhere Temperaturen in Rheinland-Pfalz angenommen. Damit verbunden sind Risiken und Chancen.

Mögliche Risiken

- Einwandern von Neobiota könnte die vorhandenen Artengemeinschaften in ihrer Struktur und Zusammensetzung negativ beeinflussen und auch eine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen (z. B. Übertragung von Krankheiten durch die Tigermücke und die Asiatische Buschmücke).
- Lebensbedingungen für Moose verschlechtern sich (maximale Artenzahl bei niedrigen Januartemperaturen).
- Gefäßpflanzen der Bergmähwiesen, Nasswiesen und der Moore werden grundsätzlich unter höheren Temperaturen und geringeren Sommerniederschlägen leiden.
- Lebensbedingungen arktischer, nordischer oder alpiner Florenelemente werden sich verschlechtern.
- Konkurrenzverschiebung zulasten einheimischer Arten durch günstigere Bedingungen für einwandernde (auch invasive) Arten und schlechtere Bedingungen für heimische Arten.
- Verschiebung der Verbreitungsareale vieler Tier- und Pflanzenarten nach Norden oder im Gebirge hangaufwärts (je nach Art stellt dieser Prozess eine Chance oder ein Risiko dar).

Mögliche Chancen

- Einwanderung interessanter und attraktiver Wärme liebender Arten entlang des Rheingraben von Süden (z. B. Bienenfresser, Silberreiher, mediterrane Libellenarten, Wanzenarten).
- Arealausdehnung Wärme liebender Arten (z. B. Feuerlibelle und Gottesanbeterin).
- Positive Effekte für die Artenvielfalt
 - Steigende Artenzahl von Amphibien, Heuschrecken, Reptilien und Pflanzen bei höheren Jahresmitteltemperaturen
 - Anstieg der Artenzahl der Heuschrecken mit steigenden Januartemperaturen
 - Pflanzen der xerothermen Hanglagen profitieren von höheren Temperaturen und niedrigen Sommerniederschlägen



7.3 Anpassung an den Klimawandel

Anpassungsoptionen für den Natur- und Artenschutz setzen ein grundlegendes Verständnis der Auswirkungen des stattfindenden Klima- und Landschaftswandels auf die Biodiversität voraus, sowohl für einzelne Arten als auch für Populationen und Lebensgemeinschaften sowie Ökosysteme. Die für Rheinland-Pfalz vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse zeigen, dass sich der Klimawandel auf die Biodiversität und auf Veränderungen in der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften auswirkt. Dabei besteht durchaus die Chance, dass sich Arten dank überlebensfähiger Populationen ausreichend schnell an Klimaveränderungen anpassen.

Ein nachhaltiger Schutz heimischer und auch schützenswerter einwandernder Arten sowie der Lebensräume ist ein wichtiges naturschutzfachliches Leitziel.

In diesem Kontext bedeutet Anpassung an den Klimawandel nicht eine vollständige Neuentwicklung von Maßnahmen für den Naturschutz. Bestehende Naturschutzkonzepte können vielmehr auch in Zeiten des Klimawandels zielführend sein. Schutzgebiete sind dabei nicht nur Refugien für Arten und Lebensräume, sondern auch „Hot Spots“ der Artenvielfalt und Zentren der genetischen Diversität.

Ein wichtiges Instrument gegen den Verlust von Arten und Biotopen sind Schutzgebiete wie NATURA2000. Rheinland-Pfalz hat 120 FFH-Gebiete (12,9 % der Landesfläche) und 57 Vogelschutzgebiete (12,2 % der Landesfläche) im Landesnaturschutzgesetz ausgewiesen. Weitere flankierende Maßnahmen wie z. B. die Förderung von Naturschutzgroßprojekten in Kulturlandschaften, der quantitative Ausbau des Biotopverbunds, Artenschutzprojekte und auch Gewässerprogramme wie z. B. die „AKTION BLAU plus“ leisten in vielen kleinen mosaikartigen Schritten einen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität.

Eine besondere Bedeutung kommt der Ausweisung eines Nationalparks zu. Ziel des Schutzgebietes ist es, eine freie und von direkten menschlichen Eingriffen unbeeinflusste Entwicklung



auf großer Fläche zuzulassen. Das Gebiet des geplanten Nationalparks Hunsrück erstreckt sich über unterschiedliche Höhen- und Klimazonen. Der Gradient reicht von 380 bis 816 Metern Höhe über NN.

Hierdurch wird es möglich, die systeminternen Veränderungen und Anpassungsstrategien zu verfolgen, die in bewirtschafteten Wäldern in der Regel durch das vorsorgende und proaktive Handeln der Forstbetriebe nicht in diesem Maße beobachtet werden können. Dies betrifft das Vorhandensein von Arten als auch deren individuelle Vitalität und Konkurrenzkraft. Der Nationalpark dient so gesehen als großes Freilandlabor und Referenzfläche für die von Natur aus greifenden Prozesse. Die Entwicklung wird durch Monitoring und Forschung begleitet. Die Behandlungsprogramme für den Wirtschaftswald können hierüber wichtige Hinweise erhalten, an welcher Stelle und in welchem Maße mit Blick auf die dort geltende Zielsetzung einerseits direkte Einflussnahmen erforderlich sind und wo andererseits die laufende ökosystemare Dynamik auch unter sich ändernden Klimabedingungen genutzt werden kann.

Durch Ausweisung großer und störungsarmer Flächen ist ein Nationalpark ein in dieser Form im Land noch nicht gegebener Rückzugs- und Durchzugsraum für Arten.

Der Nationalpark ist auch ein „Hot Spot“ für die genetische Vielfalt. Es findet keine gerichtete Selektion zugunsten von Bäumen mit bestimmten

holztechnischen Zielen statt. Das bedeutet, dass auch Bäume, die ggf. eine große Vitalität haben, in ihrer Wuchsform aber nicht den forstwirtschaftlichen Zielen entsprechen, erhalten bleiben.

Im Nationalpark können Bäume Alter erreichen, die im Wirtschaftswald nicht anzutreffen sind. Die Holzvorräte steigen und CO₂ wird gebunden. Langfristig stellt sich ein Gleichgewicht ein, in dem Holzzuwachs und –zersetzung sich auf hohem Niveau die Waage halten. Durch die großflächige Renaturierung von Mooren entwickeln sich zusätzliche Kohlenstoffspeicher, die langfristig sehr hohe Mengen CO₂ binden werden.

Für den Arten- und Biotopschutz und die Ziele des Naturschutzes werden nach derzeitiger Einschätzung die projizierten klimatischen Veränderungen vermutlich einen geringeren Einfluss haben als die Änderungen der Landnutzungsstruktur und -qualität.

Empfehlungen

■ Ökosystemarer Ansatz

Auch unter den Vorzeichen des Klimawandels ist insbesondere in den Kulturlandschaften Mitteleuropas der ökosystemare Ansatz für Schutz und nachhaltige Nutzung der Biodiversität unverzichtbar. Damit werden die Kapazitäten von Ökosystemen und die Bedürfnisse der Menschen verknüpft, so dass eine nachhaltige Nutzung auch kommenden Generationen erlaubt, ihre Bedürfnisse zu befriedigen.

■ Dynamischer Artenschutz

Der Artenschutz und die bestehenden Zielartensysteme sind dynamisch weiter zu entwickeln. Gegenüber dem statischen Festhalten an bestimmten Zuständen muss der Eigenentwicklung mehr Raum gegeben werden, so dass sich Lebensräume und Lebensgemeinschaften entwickeln können, die die aktuellen Umweltbedingungen optimal nutzen.

Auch das Schutzregime der Richtlinien ist im Hinblick auf den Klimawandel zu dynamisieren. Die Flexibilisierung der Eingriffsregelung bietet eine dynamischere Kompensation. In der NATURA2000-Gebietskulisse sind im

Ansatz auch dynamische Veränderungen bei Arten und Lebensräumen berücksichtigt.

■ **Risikoarten und -gebiete**

Eine wichtige strategische Maßnahme liegt darin, Risikoarten und Risikogebiete zu definieren, die wahrscheinlich von klimatischen und landnutzungsbedingten Veränderungen beeinträchtigt werden.

■ **Verbreitungskarten als Entscheidungsgrundlage**

Die für zahlreiche Arten und Artengruppen bereits verfügbaren Verbreitungskarten dienen in Verbindung mit den geschätzten zukünftigen Habitateignungskarten als erste Entscheidungsgrundlage für den Naturschutz.

■ **Integrativer Naturschutz durch Biotopverbund**

Ein funktionierender Biotopverbund ist ein zentrales Instrument, um die Anpassungsfähigkeit von Arten und Lebensgemeinschaften an Klimaveränderungen zu erhalten und ein Ausweichen in geeignete Lebensräume zu ermöglichen. Ein für das ganze Land erarbeitetes Fachkonzept zum Biotopverbund, das auf unterschiedlichen räumlichen und administrativen Ebenen umgesetzt wird, ergänzt das bestehende System und trägt einer flexiblen Weiterentwicklung Rechnung.

Ein integrativer Naturschutz zielt auf das ökologische Gefüge der gesamten Landschaft und die Beziehungen der Populationen untereinander ab. Zur Entwicklung des Biotopverbunds ist daher neben Schutzgebieten, naturnahen Restflächen und besonders gefährdeten Arten auch die gesamte übrige Fläche mit ihren Arten und Lebensräumen zu integrieren. Die funktionalen Aspekte der Vernetzung sind besonders zu berücksichtigen.

Rheinland-Pfalz hat mit einem Anteil von 22 % der Landesfläche bereits heute eines der größten Schutzgebietssysteme Deutschlands als wesentlicher Bestandteil des Biotopverbunds. Die in Rheinland-Pfalz für 24 Kreise und die kreisfreien Städte vorliegende Planung vernetzter Biotopsysteme (VBS) stellt eine wesentliche Grundlage zur Umsetzung des

Biotopverbundes nach § 29 LNatSchG dar. Sie liefert damit eine umfassende Orientierungs- und Argumentationshilfe.

■ **Adaptives Management**

Für ein adaptives Management wird empfohlen, definierte Zielartensysteme sowie die Pflege- und Managementsysteme regelmäßig, z. B. alle 10 bis 15 Jahre, zu überprüfen und je nach Bedarf neu zu justieren.

■ **Anpassungsinstrumente**

Die Wirksamkeit sowohl der bestehenden als auch der geplanten Naturschutzinstrumente ist nicht nur mit Blick auf den Klimawandel permanent zu überprüfen. Für die bestehenden Vertragsnaturschutzprogramme wie etwa PAULa gibt es bereits ein Qualitätsmanagement. Sie werden fortlaufend weiterentwickelt, ergänzt, flexibilisiert und stärker modular aufgebaut.

Verschiedene Monitoringprogramme (z. B. im Rahmen von NATURA2000) dienen dazu, die Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und schützenswerte Lebensräume wie NATURA2000 oder die im Rahmen des Biotopkatasters ausgewiesenen Habitate zu beobachten, um rechtzeitig und adäquat auf Veränderungen reagieren zu können.

Erfolgreiche, zukunftsweisende Initiativen wie das Programm „Partnerbetrieb Naturschutz“ können eine wertvolle Unterstützung bieten.

Um Konflikte mit Naturschutzzielen, wie z. B. beim Anbau von Energiepflanzen, zu vermeiden, werden in überregionalen Fachplanungen der Raum- und Landesplanung Handlungsvorgaben gemacht.

Bei allen strategischen Schritten und der Entwicklung von konkreten Empfehlungen ist eine ständige Rückkopplung zwischen Praxis, Wissenschaft und Politik unverzichtbar.

Exemplarisch können für ausgewählte Beispiele und Lebensräume in Rheinland-Pfalz Prozesse und mögliche Problemlagen infolge des Klimawandels aufgezeigt werden, denen mit konkreten Anpassungsmaßnahmen begegnet werden kann (Tabelle 3).

Tabelle 3:
Prozesse, mögliche Problemlagen und Anpassungsmaßnahmen infolge des Klimawandels
am Beispiel ausgewählter Lebensräume

Prozess/Entwicklung infolge des Klimawandels	Problemkomplex	Lebensraum/Beispiel in Rheinland-Pfalz	Maßnahme
Erwärmung von Lebensräumen	Beeinträchtigung stenothermer, kältetoleranter Lebensgemeinschaften Artenverschiebung/-rückgang	Bergmähwiesen mit schützenswerten Orchideenarten (hohe Verantwortung in Rheinland-Pfalz) Rückgang von typischen Orchideenarten und der Arnika (bedingt durch Stickstoffeintrag, Pflegemaßnahmen und Klimawandel) wird schon heute beobachtet	Erhaltung einzelner Reliktvorkommen durch Pflegemaßnahmen Erste Ansiedlungserfolge bei <i>Arnica montana</i> durch Frischmahdübertragung
Ein- und Durchwanderung von Arten	Barrieren können Ab- und Zuwanderung behindern	Flusstäler von Rhein und Mosel	Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen Durchgängigkeit durch Biotopverbund erhöhen
Veränderung der Umwelt- und Habitatbedingungen bei unterschiedlichen zeitlichen Habitatansprüchen von Arten	Zielkonflikte bezogen auf unterschiedliche zeitliche Habitatansprüche von Arten(gruppen)	Westerwälder Feuchtgebiet am Übergang zwischen Bergmähwiesen und Flachlandmähwiesen: Schutz bodenbrütender Vögel (besser späte Mahd) und Schmetterlinge (besser frühe Mahd)	Managementpläne: „Grünlandrandstreifen“ mit später Mahd für Vögel, angrenzend an die früh gemähten Flächen für Schmetterlinge
Veränderung der Umwelt- und Habitatbedingungen in Schutzgebieten	Schutzgebiets-Konzept ggf. zu statisch	Schutzgebiete sind oft Inseln der Biodiversität	Erhaltung/Einrichtung eines funktionierenden Biotopverbunds für die Zu- und Abwanderung von Arten
Landnutzungs- und Landschaftswandel	Flächenkonkurrenzen zwischen Naturschutz und ökonomisch orientierten Sektoren	Ausweitung des Maisanbaus, Errichtung von Windenergieanlagen	Erarbeitung von Lösungen im Rahmen der Landes- und Regionalplanung

7.4 Informations- und Untersuchungsbedarf

Es existiert bereits eine Vielzahl an Erkenntnissen zur Abschätzung der Auswirkungen des Klima- und Landschaftswandels auf Arten und Lebensgemeinschaften. Gleichwohl gibt es offene Fragen, die auf wissenschaftlich fundierter Basis beantwortet werden müssen:

- Welche Abläufe (Migrationsraten, Ausbreitungsgeschwindigkeiten) und funktionellen Zusammenhänge (Minimumareale) gibt es innerhalb von Populationen und Lebensgemeinschaften, als Voraussetzung für das Überleben bzw. die Neubesiedelung?
- Welche Bedeutung haben evolutive und mikroevolutive Prozesse für das Überleben einer Art bzw. ihrer Population in Rheinland-Pfalz?
- Wie verändern sich die Bedingungen insbesondere von Verantwortungs- und Risikoarten, auch mit und ohne Pflegemaßnahmen?
- Spiegelt sich der Klimawandel bereits heute im Auftreten und der Ausbreitung von Arten wider und welche Arten werden in Zukunft Arealverschiebungen durchführen? Welche Arten werden aus Nachbarregionen nach Rheinland-Pfalz einwandern und werden die Arealänderungen der Arten durch größere Barrieren eingeschränkt oder gar verhindert?
- Wie entwickelt sich die Biodiversität (genetische Vielfalt, Artenvielfalt und Lebensraumvielfalt) und wo liegen die zukünftigen Zentren der Biodiversität?
- Wie wirken sich Veränderungen im Landnutzungsmuster und im Landschaftsbild auf die Verteilung der Lebewesen aus?
- Welche Wirksamkeit haben bereits durchgeführte Anpassungsmaßnahmen?

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Forschungsfragen stellen die in Rheinland-Pfalz bestehenden und geplanten Schutzgebietskategorien (Naturpark, Biosphärenreservat, Landschaftsschutzgebiet, NATURA2000, Nationalpark) ideale Erprobungsräume für eine nachhaltige Entwicklung unter veränderten klimatischen Bedingungen dar. Aber auch die Entwicklung der Biodiversität

in der Fläche muss künftig verstärkt im Fokus der Forschung stehen.

Es wurde bereits herausgestellt, dass die Landnutzung den Einfluss des Klimas mehr oder weniger stark überlagert. Der Klimawandel bedeutet eine zusätzliche Gefahr für die Biodiversität, da die geänderten abiotischen Faktoren auch die Nutzung von Flächen durch den Menschen (Landwirtschaft, Bioenergie, Klimaschutz) verändern werden. Um belastbare Aussagen zu erhalten, sind die für einzelne Arten und taxonomische Gruppen auf einer unveränderten Landnutzung erstellten Prognosen auch im Hinblick auf den Einfluss unterschiedlicher Szenarien der künftigen Landnutzung zu untersuchen.

Bisherige Untersuchungen konzentrierten sich stark auf das Offenland und dort vorkommende Arten(gruppen). Weitere Untersuchungen, insbesondere auch zur genetischen Vielfalt und Lebensraumvielfalt sowie speziell in Wald- und Gewässerökosystemen, müssen folgen. Auch wurden nur einige Arten modelliert, die während ihres Lebenszyklus verschiedene Lebensräume nutzen wie z. B. Libellen, Amphibien und Reptilien. Es ist zu erwarten, dass solche Arten stärker von Umweltänderungen betroffen sind als Arten, die nur an einen Lebensraum gebunden sind.

Die Anpassung einer Art oder Population unter geänderten Umweltbedingungen wird im Wesentlichen durch ihre Plastizität bestimmt. Für Klimafaktoren und andere Umweltfaktoren liegen bereits Informationen zur phänotypischen Plastizität vor. Informationslücken bestehen vor allem zu folgenden Teilaspekten:

- Lebenszyklus und Verhalten von Arten sowie Interaktionen zwischen Arten
- Fähigkeit und Möglichkeit von Arten, in geeignetere Lebensräume auszuweichen (Dispersion)
- Bedeutung evolutiver bzw. mikroevolutiver Prozesse bei der Interaktion von Populationen mit ihrer Umwelt
- Spezifische genetische Variabilität
- Biologie der Arten und gegenwärtige Verbreitung in Rheinland-Pfalz, als Eingabedaten für die Prognosemodelle

8 WALD



8.1 Ausgangslage

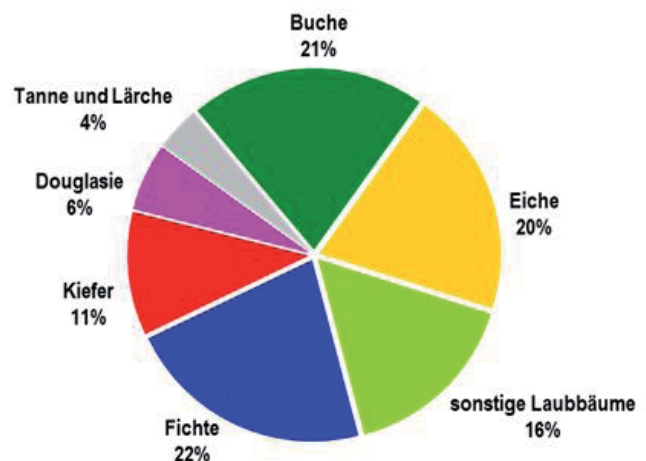
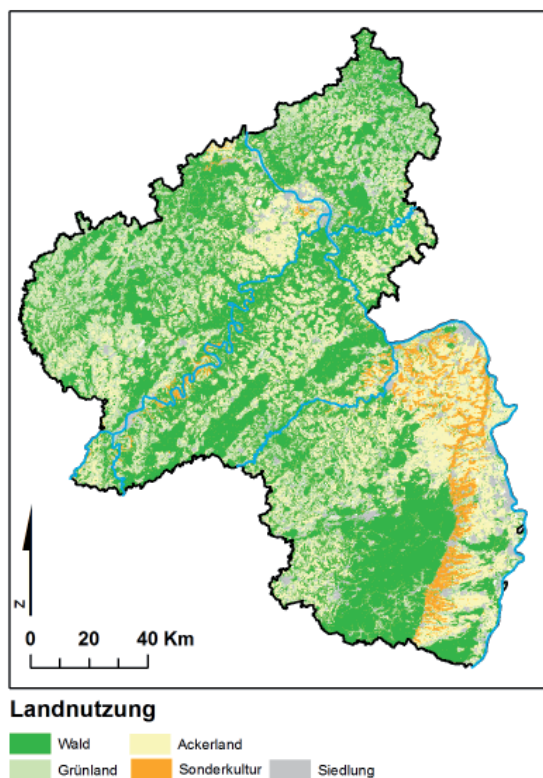
Die Wälder in Rheinland-Pfalz werden aufgrund ihrer langen Lebensdauer von Klimaveränderungen betroffen sein. Die Abschätzung von Trends der künftigen Entwicklung der Hauptbaumarten und Waldtypen, die eine wichtige wirtschaftliche Rolle spielen, sollte dementsprechend eine Grundlage für weitere Entscheidungsprozesse liefern. Ziel sind möglichst anpassungsfähige Waldökosysteme, die elastisch auf den Klimawandel reagieren können.

In der Verteilung der Landnutzung spiegeln sich die verschiedenen geografischen Faktoren wie Geologie und Klima, aber auch die Nutzungsgeschichte und Traditionen wider. Die Landnutzungskarte für Rheinland-Pfalz offenbart den hohen Waldflächenanteil des Landes (Abbildung 27).

Mit einer zunehmenden Tendenz ist die gegenwärtige Waldfläche von Rheinland-Pfalz (833.000 Hektar) größer als diejenige der Landwirtschaftsfläche und umfasst in etwa 42 % der Landesfläche – dies ist der höchste relative Waldanteil deutschlandweit.

Das von Landesforsten Rheinland-Pfalz praktizierte Konzept des naturnahen Waldbaus ist „*die beste Strategie den Wald zu schützen, seine Leistungsfähigkeit für den gesamten Naturhaushalt zu erhalten und die vielfältigen Bedürfnisse der Waldnutzer und Waldnutzerinnen zu befriedigen*“. Ausgehend von diesem Konzept und als Resultat natürlicher und anthropogener Faktoren wird die heutige Baumartenzusammensetzung in Rheinland-Pfalz von Laubmischwäldern dominiert. Die natürlich vorkommenden Baumarten Buche und Eiche umfassen zusammen mit den Baumarten Fichte und Kiefer den weitaus größten Anteil der Waldfläche in Rheinland-Pfalz – Abbildung 27.

Abbildung 27:
Landnutzung und Baumartenverteilung in Rheinland-Pfalz

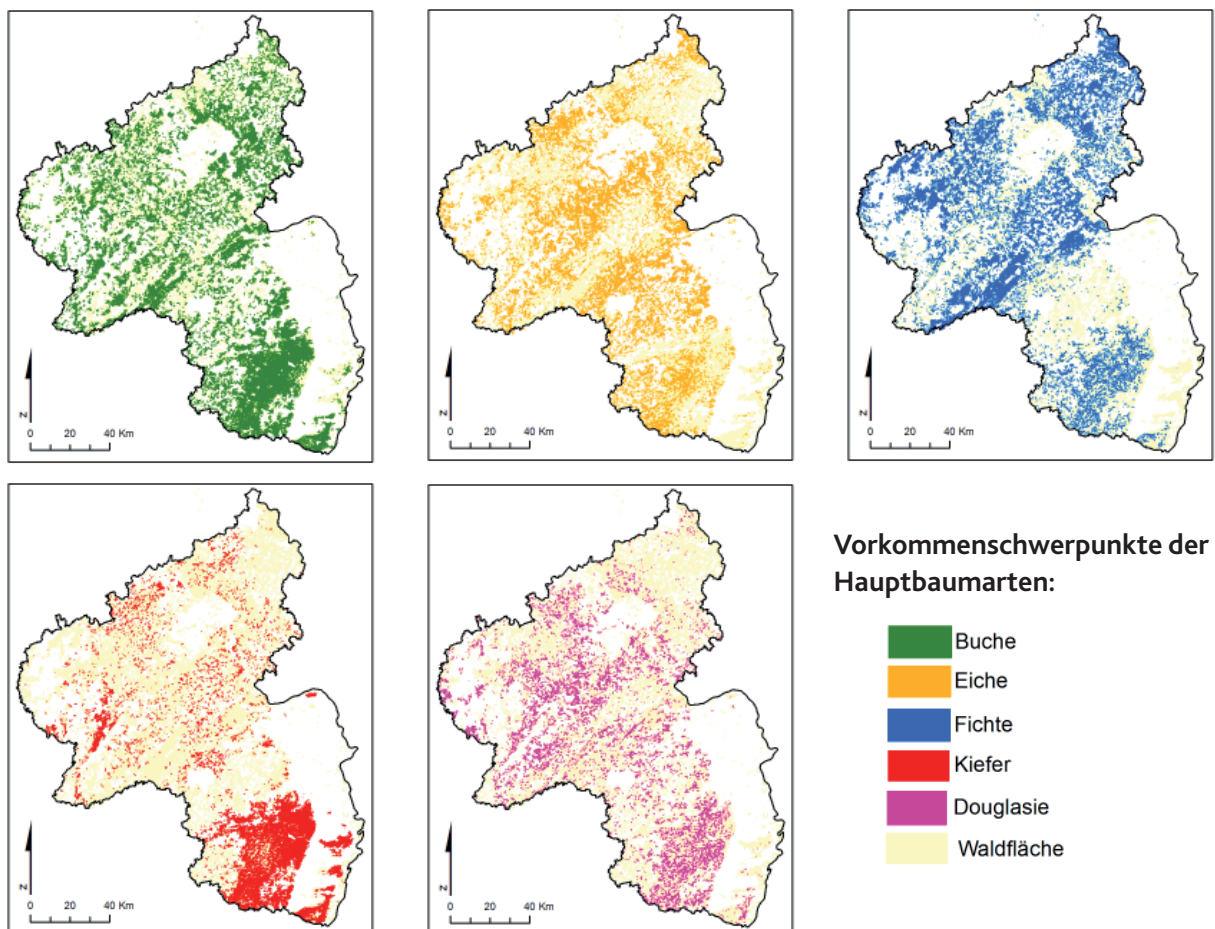


Links: Landnutzung in Rheinland-Pfalz (Datenquelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz 2009). Rechts: Baumartenverteilung in Rheinland-Pfalz (Datenquelle: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz 2012)

Für die Waldfläche von Rheinland-Pfalz ist bei den Baumarten Buche und Traubeneiche eine weit gestreute Verbreitung über das Land festzustellen, was ihrem natürlichen Vorkommenspotenzial entspricht. Bei Fichte und Kiefer sind demgegenüber eher komplementäre Verbreitungs-Schwerpunkte

zu erkennen, die Fichte ist im Norden stärker vertreten, die Kiefer eher im Süden. Die Douglasie zeigt weniger deutlich ausgeprägte Schwerpunkte in weiten Bereichen des Westens und Südens des Landes – Abbildung 28.

Abbildung 28:
Vorkommens-Schwerpunkte der Hauptbaumarten im öffentlichen Wald von Rheinland-Pfalz



8.2 Auswirkungen des Klimawandels

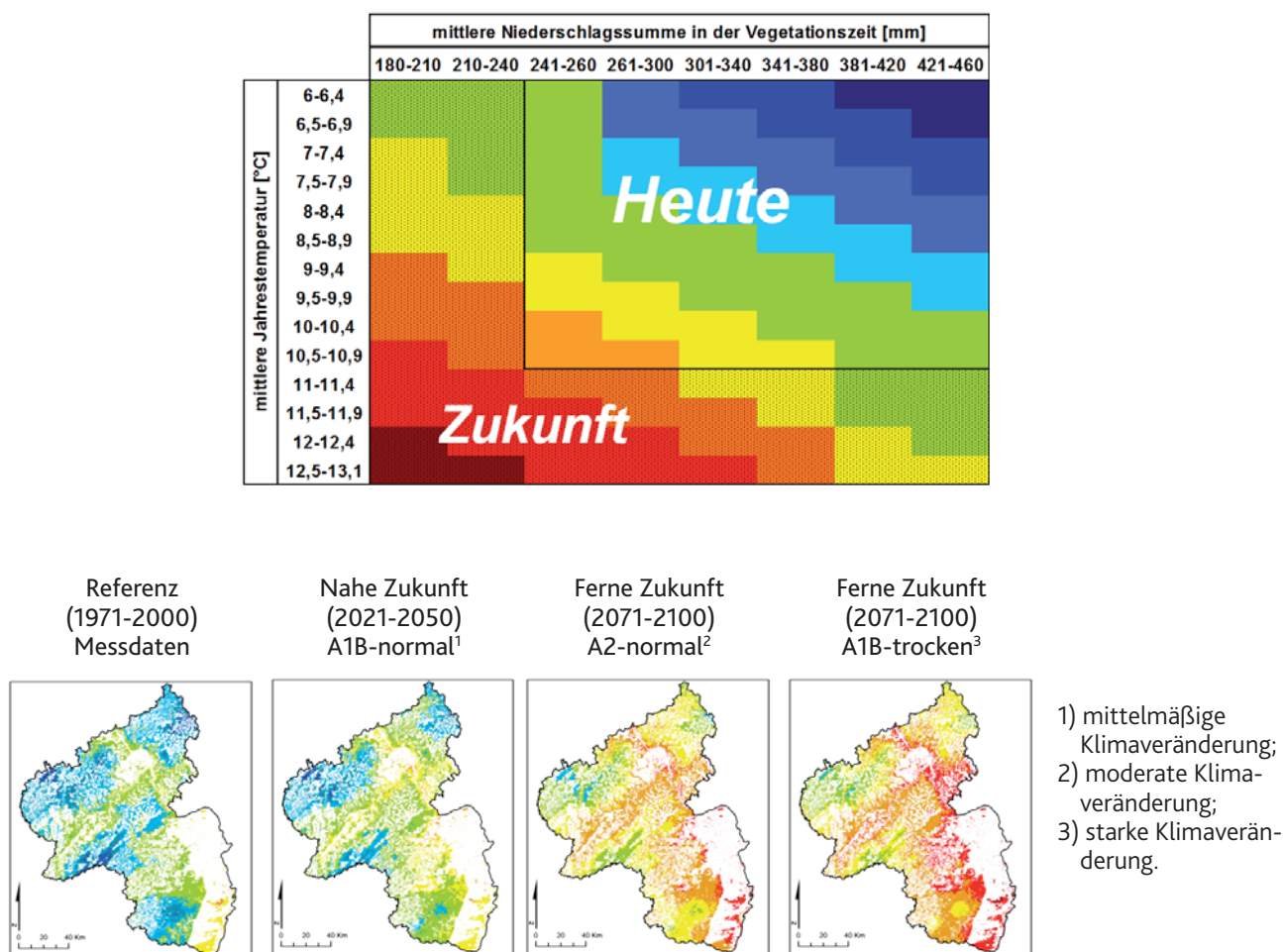
Die Wahrnehmung der durch den Klimawandel verursachten standörtlichen Veränderungen ist Voraussetzung für die Einschätzung der Verschiebung der Baumarteneignung und damit der Vitalität der Wälder.

Das aktuelle und das künftige Muster des Waldklimas sind hierbei anhand der Darstellung eines klimatischen Gradienten für verschiedene Zeiträume zu erkennen (nach KÖLLING et al. 2008). Der Gradient wird aus der Kombination der Klimaparameter Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme in der Vegetationszeit hergeleitet – beide Parameter sind relevante bioklimatische Größen für die Baumarten. Die jahresbezoge-

ne Betrachtung der Mitteltemperatur, welche Kalt- und Warmperioden zusammenfasst, dient als Indikator der Wärmeversorgung, der für das Vorkommen und die Verbreitung einer Baumart entscheidend ist. Der Parameter Niederschlag in der Vegetationszeit ist ein Indikator der Wasserversorgung, der für die Vitalität der Bäume und ihr Wachstum sehr relevant ist. Die folgende Darstellung zeigt den hergeleiteten Waldklimagradienten in Form einer Klimamatrix (Abbildung 29 oben). Für eine bessere Visualisierung wurden die Klimakombinationen farblich gruppiert, ausgehend

von dunkelblau (feucht-kühle Verhältnisse) bis zu dunkelrot (warm-trockene Verhältnisse), wodurch in einer Grobbetrachtung neun Klimazonen differenziert werden. Die Übertragung in Abbildung 29 (unten) der farblichen Darstellung der Klassenkombinationen der Klimamatrix auf die Waldfläche erlaubt die räumliche Visualisierung der Verteilung der unterschiedlichen Klimazonen im Verlauf des 21. Jahrhunderts in Abhängigkeit verschiedener Klimaprojektionen.

Abbildung 29:
Wald-Klima Gradient für die unterschiedlichen Zeiträume und Klimaprojektionen



Oben: Klimamatrix. Die farbliche Darstellung bezieht sich auf eine grobe Differenzierung des klimatischen Gradienten – von blau für kühl-feuchte Zonen bis rot für warm-trockene Zonen. Unten: Übertragung der Klimamatrix auf die rheinland-pfälzische Waldfläche für die unterschiedlichen Zeiträume und Klimaprojektionen

Deutlich wird, dass die Verteilung der Klimazonen mit dem Geländere Relief korreliert. Bei der Analyse der Entwicklung des Waldklima-Musters lässt sich eine markante Veränderung anhand der Farbtöne für die gesamte Waldfläche erkennen. Sie weist auf eine Entwicklung des Waldklimas in Richtung warm-trockener Verhältnisse bis Ende des Jahrhunderts hin – die oben erwähnten Blautöne der Hochlagen des Landes werden in großem Maße von Grün- bis Gelbtönen ersetzt. Am Ende des Jahrhunderts sind über alle verwendeten Klimaprojektionen hinweg Klimakombinationen auf der Waldfläche zu erwarten, die im Vergleich zu heutigen Waldklimaverhältnissen fremd sind. Wälder an den Hängen der großen Flusstäler (Rhein, Mosel, Nahe) und deren Umgebung (Nord-Pfalz, Haardttrand) werden für die ferne Zukunft, auf Grundlage des Intergovernmental Panel on Climate Change-Emissionsszenarios A1B-trocken, von den extremsten, warm-trocken projizierten Klimaverhältnissen betroffen sein.

Mögliche Risiken

- Veränderungen der mittleren Standortbedingungen – sie beeinflussen mittel- bis langfristig Flora und Fauna sowie die Systemfunktionen des Waldes
- Häufigere Trockenheitsphasen – sie haben einen stark negativen Einfluss auf die Vitalität und das Wachstum der Waldbaumarten
- Häufigere Extremwetterereignisse (Stürme, Dürre, Frost) – sie können schwere direkte Schadeffekte ausüben und stören das langfristige, etablierte Gleichgewicht des Ökosystems
- Günstigere Habitatbedingungen für heute schon etablierte sowie neu hinzukommende Waldschädlinge – sie führen zu verstärkten Waldschutzproblemen
- Allgemeine Veränderungen der abiotischen und biotischen Bedingungen führen zu unterschiedlichen regionalen Änderungen der „Wohlfühlbereiche“ der Baumarten

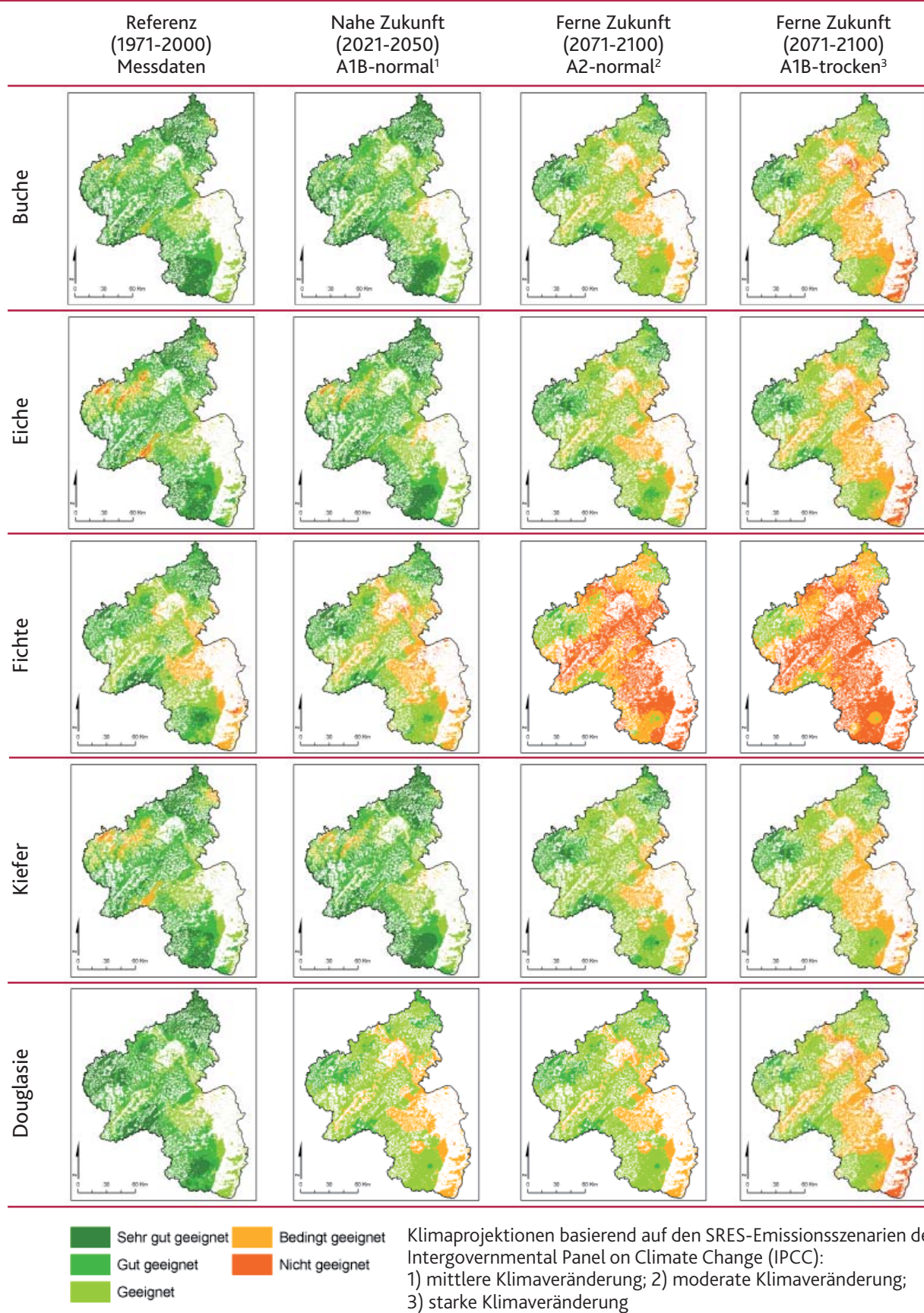
Mögliche Chancen

- Wärmere Winter und längere Vegetationszeiten – sie können einen positiven Einfluss auf das Waldwachstum haben, vor allem in den Höhenlagen
- Erhöhte atmosphärische CO₂-Gehalte – sie können ebenfalls einen positiven Einfluss auf das Waldwachstum haben
- Wärmeliebende heimische Baumarten wie Eichen- oder Sorbusarten, aber auch die Edelkastanie können künftig günstigere Bedingungen vorfinden, z. B. wegen ihrer erhöhten Trockenheitsresistenz und somit in Rheinland-Pfalz an Relevanz gewinnen
- Risikominimierende Waldbaustrategien können traditionelle Nutzungssysteme, wie Stockausschlagwälder, wieder interessant erscheinen lassen

Klimatische Eignung der Hauptbaumarten

Anhand der einleitend schon abgebildeten Klimamatrix sind entlang des Waldklimagradienten die „Wohlfühlbereiche“ der rheinland-pfälzischen Hauptbaumarten abgeleitet worden. Die Vorkommenshäufigkeit einer Baumart und die generelle Wuchsleistung sind umfassend ausgewertet worden. Basierend auf der Annahme, dass die Klimabedingungen für eine Baumart umso günstiger sind, je größer das Vorkommen und die erreichte Ertragsleistung sind, wurde die Baumarteneignung für jede Zone des Klimagradienten hergeleitet. Als Resultat entsteht eine Verteilung der heutigen und künftigen Klima-Eignung jeder Hauptbaumart in Rheinland-Pfalz entlang des dargestellten Klimagradienten – Klima-Ökogramme, die auf die Waldfläche übertragen die Klima-Eignungskarten für die Hauptbaumarten ergeben. Wie zunächst in Abbildung 30 dargestellt, ist eine markante und relativ durchgängige Änderung in Richtung einer Eignungsabnahme zu erwarten, die sich aber baumarten- und regionenspezifisch unterscheidet.

Abbildung 30:
Klima-Eignungskarten für die Hauptbaumarten in Rheinland-Pfalz im Verlauf des Jahrhunderts unter
verschiedenen Szenarien der Klimaveränderung

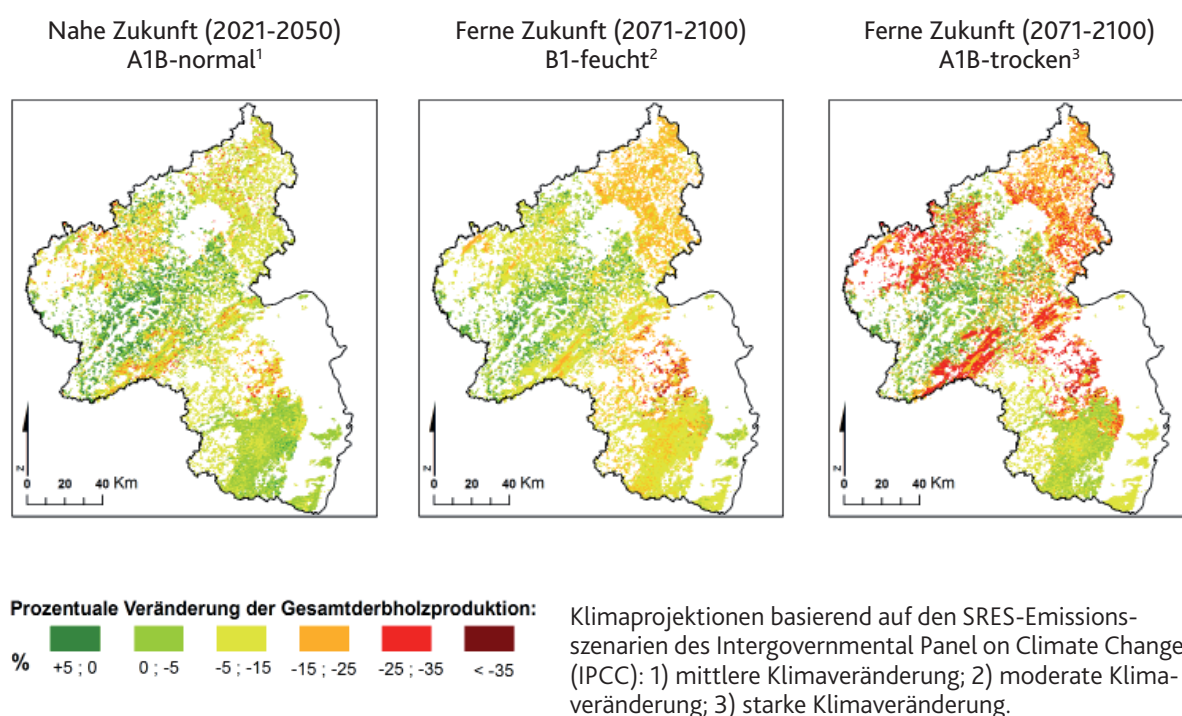


Holzproduktion der Hauptwaldtypen

Die langfristige mögliche Entwicklung der Wachstumsleistung der rheinland-pfälzischen Wälder kann über eine Waldwachstumssimulation abgebildet werden. Für den Zeitraum 2000-2100 wird das Wachstum unterschiedlicher Waldtypen von Rheinland-Pfalz unter verschiedenen klimatischen Bedingungen berechnet. Die folgende Kartenreihe

(Abbildung 31) stellt die geografische Zuordnung der Ergebnisse zur Waldkulisse dar. Grundlage ist die Bestockung in den betrachteten Perioden bis 2050 und bis 2100. Ausgehend vom derzeitigen Waldtyp an jedem Ort ist ein Vergleich der Wuchsleistung unter dem projizierten Klima und dem Referenzklima möglich.

Abbildung 31:
Prozentuale Veränderung der Gesamterbholzproduktion im Vergleich zum Referenzszenario

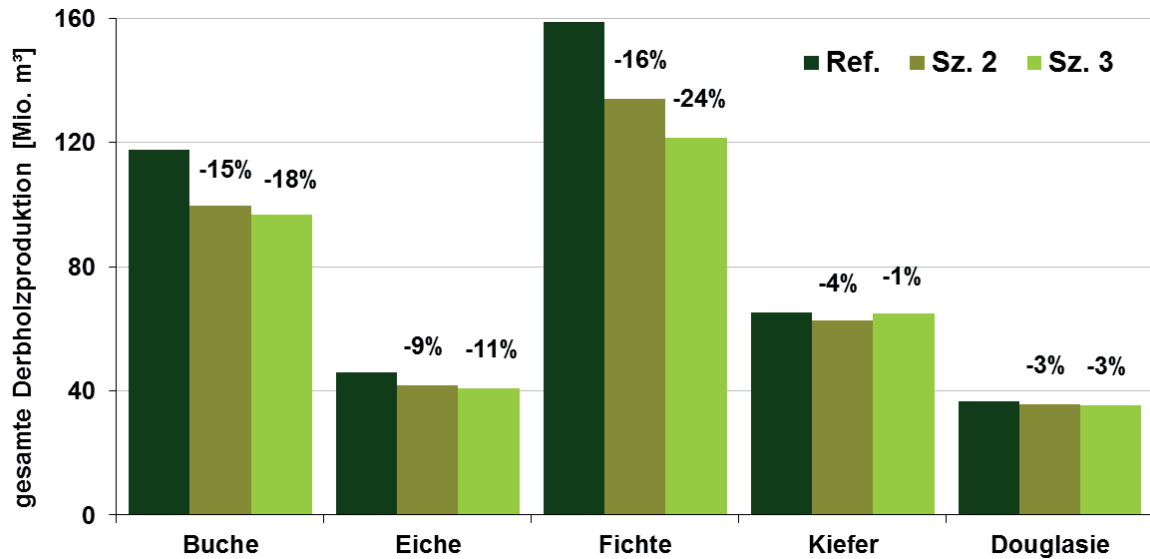


Anhand unterschiedlicher Waldtypen je Waldort ist für unterschiedliche Zeiträume in der Zukunft und unterschiedliche Klimaprojektionen die Veränderung der Holzproduktion im Vergleich zum Referenzklima dargestellt

Die Karten weisen auf den möglichen Bedarf einer regionalen Überarbeitung der Waldentwicklungsziele hin, insbesondere bezogen auf die trockenheitsbestimmte Nord-Pfalz oder für die von der Fichte geprägten Regionen Eifel, Westerwald und Hunsrück. Ergänzend dazu kann im folgenden Diagramm (vgl. Abbildung 32), differenziert nach Baumarten, die aufsummierte mögliche Holzproduktion im Verlauf des 21. Jahrhunderts bei einer

statischen Baumartenverteilung unter den Bedingungen des gegenwärtigen Klimas (Referenzklima = Ref.), eines moderaten Klimawandels (Szenario 2 = Sz. 2) und einer stärkeren Klimaveränderung (Szenario 3 = Sz. 3) dargestellt werden. Die mögliche Entwicklung der verfügbaren Holzvorräte deutet eine ausgeprägte Produktionsabnahme bei den Baumarten Buche und vor allem Fichte an.

Abbildung 32:
Gesamte Derbholzproduktion [Mio. m³] jeder Baumart für die drei Simulationsszenarien



Prozentuale Angaben weisen auf die Abweichungen der Szenarien 2 und 3 vom Referenzszenario 1 hin.
Ref.= Referenzklima, Sz. 2= B1-feucht, Sz. 3= A1B-trocken

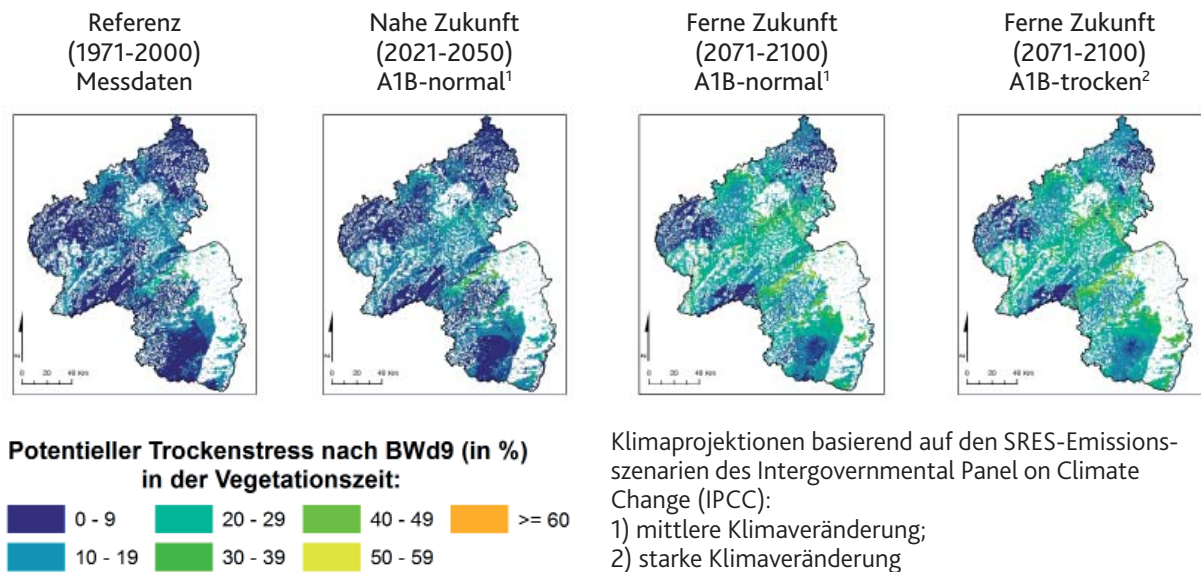
Wasserverfügbarkeit am Beispiel der Buche

Veränderungen des Wasserhaushalts der Wälder sind im Zuge des projizierten Klimawandels zu erwarten. Die hydrologischen Prozesse in Buchenbeständen wurden unter verschiedenen Klimaprojektionen simuliert. Ein Indikator (Bwd9) bewertet anschließend die Häufigkeit und Intensität von Wasserdefiziten im Wurzelraum während der Vegetationszeit.

Zwar ist eine deutliche Zunahme des potenziellen Trockenstresses festzustellen, doch zeigen die Höhenlagen und die kollinen Mittelgebirge weiterhin einen sehr geringen potenziellen Trockenstress. Erhöhte Belastungen sind an den Hängen der großen Flusstäler zu erwarten (Abbildung 33).



Abbildung 33:
Potenzieller Trockenstress für die Buche in der Vegetationszeit



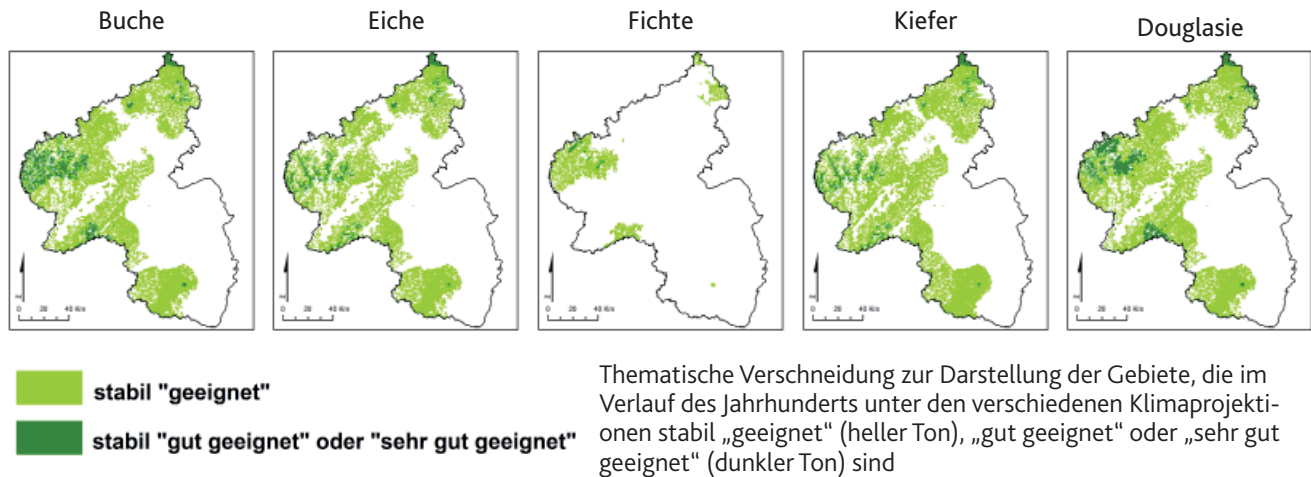
Potenzieller Trockenstress in der Vegetationszeit, ermittelt aus der Häufigkeit und Intensität von Wasserdefiziten im Wurzelraum, parametrisiert für 100jährige Buche, bezogen auf die gesamte Waldfläche von Rheinland-Pfalz (nach CASPER et al. 2013)

8.3 Anpassung an den Klimawandel

Die Anfälligkeit des Waldes gegenüber dem Klimawandel wurde unter verschiedenen Aspekten für den regionalen Maßstab von Rheinland-Pfalz untersucht. Die Ansätze liefern auf der regionalen Ebene und baumartenbezogen neue Erkenntnisse zu den möglichen künftigen Wirkungen des Klimawandels auf die rheinland-pfälzischen Waldökosysteme. Solche Erkenntnisse dienen der Entscheidungsunterstützung für die regionale Waldbauplanung. Die nachfolgende Kartenreihe (vgl. Abbildung 34) auf der Grundlage der oben dargestellten Klimaeignungskarten ermöglicht

eine Darstellung der Gebiete, die im Verlauf des Jahrhunderts und unter den verschiedenen Klimaprojektionen stabil „geeignet“ (heller Farbton), „gut geeignet“ oder „sehr gut geeignet“ (dunkler Farbton) sind. Sie geben auch Hinweise darauf, wo es sinnvoll sein kann, die betrachtete Baumart aus klimatischer Sicht weiterhin zu fördern. Die nicht gefärbten Zonen der Karten weisen wiederum auf eher labile Verhältnisse hin, also auf Regionen, in denen sich die klimatische Eignung im Verlauf des Jahrhunderts eher verschlechtern wird.

Abbildung 34:
Eignung von Gebieten für die Hauptbaumarten im Verlauf des Jahrhunderts



Die Reaktionen der Baumarten hängen von ihren Eigenschaften und von den sich verändernden Bedingungen der Standorte im Zuge des Klimawandels ab. Eine regional unterschiedliche Ausprägung der Eignungen der Baumarten lässt sich daher für die Zukunft deutlich erkennen:

- In den Tieflagen (planar) wird aufgrund einer sich ändernden (negativen) Wasserbilanz zu erwarten sein, dass weniger trockenheitstolerante Baumarten an ihre Grenzen stoßen können.
- Der Eignungsverlust mancher Baumarten kann in kollinen Mittelgebirgen zu ökologischen Vorteilen anderer Baumarten führen, indem sich beispielsweise die Konkurrenzverhältnisse verschieben.
- Die Höhenlagen (submontan und montan) können aufgrund von Temperaturerhöhungen künftig günstigere Standorte für manche Baumarten werden.

Baumartenspezifische allgemeine Tendenzen

Buche

Die Buche als „wesentliches und unverzichtbares Element (des) naturnahen Waldbaus in Mitteleuropa“ (KÖLLING et al. 2005) wird auch künftig in Rheinland-Pfalz im Mittel weiterhin gute klimatische Verhältnisse vorfinden. Es wird in den kollinen und vor allem in den planaren Bereichen des Landes zu Einschränkungen kommen, während die Höhenlagen im Verlauf des Jahrhunderts für die Buche „klimagerechter“ werden können und somit Buchenstandorte mit guter Vitalität und Leistung sein können.

Eiche

Die Traubeneiche, als eine aktuell charakteristische Baumart rheinland-pfälzischer Waldlandschaften, ist nach dem Stand der Forschung auch zukünftig als geeignete Baumart zu betrachten. Die Untersuchungen weisen auf eine Zukunftsentwicklung vergleichbar mit derjenigen der Buche hin. In manchen Gebieten, wie beispielsweise in der planaren Stufe, kann die Traubeneiche infolge der für andere Baumarten möglichen Situations-

verschlechterung und dank ihrer relativen Trockenheitsresistenz an Bedeutung gewinnen. Dem kann allerdings die Annahme entgegen stehen, dass der erwartete Klimawandel die Wirt-Parasit-verhältnisse gerade bei der Eiche zu ihren Ungunsten verschieben kann.

Fichte

Wie in anderen Regionen Deutschlands, ist auch in Rheinland-Pfalz davon auszugehen, dass die Fichte die am meisten vom Klimawandel betroffene Baumart sein wird. Alle landesspezifischen Ergebnisse weisen darauf hin, dass am Ende des Jahrhunderts wahrscheinlich lediglich die Höhenlagen von Rheinland-Pfalz für die Fichte „klimagerecht“ sein werden.

Kiefer

Im Vergleich zu den anderen betrachteten Hauptbaumarten schneidet die Kiefer mit am besten ab. Obwohl die Eignung in planaren und kollinen Landesteilen im Zeitverlauf abnehmen kann, erscheint eine Verbesserung ihrer Rahmenbedingungen in den Höhenlagen möglich. Darüber hinaus können der Pioniercharakter der Kiefer und ihre relative Trockenheitsresistenz zu einer Zunahme ihrer Bedeutung beitragen.

Douglasie

Die Douglasie schneidet im direkten Vergleich trotz ihrer ebenfalls allgemeinen Eignungsabnahme deutlich besser ab als die Fichte. Hierbei kann die wirtschaftliche Bedeutung dieser Baumart im Zuge des Klimawandels deutlich zunehmen und ihre Flächenpräsenz stärken. Diese Entwicklung soll mit Hinblick auf Ökosystemwirkungen weiter erforscht werden.

Entscheiden und Handeln

Die Wälder in Rheinland-Pfalz werden von Klimaveränderungen betroffen sein. In bestimmten Regionen ist der Bedarf an einer aktiven Anpassung der Baumartenwahl, Waldzusammensetzung oder der Waldentwicklungsziele deutlich erkennbar. Die strategische regionale Waldbauplanung

soll Maßnahmen und Optionen entwickeln, die eine aktive Waldanpassung an den Klimawandel voran bringen, wobei die Erhöhung der Resilienz der Wälder und somit eine Risikominimierung übergeordnete Ziele sein müssen. Aus Sicht der Waldlandschaftsökologie unterstützen somit „No-regret“-Strategien grundsätzlich auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Alle Maßnahmen, die z. B. zum Erhalt der Arten- und Strukturvielfalt oder zur Minimierung von Bodenstörungen beitragen, sind auch unabhängig vom Klimawandel ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Allgemein gültige Maßstäbe für die Gestaltung einer standorts- und klimagerechten Waldlandschaft sind:

- eine langfristig risikostreuende Waldbauplanung und
- die Prinzipien der naturnahen Waldbewirtschaftung

Empfehlungen

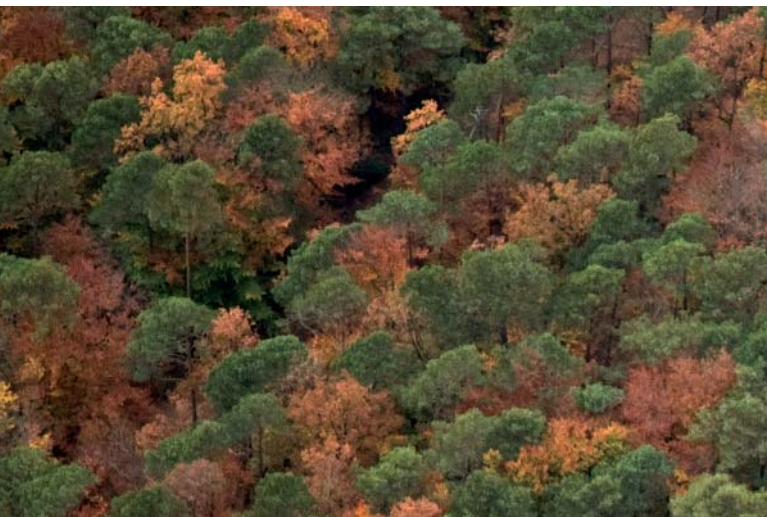
Im Rahmen einer regionalen Planung der künftigen Waldnutzung sind die bisher schon in der Forstwirtschaft betrachteten Aspekte der Unsicherheit, des Risikos und der Flexibilität in die Waldplanungsstrategie verstärkt einzubeziehen. Da das Anbaurisiko unter dem erhöhten Unsicherheitsgrad der Klimaentwicklung schwieriger zu bewerten ist, ist es um so wichtiger, langfristig flexible Produktionsziele mit entsprechenden Handlungsoptionen zu haben:

- Risikominimierung und Risikostreuung durch Vielfalt in Planung und Umsetzung
- Klimaangepasste forstbetriebliche Planung und Operationalisierung im Rahmen der Forsteinrichtung
- Klimawandelgerechte Überarbeitung der Anbauempfehlungen zu den einzelnen Regionen
- Einführung der regionalen Waldbauplanung in interaktiven Entscheidungsunterstützungssystemen auf Grundlage der regionalen Vulnerabilitätsanalyse

Im Rahmen einer Intensivierung der waldbaulichen Behandlungen kann die Einführung, Beobachtung und Verbesserung von Anpassungsmaß-

nahmen im Sinne eines adaptiven Managements ermöglicht werden. Darüber hinaus tragen rechtzeitige und konsequente Bestandseingriffe zur Erhöhung der Vitalität von Einzelbäumen und Waldlandschaften bei. Folgende weitere Aspekte sind zu beachten:

- Intensivierung der Überwachung von Schadorganismen
- moderater Waldumbau auf klimatischen Risikostandorten bzw. in den bereits heute erkennbaren Grenzbereichen der klimatischen Eignung einzelner Baumarten
- Wahrnehmung von ökologisch besonders wertvollen Waldbiotopen und Ableitung spezifischer Anpassungsoptionen



Die Bedeutung der natürlichen Verjüngung nimmt im Klimawandel zu. Sie ist eine kostengünstige Variante der Bestandsverjüngung, die das Anpassungs- und Selektionspotenzial verbessert und als Vorratssicherung bei Schadensfällen dient. Die Neuauflage von historischen Betriebsarten, wie die Stockausschlagwirtschaft bzw. die Niederwaldbewirtschaftung, erscheint wegen ihres zeitlichen Vorteils des Kurzumtriebs im Zeichen künftiger unsicherer Verhältnisse durchaus attraktiv.

Eine ebenfalls geeignete Maßnahme, mit den Unsicherheiten und Ungewissheiten im Zuge des Klimawandels umzugehen, ist die konsequente Förderung von Mischwäldern:

- Aufbau und Weiterentwicklung von Mischbeständen
- Erhaltung örtlich angepassten genetischen Vermehrungsmaterials
- Förderung von Baumarten in deren zu erwartenden Rückzugsgebieten
- Weiterhin Umbau von Nadelholzreinbeständen in laubbaumgeprägte Mischwälder, dabei aber Erhalt eines angemessenen Nadelholzanteils
- Förderung wärmeliebender und trockenresistenter Baumarten in entsprechenden Gebieten
- Neubewertung von Pionierbaumarten
- Anpassung der Schalenwildbestände zur Sicherstellung natürlicher Verjüngung

Die regionale Betrachtung der Klimawandelfolgen ermöglicht keine unmittelbaren Aussagen zur lokalen Baumartenwahl. Da die Baumartenempfehlung immer standortspezifisch sein muss, ist die Einbeziehung der lokalen Kenntnisse und örtlichen Erfahrungen erforderlich. Die (zeit- und klima-) dynamische Komponente der Baumartenwahl muss an Bedeutung gewinnen:

- Erhalt und weitere Förderung vertikaler und horizontaler Waldstrukturen als stabilitätssichernde Maßnahme
- Erhaltung und Bevorzugung des lokalen genetischen Potenzials der Waldbestände
- Einführung einer flächendeckenden klimadynamischen Standortkartierung

Bezüglich der allgemeinen Folgen des Klimawandels ist es wichtig, den Dialog mit der Öffentlichkeit und innerhalb des Forstwirtschaftssektors zu intensivieren (siehe auch Kapitel 9). Die Sensibilisierung und der Informationsaustausch über die Unsicherheitsfaktoren sind Voraussetzung für die

Akzeptanz von Anpassungsmaßnahmen. Der Wissens- und Erfahrungstransfer zwischen Forschern und Praktikern ist darüber hinaus in beide Richtungen zu fördern:

- Problembewusstsein bei den Handelnden schärfen – Intensivierung der Beratung und der problembezogenen Aus- und Fortbildung
- Intensivierung landesspezifischer klimawandelbezogener Forschung und Entwicklung als Grundlage für Wissensaufbau und -transfer
- Anlage langfristig ausgerichteter Versuchsflächen (Anbau- und Herkunftsversuche, Monitoring)

8.4 Informations- und Untersuchungsbedarf

Viele grundsätzliche Aspekte und Zusammenhänge sind ohne experimentelle Beobachtung und mittel- bis langfristiges Monitoring nicht ohne weiteres zu klären. Für die Beantwortung von speziellen Fragen sind Beobachtungen und Resultate aus bestehenden Versuchsflächen und Waldklimastationen wertvoll. Der Bedarf einer Intensivierung des forstlichen Umweltmonitorings stützt sich auf die Notwendigkeit, die Wirkungen des Klimawandels auf die Wälder flächendeckend und im Detail zu identifizieren und den Erfolgsgrad von Anpassungsmaßnahmen zu erkennen. Somit

ergibt sich insbesondere folgender Forschungs- bzw. Untersuchungsbedarf:

- Vulnerabilität und Wirkungen von häufigeren Extremwetterereignissen auf Wälder
- Wachstumsreaktionen bei erhöhtem atmosphärischen CO₂-Gehalt
- Vulnerabilität und Wirkungen von Schadorganismen auf die Wälder unter künftigen Klimabedingungen.
- Waldbrandgefahr infolge klimatischer Änderungen und sich ggf. verändernder Bestockung
- Genetisch und phänotypisch bedingte Anpassungspotenziale von Baumarten und Provenienzen
- Potenziale von weiteren heimischen Baumarten unter sich ändernden Standortverhältnissen
- Beobachtung der Klimawandelfolgen in Referenzgebieten der natürlichen Reaktion der Waldökosysteme, z. B. in Naturwaldreservaten oder in Kernzonen des Biosphärenreservats
- Potenziale von gebietsfremden Baumarten und Provenienzen in Rheinland-Pfalz unter künftigen Klimaverhältnissen bei gleichzeitiger Beobachtung ihres Konkurrenzverhaltens gegenüber einheimischen Baumarten und im Hinblick auf ihre Invasivität
- Wirtschaftliche Entwicklungsperspektiven auf Grenzertragsstandorten
- Dynamik existierender oder neu entstehender Waldnaturschutzobjekte
- Vulnerabilitätsanalyse unter neuen Emissionsszenarien und zusätzlichen Klimamodellen (Ensembleauswertung)



9 PARTIZIPATION UND KOMMUNIKATION



Zur Bedeutung von Partizipation

Die Anpassung an den Klimawandel gilt als relativ neues Politikfeld und ist eine Herausforderung, der allein mit ordnungspolitischen Maßnahmen, Konsumanreizen und technischen Verbesserungen nicht erfolgreich begegnet werden kann. Der Transfer wissenschaftlicher Lösungsansätze in die Praxis gelingt vielmehr nur, wenn Betroffene und Personen mit Erfahrung frühzeitig und in einem intensiven gesellschaftlichen Dialog in den Planungs- und Entscheidungsprozess eingebunden werden. Nur so können gesellschaftlich legitimierte, realitätsnahe und umsetzbare Anpassungsoptionen an den Klimawandel entwickelt werden. Die Sensibilisierung von Akteuren und Betroffenen bei der Anpassung an den Klimawandel ist gerade auch deshalb geboten, weil das Thema mit einer Reihe von Herausforderungen verbunden ist, die z. B. in Komplexität, Unsicherheit, Konfliktlösung und Informationsdefizit zum Ausdruck kommen.

Das Schlüsselwort für den Beteiligungsprozess ist „Partizipation“. Diese kann vereinfacht definiert werden als Mittel zur nachhaltigen Kommunikation zwischen Bürgerinnen und Bürgern, mit dem Ziel, durch aktive Beteiligung (politische) Planungen und Entscheidungen gemeinsam zu gestalten. Als orientierender Rahmen soll für einen erfolgreichen Transferprozess im Rahmen der weiteren Ausgestaltung der Anpassung an den Klimawandel eine Partizipations- und Kommunikationsstrategie entwickelt werden. Die Inhalte orientieren sich dabei an den folgenden Leitfragen:

- Welche Bedeutung hat Partizipation im Themenkomplex „Klimawandel – Folgen – Anpassung“?
- Was macht „echte“ Partizipation aus und welche Phasen der Beteiligung können unterschieden werden?
- Wie kann der Partizipationsprozess einschließlich der Stakeholderauswahl handlungsfeldbezogen und regionsspezifisch gestaltet werden, um den erfolgreichen Transfer von Anpassungsstrategien zu ermöglichen?
- Welche Beteiligungsformen und Kommunikationsinstrumente sind zielführend?
- Welche Anforderungen ergeben sich an die

Evaluation und wissenschaftliche Aktionsforschung und welche Empfehlungen resultieren daraus für die dynamisch weiter zu entwickelnde Partizipation?

„Echte“ Partizipation und Beteiligungsprozess

Bei der Entwicklung und Umsetzung der Anpassung an den Klimawandel setzt Rheinland-Pfalz auf eine kooperative Demokratie in Form „echter“ Partizipation. Während sich ein Großteil von Partizipationsprozessen vielfach auf die Beteiligungsgrade der Teilhabe und Mitwirkung beschränkt, zielt der Weg in Rheinland-Pfalz darüber hinaus auf „Mitbestimmung“ und „Selbstbestimmung“ ab. Vereinfacht können folgende Phasen der Beteiligung unterschieden werden: Problemdefinition und Zielbestimmung, Beteiligung bei der Ideenentwicklung, Beteiligung bei der Entscheidung, Beteiligung bei der Planung und Umsetzung sowie Partizipation an den Ergebnissen.

Die interaktive Beteiligung der Stakeholder, ihre Selbst-Mobilisierung und die Möglichkeit, Veränderungen zu initiieren, gewährleisten, dass die Menschen ihre Erfahrungen und Wertvorstellungen in die gemeinsame Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel einbringen. Dadurch machen sie sich die Anpassung zu eigen, stärken ihr Identitätsgefühl und übernehmen Verantwortung (sog. „ownership“). Mehr noch trägt Partizipation dazu bei, dass sämtliche relevanten Stakeholder und insbesondere auch zivilgesellschaftliche Akteure ihre Interessen und Sichtweisen artikulieren und an der Entscheidungsfindung zur Gestaltung ihres eigenen Lebensumfeldes mitbestimmen können (sog. „citizen empowerment“).

Über die Planungs- und Entscheidungsebene hinaus muss auch die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen integrativer Teil der Partizipation sein. Legitimierte, umsetzbare und der vorhandenen Anpassungskapazität adäquate Maßnahmen sind an langfristige soziale Lernprozesse gebunden, in denen Erfahrungen bei der Umsetzung ausgetauscht und ggf. Sicht- und Verhaltensweisen und Maßnahmen im Rahmen eines adaptiven Managements angepasst werden. Vielfach zielen

in Projekten integrierte Partizipationsprozesse auf die (politische) Entscheidungsfindung ab, während der Transfer in die Praxis und daraus resultierende Rückkopplungen meist nicht mehr Gegenstand von Partizipation sind. Die Partizipation auch an den Ergebnissen einschließlich der kollektiven Evaluierung der Umsetzung ermöglicht Anpassungsmaßnahmen, die hinsichtlich Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und Kosteneffizienz auf einem breiten gesellschaftlichen Konsens basieren.

Beteiligungsformen und Kommunikationsinstrumente

Voraussetzung für kollektiv zu erarbeitende Anpassungsoptionen sind geeignete Beteiligungsformen und Kommunikationsinstrumente. Je nach Zielsetzung, Handlungsfeld und Prozessphase der Beteiligung haben sich unterschiedliche, sowohl wenig-formalisierte (z. B. Brainstorming, 'open space') als auch stärker formalisierte (z. B. Planungszellen, Zukunftswerkstatt) Instrumente bewährt. Unterschieden werden kann außerdem zwischen direkten (z. B. Interviews und Gruppendiskussionen) und indirekten (internetgestütztes Bürgerforum) Kommunikationsinstrumenten. Moderation und Mediation sind wesentliche Basisinstrumente für erfolgreiche Partizipation, auch im Hinblick auf Interessenausgleich und Konfliktlösung.

Auswahl von Personen und räumliche Bezugsebene

Das Spektrum an zu beteiligenden Personen und Gruppen variiert in Abhängigkeit des Sozial- oder Landschaftsraums (z. B. Kommune oder Region), des betrachteten Handlungsfeldes sowie der Beteiligungsform, die eng mit der Beteiligungsphase zusammenhängt. Wirkungsvolle Partizipation bedeutet Kommunikation, Verhandlung und Kooperation verschiedener Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Verwaltung, von Nichtregierungsorganisationen sowie der Zivilgesellschaft. Besonders wichtig dabei ist, das Spektrum von unterschiedlichen Wahrnehmungen, Wissensbeständen, Erfahrungen sowie

Handlungsmotivationen und -möglichkeiten abzudecken und eine angemessene Repräsentation von Stakeholdern zu gewährleisten. Je nach Handlungsfeld und regionsspezifisch müssen auch Laien und sozial schwächere Gruppen angemessen beteiligt werden. So kann die Nichtberücksichtigung relevanter Gruppen zu maßgeblichen Verzerrungen führen. Als weitere wichtige Kriterien für die Beteiligung können Betroffenheit, Multiplikatorenfunktion, Einflusspotenzial, Diversität und Gender angeführt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Stakeholderstruktur in den einzelnen Handlungsfeldern setzt Partizipation eine Analyse der Stakeholderstruktur und -konstellationen voraus. Mit Blick auf eine nachhaltige Entwicklung bedarf es angesichts unterschiedlicher Interessenlagen und Zielkonflikte – sowohl innerhalb als auch zwischen unterschiedlichen Handlungsfeldern – handlungsfeldübergreifender Beteiligungsprozesse.

Der globale Klimawandel hat unterschiedliche regionale und lokale Auswirkungen, die spezifische Anpassungsoptionen vor allem auf der regionalen und kommunalen Ebene erfordern. Gerade auf diesen Umsetzungsebenen existiert ein detailliertes Fach- und Erfahrungswissen, das es für eine regionale bzw. kommunale Klimawandel-Governance (s. a. Kap. 3.3) zu aktivieren gilt. Die Voraussetzungen dafür sind insofern günstig, als die Betroffenheit lokal unmittelbar wahrnehmbar ist, die Motivation für Partizipation besonders groß ist und der Ausgleich zwischen individuellen und kollektiven Interessen auf diesen Ebenen besonders vielversprechend erscheint.

Evaluation und wissenschaftliche Aktionsforschung

Die Wirksamkeit und der Erfolg von Partizipation sollen im Rahmen einer begleitenden Evaluation und wissenschaftlichen Aktionsforschung gemessen werden. Dafür geeignet sind u. a. definierte Nachhaltigkeitskriterien wie etwa „Teilhabe am Prozess“ oder „Hohes demokratisches Engagement“. Neben Faktoren, die eine erfolgreiche Partizipation unterstützen wie z. B. die Kompetenz zur Selbstbestimmung („empowerment“), gilt es

auch Risiken und Hemmnisse wie z. B. mangelnde Beschlussfassung sowie Grenzen von Partizipation zu identifizieren. Außerdem ist aufzuzeigen, wie langfristige soziale Lernprozesse aktiviert und in Gang gehalten werden können. Aus der Evaluation können nicht zuletzt Empfehlungen für den Aufbau von Beteiligungskompetenzen abgeleitet werden.

Stakeholderanalyse in KlimLandRP

Als Einstieg in das Thema „Partizipation und Kommunikation“ im Themenkomplex „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ wurden im Projekt KlimLandRP – Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz in einer Stakeholderanalyse Akteure und Entscheidungsträger in einen Dialogprozess einbezogen. Folgende Ziele wurden verfolgt: die Wahrnehmung und Bedeutung des Klimawandels erfragen, die Zeithorizonte des Denkens und den Umgang mit Unsicherheiten kennenlernen, evtl. schon getroffene Anpassungsoptionen erfahren, den Informations- und Forschungsbedarf ermitteln und nicht zuletzt aus dem Projekt entwickelte Erkenntnisse gemeinsam diskutieren.

In der Phase I wurden aufbauend auf einer Dokumentenanalyse, in der u. a. der Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007 und der Bericht der Enquete-Kommission „Klimawandel“ des Landtags von Rheinland-Pfalz ausgewertet wurden, leitfadengestützte Experteninterviews auf Landesebene und in ausgewählten Schwerpunktregionen durchgeführt.

In der Einschätzung und Wahrnehmung des Klimawandels gab es indessen z. T. große Unterschiede. Die Expertenbefragung hat vielfältige Beziehungen zwischen den einzelnen Sektoren und Konfliktfelder erkennen lassen.

Beim Vergleich der Handlungsfelder zeigen sich z. T. erhebliche Unterschiede in der Einordnung und im Umgang mit der „Anpassung an den Klimawandel“. Die große Mehrheit der befragten Stakeholder sieht einen umfangreichen Informations- und Forschungsbedarf im Themenfeld Klimawandel, Landnutzung und Umweltressourcen. Vor allem wird Hilfestellung für den Umgang

mit Unsicherheit bei gegebenem Entscheidungsdruck erwartet. Anpassungsmaßnahmen sollten möglichst lokalspezifisch sein, eine Vertiefung der Forschung sei z. B. im Obst- und Gemüsebau notwendig, und auch Handlungsfelder wie Ökonomie und Gesundheit seien verstärkt aufzugreifen. Für das Handlungsfeld Biodiversität/Naturschutz werden Aussagen zu vulnerablen Arten und Lebensräumen erwartet. Für einen erfolgreichen Transfer in die Praxis werden Stakeholderbeteiligungen und Beratungsinstrumente sowie geeignete Formen der Kommunikation nachgefragt.

Inwieweit Entscheidungsprozesse maßgeblich durch den Klimawandel beeinflusst werden, sollte die Frage nach dem Zeithorizont des Denkens bzw. der Planung beantworten. Verallgemeinernd kann der Schluss gezogen werden, dass die Zeiträume des Denkens und der Planung umso kürzer sind, je weniger sich eine Branche von klimatischen Veränderungen betroffen fühlt und je rascher auf Umweltveränderungen reagiert werden kann, wie beispielsweise beim Tourismus. Betriebswirtschaftliche Faktoren, wie der meist zwischen 10 und 30 Jahren liegende Abschreibungszeitraum von Investitionsgütern, bestimmen in der Holz- und Sägeindustrie den Planungszeitraum. Auch der Planungszeitraum im Weinbau ist mittelfristig und lehnt sich stark an das Lebensalter der Rebe (ca. 30 Jahre) an. Im Bereich der Forstwirtschaft sind mit Blick auf die langen Produktionszeiten Planungszeiträume bis zu mehreren Jahrzehnten, sogar Jahrhunderten, verbreitet.

10 INFORMATIONSSANGEBOTE

KLIMAWANDEL FOLGEN – ANPASSUNG

RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM
FÜR KLIMAWANDELFOLGEN



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,
ENERGIE UND
LANDESPLANUNG



www.klimawandel-rlp.de



www.kwis-rlp.de



KLIMAWANDEL FOLGEN – ANPASSUNG



Rheinland-Pfalz
MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,
ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM
FÜR KLIMAWANDELFOLGEN

10.1 Klimawandelinformationssystem 'kwis-rlp' für Rheinland-Pfalz

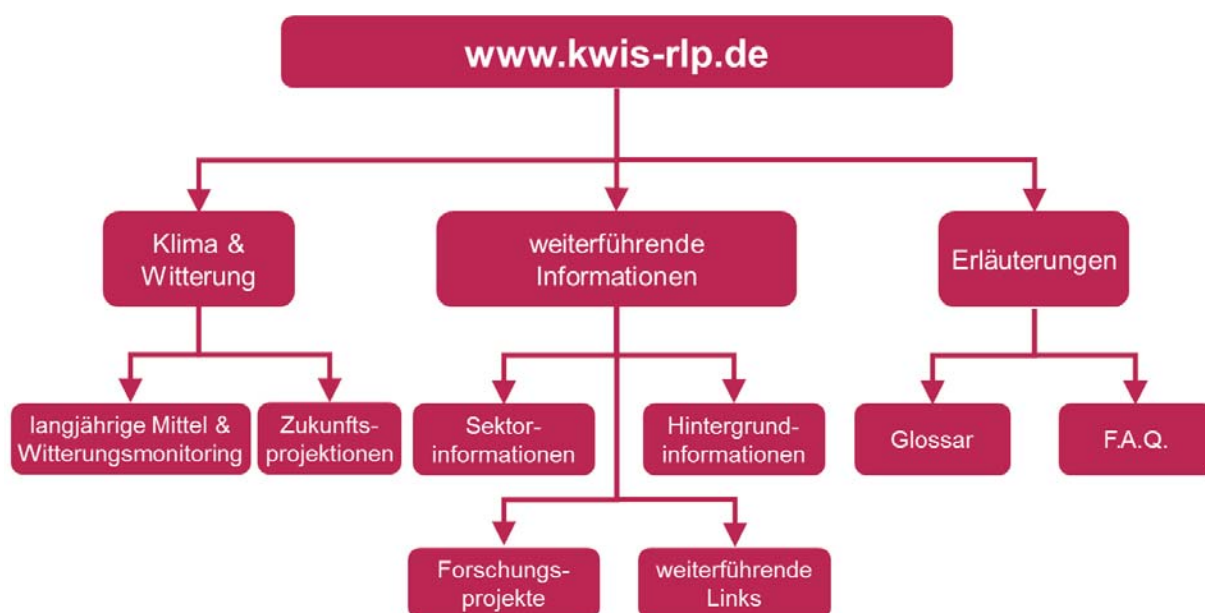
Seit 2011 können sich Fachleute wie auch die breite Öffentlichkeit im Klimawandelinformationssystem „kwis-rlp“ (www.kwis-rlp.de) tiefgreifend über den Klimawandel in Rheinland-Pfalz informieren. Zentrales Produkt des Klimawandelinformationssystems ist ein öffentlich zugängliches Web-Portal, das ein breites Publikum anspricht. Den Nutzenden werden ausführliche Informationen zum Klimawandel und zu möglichen Folgen für Rheinland-Pfalz angeboten. Einen wesentlichen Inhalt stellen die interaktiv abrufbaren Informationen zum Themenkomplex Klima, Witterung und Klimaprojektionen dar. Die vielfältigen Informationen werden bevorzugt mit Karten und

Grafiken präsentiert und können vom Nutzer an die jeweiligen Fragestellungen angepasst werden.

Für verschiedene Handlungsfelder wie z. B. Wald, Landwirtschaft und Gesundheit werden mögliche Folgen des Klimawandels dargestellt. Des Weiteren werden klimawandelbezogene Forschungsprojekte in Rheinland-Pfalz vorgestellt. Darüber hinaus bietet kwis-rlp Hintergrundinformationen zu den Themen Klima, Klimawandel und Klimawandelfolgen, und einen ausführlichen Bereich mit Erläuterungen in Form eines F.A.Q.s (häufig gestellte Fragen) sowie eines Glossars. Die Abbildung 35 zeigt eine Übersicht über die angebotenen Produkte.

Mit dem im Mai 2013 freigeschalteten Kommunalportal wurde das Service- und Informationsangebot weiter ausgebaut.

Abbildung 35:
Angebotsstruktur im Web-Portal des Klimawandelinformationssystems Rheinland-Pfalz



10.2 Kommunale Anpassung an den Klimawandel

Hintergrund

Auch wenn sich bereits einige Kommunen mit dem Klimawandel befassen, ist die Anpassung daran in Deutschland ein noch relativ neues kommunales Aktionsfeld. Da der Klimawandel regional und lokal unterschiedliche Folgen haben wird und Anpassungsmaßnahmen vielfach auf kommunaler Ebene erfolgen, gehören Kommunen zu den zentralen Akteuren. Um so wichtiger ist es, kommunale Akteure und Entscheidungsträger über den Klimawandel zu informieren und ihnen eine umfassende Hilfestellung und Entscheidungsunterstützung zu bieten. Risiken müssen frühzeitig erkannt werden, um die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und soziale Verantwortung zur Bewältigung der Gefahren und zum Schutz der Umwelt zu beurteilen. Ein integraler Ansatz gewährleistet, dass der Klimawandel bei Planungen und Entscheidungen berücksichtigt und Handlungsansätze unter Berücksichtigung von Unsicherheit vorgeschlagen werden.

Seit 2011 ist „Anpassung an den Klimawandel“ über die „Kommunal-Richtlinie“ in das Förderinstrumentarium der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) integriert. Die Förderung kommunaler Klimaschutzkonzepte ist damit um integrierte Anpassungs- und Klimaschutzkonzepte erweitert worden.

Der „Aktionsplan Anpassung“ der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) zielt darauf ab, die Kommunikation mit den Kommunen zu stärken und unterschiedliche Handlungsebenen der Anpassung zu verknüpfen.

Auf kommunaler Ebene werden Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bis heute vorrangig für Großstädte und Ballungsräume diskutiert. Rheinland-Pfalz dagegen ist von Klein- und Mittelstädten geprägt, die mehr oder weniger stark vom Klimawandel betroffen sein werden und daher zunehmend über Anpassungsmaßnahmen nachdenken müssen. Einen Zugang dazu bietet das Kommunalportal Klimawandel.

Kommunalportal Klimawandel

Das im Mai 2013 innerhalb des Klimawandelinformationssystems „kwis-rlp“ freigeschaltete Kommunalportal für Rheinland-Pfalz informiert Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft sowie die Bürgerinnen und Bürger und bietet Hilfe, sich strukturiert auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten. Die Kommunen sollen vor allem sensibilisiert und befähigt werden, eigene Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln. Die verfügbaren Service- und Beratungsinstrumente sowie Handlungsoptionen können die Eigenverantwortung und -vorsorge der regionalen und kommunalen Planer und Entscheidungsträger stärken und ermöglichen flexibles Agieren. Außerdem können die Instrumente helfen, die Wirksamkeit und Kosteneffizienz der geplanten Maßnahmen zu beurteilen. Als anschauliches Beispiel für eine Reihe bereits erprobter Instrumente, auf die im Kommunalportal gezielt hingewiesen wird, kann die „Tatenbank“ von Kompass (Kompetenzzentrum Klimawandelfolgen und Anpassung des Umweltbundesamtes) angeführt werden. In Form eines Leitfadens bietet sie sowohl Akteuren und Entscheidungsträgern als auch den Bürgerinnen und Bürgern eine Entscheidungsunterstützung bei der Anpassung an den Klimawandel.

Um auf spezielle Fragestellungen eingehen zu können, stehen im Kommunalportal drei Zielgruppenbereiche zur Auswahl (Abbildung 36): Kommunen, Unternehmen und BürgerInnen. Über einen gemeinsamen Einstieg erhalten alle Nutzergruppen die Möglichkeit, sich speziell zu ihrer Region über den Klimawandel zu informieren. Eine interaktive Übersichtskarte mit 13 Regionen, die nach der unterschiedlichen Vulnerabilität und nach Anpassungsmaßnahmen abgegrenzt sind, führt zu den regionsspezifischen Besonderheiten. Es wird u. a. dargestellt, wie die Ist-Situation aussieht, welche möglichen Veränderungen es in der Zukunft geben könnte und welche Handlungsfelder besonders vom Klimawandel betroffen sein könnten. Auch mit wenigen Vorkenntnissen über den Klimawandel können sich Kommunen in einem nächsten Schritt anhand von Links zu ausgewählten und bewährten Leitfäden anerkannter Fachinstitutionen individuell der Anpassung an

den Klimawandel annähern und ggf. erste Konzepte erstellen.

Pragmatische Lösungsansätze sollten bevorzugt werden. Dazu sind Klimaanpassungsmaßnahmen in die auf kommunaler Ebene vorhandenen Strukturen, Prozesse und Institutionen der einzelnen Handlungsfelder (wie z. B. Gesundheit) zu integrieren. Die mit dem Klimawandel verbundene Unsicherheit darf keinesfalls zu Untätigkeit führen. Vielmehr ist es notwendig, mehr Gewicht auf „Win-win“- , „Low-cost“- und „No-regret“-Anpassungsoptionen zu legen. So sind „No-regret“-Maßnahmen („ohne Reue“) auch dann vorteilhaft, wenn kaum Klimaänderungen eintreten.

Als Hilfestellung und zur Entscheidungsunterstützung sind im Kommunalportal auch Kontakte und Fördermöglichkeiten genannt. Die Bürgerinnen und Bürger können Antworten auf Fragen erhalten, die sich im privaten Bereich im Umgang mit dem Klimawandel stellen könnten, beispielsweise zu Gesundheit oder zu extremen Wetterereignissen. Das Kommunalportal befindet sich im Aufbau und wird sukzessive um aktuelle und relevante Themen erweitert.

Kommunale Pilotprojekte

Für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel hat das Bundesumweltministerium ein Förderprogramm für die kommunale Ebene und für Unternehmen eingerichtet. In diesem Rahmen werden in Rheinland-Pfalz gegenwärtig in Leuchtturmvorhaben Konzepte und Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt und anschließend in Modellvorhaben erprobt. Die Mittelstadt Speyer gehört durch ihre Lage im Oberrheingraben zu den bioklimatisch am

stärksten belasteten Räumen in Rheinland-Pfalz. In Anlehnung an die Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) wird für Speyer von 2012 bis 2015 ein Leitfaden für die Anpassung an den Klimawandel erarbeitet (Abbildung 37). Die Erkenntnisse sollen auch auf andere Städte in Rheinland-Pfalz übertragbar sein. Ein partizipativer Ansatz, u. a. mit themenbezogenen Workshops und Informationsveranstaltungen, gewährleistet, dass Akteure und Entscheidungsträger sowie die Öffentlichkeit in einen intensiven Dialog eingebunden sind. Auch andere Städte in Rheinland-Pfalz haben mit der Durchführung von Vulnerabilitätsstudien bzw. der Entwicklung von Anpassungskonzepten begonnen.

Mit dem Gemeinde- und Städtebund, dem Städtetag Rheinland-Pfalz und dem Landkreistag soll künftig verstärkt durch gemeinsames Handeln nach kommunalen Lösungsansätzen zu den Folgen des Klimawandels gesucht und über den Klimawandel informiert werden.

Abbildung 36:
Ausschnitt aus dem Kommunalportal des Klimawandelinformationssystems

Schritt: größer | kleiner | Druckansicht | Seite empfehlen || Deutsch | English

RheinlandPfalz
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT,
KUMASCHUTZ, ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

RHEINLAND-PFALZ
KOMPETENZZENTRUM
FÜR KLIMAWANDELFOLGEN

START

KLIMA & WITTERUNG

HANDLUNGSFELDER

KOMMUNALPORTAL

für Kommunen

Vulnerabilität

- Westerwald
- Vorderpfalz
- Rheinhessen
- Pfälzerwald
- Moseltal
- Mittelrhein
- Taunus
- Niederwesterwald
- Eifel
- Hochelfel
- Hunsrück
- Hoch- und Idarwald
- Saar-Nahe-Bergland
- Westrich

Maßnahmenkatalog

Kontakte und Förderungen

weitere Informationen

Good practice

für Unternehmen

für BürgerInnen und Bürger

Klimawandelprojekt Spayer

FORSCHUNGSPROJEKTE IN
RHEINLAND-PFALZ

HINTERGRUNDINFOS
KLIMAWANDEL

HÄUFIGE FRAGEN (FAQ)

GLOSSAR

LINKS

Kontakt
Anschrift & Impressum
Login

kwis-rto.de > *Kommunalportal* > für Kommunen > Vulnerabilität

Vulnerabilität

Regional wirkt sich der Klimawandel sehr unterschiedlich aus. Bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels müssen diese regionalen Besonderheiten berücksichtigt werden, um in den richtigen und relevanten Bereichen aktiv zu werden.

Auf der folgenden Karte sind die Naturräume von Rheinland-Pfalz dargestellt. Durch einen Klick auf Ihre Region können Sie sich über die besonders betroffenen Bereiche (nach der *Deutschen Anpassungsstrategie*) informieren.

Differenziert nach Regionen können Informationen zur Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel abgerufen werden

Abbildung 37:
Ausschnitt aus dem Projektflyer des kommunalen Projekts in Speyer zur Anpassung an den Klimawandel

Das Programm

Durch den Klimawandel werden sich die Umweltbedingungen künftig dynamischer verändern als bisher bekannt und unsere Umwelt wird verletzlicher.

Die Bundesregierung beschließt im Sommer 2011 einen **Aktionsplan Klimawandel**:

- Kommunale Leuchtturmvorhaben sollen in der Anpassung an den Klimawandel unterstützt werden.
- Die Kommunen sollen Risiken und Chancen des Klimawandels in Planungs- und Entscheidungsprozessen berücksichtigen.
- Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels sollen eng miteinander verknüpft werden.

Speyer als Modellstandort für Bund und Land

Speyer ist besonders geeignet für dieses Modellprojekt in Sachen Klimawandelfolgen und möglichen Anpassungsstrategien, denn

- das Programm ergänzt das bereits vorhandene **Nachhaltigkeitsmanagement** und den Klimaschutz,
- Größe, Lage und **Verwaltungsstruktur** sind ideal,
- hier gibt es ein ausgeprägtes **bürgerchaftliches Engagement** und erfolgreiche **Bürgerbeteiligungsprozesse**,
- die Verwaltung hat **Erfahrung mit Förderprojekten** und ist Vorbild für viele andere Kommunen.

Ziele des Projekts

- Für die Stadt Speyer gilt es, ein **ganzheitliches und datenbasiertes Konzept** zur Anpassung an den Klimawandel zu erarbeiten.
- **Schlüsselakteure** aus Politik, Verwaltung und Bürgerschaft werden **sensibilisiert und beteiligt**.

Die Ausgangssituation: Klimawandel in Speyer

Der **Oberheingraben** zählt bioklimatisch gesehen zu den am stärksten belasteten Zonen in Deutschland

Zukunftsszenario:

- Die landschaftlichen Verhältnisse bedingen hohe Sommertemperaturen, hohe Schwülebelastung, häufige Windstille und austauscharme Wetterlagen.
- Luftverunreinigungen aus den benachbarten Ballungs- und Verdichtungsräumen verstärken den Trend.
- Es kommt zu einer Häufung der Extreme wie Hoch- und Niedrigwasser.





...im Mitt'lalder nett K'att...!!"

Karikatur: gussgrafik.de

10.3 Klimawandel in der Umweltbildung

Der „Klimawandel“ ist von hoher gesellschaftlicher Relevanz – insbesondere auch für die heute jüngeren und nachfolgenden Generationen. Der vorliegende Bericht will dazu beitragen, das Bewusstsein und das allgemeine Verständnis für die Anpassung an den Klimawandel zu fördern. Die staatlichen, kommunalen und privaten Erziehungs-, Bildungs- und Informationsträger sollen im Rahmen ihrer Möglichkeiten über Ursachen und Bedeutung des Klimawandels aufklären sowie das Bewusstsein für einen sparsamen Umgang mit Energie, klimaschutzgerechtes Handeln und das Verständnis für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen fördern.

Die Schulen werden künftig verstärkt eine wichtige Rolle für den Bewusstseinswandel und die Verbesserung von Anpassungskapazitäten spielen. Der Klimawandel lässt sich als Querschnittsthema hervorragend in unterschiedliche Fachdisziplinen (z. B. Geschichte, Geografie, Sozialkunde, Fremd-

sprachen) integrieren. Auch außerschulische Multiplikatoren und Bildungseinrichtungen sind angesprochen, den Themenkomplex „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ in die Umweltbildung und in Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) einzubinden. Ziel ist es, wissenschaftlich fundierte Informationen so aufzubereiten, dass Schülerinnen und Schüler sowie Interessierte sich Basiswissen zu verschiedenen Themen des Klimawandels und möglichen Folgen selbständig erarbeiten können. Neben der Aufklärung über Ursachen und Folgen des Klimawandels geht es auch darum, Handlungsoptionen aufzuzeigen und deutlich zu machen, wo und wie Schülerinnen und Schüler selbst aktiv werden können.

Ein gelungenes Beispiel ist das Instrument „Klimaexpedition“: Seit mehreren Jahren führt „Germanwatch“ im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung sogenannte Klimaexpeditionen in rheinland-pfälzischen Schulen und bei außerschulischen Bildungsträgern durch. Die Klimaexpeditionen sind kundenorientiert und können von Schulen und Veranstaltern gebucht werden.

11 AUSBLICK



Die vorliegenden allgemeinen Empfehlungen und Hinweise zielen auf Anpassungen an den Klimawandel in Rheinland-Pfalz, bezogen auf Biodiversität und Naturschutz, Boden, Wasser, Landwirtschaft und Weinbau sowie Wald ab. In Anlehnung an die im Jahr 2011 fortgeschriebene Nachhaltigkeitsstrategie von Rheinland-Pfalz ist der Klimawandel in alle Politikfelder, Wirtschafts- und Lebensbereiche zu integrieren. Im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel wurde bereits damit begonnen, die Folgen des Klimawandels in weiteren prioritären Handlungsfeldern wie Gesundheit und Wirtschaft zu untersuchen, um notwendige Anpassungsoptionen abzuleiten.

In der Reihe der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit stehen bezogen auf Rheinland-Pfalz aktuell die Themen „Hitzestress“, „Ausbreitung von Zecken und durch sie übertragene Krankheitserreger“, „Vorkommen und mögliche Ausbreitung der Asiatischen Buschmücke und der Japanischen Tigermücke“ (einschließlich der jeweils übertragenen Krankheitserreger) und „Potenziale allergener Pflanzen“ (insbesondere Ambrosia) im besonderen Fokus.

Für Deutschland beziffert das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung die Kosten des Klimawandels auf 800 Mrd. Euro bis 2050, wenn größere Maßnahmen zur Reduktion des Klimawandels ausbleiben. Was bedeuten diese Prognosen für Rheinland-Pfalz? Volkswirtschaftlich sollen die durch den Klimawandel entstehenden Kosten bzw. monetär bewerteten Schäden den Kosten und Vorteilen von Anpassungsmaßnahmen gegenübergestellt werden. Die Zunahme schadensintensiver Extremwetterereignisse wie Stürme, Hagelschlagereignisse oder Überflutungen in den letzten Jahrzehnten haben die öffentlichen Haushalte und die Wirtschaft enorm belastet und in der Versicherungswirtschaft zu veränderten Risikokalkulationen geführt. Um Schadenskosten zu vermeiden, versprechen zukunftsweisende Anpassungsmaßnahmen wie z. B. der Polderbau zum Hochwasserschutz in Rheinland-Pfalz oder die konsequente Umsetzung des Konzeptes zur Niederschlagsbewirtschaftung maßgebliche finanzielle Vorteile.

Mit Blick auf die prioritäre und zukunftsweisende Entkopplung der wirtschaftlichen Entwicklung vom Ressourcenverbrauch sind aussagefähige Indikatoren und Kenngrößen zu ermitteln. Ein hilfreicher Indikator, um die Klimaauswirkungen der gesamten Wertschöpfungskette von z. B. klein- und mittelständischen Unternehmen (KMUs) zu ermitteln, ist der 'Carbon Footprint' (CO₂-Fußabdruck).

Die Analysen und Risikobewertungen in den einzelnen Handlungsfeldern müssen sich verstärkt auf die regionale und lokale Ebene beziehen. Dafür sind Modelle und Instrumente zur Unterstützung der Entscheidungsfindung weiter zu entwickeln.

Für den erfolgreichen Wissenstransfer in die Praxis und als Grundlage für fundierte Entscheidungen sind Anpassungsmaßnahmen partizipativ im Dialog mit Entscheidungsträgern, gesellschaftlichen Akteuren und den Betroffenen zu entwickeln. Prozesse der Stakeholderbeteiligung und des sozialen Lernens sollen gezielt angestoßen und unterstützt werden. Als Beispiel für einen bereits begonnenen Prozess kann die regionale Waldbauplanung angeführt werden, bei der unter Beteiligung relevanter Akteure und Interessengruppen auf die Region bezogene Strategien für eine nachhaltige, multifunktionale Waldbewirtschaftung erarbeitet werden sollen.

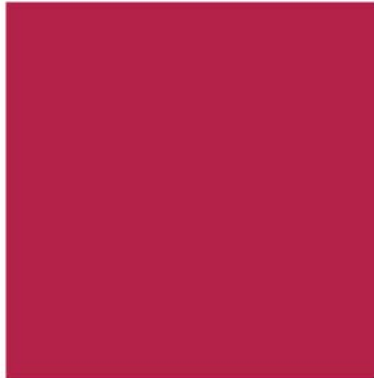
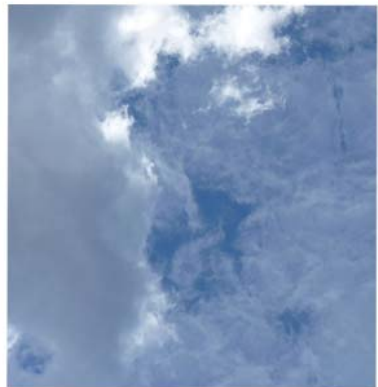
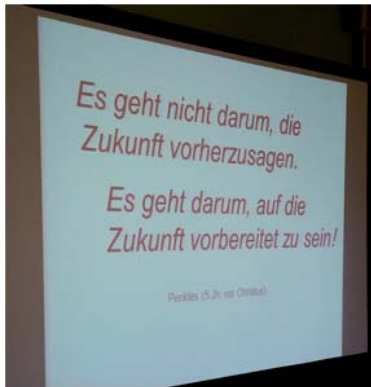
Ein maßgeblicher Beratungs- und Informationsbedarf besteht vor allem auf der kommunalen Ebene. Mit der Einrichtung eines Kommunalportals innerhalb des Klimawandelinformationssystems kwis-rlp wurden erste Schritte unternommen, um dem Bedarf nachzukommen. Darüber hinaus ist es Ziel, die Thematik verstärkt in die Fläche zu bringen, indem Regionen und Kommunen gezielt beraten werden und Unterstützungshilfen für die Anpassung an den Klimawandel erhalten.

Eine wichtige künftige Aufgabe wird darin bestehen, die vielfältigen Folgen des Klimawandels und die Wirkung von Instrumenten und Maßnahmen zur Anpassung fortlaufend zu erfassen und zu bewerten. Dazu wird auf nationaler Ebene derzeit ein Indikatorenkatalog erarbeitet. Auf dieser Grundlage soll für Rheinland-Pfalz ein landesspezifischer Indikatorensatz definiert werden, der auf

vorhandenen Daten sowie Monitoring- und Umweltbeobachtungssystemen des Landes basiert. Die Evaluierung und Bewertung der einzelnen Indikatoren ist Grundlage für Monitoringberichte und für die Fortschreibung klimaanpassungsbezogener Konzepte.

Die allgemeinen Empfehlungen und Hinweise sind als offenes System so angelegt, dass der ständige Wissenszuwachs bzw. erweiterte und neue Erkenntnisse in den einzelnen Handlungsfeldern fortlaufend integriert werden können. Über das Klimawandelinformationssystem werden die entsprechenden Informationen zeitnah und online zur Verfügung gestellt.

12 ZUSAMMENFASSUNG



Hintergrund

Der vorliegende Klimawandelbericht liefert Daten und Fakten zum Klimawandel und gibt Empfehlungen zum Umgang mit den Folgen. Behandelt werden die Felder Naturschutz und Biodiversität, Boden, Wasser, Landwirtschaft und Weinbau und Wald. Damit sind zum einen besonders relevante und flächenwirksame Handlungsfelder angesprochen, zum anderen solche, die in den letzten Jahren intensiv bearbeitet wurden und zu denen landesspezifische Erkenntnisse vorliegen. Darüber hinaus sind bereits weitere relevante Themenfelder in Bearbeitung. Mit Blick darauf handelt es sich um ein dynamisches, modular aufgebautes System, das fortlaufend aktualisiert und um neue Themenfelder erweitert wird.

Rheinland-Pfalz befasst sich bereits seit mehreren Jahren intensiv mit dem Klimawandel (z. B. Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007, Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Klimawandel“ des rheinland-pfälzischen Landtags, Projekt Klimawandel und Wasserwirtschaft – KLIWA und Projekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz – KlimLandRP). Die gegenwärtigen Aktivitäten und Projekte zum Klimawandel in Rheinland-Pfalz sind Teil eines weit verzweigten regionalen und nationalen Netzwerks rund um „Klimawandel – Folgen – Anpassung“. Mit Blick darauf setzt der Bericht den laufenden Prozess konsequent fort. Die allgemeinen Empfehlungen und Hinweise sollen das Bewusstsein für die Relevanz des Klimawandels stärken, Hilfe zur Selbsthilfe geben und Wege aufzeigen, wie der Umgang mit dem Klimawandel in den nächsten Jahren inhaltlich weiter ausgestaltet werden kann. Neben Risiken zeigt der Bericht auch Chancen auf, die der Klimawandel für Rheinland-Pfalz haben kann. Besondere Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel liegen im Umgang mit Unsicherheit, Entscheidungsnotwendigkeiten und Komplexität.

Aktuelles Klima und Klimaveränderung

Der Klimawandel ist in Rheinland-Pfalz bereits messbar: Innerhalb der letzten gut 130 Jahre ist die Durchschnittstemperatur um rund 1,4 °C angestiegen, wobei die wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Rheinland-Pfalz vor allem in den letzten Jahrzehnten liegen. Phänologische Beobachtungen zeigen, dass der Winter im Zeitraum 1991-2009 gegenüber 1961-1990 um 13 Tage kürzer geworden ist.

Wie sich das Klima weiter verändern wird, kann nicht vorhergesagt werden. Mit Hilfe von regionalen Klimaprojektionen für Rheinland-Pfalz, die auf Annahmen der künftigen Treibhausgasemissionen basieren, wird der Korridor der möglichen Klimaveränderung abgeschätzt. Rheinland-Pfalz wird sehr wahrscheinlich nicht durch ein grundlegend neues Klima geprägt sein, es kann aber angenommen werden, dass bereits bekannte, bisher seltene Situationen wie der Hitzesommer 2003 in der Zukunft häufiger vorkommen werden. Nach dem bisherigen Trend gibt es deutliche Hinweise auf die Zunahme extremer Wetterereignisse wie Starkniederschläge und Trockenperioden. Allgemein ist eine Tendenz zu steigenden Winter- und geringeren Sommerniederschlägen erkennbar. Die mittlere Jahrestemperatur könnte je nach Regionalmodell bis Ende des Jahrhunderts um weitere 3 bis 4 °C ansteigen.

Raumordnung und Landesplanung

Die Raumordnung übernimmt sowohl bei Klimaschutzmaßnahmen als auch bei der Anpassung an den Klimawandel als raum- und fachübergreifende Planung eine aktiv steuernde und koordinierende Rolle. Der wachsenden Bedeutung des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird im Raumordnungsgesetz (ROG) Rechnung getragen. Auch in die Bauleitplanung ist die Anpassung an den Klimawandel integriert. Im Rahmen der Landes- und Regionalplanung werden strategische und integrative

Planungsansätze z. B. im Bereich des Gewässer-managements oder des Schutzes der menschlichen Gesundheit vor Hitzefolgen entwickelt. So enthält das Landesentwicklungsprogramm IV (LEP IV) erstmals ein eigenes programmatisches Schwerpunktthema „Klimawandel und nachhaltige Energiepolitik“.

Boden

Klimaänderungen wirken sich auf den Wasserhaushalt, den Stofftransport und den Stoffumsatz in Böden aus. Umgekehrt haben anthropogene Eingriffe in Böden und klimabedingte Veränderungen der Stoff- und Energieflüsse der Böden Auswirkungen auf das Klima. Der projizierte Klimawandel wird voraussichtlich zu einer differenzierten Veränderung der Standortbedingungen in Rheinland-Pfalz führen, die von der regionalen Ausprägung des zukünftig zu erwartenden Niederschlags- und Temperaturregimes, von Relief, Bodeneigenschaften und Landnutzung abhängen wird.

Die möglichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen stehen dabei insbesondere im Zusammenhang mit Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes, einer zunehmenden potenziellen Erosionsgefährdung, dem Risiko abnehmender Humusgehalte und -vorräte, dem Risiko der Bodenverdichtung, Veränderungen der Biodiversität und des Stoffhaushalts. Trockenere Sommer können auf grundwasserfernen Standorten zu einer deutlichen Verringerung der pflanzenverfügbaren Bodenwasservorräte führen. Ein veränderter Jahresgang der Niederschläge mit zeitweise höheren Niederschlagsintensitäten (Extremereignisse) kann in Verbindung mit Vegetationslücken sowie Austrocknung das potenzielle Erosionsrisiko erhöhen. Die in Klimamodellen projizierte Zunahme von Winterniederschlägen und Starkregenereignissen betrifft vor allem aktuell bereits erosionsgefährdete Gebiete.

Die Zunahme der Temperaturen im Winterhalbjahr und eine ausreichende Bodenfeuchte beschleunigen die Mineralisierungsprozesse der organischen Substanz. Andererseits verringert sich in den trockeneren Sommermonaten auf terrest-

rischen Böden möglicherweise die Mineralisation. Bei Änderungen im Vorrat an organischer Substanz in Böden hat die Landnutzung, die sich als Folge des Klimawandels aber auch durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel verändern kann, einen großen Einfluss. Zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Biodiversität im Boden und zu den ökologischen Folgen einer Veränderung der Bodenfauna besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Eine nachhaltige, standortangepasste Bodennutzung kann negative Auswirkungen des Klimawandels verringern oder vermeiden. Über die Rolle und Bedeutung der Böden im Klimawandel muss durch Ausbau der Informationssysteme noch besser informiert werden. In diesem Kontext kommt auch einem auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitoring eine wichtige Rolle zu. Zum Bodenschutz und zur Verbesserung der Kohlenstoff-Senkenfunktion der Böden können die 'Gute Fachliche Praxis' und Agrarumweltmaßnahmen beitragen. Ein besonderes Augenmerk gilt hydromorphen Böden wie z. B. Mooren als wichtige CO₂-Speicher.

Wasser

Mit der Veränderung des Klimas ändert sich auch der Wasserhaushalt. Im Projekt KLIWA werden Handlungsstrategien und -konzepte aus den zu erwartenden Klimaänderungssignalen erarbeitet. Dem Abfluss kommt bei der Änderung des Klimas eine besondere Bedeutung zu. Wie sich die Hochwasser- und Niedrigwasserabflüsse in der Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 entwickeln, wird mit Hilfe von Simulationsrechnungen dargestellt. Insgesamt wird deutlich, dass in der nahen Zukunft mit keinen gravierenden und sprunghaften Änderungen der Wasserbilanzkomponenten zu rechnen ist.

Infolge des Klimawandels ist zu erwarten, dass sich die Lebensgemeinschaften in Gewässern und die Funktionsweise des aquatischen Naturhaushalts ändern. Lokal konnte in Fließgewässern bereits eine Tendenz zur Wanderung von Lebensgemeinschaften flussaufwärts belegt werden. Welchen Einfluss der Klimawandel auf die Gewäs-

serqualität haben wird, lässt sich heute noch nicht abschätzen. Um belastbare Daten zu erhalten, wird das aktuelle Fließgewässermonitoring angepasst.

Die Empfehlungen für die Oberflächengewässer zielen auf den Hochwasserschutz z. B. durch weitere Rückhaltemaßnahmen entlang des Rheins. Das rheinland-pfälzische Drei-Säulen-Konzept ist konsequent anzuwenden, Warn- und Alarmedienste sind gezielt auszubauen. Bei der Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung sind Planungsgrundlagen zu erneuern und fortzuschreiben. In einem Monitoring sollten Veränderungen beobachtet werden, wobei einer integrierten flussbezogenen Betrachtung eine besondere Bedeutung zukommt. Empfehlungen bezogen auf Starkniederschläge zielen vor allem auf neue Risikobewertungen, flexible „No-regret“-Lösungen und die Umsetzung des Leitfadens 'Starkregen'. Dazu sind auch die Kommunikation und Bewusstseinsbildung zu stärken.

Informations- und Forschungsbedarf ergibt sich bei der Abschätzung der Klimawandelfolgen durch Einsatz unterschiedlicher Klimamodelle und Szenarien sowie hinsichtlich praxistauglicher Verfahren für eine Extremwetterstatistik. Generell sind Projekte und Planungen konsequent auf Robustheit gegenüber Klimaveränderungen zu prüfen und ggf. anzupassen.

Landwirtschaft

Wegen seiner unmittelbaren Abhängigkeit von Witterung und Klima gehört der Agrarsektor zu den klimasensitivsten Wirtschaftszweigen. Höhere Temperaturen wirken sich z. B. auf die Tierhaltung aus, eine verlängerte Vegetationsperiode hat Auswirkungen auf den Standort und die Sortenwahl im Ackerbau, im Grünland und im Weinbau.

Die mit ausgewählten Klimaprojektionen durchgeführten Analysen deuten für die Zukunft eine schlechtere potenzielle Wasserversorgung der Standorte an, die für die wichtigsten Kulturen ein zunehmendes Trockenstressrisiko bedeutet. Zwischen 40-50 % der jährlichen Ertragsschwankungen sind auf die Witterung während der

Hauptvegetationsperiode in den Sommermonaten zurückzuführen.

Für die Vegetationszeit lässt sich eine deutliche Tendenz hin zu einem früher einsetzenden Vegetationsbeginn, einem späteren Vegetationsende und einer damit einhergehenden verlängerten Vegetationsperiode erkennen. Dies hat z. B. Auswirkungen auf die Anzahl der Schnitte im Grünland und auf die Lesereife im Weinbau. Aufgrund des früheren Knospenaustriebs kann das künftig auch weiterhin bestehende Risiko von Spätfrösten sogar leicht erhöht sein.

Der Trend zu einer erhöhten Wärmesumme kann bedeuten, dass im Weinbau zukünftig verstärkt Wärme liebende Rebsorten angebaut werden und sich der Weinanbau von den wärmebegünstigten Lagen auf höhere Lagen einer Region ausdehnt.

Der Klimawandel könnte auch zu extremen Hitzeperioden im Sommer führen, die einen Einfluss auf die Tiergesundheit haben. Allgemein beeinflusst der Klimawandel das Auftreten und die Intensität von bekannten, aber auch neuen Schaderregern in allen landwirtschaftlichen Kulturen.

Zur Entscheidungsunterstützung wird ein System für ein Wissensmanagement empfohlen, das die vorhandenen Datengrundlagen in „Wissensboxen“ (z. B. zum Wasserhaushalt) einordnet und über eine Beratungsplattform nutzergerecht für Landwirte, die Verwaltung (Beratung) und die Planung zur Verfügung stellt. Empfohlen wird auch die Einrichtung eines Monitoringsystems zur Folgenabschätzung des Klimawandels auf die Landwirtschaft. Die Forschungsfragen und daraus abzuleitende Anpassungsmaßnahmen sind vor allem auf den künftigen Bewässerungsbedarf, die Verwendung geeigneter Sorten, die Entwicklung relevanter Schädlinge und das Auftreten von Spätfrösten gerichtet. Weiterer Forschungsbedarf besteht darüber hinaus in Tätigkeitsfeldern wie dem Obst- und Gemüsebau.

Naturschutz und Biodiversität

Rheinland-Pfalz ist geprägt durch eine Vielfalt an unterschiedlichen Lebensräumen und besitzt eine artenreiche Tier- und Pflanzenwelt. Neben mediterranen und submediterranen Florenelementen kommen in Rheinland-Pfalz auch zahlreiche arktische, nordische oder alpine Florenelemente in den Höhenlagen vor. Diese Reliktvorkommen an meist kühl-nassen oder feuchten Standorten sind durch die zu erwartenden Klimaveränderungen potenziell gefährdet. Generell jedoch ist eine Einwanderung von Arten nach Rheinland-Pfalz zu beobachten.

Unter einer Reihe von klimabedingten Veränderungen sind vor allem Bestandsschwankungen und Arealverlagerungen erwähnenswert. Wärme liebende Arten werden weiter zunehmen und nach Norden sowie in höhere Lagen wandern. Gewässerlebensräume könnten infolge veränderter Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse zunehmend gefährdet sein. Die bereits beobachteten Veränderungsprozesse belegen, dass Tiere und Pflanzen in der Lage sind, auf klimatische Veränderungen durch phänotypische Anpassung, aber auch durch genetische Variation und Selektion zu reagieren. Die Anpassungsfähigkeit ist allerdings begrenzt und vor allem von der Geschwindigkeit des Klimawandels, der Mobilität der Arten, ihrer genetischen Vielfalt und der Toleranz bzw. Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme abhängig.

Die sich infolge des Klimawandels ergebenden Risiken betreffen vor allem die Einwanderung von Neobiota und schlechtere Lebensbedingungen z. B. für die Gefäßpflanzen der Bergmähwiesen und Moore. Chancen ergeben sich durch die Einwanderung und Ausdehnung Wärme liebender Arten wie z. B. mediterrane Libellenarten. Die Empfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel zielen u. a. auf dynamische und stetig weiter zu entwickelnde Schutzgebiets- und Zielartensysteme sowie auf die Identifizierung von Risikoarten und -gebieten. Erfolgreich erprobte Naturschutzprogramme und -instrumente, wie z. B. das bereits vorhandene zukunftsweisende Biotopverbundsystem, sind flexibel weiterzuentwickeln. Für die Ziele des Naturschutzes werden nach derzeitiger Einschätzung die projizierten

klimatischen Veränderungen vermutlich einen geringeren Einfluss haben als die Änderungen der Landnutzungsstruktur und -qualität.

Orientiert an einem umfassenden Verständnis für Biodiversität müssen künftig neben dem Auftreten, der Ausbreitung und der Einwanderung von Arten sowie der Untersuchung von Verantwortungs- und Risikoarten verstärkt die genetische Vielfalt und die Lebensraumvielfalt in Verbindung mit den Ökosystemleistungen erforscht werden, um auf dieser Grundlage Biodiversitätsveränderungen in der Landschaft unter dem Einfluss von Landnutzungsänderungen erfassen und bewerten zu können. Neben dem Offenland gilt es auch, den Einfluss des Klimawandels auf Wald- und Gewässerökosysteme verstärkt zu untersuchen.

Wald

Die Wälder in Rheinland-Pfalz werden aufgrund ihrer langen Lebensdauer von Klimaveränderungen besonders betroffen sein. Bei der Analyse der Entwicklung des Waldklima-Musters lässt sich eine Veränderung in Richtung warm-trockener Verhältnisse erkennen. Am Ende des Jahrhunderts sind über alle verwendeten Klimaprojektionen hinweg Klimaverhältnisse auf der Waldfläche (42 % der Landesfläche) zu erwarten, die heute in Rheinland-Pfalz weitgehend unbekannt sind.

Die Reaktionen der Baumarten hängen von ihren Eigenschaften und von den sich verändernden Bedingungen der Standorte im Zuge des Klimawandels ab. Eine regional unterschiedliche Ausprägung der zukünftigen Baumarteneignung lässt sich daher deutlich erkennen. In den Tieflagen (planar) wird aufgrund einer sich ändernden (negativen) Wasserbilanz zu erwarten sein, dass weniger trockenheitstolerante Baumarten an ihre Grenzen stoßen können. Der Eignungsverlust mancher Baumarten (Buche und Fichte) kann in kollinen Mittelgebirgen zu ökologischen Vorteilen anderer Baumarten (Eiche und Kiefer) führen, indem sich beispielsweise die Konkurrenzverhältnisse verschieben. Die Höhenlagen (submontan und montan) können aufgrund von Temperaturerhöhungen künftig günstigere Standorte für Baumarten wie Buche, Eiche und Kiefer werden.

Aufgrund des deutlichen Eignungsverlusts bei der Fichte können die wirtschaftliche Bedeutung und die Flächenpräsenz der Douglasie im Zuge des Klimawandels zunehmen. Diese Entwicklung muss im Hinblick auf Ökosystemwirkungen weiter erforscht werden.

Im Rahmen einer regionalen Planung der künftigen Waldnutzung sind die bisher in der Forstwirtschaft schon betrachteten Aspekte der Unsicherheit, des Risikos und der Flexibilität in die Waldplanungsstrategie verstärkt einzubeziehen. Aus Sicht der Waldlandschaftsökologie unterstützen somit „No-regret“-Strategien grundsätzlich auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Alle Maßnahmen, die z. B. zum Erhalt der Arten- und Strukturvielfalt oder zur Minimierung von Bodenstörungen beitragen, sind auch unabhängig vom Klimawandel ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Ein adaptives Management trägt dazu bei, eingeführte Anpassungsmaßnahmen zu beobachten und zu verbessern. Die Einbeziehung der lokalen standortspezifischen Kenntnisse und örtlichen Erfahrungen verfeinert die regionale Betrachtung der Klimawandelfolgen und ermöglicht lokale Baumartenempfehlungen. Eine geeignete Maßnahme, mit den Unsicherheiten und Ungewissheiten im Zuge des Klimawandels umzugehen, ist die konsequente Förderung von Mischwäldern. Bezüglich der allgemeinen Folgen des Klimawandels ist es wichtig, den Dialog mit der Öffentlichkeit und innerhalb des Forstwirtschaftssektors zu intensivieren. Die Sensibilisierung und der Informationsaustausch über die Unsicherheitsfaktoren sind Voraussetzung für die Akzeptanz von Anpassungsmaßnahmen.

Viele grundsätzliche Aspekte und Zusammenhänge sind ohne experimentelle Beobachtung und ein mittel- bis langfristiges Monitoring nicht ohne weiteres zu klären. Für die Beantwortung von speziellen Fragen sind Beobachtungen und Resultate aus bestehenden Versuchsflächen und Waldklimastationen wertvoll.

Partizipation und Kommunikation

Partizipation und Mitbestimmung sind unverzichtbar, um Anpassungsoptionen an den Klimawandel zu entwickeln, die von weiten Teilen der Gesellschaft getragen werden. Die Bedeutung und die möglichen Inhalte einer Partizipations- und Kommunikationsstrategie werden skizziert.

Im Rahmen des Projekts Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz wurde u. a. in einer Stakeholderanalyse die Wahrnehmung und Bedeutung des Klimawandels ermittelt. Die Mehrheit der befragten Stakeholder sieht einen umfangreichen Informations- und Forschungsbedarf im Themenfeld Klimawandel, Landnutzung und Umweltressourcen. Für einen erfolgreichen Transfer in die Praxis werden Beratungsinstrumente, geeignete Formen der Kommunikation und möglichst lokal-spezifische Anpassungsstrategien erwartet.

Informationsangebote und Umweltbildung

Rheinland-Pfalz verfügt mit dem Klimawandelinformationssystem 'kwis-rlp' bereits über ein umfangreiches Beratungs- und Serviceportal in prioritären Handlungsfeldern. Das System ist um ein Kommunalportal mit den Zielgruppen Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen und Kommunen erweitert worden. Damit wird auch kommunalen Akteuren eine Hilfestellung und Entscheidungsunterstützung, z. B. anhand von Leitfäden, Fördermöglichkeiten und weiterführenden Kontakten, geboten. Im Rahmen von Leuchtturmvorhaben und Pilotprojekten werden gegenwärtig Konzepte und Lösungsansätze zur Anpassung an den Klimawandel auf kommunaler Ebene entwickelt und auf ihre Übertragbarkeit geprüft.

Der „Klimawandel“ ist von hoher gesellschaftlicher Relevanz – insbesondere auch für die heute jüngeren und nachfolgenden Generationen. Der vorliegende Bericht will dazu beitragen, das Bewusstsein und das allgemeine Verständnis für die Anpassung an den Klimawandel zu fördern. Um

dieses Ziel zu erreichen, ist der Themenkomplex „Klimawandel – Folgen – Anpassung“ verstärkt in die schulische und außerschulische Umweltbildung sowie in Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) einzubinden.

Ausblick

Die im Jahr 2011 fortgeschriebene Nachhaltigkeitsstrategie von Rheinland-Pfalz zielt darauf ab, den Klimawandel in alle Politikfelder sowie Wirtschafts- und Lebensbereiche zu integrieren. Über die behandelten Handlungsfelder hinaus hat Rheinland-Pfalz bereits damit begonnen, die Folgen des Klimawandels in weiteren Handlungsfeldern wie z. B. Gesundheit zu untersuchen. In verstärktem Maße wird künftig für regional- und lokalspezifische Anpassungsmaßnahmen der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis durch Beteiligung gesellschaftlicher Akteure unterstützt. Bereits vorhandene Informations- und Beratungssysteme werden erweitert und vertieft. Die Empfehlungen und Hinweise verstehen sich als offenes, flexibel erweiterbares System. Neue Handlungsfelder und Erkenntnisse können fortlaufend integriert werden.

QUELLEN

- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO) (Hrsg.) (2010): Positionspapier „Klimawandel – Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes“
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (Hrsg.) (2004): Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen: Ein Beitrag zum BMBF-Rahmenprogramm „Forschung für die Nachhaltigkeit“, http://www.fona.de/pdf/publikationen/forschung_fuer_den_klimaschutz_schutz_vor_klimawirkung.pdf (URL), abgerufen am: 08.04.2013
- BUNDESREGIERUNG (Hrsg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf (URL), abgerufen am: 08.04.2013
- CASPER, M., GRIGORYAN, G., HEINEMANN, G. & BIERL, R. (2013): Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) – Methoden und Ergebnisse des Moduls Wasser. Universität Trier, Fachbereich Physische Geographie. Trier. In Vorbereitung.
- COOK, G.C. (1992): Effect of global warming on the distribution of parasitic and other infectious diseases: a review. *J.R. Soc Med.* Nov; 85(11): 688-91
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1951-2003): Gemessene Klimadaten, Offenbach
- EITZINER, J., KERSEBAUM C.K., FORMAYER, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel; Agrimedia
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.) (2008): Review of existing information on the interrelations between soil and climate change (CLIMSOIL) – Technical Report – 2008-048
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. EUA-Bericht Nr. 12/2012: 300 S. <http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012/download>, abgerufen am: 31.07.2013
- HERTSTEIN U., DÄMMGEN U., JÄGER H.J., MIRSCHER, G., OBENAU, S., ROGASIK, J. (1994): Wirkungen eines veränderten Klimas auf die landwirtschaftliche Primärproduktion. In: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) Landbauforschung Völknerode 148: Klimaänderungen und Landbewirtschaftung Teil II: 237–286
- INNOVEST STRATEGIC VALUE ADVISORS (2007): Carbon Disclosure Project: Report 2007 – Global FT500, https://www.cdproject.net/CDPResults/CDP5_FT500_Report.pdf (URL), abgerufen am: 09.04.2013.
- KLIMAWANDELINFORMATIONSSYSTEM KWIS-RLP FÜR RHEINLAND-PFALZ (www.kwis-rlp.de)
- KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft) www.kliwa.de
- KÖLLING, C., BACHMANN, M., FALK, W., GRÜNERT, S., WILHELM, G. (2008a): Soforthilfe Baumarteneignung-Anbaurisiko-Klimawandel. Technischer Report der Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. 64 S.
- KÖLLING, C., WALENTOWSKI, H. & BORCHERT, H. (2005): Die Buche in Mitteleuropa. *AFZ - DerWald* 13: 696-700.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2009): Konzeptstudie „Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen“
- LANDTAG RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (2009): Bericht der Enquete-Kommission 15/1 „Klimawandel“. Drucksache 15/3600
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (2011): Daten und Fakten zur Umwelt in Rheinland-Pfalz
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (2007): Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007. Mainz: 98 S. und Anhang
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, ENERGIE UND LANDESPLANUNG (Hrsg.) (2012): Perspektiven für Rheinland-Pfalz. Nachhaltigkeitsstrategie des Landes: Fortschreibung 2011: 274 S.
- MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN (2013): Eine EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0216:FIN:DE:PDF>, abgerufen am: 25.07.2013
- RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM FÜR KLIMAWANDELFOLGEN (Hrsg.): Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz – KlimLandRP. Themenblatt zu den Methoden und Ergebnissen der Module des

Projekts. <http://www.wald-rlp.de/fileadmin/webseite/klimland/downloads/Ergebnisse>, abgerufen am 01.10.2013

RÖSTEL, H.J. (1999): Zuckerrübe – Morphologie und Anatomie. In: Keller, E.R., H. Hanus und K.-U. Heyland (Hrsg.): Handbuch des Pflanzenbaus 3 – Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart: 319-355

SAUER, T., SPIES, E.-D. (2013): Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) – Themenblatt zu den Methoden und Ergebnissen des Moduls Boden. Hrsg.: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (2010): <http://www.statistik.rlp.de/wirtschaft/landwirtschaft/tabellen/we4-rlp/> (11.05.2012)

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.)(2012): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2010. Climate Change 08/2012: 841 S.

Wittmann, E.J., Melo, P.S., Baylis, M. (2002): Effect of temperature on the transmission of orbiviruses by the biting midge; *Culicoides sonorensis*. Med Vet Entomol. Jun: 16(2): 147-56

ZENTRALSTELLE DER FORSTVERWALTUNG, FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (FAWF) (Hrsg.)(2012): Waldbodenzustand in Rheinland-Pfalz. – Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 70/12

ANHANG

Glossar

Abflussspende

Um den Abfluss aus Einzugsgebieten unterschiedlicher Größe vergleichen zu können, wird der Abfluss durch die zugeordnete Einzugsgebietsfläche dividiert. Die Abflussspende wird in Litern pro Sekunde und Quadratkilometer [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$] angegeben. Die Abflussspende spiegelt sowohl die geologisch-orographischen als auch die niederschlagsbedingten Verhältnisse eines Einzugsgebietes wider.

Anpassung (auch Adaption, Adaptation)

Anpassungen in natürlichen oder menschlichen Systemen, die als Reaktion auf gegenwärtige oder zu erwartende klimatische Stimuli oder deren Effekte Schäden mindern/vermeiden oder günstige Gelegenheiten nutzen. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende und reaktive, private und öffentliche, autonome und geplante Anpassung.

Emission

Der Übertritt luftverunreinigender Stoffe in die Atmosphäre. Emissionsquellen können z. B. Industrieanlagen, Hausbrand oder Verkehr sein. Der Begriff wird auch verwendet im Zusammenhang mit Lärm, Radioaktivität, Erschütterungen und Wärme. Als Emittent wird die Quelle einer Verunreinigung bezeichnet.

Emissionsszenario

Plausible Darstellung der zukünftigen Entwicklung der Emissionen von Substanzen, die möglicherweise strahlungswirksam sind (z. B. Treibhausgas, Aerosole). Sie basiert auf einer kohärenten (zusammenhängenden) und in sich konsistenten (widerspruchsfreien) Reihe von Annahmen über die zugrunde liegenden Kräfte (z. B. demographische und sozioökonomische Entwicklung, Technologiewandel) und deren Beziehungen. Von Emissionsszenarien abgeleitete Konzentrationen von Treibhausgasen werden als Vorgabe für die Berechnung von Klimaprojektionen mit Klimamodellen eingesetzt.

Instationarität

Die Instationarität steht für die Eigenschaft eines Parameters im Zeitablauf keinem konstanten Wert zu folgen. Das Gegenteil wird als Stationarität bezeichnet.

Klimaprojektion

Eine mögliche Entwicklung des Klimas in der Zukunft unter Annahme einer bestimmten Entwicklung klimarelevanter Randbedingungen. Es wird, basierend auf Modellsimulationen, eine mögliche Reaktion des Klimasystems auf Emissions- oder Konzentrationsszenarien von Treibhausgasen, Aerosolen oder Strahlungsantriebs-Szenarien abgebildet. Klimaprojektionen werden von Klimaprognosen unterschieden, um zu betonen, dass Klimaprojektionen von den verwendeten Emissions-/Konzentrations- bzw. Strahlungsantriebs-Szenarien abhängen, die auf Annahmen z. B. über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen beruhen, die nur eventuell verwirklicht werden und deshalb mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind.

Mainstreaming

Der Begriff „Mainstreaming“ unterstreicht, dass die Anpassung an klimatische Veränderungen nicht nur auf die Durchführung gesonderter Maßnahmen zu beschränken ist, sondern querschnittsorientiert auf allen Ebenen und in sämtlichen Handlungsfeldern in politischen Konzepten, Normen, Gesetzen und Richtlinien Eingang finden soll.

Phänologie

Die Phänologie ist die Lehre vom Einfluss des Wetters, der Witterung und des Klimas auf den jahreszeitlichen Entwicklungsgang und die Wachstumsphasen der Pflanzen und Tiere, ein Grenzbereich zwischen Biologie und Klimatologie. Die sichtbarste und unmittelbarste Reaktion auf den Klimawandel sind phänologische Veränderungen im Jahreszyklus.

Resilienz

Resilienz (lateinisch *resilire* = zurückspringen) beschreibt im Zusammenhang mit der Anpassung an den Klimawandel die Toleranz eines ökologischen

bzw. sozio-ökonomischen Systems gegenüber Störungen. Resilienz kann hierbei als die Fähigkeit eines Systems verstanden werden, die grundlegenden Funktionen und die Organisationsweise auch nach Störungen aufrechtzuerhalten, ohne in einen qualitativ anderen Systemzustand überzugehen.

Sensitivität

Sensitivität ist der Grad, zu dem ein System durch Klimavariabilität oder Klimaveränderung beeinflusst wird, sei es negativ oder positiv. Die Wirkung kann direkt sein (z. B. eine Veränderung des Ernteertrags als Reaktion auf eine Veränderung des Durchschnitts, der Bandbreite oder der Variabilität der Temperatur) oder indirekt (z. B. Schäden, die durch eine zunehmende Häufigkeit an Küstenüberflutungen aufgrund des Meeresspiegelanstiegs verursacht werden). Dieses Konzept der Sensitivität darf nicht mit der Klimasensitivität verwechselt werden, die separat definiert ist.

Treibhausgase

Treibhausgase sind diejenigen gasförmigen Bestandteile in der Atmosphäre, sowohl natürlichen wie anthropogenen Ursprungs, welche die Strahlung in denjenigen spezifischen Wellenlängen innerhalb des Spektrums der thermischen Infrarotstrahlung absorbieren und wieder ausstrahlen, die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre selber und den Wolken abgestrahlt wird. Diese Eigenschaft verursacht den Treibhauseffekt. Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und Ozon (O_3) sind die Haupttreibhausgase in der Erdatmosphäre. Ausserdem gibt es eine Anzahl von ausschliesslich vom Menschen produzierten Treibhausgasen in der Atmosphäre, wie die Halogenkohlenwasserstoffe und andere chlor- und bromhaltige Substanzen, die im Montreal-Protokoll behandelt werden. Neben CO_2 , N_2O und CH_4 befasst sich das Kyoto-Protokoll mit den Treibhausgasen Schwefelhexafluorid (SF_6), Fluorkohlenwasserstoffe (HFCs) und Perfluorkohlenstoffe (PFCs).

Vulnerabilität/Verwundbarkeit

Verwundbarkeit ist das Maß, zu dem ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung einschließlich Klimavariabilität und Extremwerte anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Verwundbarkeit ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner Sensitivität und seiner Anpassungskapazität.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

WETTREG: Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode

ECHAM 5/MPI-OM: Name für ein globales atmosphärisches Zirkulationsmodell des Hamburger Max-Planck-Instituts (MPI) für Meteorologie

Klima-MORO: Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“ (www.klimamoro.de)

Climate Adapt: Climate Change Adaptation in Europe (www.climate-adapt.eea.europa.eu)

KLIWA: Kooperationsvorhaben "Klimaveränderung und Wasserwirtschaft" (www.kliwa.de)

Wichtige Links

www.klimawandel-rlp.de

www.kwis-rlp.de

www.kliwa.de

www.luwg-rlp.de

www.lgb-rlp.de

www.fawf.wald-rlp.de

www.mwkel-rlp.de

www.mulewf-rlp.de

www.klimaanavigator.de

www.pik-potsdam.de

www.anpassung.net

www.ec.europa.eu/clima

www.ipcc.ch

www.dwd.de

KONTAKT

Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie
und Landesplanung Rheinland-Pfalz
Referat 8501 – Klimaschutz, Klimawandel
Stiftsstraße 9
55116 Mainz
Tel: +49 (0) 61 31 / 16 – 0

Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für
Klimawandelfolgen
bei der Forschungsanstalt für Waldökologie
und Forstwirtschaft
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt
Tel.: +49 (0) 6306 / 911 – 0



www.klimawandel-rlp.de



www.kwis-rlp.de

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und
Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Referat Klimawandel und Umweltmeteorologie
Rheinallee 97 – 101
55118 Mainz
Tel.: +49 (0) 6131 / 6033 – 0

Landesamt für Geologie und Bergbau
Emy-Roeder-Straße 5
55129 Mainz
Tel. +49 (0) 6131 / 9254 – 0

Eine PDF-Version des Berichts finden Sie zum Download auf den Internetseiten
www.mwkel.rlp.de und www.kwis-rlp.de.



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ,
ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

Stiftsstraße 9
55116 Mainz

poststelle@mwkel.rlp.de
www.mwkel.de

www.klimawandel-rlp.de
www.kwis-rlp.de