



# Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007

Rheinland-Pfalz



Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz



---

**Klimabericht  
Rheinland-Pfalz 2007**

---

## **Impressum:**

- Herausgeber:** Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz
- Bearbeiter:** Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG), Kaiser-Friedrich-Str. 7, 55116 Mainz  
Mit Beiträgen  
des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau,  
des Ministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Familie und Frauen,  
des Ministeriums des Innern und für Sport und  
des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
- Kartographie:** Roland Manger, Joachim Peters, Hendrik Stuke
- Titelbild:** Fotozusammenstellung Annette Kindinger  
Bild 1: Mandelblüte in Neustadt an der Weinstraße; Autor: keine Angabe, Deutsches Weininstitut (DWI)  
Bild 2: Hochwasser, Sanierung Rheinhauptdeich Hamm; Ehler Fell; LUWG  
Bild 3: Kartoffeln, Marktstand in Mainz; Annette Kindinger, LUWG  
Bild 4: Eisweinlese; Kämper, DWI  
Bild 5: Waldschäden durch Windwurf; Harald Hericks, Forstamt Hachenburg  
Bild 6: Zecke; Scott Bauer, ARS
- Auflage:** 400 Exemplare

© 2007

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

## Vorwort



Der Klimawandel muss als eine der wichtigsten ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen begriffen werden, vor der wir gegenwärtig stehen.

Der Klimawandel hat auch in Rheinland-Pfalz zu einer Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur geführt, von 0,8° Celsius in den letzten 100 Jahren.

Es lassen sich allgemeine Phänomene wie frühere und längere Vegetationszeiten und trockenere Sommer aber auch regenreichere Winter beschreiben. Zudem treten immer häufiger extreme Witterungsereignisse auf. Diese klimatischen Veränderungen und die Auswirkungen auf die Wetterverhältnisse sind jedoch räumlich unterschiedlich ausgeprägt.

Mittlerweile ist unbestritten, dass der CO<sub>2</sub>-Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre maßgeblich für die beobachteten Klimaveränderungen verantwortlich ist.

Wir müssen die Emissionen klimaschädlicher Gase verringern – drastisch und schnell. Dies hat für die Landesregierung höchste Priorität.

Das integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm wurde in der Regierungserklärung vom 28. Juni 2007 ausführlich dargelegt und beschreibt unsere Ziele.

Wir befassen uns aber auch mit Anpassungsstrategien an den stattfindenden und nicht mehr aufhaltbaren Klimawandel.

Dazu gehören auch die wissenschaftliche Analyse der regionalen Veränderungen und die Entwicklung von belastbaren Prognosen, um darauf aufbauend adäquate Anpassungskonzepte zu entwickeln.

Dabei haben wir insbesondere die Auswirkungen auf die Natur, die Land- und Forstwirtschaft, die Böden, die Wasserwirtschaft – aber auch auf die Gesundheit der Menschen im Auge.

Wir stehen hier nicht am Anfang, das können Sie dem Bericht entnehmen. Aber es gibt noch erheblichen Untersuchungs- und Forschungsbedarf.

Insofern ist der vorliegende Bericht eine Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse.

Es liegt in der Natur des komplexen Themas, dass er fortgeschrieben werden muss.

Mein Dank gilt all jenen, die den Bericht erstellt oder Beiträge geliefert haben – im Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, im Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht und den beteiligten Ressorts.

A handwritten signature in black ink that reads "Margit Conrad". The script is cursive and fluid.

Margit Conrad

Staatsministerin für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Mainz, im November 2007



<b>1</b>	<b>Einführung und Berichtszweck</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ziele und Grundsätze der Klimapolitik</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Rheinland-Pfalz</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Bundesebene</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Klimawandel und Folgen von Klimaveränderungen</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Klimatische Situation in Rheinland-Pfalz</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Klimawandel in Rheinland-Pfalz</b>	<b>21</b>
3.2.1	Temperaturen	21
3.2.1.1.	Bioklimatische Belastungssituation in Rheinland-Pfalz	21
3.2.1.2.	Bereits beobachtete Temperaturänderungen	23
3.2.1.3.	Temperaturanstieg bis 2100	27
3.2.2	Niederschläge	32
3.2.2.1.	Niederschlagsverteilung in Rheinland-Pfalz	32
3.2.2.2.	Bereits beobachtete Niederschlagsänderungen	36
3.2.2.3.	Niederschlagsentwicklung bis 2100	41
3.2.3	Extremwetterereignisse	48
3.2.3.1.	Beobachtete Extremereignisse und Eintrittsveränderungen	48
3.2.3.2.	Prognose der Extremwetterentwicklung bis 2100	50
3.2.4	Grundwasser	52
3.2.4.1.	Grundwasserlandschaften und Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz	52
3.2.4.2.	Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser in Rheinland-Pfalz	55
3.2.5	Abfluss	56
3.2.5.1.	Hochwasserabfluss	58
3.2.5.2.	Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz	61
3.2.6	Vegetation	64
3.2.6.1.	Pflanzenphänologie in Rheinland-Pfalz	64
3.2.6.2.	Einfluss des Klimawandels auf Obstgehölze	67
3.2.7	Artenzusammensetzung	67
3.2.7.1.	Beobachtete Populationsänderungen	67
3.2.7.2.	Gefährdungspotential für die Artenvielfalt	67
3.2.8	Erosion	69
3.2.8.1.	Erosionsgefährdung in Rheinland-Pfalz	69
3.2.8.2.	Einfluss des Klimawandels auf die Erosionsgefährdung	70
<b>3.3</b>	<b>Allgemeine Folgen der Klimaveränderungen</b>	<b>71</b>
3.3.1	Betroffene Bereiche (Sektoren) in Rheinland-Pfalz	71
3.3.2	Qualitative Wertung der Vulnerabilitäten der Bereiche (deutschlandweiter, regionaler Vergleich)	72

3.3.3	Umgang mit dem Klimawandel – vorsorgende Planung	74
<b>3.4</b>	<b>Spezifische Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen ausgewählter Bereiche</b>	<b>75</b>
3.4.1	Wasserwirtschaft	75
3.4.2	Erosion und Bodenschutz	76
3.4.3	Forstwirtschaft	78
3.4.4	Landwirtschaft	84
3.4.5	Natur- und Artenschutz	89
3.4.6	Gesundheit	93
3.4.7	Raumordnung und Landesplanung	95
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>97</b>

**Tabellenverzeichnis**

**Abbildungsverzeichnis**

**Literatur**

**Anhang**



# 1 Einführung und Berichtszweck

Das heutige Erdklima basiert in erheblichem Maß auf dem Vorhandensein von Wasserdampf und Spurengasen, die einen natürlichen Treibhauseffekt verursacht haben. Diesen Inhaltsstoffen unserer Atmosphäre verdanken wir eine Temperaturerhöhung gemittelt über die Erdoberfläche um 33 K (von minus 18°C auf plus 15°C). Erst hierdurch wurde das Leben in seiner Artenvielfalt möglich.

Die Industrialisierung und viele weitere menschliche Aktivitäten in den letzten hundert Jahren haben zu einer deutlichen Erhöhung des Anteils der Treibhausgase geführt. So ist gegenwärtig eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von bereits mehr als 370 ppm in der Atmosphäre feststellbar, gegenüber 280 ppm in der vorindustriellen Zeit.

Der 4. Sachstandsbericht des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC 2007) formuliert in der Zusammenfassung der „Wissenschaftlichen Grundlagen“:

„Es gilt als „gesicherte Erkenntnis“, dass (...) **menschliches Handeln** seit 1750 das Klima erwärmt hat – vorrangig durch den fossilen Brennstoffverbrauch, die Landwirtschaft und eine geänderte Landnutzung.“

Neben Wasserdampf gelten folgende Gase als Treibhausgase:

- ▶ Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- ▶ Methan (CH<sub>4</sub>)
- ▶ Distickstoffoxid/Lachgas (N<sub>2</sub>O)
- ▶ teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe – HFC, Schwefelhexafluorid – SF<sub>6</sub>, perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe - PFC

CO<sub>2</sub> ist kein Schadstoff an sich, sondern von Natur aus Bestandteil der Atmosphäre. Natürliche CO<sub>2</sub>-Quellen sind z.B. vulkanische Gase oder das Zersetzen organischer Substanzen.

Bereits in der vorindustriellen Zeit fanden demzufolge natürliche CO<sub>2</sub>-Emissionen statt, ohne dass ein kontinuierlicher Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre feststellbar war. Der vorgenannte Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change hält es für „sehr wahrscheinlich“<sup>1</sup>, dass erst die durch Industrietätigkeit erheblich gestiegenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Verbrennungsprozessen das globale Gleichgewicht gestört haben.

Als anthropogene Quellen des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre gelten vor allem die Verbrennung von Kohle und Erdöl zur Energieerzeugung, aber auch Waldbrände sowie die Brandrodung von Urwäldern.

Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wird das in der erdgeschichtlichen Vergangenheit gespeicherte CO<sub>2</sub> freigesetzt.

---

<sup>1</sup> Unter „sehr wahrscheinlich“ versteht der Bericht eine Wahrscheinlichkeit von mehr als 90%.

Der vorliegende Bericht soll klimarelevante Daten und Zusammenhänge auf der Ebene des Landes Rheinland-Pfalz zusammenstellen und dokumentieren. Der Bericht ist dabei in folgender Weise gegliedert:

- Ziele, Grundsätze und Strategien der Klimapolitik in Rheinland-Pfalz
- Beschreibung von Art, Ausmaß und allgemeinen Folgen der Klimaveränderungen,
- Erörterung spezifischer Folgen und die daraus abzuleitenden Anpassungsoptionen.

## 2 Ziele und Grundsätze der Klimapolitik

### 2.1 Rheinland-Pfalz

Die Ziele, Grundsätze und Strategien wurden in der Regierungserklärung zur rheinland-pfälzischen Energie- und Klimaschutzpolitik vom 28. Juni 2007 ausführlich dargelegt:<sup>1</sup>

#### **Die Herausforderungen und unsere Antworten.**

Den weltweiten Klimawandel beherrschbar und gestaltbar halten, ist die wichtigste ökologische, soziale und ökonomische Herausforderung des 21. Jahrhunderts. Tatsache ist, dass jährlich weltweit die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 3 % ansteigen, das entspricht ungefähr dem Anteil, den Deutschland an den CO<sub>2</sub>-Emissionen weltweit hat.

Der Energiehunger insbesondere der rasant wachsenden Schwellenländer in Asien, aber auch der europäischen Beitrittsländer, hat einen drastischen Preisanstieg auf den Weltrohstoffmärkten ausgelöst.

Der Rohölpreis ist von 2000 bis 2006 um ca. 80 % gestiegen.

Die Steigerung der Heizkosten für Öl und Gas um über 40 % in sechs Jahren ist eine erhebliche Belastung für die Menschen, auch in unserem Land.

Deutschland ist extrem abhängig von Importen, bei Öl und Uran zu 100 %, bei Gas zu 80 %. Nicht selten stammen diese Importe aus politisch instabilen Regionen. Die dynamische Reichweite dieser wesentlichen Energieträger beträgt zwischen 30 bis 60 Jahre. Dies beschreibt – im Übrigen unvollständig – die Risiken für die Versorgungssicherheit.

#### **Wir müssen und wir können Antworten geben auf diese Herausforderungen.**

#### **Rheinland-Pfalz ein Land voller Energien - für Klima, Wachstum und sichere Versorgung steht dafür.**

Wir verbinden bei unseren Strategien vier **Ziele** miteinander:

- Klima schützen
- Energie sichern
- Energierechnungen reduzieren und
- Arbeitsplätze schaffen.

Wir sind uns der Verantwortung als Industrienation bewusst - in Europa und mit Europa in der Welt. Wir unterstützen die ambitionierten Klimaschutzziele in Berlin und in Brüssel.

Wir sind uns auch der Verantwortung für den Industriestandort Deutschland und Rheinland-Pfalz bewusst. Wenn man unseren relativ geringen Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet,

---

<sup>1</sup> Vgl. [www.mufv.rlp.de/4152/](http://www.mufv.rlp.de/4152/)

wird der Erfolg unserer Klimaschutzpolitik nicht nur daran zu messen sein, welche Minderungsquoten wir erfüllen, sondern auch daran, dass und wie **schnell** wir Know-how und Technologien auf den Weltmärkten zur Verfügung stellen, um damit zur globalen Verringerung der Treibhausgase beizutragen. Dafür brauchen wir die Innovationskraft unserer Unternehmen.

### **Wir handeln - nicht erst seit heute**

### **Die vier bekannten Pfeiler unserer Energiestrategien**

- Energie einsparen
- Energieeffizienz steigern
- Erneuerbare Energien ausbauen
- Eigene Energieversorgung im Land stärken

sind in hohem Maße geeignet, unseren Zielen gerecht zu werden.

### **Die beste Energie ist die gesparte Energie**

### **Unsere Kampagne**

„Die beste Energie ist die gesparte Energie“ ist die einfache, aber überzeugende Botschaft unserer Kampagne zum Energiesparen in den Gebäuden.

Die Einsparenergie stellt der Umwelt aber auch den Menschen künftig keine Rechnung mehr. Sie muss auch nicht erst importiert werden.

Und sie schafft Arbeitsplätze, denn zunächst muss investiert werden.

Unsere Kampagne ist von sozialer Bedeutung. Sie zeigt Alternativen zu den steigenden Energiekosten - nach dem Motto: wir können nicht die Weltenergiepreise reduzieren, aber unsere Energierechnung.

Wir handeln nach dem Grundsatz: Das **Wichtigste** zuerst - nicht das Einfachste.

Denn die Gebäude sind für 41% des Endenergieverbrauches und 34 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Rheinland-Pfalz verantwortlich.

Unser Ziel ist,

- dass **mehr** und **besser** saniert wird und
- dass bei Sanierungen und dem Neubau mindestens das umgesetzt wird, was heute schon **wirtschaftlich** ist.

„Hürden abbauen“, „Hilfen anbieten“, „gewusst wie“ und „gewusst wo“ umschreiben die Module der breit angelegten Kampagne.

Eine **Beraterplattform** und ein **Förderatlas** stehen zur Verfügung. Eine landesweite **kostenlose Energieersterberatung** ist sichergestellt.

Ein **Partnernetzwerk**, in dem insbesondere das Handwerk, die Industrie, die Architekten und die Ingenieure, die Finanzdienstleister und die Wissenschaft sowie auch die Effizienzoffensive oder die Zukunftsinitiative Rheinland-Pfalz vertreten sind, unterstützt die Kampagne.

Mit Ihnen zusammen können wir unserem Anspruch nach mehr **Qualität** und **Beschleunigung** bei den Maßnahmen zum Klimaschutz- nicht nur im Gebäudebereich - gerecht werden.

Die Menschen in Rheinland-Pfalz profitieren von den attraktiven Förderprogrammen des Bundes. Wir haben **zusätzlich ein Landesprogramm mit einem Volumen von 2 Mio. € aufgelegt**, um die **Markteinführung von Passiv- und Energiegewinnhäusern zu forcieren**.

Es verstärkt die Programme des Bundes und des Landes, z. B. der sozialen Wohnraumförderung „Modernisierung 2007“ des Bauministeriums.

Wir unterstützen damit **Spitzenstandards für energieoptimiertes Bauen**.

500 bis 600 Passiv- oder Energiegewinnhäuser können so mit einer attraktiven Förderung realisiert werden.

### **Wer Ansprüche stellt, muss selbst Vorbild sein.**

Die interne Baurichtlinie des Landesbetriebs Liegenschafts- und Baubetreuung schreibt anspruchsvolle Energiestandards vor, die mindestens 30 % besser sind als die rechtlichen Vorgaben der Energieeinspar-Verordnung (EnEV)<sup>1</sup>. Wo immer möglich, werden Passivhausstandards um- und erneuerbare Energien eingesetzt. Wir bauen ein Bürogebäude für Landesforsten als Energie-Gewinnhaus. Wir betreiben Sonnenkraftwerke mit 1,6 Megawatt peak auf Landesgebäuden. Wir betreiben Blockheizkraftwerke, die hoch effizient Strom und Wärme liefern.

Wir wollen Kommunen und kommunale Gebietskörperschaften ermutigen, sich ebenfalls freiwillig selbst verpflichtenden Standards zu stellen; denn das Interesse unserer Städte und Gemeinden an Energieeinsparung und kommunalen Energiekonzepten ist groß. Es bestärkt uns darin, dass mit Kommunen abgestimmte anspruchsvolle Standards sowie der Einsatz regenerativer Energien ein wichtiges Kriterium für die Förderung sind.

Wenn es gelingt, die Nachfragemacht der öffentlichen Hand für diese Zukunftsinvestitionen zu gewinnen, dann haben wir das beste Markteinführungsprogramm für Spitzentechnologie in Rheinland-Pfalz.

**Insgesamt haben wir die Chance, durch die Verdoppelung der Sanierungsrate, durch anspruchsvolle Standards bei der Sanierung und beim Neubau sowie durch den Einsatz erneuerbarer Energien bis 2020 etwa 20 % der heutigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudesektors in Rheinland-Pfalz einzusparen. Das wären, wenn die Menschen mitmachen, ca. 2 Mio. Tonnen jährlich.**

Zum Vergleich: Dies entspricht einer Gesamtemission, die 200.000 Menschen jährlich verursachen.

---

<sup>1</sup> in der zur Zeit geltenden Fassung (November 2007)

## **Wir wollen Rheinland-Pfalz zum energieeffizientesten Bundesland machen**

Wohlstand mit weniger Ressourcenverbrauch beschreibt die leicht formulierte, tatsächlich aber große Herausforderung.

Wie wir mit Ressourcen und Energierohstoffen umgehen, entscheidet über die Wettbewerbsfähigkeit unserer Wirtschaft und damit der Arbeitsplätze der Menschen in unserem Land.

Überall dort, wo Energie produziert, umgewandelt, transportiert und verbraucht wird, geht es um Effizienz.

Die Palette der Handlungsmöglichkeiten des Staates reicht von ordnungsrechtlichen Vorgaben über Anreize bis zu Förderungen. Einige gewichtige Elemente seien hier genannt:

### **Verbraucherkompetenz**

Wir wollen die **Verbraucherkompetenz** für einen nachhaltigen Konsum stärken. Deswegen setzen wir uns u. a. für eine bessere Kennzeichnung von verbrauchsarmen Geräten ein.

### **TOP-Runner-Modell**

Wir unterstützen ein sog. **Top-Runner-Modell** auf europäischer Ebene, das effiziente Produkte unterstützt und Verschwendung vom Markt verdrängt. Stand by ist dann out.

### **Kraft-Wärme-Kopplung**

Wir setzen uns für ein Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz ein, das den Ausbau tatsächlich fördert mit dem Ziel einer **Verdopplung des Anteils dieser hocheffizienten Energieanlagen für Strom, Wärme und Kälte gleichzeitig, und zwar auf einen Anteil von 25 % bis zum Jahr 2020.**

### **Ausbau Nah- und Fernwärmenetze**

Wir werden uns für ein Bundesprogramm zur Förderung des **Ausbaus der Nah- und Fernwärme** stark machen, aber auch Projekte im Land im Rahmen der Kommunal- und Energieförderung unterstützen.

### **Wir unterstützen Energieeffizienz in Unternehmen**

Güter und Dienstleistungen müssen mit weniger Energie und Ressourcenverbrauch, das heißt mit höherer Energieproduktivität hergestellt werden. Deshalb unterstützen wir Energieeffizienz in den Unternehmen.

Insbesondere die kleinen und mittelständischen Unternehmen sind dabei die Zielgruppen der gemeinsamen Aktivitäten mit dem Wirtschaftsministerium.

- Produktionsintegrierter Umweltschutz steht für diese Zusammenarbeit und die Unterstützung von Ressourceneffizienz und Umweltmanagement.

- Mit dem „**EffNet**“ steht ein breites Informationsangebot zur Verfügung.
- Wir fördern betriebsbezogene Beratung, um Einsparpotentiale in Unternehmen zu ermitteln.
- Für Investitionen stehen bei der Investitions- und Strukturbank (ISB) im Programm „Energie und Technologie“ attraktive Förderungen zur Verfügung.

### **Mit den erneuerbaren Energien bauen wir die Brücke in die solare Zukunft**

**Unser Ziel ist, den Anteil des Stromes aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 auf 30 % zu steigern.**

Energien aus Sonne, Wind, Biomasse, Wasserkraft und Erdwärme sind neben der Einsparenergie unsere „**heimischen Ressourcen**“.

Sie haben alle in den letzten Jahren einen erfreulichen Aufschwung in unserem Land genommen und erhebliche technologische und wirtschaftliche Fortschritte zu verzeichnen.

### **Unser Land verfügt über beachtliche geothermische Potenziale**

Mit der Inbetriebnahme des größten industriellen Erdwärmekraftwerkes in Deutschland in Landau im Herbst ist Rheinland-Pfalz **die Referenzregion** für Geothermie.

- Die Landesregierung hat sich bisher bei der Absicherung des Bohrrisikos engagiert und wird dies auch weiter tun.
- Zurzeit wird im Auftrag meines Hauses ein **Geothermieatlas** erstellt, der Auskunft über die geothermischen Ressourcen in der Tiefe gibt.
- Zur Unterstützung der oberflächennahen Geothermie wird eine **Geopotentialkarte** erarbeitet, die Informationen über mögliche Wärmequellen für Heiz- und Kühlzwecke enthält.

### **Energie wächst im Wald und auf dem Feld**

Der Boom der Bioenergien hält ungebrochen an.

Mit unserem Waldreichtum und einer aufgeschlossenen Landwirtschaft bieten sie für Waldbesitzer und Landwirte zusätzliches Einkommen und dem ländlichen Raum Wertschöpfung und Arbeitsplätze.

Wir werden diese Entwicklung nachhaltig weiter unterstützen, und zwar unter anderem

- durch die Förderung zum Beispiel der Holzmobilisierung im Privatwald,
- durch den Ausbau der Beratung für Landwirte. Die Einrichtung eines „Kompetenzzentrums für nachwachsende Rohstoffe“ durch den Kollegen Hering ist hier zu nennen;
- dazu gehört die enge ressortübergreifende Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft in allen Fragen der Energiepflanzenutzung, insbesondere deren weiterten Ausbau ohne die Belange von Natur und Landschaft zu vernachlässigen.
- Rückstände der landwirtschaftlichen Produktion sind wertvolle Rohstoffe für die energetische Nutzung. Die Gebäude des Dienstleistungszentrums ländlicher Raum in Neustadt/Weinstraße werden u. a. mit Tresterpellets aus dem Weinbau geheizt - ein Projekt, das Schule machen kann.

Biomasse ist flächengebunden und steht nicht unbegrenzt zur Verfügung. Herr Kollege Hering und ich sind uns einig: Die Nahrungsmittelproduktion ist und bleibt der Haupterwerb der Landwirtschaft.

Die effiziente Nutzung der verfügbaren Biomasse ist deshalb geboten – entweder direkt als Biokraftstoff oder in der effizienten Kraft-Wärme-Kopplung vor Ort.

Als weitere Alternative dazu unterstützt die Landesregierung die Aufreinigung von Biogas auf Erdgasqualität, um sie in das Erdgasnetz einspeisen zu können.

### **Windkraft**

**Mit leistungsfähigsten Windrädern der heutigen Generation könnten mit lediglich 60 % der bestehenden Anlagen 30 % des Jahresstromverbrauches von Rheinland-Pfalz erzeugt werden.**

Es gehört zu den Wahrheiten, dass die Klimaschutzziele, wie sie auch die Bundesregierung verfolgt, ohne einen relevanten Beitrag der Windkraft nicht erreicht werden können. In Rheinland-Pfalz erzeugen ca. 900 Anlagen ungefähr 6 % des Nettostromverbrauchs.

Keine andere erneuerbare Energietechnologie hat ihre Leistungsfähigkeit so gesteigert wie die Windkraft – nämlich um den Faktor 100 in 20 Jahren. Sie ist derzeit von allen erneuerbaren Energien die kostengünstigste.

- Wir setzen uns deswegen vor allem für den **Ersatz** von bestehenden Anlagen durch leistungsfähigere (Repowering) ein.
- Wir werden bei den Planungsträgern und den Kommunen dafür werben, dass vorhandene Standorte ausgenutzt werden für möglichst ertragreiche Anlagen.
- wir halten daran fest, dass Windkraft für Menschen und Naturräume verträglich sein muss. Leistungsstarke, dafür wenige Anlagen, kommen diesem Anspruch entgegen.

### **Wasserkraft – begrenzter Zubau möglich**

Durch die Modernisierung der bestehenden Wasserkraftwerke sowie durch begrenzten Zubau von Kleinanlagen kann die Wasserkraft ihren Beitrag von ca. 4 % am Stromverbrauch auf 5 % steigern. Als erster Schritt wurden mögliche wasser- und fischwirtschaftlich verträgliche Standorte identifiziert, die gezielt mit potentiellen Betreibern umgesetzt werden.

### **Die solare Stromerzeugung ist die Technologie der Zukunft**

Die **solare Stromerzeugung** in Rheinland-Pfalz steht, wie bundesweit, technologisch und mengenmäßig noch ganz am Anfang - trotz ihrer großen Akzeptanz und erfreulicher Zuwächse. Sie ist die Technologie mit weltweit größtem Potential. Im Süden Europas ist sie als Spitzenlaststrom bereits wettbewerbsfähig, unter hiesigen Einstrahlungsbedingungen der Sonne kann sie bereits ab 2020 bis 2025 wirtschaftlich zum Haushaltsstromtarif erzeugt werden. Dies ist keine Prognose von mir, sondern die eines Weltmarktführers der Solartechnologie aus Mainz.

Bei der **Novellierung des Erneuerbaren Energiengesetzes** werden wir in einem Programm zur Förderung von Energietechnologie darauf achten, dass über die regelmäßige Verringerungen der Einspeisevergütung ein starker Anreiz gesetzt wird, Wirkungsgrade und Kostensenkung zügig voranzubrin-



gen. Allerdings gilt auch für diese Branchen, dass eine ausreichende Rendite in der Wertschöpfungskette bleiben muss, um die Technologie weiter zu entwickeln und die Produktionskapazitäten auszubauen.

Wir sehen unsere Dächer und Fassaden künftig als Kraftwerke. Diese **solaren Energieanlagen zu einer Bereicherung der Ästhetik des Bauens** zu machen, ist ein gemeinsames Anliegen meines Kollegen Ingolf Deubel und mir, zusammen mit der Architektenkammer und der Bauwirtschaft.

**Die erneuerbaren Energien werden zu Recht als „schlafender Riese“ im Wärmemarkt bezeichnet.**

**Eine Verdreifachung ihres heutigen Anteils bis 2020 ist realistisch und zudem wirtschaftlich.**

Unsere Energiesparkampagne geht gezielt darauf ein. Die Landesregierung setzt sich für eine **verbindliche Vorgabe der Nutzung erneuerbarer Energien** zur Deckung des Wärmebedarfs beim **Neubau** und der **grundlegenden Sanierung** bei gleichzeitiger Verbesserung des Gebäudeenergiestandards ein. Dies ist Gegenstand einer Initiative auf Bundesebene.

**Wir müssen in Menschen investieren, wenn wir die Zukunft gewinnen wollen**

Dies gilt erst recht für den Erfolg unserer Energie- und Klimaschutzanstrengungen.

Ich bin dankbar für die vielen Aktivitäten und eine engagierte Zusammenarbeit mit dem Handwerk, den Architekten und Ingenieuren, den Hochschulen und der Industrie.

Nur wer selbst überzeugt ist, wird auch die Kunden für neue Produkte gewinnen können.

**Qualifikationsoffensive mit Partnern**

Die Handwerker und die Kammern haben - unterstützt von der Landesregierung - eine breite **Qualifizierungsoffensive** gestartet, die wir in Verbindung mit unserer Energiesparkampagne ausbauen.

**Auf das Handwerk kommt es an**

Das von uns geförderte **„Kompetenzzentrum nachhaltiges Bauen und Sanieren“** der Handwerkskammer Trier, der „Wärmepumpentag“ – eine gemeinsame Veranstaltung mit dem rheinland-pfälzischen Sanitär-Heizung-Klima-Handwerk -, die Ausbildung zum Gebäudeenergieberater oder Solarteur mit den Kammern stehen beispielhaft für unser gemeinsames Anliegen: **Qualität braucht Qualifikation.**

**Forschung und Entwicklung sind ein Schlüssel für die Energien der Zukunft**

Mit der Fachhochschule und der Transferstelle Bingen (TSB), dem Umweltcampus Birkenfeld (UCB) und dem Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS), der Universität und der Fachhochschule Kaiserslautern und der Effizienzoffensive Rheinland-Pfalz (EOR), der Universität Mainz und dem Institut für geothermisches Ressourcenmanagement (IGeM) - um nur einige beispielhaft zu nennen - verfügt Rheinland-Pfalz über wertvolle und leistungsfähige wissenschaftliche Kompetenz.

Schon heute sind diese Einrichtungen wichtige und erfolgreiche Partner für Unternehmen, Kommunen, und Politik.

- Wissenschafts- und Technologietransfer fördern heißt Brücken bauen von der Idee zum Produkt.
- Das Land will die Hochschulen unterstützen und ermuntern, ihre Profile für regenerative Energien oder effiziente Energiesysteme zu stärken.
- Wir wollen die Zusammenarbeit untereinander im Sinne einer Netzwerkstrategie fördern.
- Deswegen werden meine Kollegin Doris Ahnen und ich im Herbst zu einem ersten Workshop Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und angewandter Forschung einladen. Wir werden gezielt die Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu Energietechnologien und zum Klimawandel an unseren rheinland-pfälzischen Hochschulen unterstützen.

### **Gute Politik braucht Partner und kompetente Beratung**

Mit der **Effizienzoffensive Rheinland-Pfalz (EOR)** existiert ein gemeinsames Forum der Landesregierung mit Energieversorgern und Energiedienstleistern.

Wir sind dabei, die EOR als Einrichtung der Weiterbildung sowie als Kooperationspartner für Informations-, Projekt- und Programmmanagement der Landesregierung zu stärken. Ausstattung und Budget haben wir deutlich gesteigert.

Mit dem **Partnernetzwerk** der Energieeinsparkampagne ist es erstmalig gelungen, das Fachwissen und die Aktivitäten aller relevanten Akteure im Bereich energetische Sanierung und energieoptimiertes Bauen zu verzahnen. Es ist ein wichtiger Multiplikator in der Fläche und Partner für die fachspezifische Qualifizierung.

### **Forum Zukunftsenergiesysteme berufen**

Komplexität, Vielfalt und rasante Entwicklung der Energiesysteme und Technologien erfordern ein verbessertes Informationsmanagement zwischen den Akteuren der Wirtschaft, der Energieversorgung, der Wissenschaft und der Politik. Deswegen werde ich ein „**Forum Zukunftsenergiesysteme**“ berufen. Es soll den Dialog befördern und als Beratungsgremium zur Bewertung von Technologien, zur Identifizierung von Entwicklungsschwerpunkten und notwendiger Unterstützung dienen.

### **Die Zusammenarbeit mit den Kommunen ist von strategischer Bedeutung für eine sichere und zukunftsfähige Energieversorgung.**

#### **Vorreiterrolle**

Mittlerweile gibt es eine bunte Vielfalt kommunaler Projekte und Investitionen in klimaverträgliche Energiekonzepte und Technologien. Hierzu zählen:

- die vielen Holzhackschnitzelanlagen und Photovoltaik auf Schulen,
- Wärmenetze auf Holzbasis wie in Wörth oder mit industrieller Abwärme in Mayen ,

- das „100 % regenerative Freibad“ in Bruchmühlbach oder die „Energielandschaft Morbach“.

### **Planungskompetenz nutzen**

Wir wollen die Städte und Gemeinden motivieren, ihre Planungskompetenz zu nutzen und eine zukunftsfähige Energieversorgung in den Bebauungsplänen abzusichern.

### **Kommunale Energiekonzepte**

Wir wollen sie darin unterstützen, eigene **klimaverträgliche Energiekonzepte** zu entwickeln. Die Verbandsgemeinde Weilerbach hat dies ausgezeichnet mit dem mittlerweile bekannten Projekt der so genannten Null-Emissions-Gemeinde oder „zero-emission-village“ vorgemacht.

Und wir werden gezielt Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit den Kommunen fördern.

### **Klimaschutz und sichere Energieversorgung der Zukunft brauchen leistungs- und handlungsfähige Stadt- und Gemeindewerke.**

### **Stadtwerke wichtig für Wettbewerb und Daseinsvorsorge**

Sie sind nicht nur wichtige Wettbewerber im Energiemarkt. Sie erbringen wichtige Leistungen der Daseinsvorsorge und für die Infrastruktur.

Ihre Investitions- und **Handlungsfähigkeit für die Netze** auf der Verteilebene sind entscheidend für die **Versorgungssicherheit** und die wirtschaftliche Entwicklung.

### **Dezentrale Energieversorgung braucht den Versorger vor Ort**

In dem Maße, wie sich die Energieproduktion mehr und mehr auf **dezentrale Anlagen** stützt, wird die Anpassung der kommunalen und regionalen Netze erforderlich. **Dezentrale Energieversorgung braucht den Versorger vor Ort.**

### **Kraft-Wärme-Kopplung braucht Verbrauchsnähe**

Vor allem sind sie mit ihrer **Verbrauchsnähe** in der Lage, mit großen und kleinen Anlagen den notwendigen Ausbau der **Kraft-Wärme-Kopplung** zu betreiben. Natürlich sind private Investitionen oder Gemeinschaftsprojekte ebenso willkommen.

### **Virtuelles Kraftwerk mit Energieversorgern vor Ort entwickeln**

Ohne sie ist es kaum möglich, die vielen dezentralen Stromerzeuger und die erneuerbaren Energieanlagen zu einem virtuellen Kraftwerk zusammenzuführen, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Die Landesregierung fördert die technologische Entwicklung solcher Konzepte unter Beteiligung von Stadtwerken und regionalen Energieversorgern.

### **Neue Geschäftsfelder**

Die Veränderungen in den Technologien und auf den Märkten bieten Chancen für kommunale und regionale Energieunternehmen, **neue Geschäftsfelder zu entwickeln** – von der Erzeugung bis zum Energiecontracting.

Die Landesregierung wird diese Unternehmen in ihrer Entwicklung vom Versorger zum Multitalent „Energiedienstleister“ positiv begleiten; denn wir haben ein Interesse an engagierten kommunalen Unternehmen, aber auch Regionalversorgern, die sich dem Land verpflichtet fühlen

### **Zeitgemäßer Rechtsrahmen für die wirtschaftliche Betätigung**

Die Kommunen brauchen einen **zeitgemäßen Rechtsrahmen** für die wirtschaftliche Betätigung, der ihre veränderte Stellung im Markt und einen zunehmend liberalisierten Markt berücksichtigt. Wir werden die kommunalrechtlichen Bestimmungen mit dem Ziel der Stärkung der Handlungsfähigkeit der kommunalen Unternehmen überprüfen.

Lassen Sie mich an dieser Stelle kurz auf den Verkehrssektor eingehen:

Er ist für ca. 22 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich.

**Die Herausforderung heißt, die Mobilität der Menschen schadstoffarm zu gewährleisten.**

### **Rheinland-Pfalz-Takt – das Erfolgsmodell für Klimaschutz**

Der Rheinland-Pfalz-Takt als die umweltfreundliche Alternative zum motorisierten Individualverkehr ist eine Erfolgsgeschichte auch für den Klimaschutz. Mit 90 % Zuwachs bei den „Reisendenkilometern“ wurden alle früheren Prognosen deutlich übertroffen.

Dass wir dieses attraktive Angebot trotz gekürzter Bundesmittel erhalten unterstreicht, wie wichtig der Landesregierung die Mobilität mit öffentlichen Verkehrsmitteln auch aus Energie- und Klimaschutzgründen ist.

### **Effiziente Antriebssysteme und CO<sub>2</sub>-neutrale Treibstoffe – z.B. vom Acker**

Wir brauchen aber auch sparsame Fahrzeuge. Wer wüsste das nicht besser als wir im Flächenland Rheinland-Pfalz! Wir erwarten von der Automobilindustrie, dass sie deutlich stärkere Anstrengungen unternimmt für effiziente Antriebssysteme und CO<sub>2</sub>-neutrale Treibstoffe.

Es ist verständlich, dass bei niedrigem Verbrauch der Fahrzeuge die **Biotreibstoffe** erheblich zur Deckung des Kraftstoffbedarfes beitragen können.

Anspruchsvolle ordnungsrechtliche Vorgaben auf europäischer Ebene zur CO<sub>2</sub>-Emission der Fahrzeuge, die die unterschiedlichen Fahrzeugklassen berücksichtigen, setzen positive Impulse für Innovation. Die Geschichte der Umwelttechnologie in den Fahrzeugen beweist dies.

## **Demonstrationsprojekt Hybridbus im Stadtverkehr**

Mit konkreten **Demonstrationsprojekten**, z. B. der Hybridtechnik im Stadtbus, werden wir die Markteinführung solcher Antriebssysteme unterstützen.

## **Der Energiemix der nahen Zukunft braucht hoch effiziente Kraftwerke, auch auf Kohle- und Gasbasis.**

Energieeinsparung, Effizienzgewinne und der forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien sind die wichtigsten Beiträge im Energiemix der Zukunft für Klimaschutz und größere Unabhängigkeit von den Weltrohstoffmärkten.

Dennoch wird für einen Übergangszeitraum ein beträchtlicher Anteil unserer Energieversorgung mit Kohle und Gas erfolgen müssen. Dies ist eine einfache Rechnung.

Ein modernes Kohlekraftwerk, das ein altes ersetzt, reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen um über 30 %, in Kraft-Wärme-Kopplung mit Wirkungsgraden von über 60 % noch deutlich mehr.

Das heißt, ohne Erneuerung des veralteten Kraftwerkparcs werden wir in Deutschland die Klimaschutzziele nicht erreichen können.

Der Einsatz fossiler Brennstoffe in Kraftwerken lässt sich aber nur dann rechtfertigen, wenn höchste Effizienz und umfassende Wärmenutzung gewährleistet sind. Dies wiederum setzt verbrauchsnahe Standorte voraus. Dies sind die Ballungsräume - wie z.B. Mainz-Wiesbaden.

Wir unterstützen nachdrücklich die Forschung und Entwicklung von CO<sub>2</sub>-armen Kohlekraftwerken, zum Beispiel durch Abscheidung oder klimaunschädliche Lagerung.

Der zunehmend höhere Anteil erneuerbarer Energien - den wollen wir alle - braucht - weil Wind nicht immer weht und Sonne nicht immer scheint - **flexibel zuschaltbare Kraftwerksleistung**. Gaskraftwerke können dies bereits heute leisten. Künftig werden dies auch moderne Kohlekraftwerke leisten können, Kernkraftwerke jedoch nicht.

Wir brauchen die verbrauchsnahe konventionelle Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Konzentration der Kraftwerkskapazitäten in Norddeutschland und im Ruhrgebiet. Für die **Stabilität der Stromnetze und zur Vermeidung von Netzengpässen** – mit allen möglichen negativen Konsequenzen für den Wirtschaftsstandort Rheinland-Pfalz – ist dies unerlässlich.

## **Die Zukunft findet ohne Atomenergie statt**

## **Wir halten am Atomausstieg fest**

Die rheinland-pfälzische Landesregierung steht zum Ausstieg aus der Atomenergie.

### **Ausstieg ist CO<sub>2</sub>-neutral möglich**

Er ist **CO<sub>2</sub>-neutral möglich**, wenn in den nächsten 15 Jahren konsequent gehandelt und auf erneuerbare Energien und Effizienz gesetzt wird.

### **Keine Laufzeitverlängerung**

Und Biblis und Philippsburg zeitnah vom Netz

Die Landesregierung spricht sich gegen eine Laufzeitverlängerung für Atomkraftwerke aus. Wir lehnen eine Übertragung von Reststrommengen auf Biblis ab. Wir erwarten auch, dass die Blöcke in Philippsburg wie geplant vom Netz gehen.

### **Verantwortung für heutige und künftige Generationen**

Unsere Haltung ist geprägt von einer Verantwortung für heutige und künftige Generationen:

- Die Endlagerung der hoch radioaktiven Abfälle ist weltweit nicht geklärt.
- Die Risiken der Proliferation, d. h. der Weitergabe von Technologie zur Herstellung von Atomwaffen und von waffenfähigem Material, sind nicht gebannt, sondern werden immer deutlicher. Nordkorea und der Iran sind Beispiele hierfür.
- Der Schutz vor terroristischen Anschlägen ist nicht gewährleistet. Biblis A verfügt nicht einmal über eine Auslegung gegen den Absturz eines kleinen Flugzeugs.

### **Atomkraft bremst die Energiewende**

Die Atomenergie bremst die Energiewende. Sie zementiert die zentralistischen und starren Strukturen und steht immer in Konkurrenz zu einer flexiblen dezentralen Energieversorgung.

### **Atomkraft kann weltweit keinen Beitrag zum Klimaschutz leisten**

Die Atomkraft liefert z. Zt. 2 % des weltweiten Energiebedarfs. Es ist schlichtweg undenkbar, dass sie als reiner Stromproduzent einen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten kann, erst recht nicht angesichts der begrenzten Reichweite der Uranvorräte.

Ich halte es an dieser Stelle mit Prof. Klaus Töpfer: „Wir müssen alles daran setzen, um eine Zukunft ohne Kernkraftwerke zu haben. Wir müssen massiv investieren in die weitere Entwicklung erneuerbarer Energie, wir müssen massiv eine technologische Revolution umsetzen.“ (Dies sagte er in einem Interview mit dem Deutschlandradio am 3.5.2007).

### **Dinosauriertechnologie kostet Arbeitsplätze**

Wer auf die Technologien von gestern setzt, verpasst die Chancen für Innovationen, neue Produkte und neue Märkte. Das kostet Arbeitsplätze.

### **Unsere Klimaschutz- und Energiestrategien schaffen Arbeitsplätze.**

Lassen Sie uns stattdessen ganz im Sinne der Regierungserklärung von Kurt Beck **unseren Beitrag zum Klimaschutz und zur Versorgungssicherheit zu einem Wachstumsmotor für Arbeit und Wohlstand in unserem Land machen.**

### **Wachstumsmotor Gebäudesanierung**

Bereits heute ist die Gebäudesanierung eine Stütze der aktuellen guten konjunkturellen Entwicklung.

Die Baubranche profitiert. Dämmstoffe sind ein Wachstumssegment.

Rheinland-Pfalz verfügt über große – aber auch kleine und mittelständische Hersteller für energieeffiziente Bauprodukte.

### **Effizienztechnologien und erneuerbare Energien sind Türöffner für neue Märkte**

Der Maschinenbau, die Elektronikindustrie bis hin zur Chemiebranche profitieren davon.

### **Rheinland-pfälzische Unternehmen haben sich erfolgreich auf diesen Märkten etabliert**

Auf den Märkten der erneuerbaren Energien haben sich rheinland-pfälzische Unternehmen sehr erfolgreich etabliert.

Der Weltmarktführer für wesentliche Komponenten solarthermischer Kraftwerke ist ein Mainzer Unternehmen.

Wir haben leistungsfähige und wachstumsstarke Unternehmen, die die zurzeit größten Photovoltaikanlagen der Welt in Deutschland und Südeuropa errichten.

Wir haben innovative Unternehmen, die sich mit Technologien der Bioenergie erfolgreich auf den europäischen Märkten bewegen.

Windkraftanlagen aus Rheinland-Pfalz werden u. a. in Nordafrika, Japan und China aufgebaut.

87 % der einschlägigen Handwerksbetriebe im Land haben nach Angaben des Bundesverbandes der Solarwirtschaft im vergangenen Jahr solarthermische Anlagen verkauft oder installiert. Dabei wurden Investitionen von 100 Mio. € ausgelöst.

Jedes dritte mittelständische Unternehmen des Elektrohandwerks plant und installiert Solarstromanlagen.

**Verlässliche politische Rahmenbedingungen sind notwendig, um diese positive Entwicklung zu verstetigen**

In Rheinland-Pfalz sind Effizienztechnologien und regenerative Energien ein bedeutender Wirtschaftsfaktor in der gesamten Wertschöpfungskette mit wachsendem Exportanteil. Sie schaffen und sichern viele tausend Arbeitsplätze. **Lassen Sie uns gemeinsam dafür sorgen, dass sich durch verlässliche Rahmenbedingungen diese erfreuliche Entwicklung verstetigt, und zwar zugunsten wettbewerbsfähiger Arbeitsplätze und der notwendigen CO<sub>2</sub>-Minderung.**

**Die Verringerung der Treibhausgase ist für die Landesregierung die wichtigste Aufgabe, um die Folgen des Klimawandels zu begrenzen und gestaltbar zu machen. Dennoch wird es Anpassungen an stattfindende und nicht mehr zu verhindernde klimatische Veränderungen geben.**

Nicht erst seit heute beobachten wir Klimaveränderungen in Rheinland-Pfalz, verfolgen und bewerten Ergebnisse der regionalen und überregionalen Klimaforschung.

Es gibt allgemeine Trends wie wärmere Sommer, feuchtere und weniger kalte Winter sowie längere Vegetationszeiten.

Dennoch wirken sie sich räumlich unterschiedlich und unterschiedlich stark aus.

Die Entwicklung der regionalen Witterungsverläufe, mögliche Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung und den Hochwasserschutz, die naturgebundenen Produktionen wie Forst- und Landwirtschaft und Weinbau sowie Natur- und Artenschutz, aber auch die Gesundheit der Menschen oder Tiere stehen im Zentrum unserer Beobachtungen.

Grundsätzlich ist unser Hochwasserschutz „klimatauglich“. Unsere Strategie der Versickerung und Rückhaltung in der Fläche, die Aktion Blau sowie die Ausweitung des Hochwassermelddienstes auch auf die kleineren Flüsse bewähren sich vor dem Hintergrund zunehmender extremer, auch kleinräumiger Regenereignisse.

Landesforsten setzt nicht erst seit heute auf die Vielfalt von Baumarten. Die Versorgungsverbünde in der Trinkwasserversorgung, die wir zurzeit fördern, sind beispielhafte Maßnahmen der Anpassung.

Wir werden ressortübergreifend die Erkenntnisse bündeln und mit weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen, länderübergreifenden und internationalen Programmen und Projekten den fachlichen Austausch pflegen, um tatsächlich belastbare Prognosen herleiten zu können und die Tragfähigkeit unserer Anpassungsstrategien weiter zu verbessern. Aber wegen der Komplexität der Systeme und den notwendigen längerfristigen Beobachtungszeiträumen ist spekulativer Aktionismus nicht angebracht.

Ich werde im Herbst einen Klimaschutzbericht vorlegen, der sich auch mit den Erkenntnissen und den Konsequenzen des Klimawandels befasst.

Die Veränderungen unseres Weltklimas berühren die Menschen in Rheinland-Pfalz. Sie sind bereit etwas zu tun.

Gemeinsam können wir die Herausforderungen bewältigen,

- ob als Energieverbraucher/ -in, als Energieversorger,
- als Unternehmer/-in oder als Arbeitnehmer/ -in,
- vom Kindergarten bis zum Seniorenwohnen.



Wir werden Klimaschutz in unserer Gesellschaft zu einer Chance machen.

Lassen Sie uns unsere Stärken einbringen, die Talente, die Kreativität und die Bereitschaft unserer Menschen, sich für das Gemeinwohl einzusetzen; denn wir wissen alle, es geht um mehr beim Ressourcen- und Klimaschutz: Es geht um den Schutz unserer Lebensgrundlagen, es geht um globale und Generationengerechtigkeit.

Nicht zuletzt:

**Klimaschutz ist Friedenssicherung!**

## 2.2 Bundesebene

In Meseberg wurden im August 2007 die Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung beschlossen. Nachfolgend werden einige ausgewählte Aspekte kurz wiedergegeben:

- Kraft-Wärme-Kopplung: Die gekoppelte Produktion von Strom und Wärme soll ausgebaut werden, so dass der Stromanteil auf 25 % verdoppelt wird. Gefördert werden Neubau und Modernisierung, soweit die Anlagen zwischen 2007 und 2013 in Betrieb gehen. Nah- und Fernwärmenetze sollen ausgebaut werden.
- Erneuerbare Energien: Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion soll von jetzt 13 % bis 2020 auf 25 bis 30 % angehoben werden. Maßnahmen sind u.a.: Erhöhung der Degression für Photovoltaik, Optimierung des Repowerings von bestehenden Windkraftanlagen, Verbesserung der Rahmenbedingungen für Wasserkraft und Geothermie.
- Kohle / Kraftwerkstechnologie: CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerkstechnologien und Entwicklung der Technologie der Abscheidung und Untertagelagerung von Kohlendioxid (= Unterstützung von CCS<sup>1</sup>-Demonstrationsvorhaben)
- Intelligente Messverfahren: Die zügige Verbreitung zeitgenauer Verbrauchsmesstechnik zur Analyse und Steuerung des Eigenverbrauches soll einer Grundlage für weitere CO<sub>2</sub>-Minderungen sein; zunächst in Gewerbe und Industrie, später auch in Haushalten.
- Biogas: Zur Verringerung der Importabhängigkeit von Erdgas und als Impuls für eine klimaschonende Energieerzeugung soll Biogas verstärkt ins Erdgasnetz eingespeist werden.
- Moderne Energiemanagementsysteme: Einführung moderner Energiemanagementsysteme zur Nutzung der noch bestehenden Energieeffizienzpotentiale in der Industrie, wie beispielsweise energieeffiziente Antriebe, energiesparende Beleuchtungssysteme, Wärmenutzung.
- CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw / Ausbau von Biokraftstoffen: Ziel ist es, die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Pkw bis 2012 auf 120g CO<sub>2</sub>/km zu reduzieren. Unter Anrechnung der aus-

---

<sup>1</sup> CCS = Carbon Capture and Storage

zubauenden Biokraftstoffe<sup>1</sup> bedeutet dies, dass am Fahrzeug selbst ein Ziel von 130g CO<sub>2</sub>/km erreicht werden soll.

- Umstellung der Kfz-Steuer auf CO<sub>2</sub>-Basis und Verbrauchskennzeichnung für Pkw Aufkommensneutrale Umgestaltung der Kfz-Steuer durch Einbeziehung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Bemessungsgrundlage. Ziel ist ferner die übersichtliche Kennzeichnung von Pkw, die Auskunft über die Energieeffizienz eines Fahrzeugs gibt.
- Elektromobilität: Durch die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie sowie der Batterietechnik ergeben sich neue technische Antriebsoptionen, die zur CO<sub>2</sub>-Einsparung und der Reduktion von Feinstäuben bzw. NO<sub>x</sub> beitragen. V.a. für Hybridfahrzeuge ergeben sich neue Marktchancen. Insbesondere im Kurzstreckenbereich kann der Elektromotor zum Einsatz kommen.

---

<sup>1</sup> Biokraftstoffe können als weitgehend CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden, nicht jedoch als vollkommen treibhausgasneutral. Deshalb ist bei der Bewertung von Biokraftstoffen nach ihrem Treibhausgasminderungspotenzial die Treibhausgasemission bei der Herstellung von Biokraftstoffen mit zu berücksichtigen. Heimische Biokraftstoffe in Form von Pflanzenölen, Biodiesel oder Äthanol sind grundsätzlich positiv zu bewerten. Sie sind als Co-Produkte innerhalb landwirtschaftlicher Produktion zu betrachten. So fallen beispielsweise als Rückstände bei der Ölpressung bzw. Alkoholgewinnung hochwertige Futtermittel (z.B. so genannter Rapskuchen) mit an.

### 3 Klimawandel und Folgen von Klimaveränderungen

Bei der Untersuchung der Folgen des Klimawandels wird in drei Stufen vorgegangen:

Stufe 1: Analyse der Klimaveränderungen in Rheinland-Pfalz für den Zeitraum der letzten 100 bzw. 50 Jahre<sup>1</sup>. Die bisherigen Erkenntnisse aus diesbezüglichen Untersuchungen weisen nach, dass eine zeit- und raumdifferenzierte Datenanalyse erforderlich ist, um die Veränderungen tatsächlich erfassen zu können.

Stufe 2: Ausgehend von der Analyse der Vergangenheit und mit hochauflösenden regionalen Klima-projektionen (auf Basis der Ergebnisse der globalen Klimamodelle) kann nur mit Hilfe von unterschiedlichen Zukunftsszenarien der weltweiten Treibhausgasemissionen das Ausmaß der Gefährdung klimasensitiver Systeme durch die zukünftige Entwicklung untersucht und abgeschätzt werden.

Für Rheinland-Pfalz stehen seit Anfang 2007 regionalisierte Datensätze dreier Szenarien für den Zeitraum bis 2100 zur Verfügung, die mit zwei unabhängigen Verfahren erstellt wurden: WETTREG (wetterlagenbasierendes, statistisches Verfahren) und REMO (10x10 km – Gittermodell, eingebettet in das globale IPCC-Modell ECHAM5 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M)). Damit sind erstmalig in Rheinland-Pfalz Eingangsdaten in ausreichender Detailliertheit für weiterführende Untersuchungen und Modellrechnungen vorhanden (Beschreibung der Zukunftsszenarien siehe Fußnote)<sup>2</sup>.

Stufe 3: Feststellung von Vulnerabilitäten in den Bereichen Wasser, Natur und Landschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Gesundheit.

---

<sup>1</sup> Die Trend- und Wahrscheinlichkeitsaussagen in den Kapiteln Temperatur und Niederschlag basieren, falls nicht anders vermerkt, auf den Ergebnissen der Analyse der Klimaveränderung durch die Universität Frankfurt am Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt – Arbeitsgruppe Klimaforschung, SCHÖNWIESE – INKLIM 2012, Baustein II.

<sup>2</sup> Die Zukunftsszenarien A1B, A2 und B1 wurden vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderung - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) definiert und gehen von sich unterschiedlich entwickelnden Welten aus. Die Szenarienfamilie A1 beschreibt eine künftige Welt mit sehr raschem wirtschaftlichem Wachstum, mit einer Weltbevölkerung, deren Zahl bis Mitte des 21. Jahrhunderts zunimmt und danach abnimmt und 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. Im Ergebnis dieser unterschiedlichen Entwicklungen steigen die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen in allen Szenarien bis 2050 auf etwa 9 (B1), 16 (A1B) und 17 (A2) Gigatonnen Kohlenstoff (GtC). Anschließend sinken sie in B1 unter die Werte von 1990 und in A1B auf 13 GtC. In A2 steigen sie ungebremst auf fast 30 GtC. Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen betragen im Jahr 2100 etwa 540 (B1), 710 (A1B) und 840 (A2) ppm CO<sub>2</sub>. Zum Vergleich: Die CO<sub>2</sub>-Konzentration lag 1880 bei etwa 280 ppm und hat momentan 381 ppm CO<sub>2</sub> erreicht.

### 3.1 Klimatische Situation in Rheinland-Pfalz

Deutschland gehört zum „warm – gemäßigten Regenklima der mittleren Breiten“. Der ozeanische Einfluss sorgt in der Regel für milde Winter und nicht zu heiße Sommer.

Die klimatischen Verhältnisse in Rheinland-Pfalz sind gegensätzlich. Während Rheinhessen, das Gebiet der Weinstraße und das Moseltal zu den wärmsten Regionen Deutschlands gehören, ist das Klima von Hunsrück, Eifel und Westerwald rau. Dort fällt auch verhältnismäßig viel Niederschlag, während Rheinhessen zu den trockensten Bereichen Deutschlands zählt.

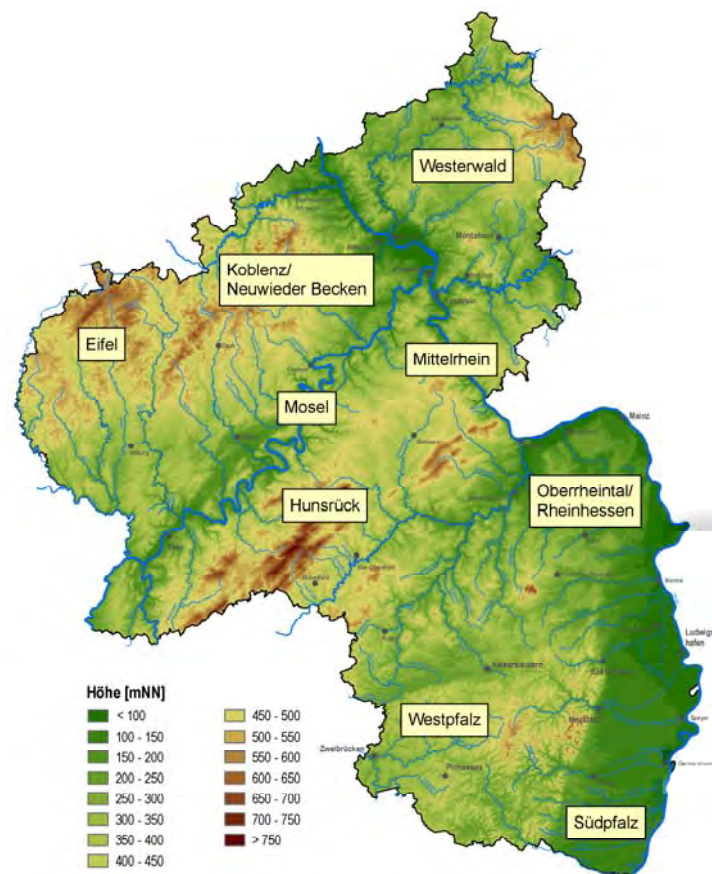


Abb. 3.1: Regionen von Rheinland-Pfalz

## 3.2 Klimawandel in Rheinland-Pfalz

„Beobachtungen und Messungen lassen **keinen Zweifel**, dass das Klima sich ändert. Die globale **Erwärmung**, der Meeresspiegelanstieg und das Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen findet **beschleunigt** statt“.

*Auszug aus dem 4. Sachstandsbericht (AR4) des IPCC, 2007*

Die Erwärmung führt in Mitteleuropa vor allem zu einer **Erhöhung der räumlichen und zeitlichen Variabilität**. Das Wettergeschehen wird zunehmend durch starke Gegensätze geprägt.

Auch in Rheinland-Pfalz ist der Klimawandel bereits Tatsache. Auf die bislang beobachteten Veränderungen wird bereichsweise eingegangen. Soweit der derzeitige Auswertestand es zulässt, sind Aussagen zu den Entwicklungskorridoren bis 2100 hinzugefügt.

Veränderungen lassen sich nur dann bewerten, wenn die lokalen Gegebenheiten mit berücksichtigt werden. Deshalb ist jedem Abschnitt dieses Kapitels zunächst eine Beschreibung der Situation in Rheinland-Pfalz vorangestellt.

### 3.2.1. Temperaturen

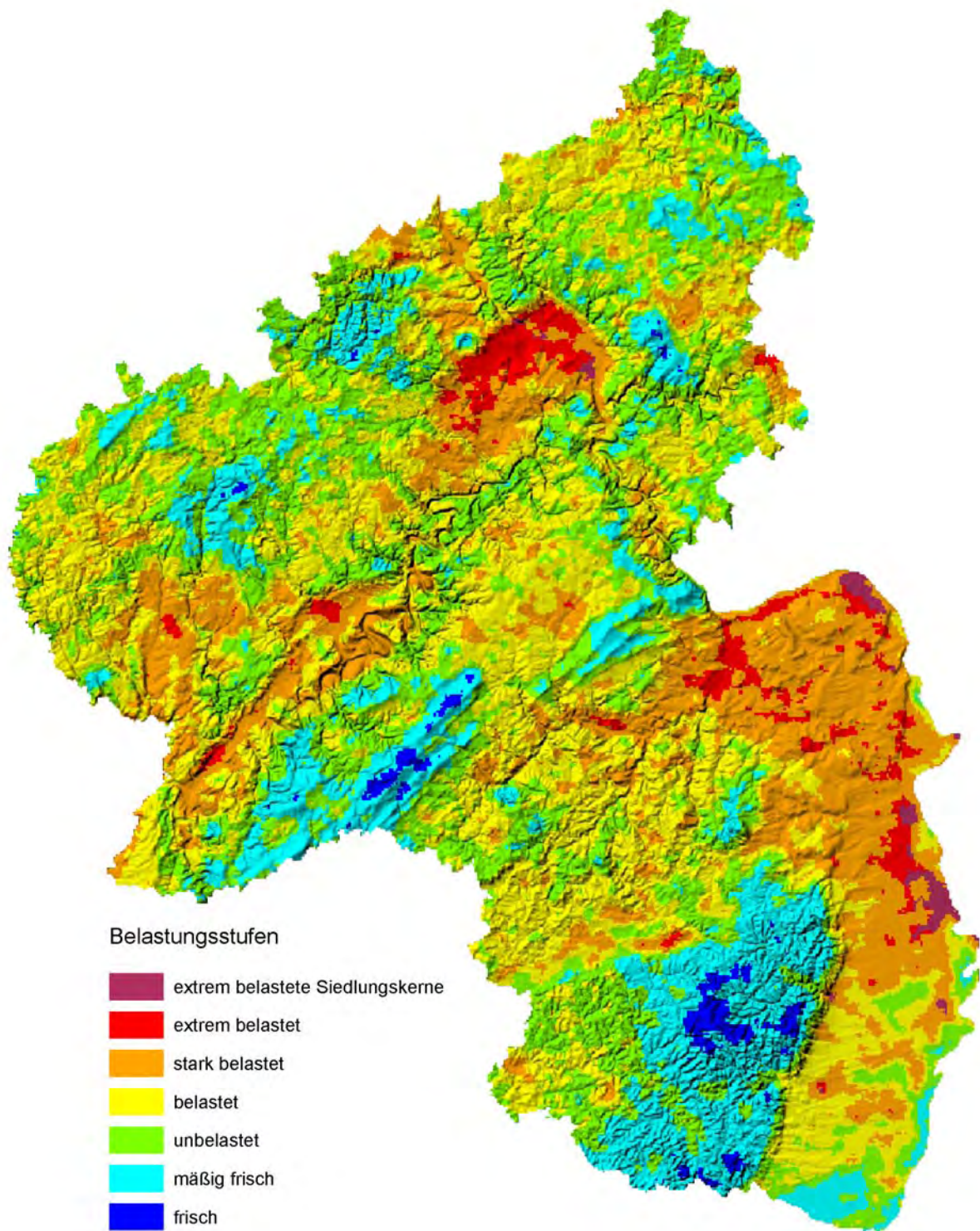
#### 3.2.1.1. Bioklimatische Belastungssituation in Rheinland-Pfalz

Wie alles Leben ist auch das menschliche an die meteorologischen Bedingungen seines Lebensraumes angepasst. Auf für ihn extreme Klimareize reagiert der menschliche Körper mit Abnahme der Leistungsfähigkeit, des Wohlbefindens und mit Stress und Erkrankungen. Bei Kältereizen ist ein Ausgleich durch entsprechende Verhaltensweisen und Kleidung möglich. Die Anpassungsmöglichkeiten bei Wärmebelastung sind allerdings gering, deshalb ist auch die Gefährdung, die von ihr ausgeht, besonders groß. Die bioklimatische Belastung auf Grund hoher Temperaturen verstärkt sich, wenn sie über mehrere Tage hinweg anhält. Bleibt auch über die Nachtstunden die Hitze gespeichert, wie es insbesondere in dicht bebauten Stadtgebieten der Fall ist, so findet der Mensch kaum erholsamen Schlaf. Da jedoch gerade die Nachtstunden der körperlichen Regeneration dienen, wird hierdurch die physische Belastung potenziert. Zusätzlich erhöht wird die Belastungssituation bei Schwüle und wenn kühlende Winde fehlen.

Die sehr unterschiedliche Belastungssituation in Rheinland-Pfalz wird in der Karte der Thermischen Belastungsgebiete (Basis: satellitengestützte Thermalkartierung Rheinland-Pfalz) dokumentiert (Abb. 3.2).

Auf Grund der natürlichen Verhältnisse ist der Rheingraben, das Koblenz-Neuwieder Becken und das Moseltal geprägt durch hohe Sommertemperaturen, hohe Schwülebelastung, häufige Windstille und austauscharme Wetterlagen mit deckender Inversion. Nutzungs- und siedlungsbedingt wird die Belastung dort vielerorts noch verstärkt. Deutlich zeichnen sich die Ballungs- und Verdichtungsräume als extrem belastet ab. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung sind sie besonders sensible Räume.

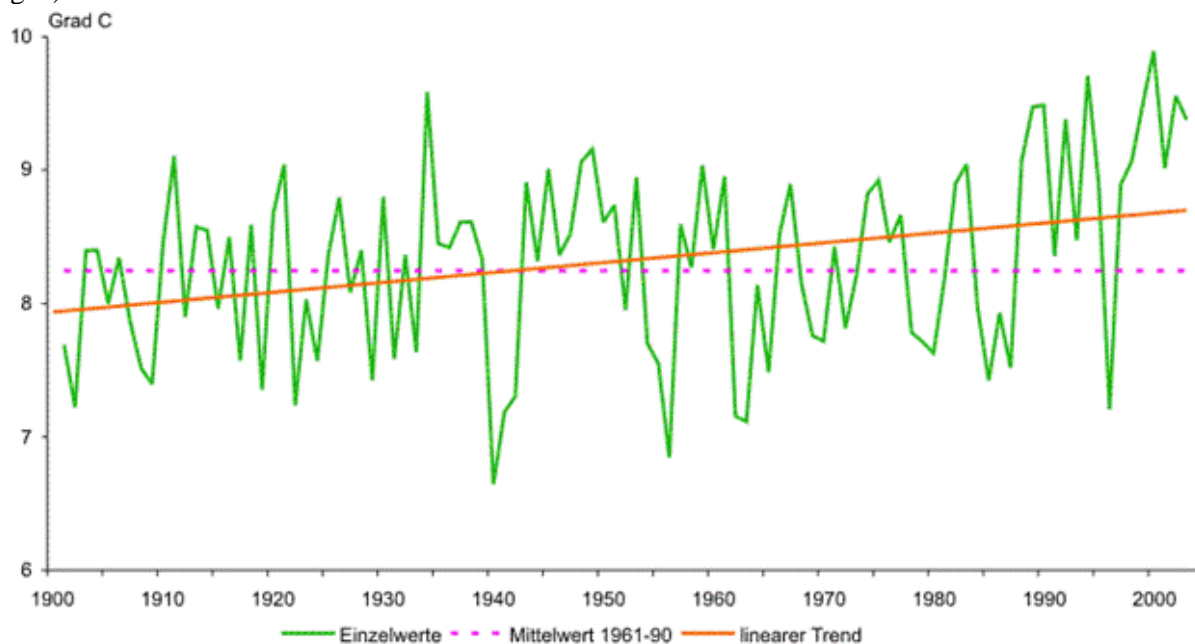




**Abb. 3.2:** Thermische Belastungsgebiete in Rheinland-Pfalz (aus statistischen Analysen von (aus Daten des Satelliten NOAA-14 abgeleiteten) Strahlungstemperaturen Juni-August 1995)

## 3.2.1.2. Bereits beobachtete Temperaturänderungen

Die letzten zehn Jahre des 20. Jahrhunderts waren sowohl in Deutschland als auch weltweit das wärmste Jahrzehnt des Jahrhunderts. Neun dieser Jahre und auch alle bisherigen Jahre des 21. Jahrhunderts lagen in Deutschland über dem langjährigen Mittel, sechs der zehn wärmsten Jahre fallen ebenfalls in diesen Zeitraum. Ein weiteres Indiz für die zunehmende Geschwindigkeit der Veränderungen ist die Inflation von Klimarekorden (2003: wärmster Sommer; 2006: wärmster Herbst; 2007: wärmster und trockenster April seit Beginn der systematischen meteorologischen Aufzeichnungen).



**Abb. 3.3:** Jährliche mittlere Tagesmitteltemperaturen in Deutschland seit 1900 (Quelle: Umwelt Kernindikatoren-system des UMWELTBUNDESAMTES (KIS); Thema Klimaänderungen)

Die natürliche Schwankungsbreite von Klimaparametern ist groß. Um den sich vollziehenden Klimawandel parametrisieren zu können, werden lineare Trendwerte verwendet.

**Tab 3.1:** Anstieg der Jahresmitteltemperatur

	Ausgewertete Zeitreihe	linearer Hundertjähretrend	Quelle
<b>Global</b>	1901 - 2000	<b>0,6</b> °C pro 100 Jahre	IPCC TAR; 2001 <sup>1</sup>
	1906 - 2005	<b>0,74</b> °C pro 100 Jahre	IPCC AR4; 2007 <sup>2</sup>
<b>Deutschland</b>	1906 - 2005	<b>0,8</b> °C pro 100 Jahre	DWD
<b>Rheinland-Pfalz</b>	1901 - 2004	<b>0,8</b> °C pro 100 Jahre	DWD

<sup>1</sup> IPCC TAR: 3. Sachstandsbericht (Third Assessment Report) des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)

<sup>2</sup> IPCC AR4: 4. Sachstandsbericht (Assessment Report 4) des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)

Im vergangenen Jahrhundert ist die Temperatur weltweit um durchschnittlich  $0,7\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$  angestiegen (je nach betrachteter Zeitreihe). In Europa betrug der mittlere Temperaturanstieg  $0,95\text{ °C}$  und in Deutschland  $0,8\text{ °C}$ .

Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Deutschland zeigt kein räumlich homogenes Bild (vgl. Tabelle 3.2). Nach Veröffentlichungen des Deutschen Wetterdienstes (verantwortlich für die Klimaüberwachung in Deutschland und Betreiber des nationalen Klimaarchivs), der eine nach Bundesländern getrennte Auswertung der Klimareihe von 1901 bis 2004 vorgenommen hat, sind die Unterschiede z. T. erheblich. Spitzenreiter beim Anstieg ist das Saarland mit  $1,1\text{ °C}$ . In Rheinland-Pfalz betrug die Erwärmung im Flächenmittel  $0,8\text{ °C}$  und entspricht damit dem bundesweiten Trend. Im Vergleich dazu ist die Jahresmitteltemperatur in Mecklenburg-Vorpommern lediglich um  $0,3\text{ °C}$  angestiegen.

**Tab. 3.2: Änderung der Jahresdurchschnittstemperatur in den einzelnen Bundesländern von 1901 bis 2004 (Quelle: DWD<sup>1</sup>)**

Bundesland	Temperaturanstieg
Baden-Württemberg	+ 0,8 °C
Bayern	+ 0,8 °C
Berlin	+ 0,8 °C
Brandenburg	+ 0,6 °C
Bremen	+ 0,5 °C
Hamburg	+ 0,9 °C
Hessen	+ 0,8 °C
Mecklenburg-Vorpommern	+ 0,3 °C
Niedersachsen	+ 0,8 °C
Nordrhein-Westfalen	+ 0,9 °C
<b>Rheinland-Pfalz</b>	<b>+ 0,8 °C</b>
Saarland	+ 1,1 °C
Sachsen	+ 0,6 °C
Sachsen-Anhalt	+ 0,7 °C
Schleswig-Holstein	+ 0,7 °C
Thüringen	+ 0,8 °C

Diese „Landes“-Werte geben allerdings noch immer einen mittleren Trend über die gesamten Landesflächen der Bundesländer. Lokal sind die klimatischen Veränderungen teilweise höher.

<sup>1</sup> DWD = Deutscher Wetterdienst



Beispielsweise stieg in den letzten 50 Jahren die Jahresmitteltemperatur im Oberrheingraben um +1,5 °C an. Noch aussagekräftiger für den Wandel der thermischen Situation in diesem Raum ist die Veränderung der Anzahl der Schwellwerttage. Die Anzahl der Frosttage (Tag mit einer Tiefsttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes) hat sich um –30 Tage vermindert. Im Gegenzug hat die Anzahl der Sommertage (Tag mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25 °C) im Mittel um +20 Tage zugenommen (Quelle: KLARA – Studie, Bereich Baden – Württemberg).

#### Jahreszeitliche Struktur der Temperaturerhöhung:

Im Mittel sind alle Jahreszeiten in Rheinland-Pfalz wärmer geworden. Der größte Beitrag liefert der Winter mit einer Temperaturerhöhung im Bereich von 1 °C–2 °C. Mit einem Bereich von 0,5 °C–1,5 °C ist die Erwärmung im Frühjahr und Sommer etwas geringer. Der Herbst ist im nordöstlichen Rheinland-Pfalz (Westerwald) in den letzten 50 Jahren im mittleren Trend (–0,5 °C) sogar etwas kühler geworden. In den übrigen Regionen ist das Temperaturmittel im Herbst nahezu gleich geblieben oder geringfügig angestiegen (+0,5 °C).

**Tab 3.3: Mittlerer jahreszeitlicher Temperaturtrend (1951-2000) in Rheinland-Pfalz**

Jahreszeit	Temperaturänderung
Frühling	+0,5 °C bis +1,5 °C
Sommer	+0,5 °C bis +1,5 °C
Herbst	-0,5 °C bis +0,5 °C
Winter	+1,0 °C bis +2,0 °C

#### Häufigkeit außergewöhnlicher Jahreszeiten (Wahrscheinlichkeitszunahme für das Auftreten besonders warmer Jahreszeiten; Wahrscheinlichkeitsabnahme für das Auftreten besonders kalter Jahreszeiten):

Der Hitzesommer 2003 war in ganz Mitteleuropa extrem. In Deutschland lag die Temperatur im Flächenmittel um 3,4 °C höher als normal (bezogen auf die gültige Normalperiode 1961-1990). Ein solcher Sommer, der in ganz Deutschland wochenlang für außergewöhnlich hohe Temperaturen sorgt, ist sehr selten. Die Wahrscheinlichkeit für das nochmalige Auftreten ist jedoch in den letzten 30 Jahren um das 20-fache angestiegen (Quelle: JONAS; STAEGER; SCHÖNWIESE, 2005).

**Bezogen auf die Regionen in Rheinland-Pfalz sind „besonders warme“ Jahreszeiten, d.h. Jahreszeiten mit Mitteltemperaturen, wie sie im statistischen Mittel dort nur alle 100 Jahre zu erwarten wären (Jährlichkeit von 100 Jahren), fast überall wahrscheinlicher geworden.**

Dabei ist vor allem die Überschreitungswahrscheinlichkeit von besonders warmen Frühjahren in ganz Rheinland-Pfalz enorm angewachsen. Das bedeutet, dass ein so warmes Frühjahr, wie es bisher alle 100 Jahre in Rheinland-Pfalz wahrscheinlich war, jetzt alle 1 bis 5 Jahre auftreten kann.

Für die anderen Jahreszeiten ist die Zunahme der Überschreitungswahrscheinlichkeit nicht so gravierend, aber im Winter in ganz und im Sommer und Herbst in weiten Teilen von Rheinland-Pfalz zu beobachten.

Im Sommer ist der Süden von Rheinland-Pfalz hiervon ausgenommen. In der Pfalz ist das Auftreten eines Sommers, dessen Mitteltemperatur dort ein 100jähriges Ereignis darstellen würde, entgegen der sonstigen Entwicklung, sogar unwahrscheinlicher geworden.

Im Herbst wird eine West-Ost-Teilung sichtbar. Im östlichen Rheinland-Pfalz (Rheingraben und rechtsrheinische Gebiete) lässt sich, wie auch im angrenzenden Hessen, keine Wahrscheinlichkeitserhöhung für einen regional besonders warmen Herbst erkennen, im restlichen Rheinland-Pfalz dagegen schon.

**Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten regional „besonders kalter“ Jahreszeiten hat im Gegenzug dazu überall in Rheinland-Pfalz abgenommen. Im Herbst gilt diese Aussage nur für den Westen.**

Wie bei den besonders warmen Jahreszeiten sind auch bei den besonders kalten Jahreszeiten die Veränderungen im Frühling am stärksten. Ähnlich stark wie die Zunahme bei der Überschreitungswahrscheinlichkeit für das Auftreten besonders warmer Frühjahre, ist die Unterschreitungswahrscheinlichkeit hinsichtlich eines besonders kalten Frühlings gesunken. Ohne Veränderung der Streuung hat sich die Häufigkeitsverteilung der Frühjahrsmitteltemperaturen hin zu höheren Werten verschoben. Ein ähnliches Verhalten zeigen die Mitteltemperaturen der anderen Jahreszeiten in abgeschwächter Form.

Dabei nehmen auch wiederum der Herbst im Rheintal und in den rechtsrheinischen Regionen und der Sommer in der Pfalz eine Sonderstellung ein:

Die Herbstmitteltemperaturen im Osten von Rheinland-Pfalz zeigen wie die Überschreitungshäufigkeit keine Änderung der Unterschreitungswahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeit für einen regional außergewöhnlichen Herbst ist entlang des Rheins und im rechtsrheinischen Gebiet von Rheinland-Pfalz demnach unverändert geblieben.

In der Pfalz nimmt die Unterschreitungswahrscheinlichkeit hinsichtlich eines für die Region besonders kalten Sommers, wie sonst auch in Rheinland-Pfalz, ab. Insofern verzeichnet der Süden von Rheinland-Pfalz eine abnehmende Neigung zu regional außergewöhnlichen Sommern, egal ob besonders warm oder besonders kalt.

### Häufigkeit von Tagen mit jahreszeitlich außergewöhnlichen Temperaturen:

Die Schwelle für jahreszeitlich außergewöhnliche Tage ist so angesetzt, dass sie von 1 % aller Tageswerte über- bzw. unterschritten wird.

**Extrem warme Frühlingstage** sind in ganz Rheinland-Pfalz viel **häufiger, außergewöhnlich kalte Tage** entsprechend **seltener** geworden.

Im **Sommer** treten ebenfalls im ganzen Land **extrem heiße Tage verstärkt** auf. Außergewöhnlich kalte Tage hingegen sind nur im Westen deutlich seltener, ansonsten in Rheinland-Pfalz eher gleichwahrscheinlich geblieben.

Keine Änderung zeigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extrem warmer und extrem kalter Tage im Herbst in Rheinland-Pfalz.

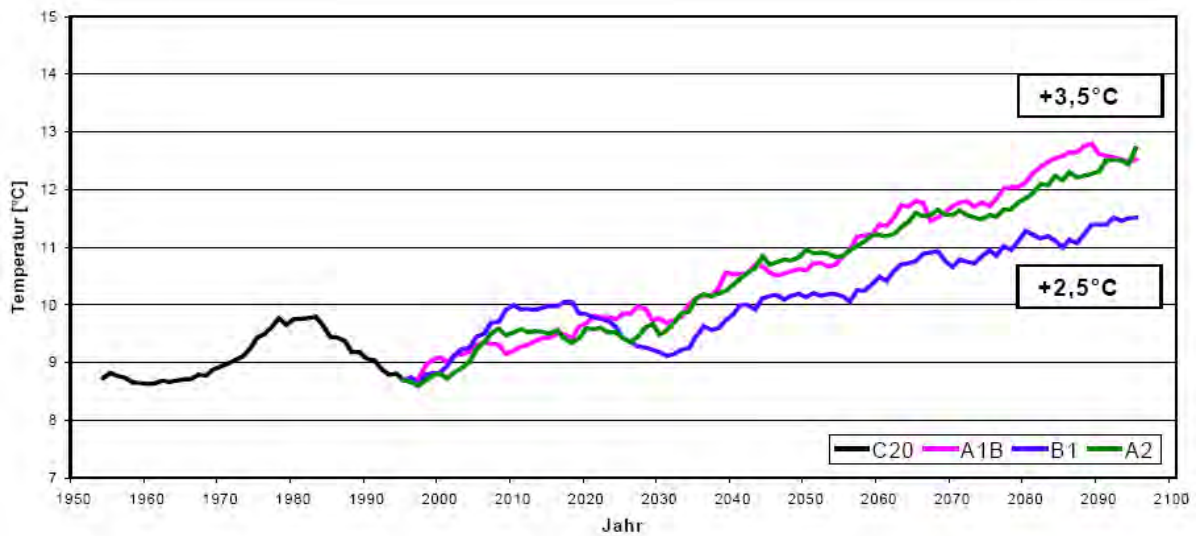
Im **Winter** ist die **Wahrscheinlichkeitszunahme** hinsichtlich **einzelner extrem warmer Tage** höher als die Zunahme der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines insgesamt außergewöhnlich warmen Winters. Die Wahrscheinlichkeit für extrem kalte Tage ist gleichbleibend. Dies bedeutet, dass die **Winter** in ihrem **Verlauf zunehmend extremer** geworden sind.

#### 3.2.1.3. Temperaturanstieg bis 2100

Zur Bewertung künftiger möglicher Klimaentwicklungen und damit als Grundlage für die Bewertung der Risiken und Chancen künftiger Klimaänderungen werden mit Klimamodellen mögliche Entwicklungskorridore des künftigen Klimas für unterschiedliche Zukunftsszenarien der Treibhausgasemissionen gerechnet. Hierzu werden Ensembles aus mehreren Modellläufen und von unterschiedlichen Modellen gebildet. Eines dieser Klimamodelle ist das globale Ozean-/Atmosphärenmodell ECHAM5 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg.

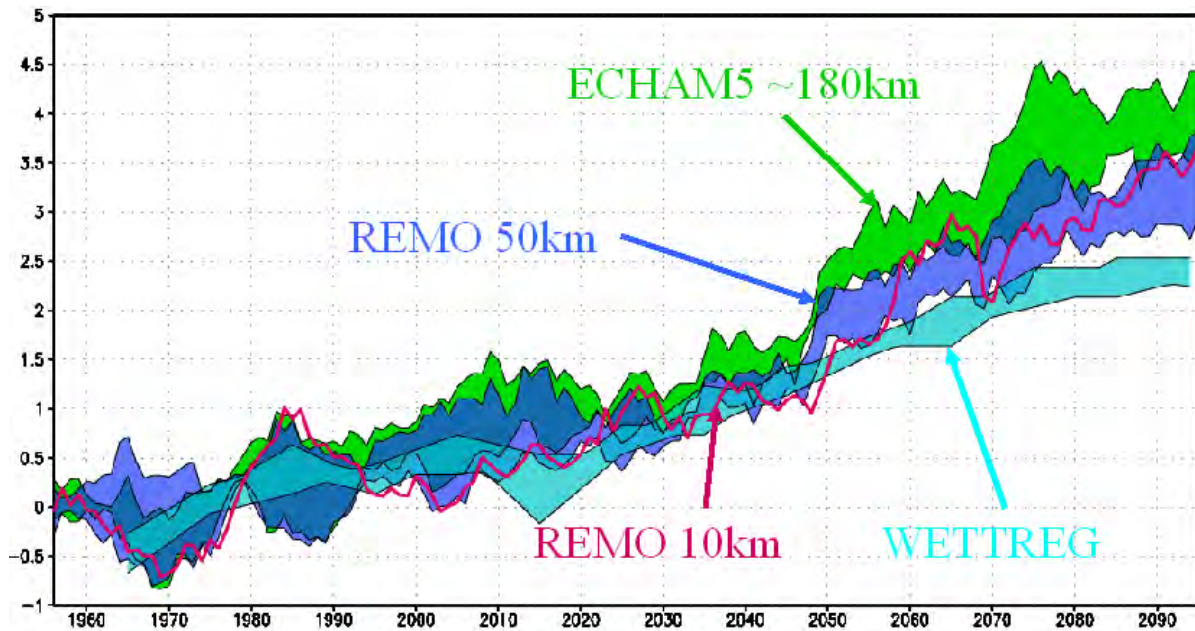
Die großräumige Ozeanzirkulation im Nordatlantik spielt eine wesentliche Rolle für das europäische Klima. Diese thermohaline Zirkulation verfrachtet oberflächennah warme Wassermassen aus den Tropen nach Norden („Golfstrom“) und kalte Wassermassen in großer Tiefe nach Süden. Eine Abschwächung dieser thermohalinen Umwälzbewegung führt zu einer Reduzierung des ozeanischen Wärmetransports nach Norden und wirkt dämpfend auf die Klimaerwärmung in Europa. Gekoppelte Ozean-/Atmosphärenmodelle beschreiben diese Prozesse. Für das 21. Jahrhundert zeigen die Klimasimulationen mit ECHAM5 mit zunehmender globaler Erwärmung eine Reduzierung der Umwälzbewegung. Zum Ende dieses Jahrhunderts wird eine Verringerung um bis zu 30 % erwartet.

Das in dieses Modell eingebettete Regionalmodell (REMO) berechnet dennoch für Deutschland eine **mittlere Erwärmung bis Ende 2100 zwischen 2,5 °C und 3,5 °C** in Abhängigkeit von den Treibhausgasemissionen (Szenarien B1, A1B und A2).



**Abb. 3.4:** Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Deutschland in °C, simuliert mit REMO für die Szenarien B1, A1B und A2 (Kurve geglättet durch gleitendes Mittel über 10 Jahre); (Quelle: UMWELTBUNDESAMT/MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE, 2006)

Die Ergebnisse der Regionalisierung der ECHAM5 – Läufe mit dem wetterlagenbasierenden, statistischen Verfahren WETTREG zeigen die gleiche Größenordnung, wobei die REMO – Werte für die Zukunftsszenarien mit höheren Emissionswerten etwas über den WETTREG – Werten liegen. Für diese Szenarien driften ab Mitte des Jahrhunderts die Sommertemperaturen beider Verfahren auseinander (siehe Abb. 3.5).



**Abb. 3.5:** Verlauf der Entwicklung der Sommermitteltemperatur (als Differenz zu den derzeitigen mittleren Verhältnissen) im Szenario A1B im Modellvergleich (Quelle: SPEKAT; ENKE; KREIENKAMP, 2007)

Der Winter zeigt weiterhin gute Übereinstimmung (siehe Abb. 3.6).

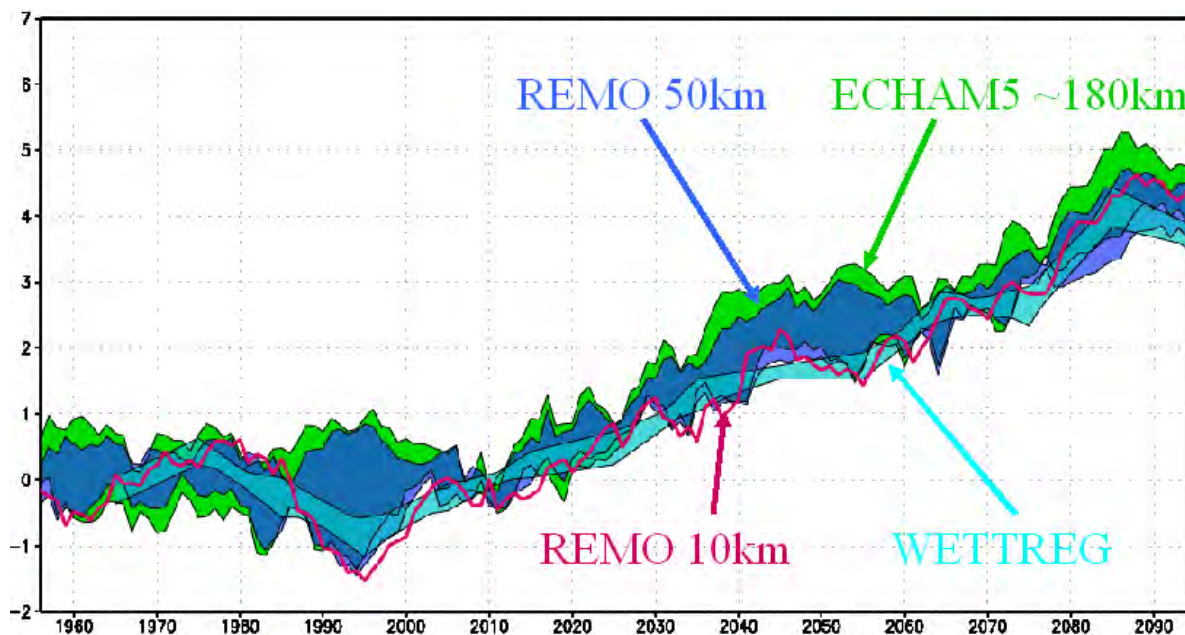


Abb. 3.6: Verlauf der Entwicklung der Wintermitteltemperatur (als Differenz zu den derzeitigen mittleren Verhältnissen) im Szenario A1B im Modellvergleich (Quelle: SPEKAT; ENKE; KREIENKAMP, 2007<sup>1</sup>)

Die bereits beobachtete Dominanz der winterlichen Erwärmung setzt sich auch zukünftig fort. Erst ab Mitte des Jahrhunderts und nur bei den REMO – Ergebnissen für die höheren Emissionsszenarien gleicht sich die Entwicklung der Jahreszeitenmitteltemperaturen in Deutschland im Sommer und Winter einander an.

<sup>1</sup> Abb. 3.5 und Abb. 3.6: Modellvergleich ECHAM5 (Gitterpunkte in Deutschland, drei Läufe), REMO 50 km (Gitterpunkte in Deutschland, drei Läufe), REMO 10 km (Gitterpunkte in Deutschland, ein Lauf) und WETTREG (10 Realisierungen zu 20 Jahren); (Quelle: SPEKAT; ENKE; KREIENKAMP, 2007)



Jahresmittel- und Jahreszeitenmitteltemperaturen sind als beschreibende Indikatoren für den Klimawandel gut geeignet. Die Zahlenwerte sind jedoch wenig fassbar und von geringer Aussagekraft bezüglich der Auswirkungen der Erwärmung.

Die in der Meteorologie übliche Angabe der Auftretenshäufigkeit von sogenannten Schwellwerttagen, wie Eis-, Frost-, Sommertagen und „heißen Tagen“, kennzeichnet die Wirkung des Klimas auf Mensch und Natur besser.

Im Hitzejahr 2003 lag beispielsweise in den drei thermisch am stärksten belasteten Regionen von Rheinland-Pfalz, den Ballungsräumen Koblenz/Neuwied, Mainz und Mannheim/Ludwigshafen, die Zahl der Tage mit Maximumtemperaturen über 30 °C (heißer Tag), 3-4 mal so hoch wie „normal“ (siehe Abb. 3.7).

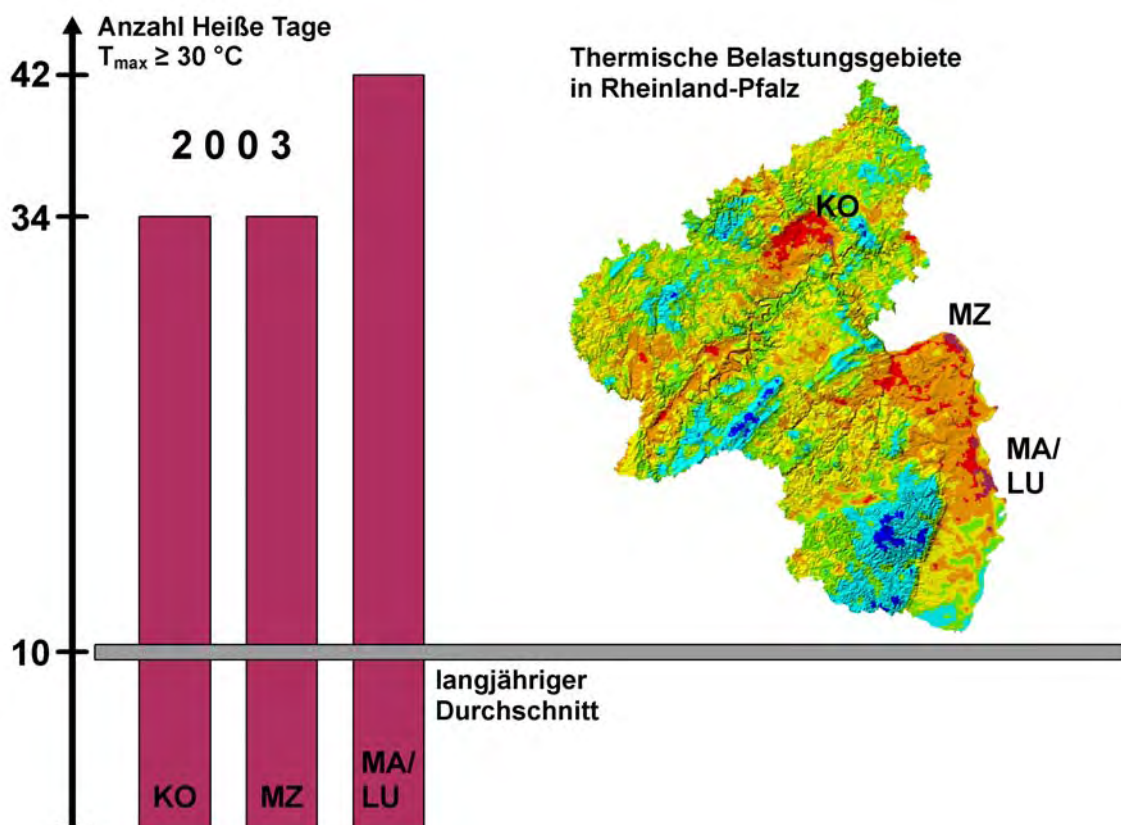
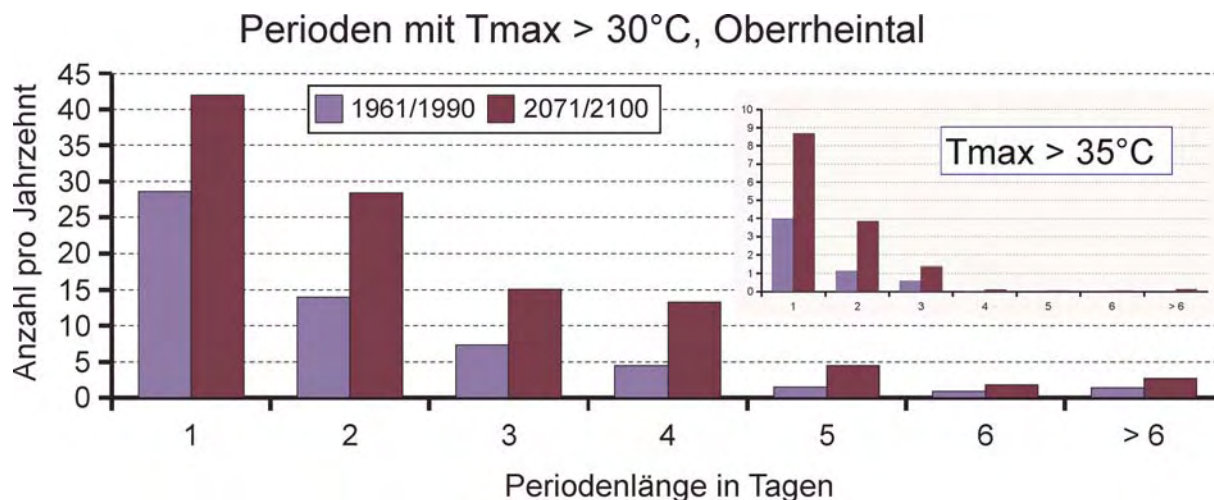


Abb. 3.7: Vergleich der Anzahl der „heißen Tage“ des Jahres 2003 mit dem langjährigen Durchschnitt in den drei thermisch am stärksten belasteten Regionen von Rheinland-Pfalz am Beispiel der Städte Koblenz, Mainz und Mannheim/Ludwigshafen

Heiße Tage werden bei der zunehmenden Erwärmung nicht nur häufiger. Sie treten auch in Form von immer **häufiger** werdenden längeren Serien (**Hitzewellen**) auf. Im Oberrheingraben steigt für das Szenario A1B (WETTREG - Regionalisierung) die Zahl von Hitzeperioden (Andauer 2 bis 5 Tage), 2-3 mal so stark im Vergleich zu den Beobachtungen, während die Zahl einzeln auftretender Tage über 30 °C zwar auch zunimmt, sich aber „nur“ um ein Drittel erhöht (siehe Abb. 3.8).



**Abb. 3.8:** Häufigkeitsverteilung der Länge von Perioden, in denen der Schwellwert der Tageshöchsttemperatur von 30 °C (in der kleinen Abbildung von 35 °C) überschritten wird. Zählheit ist die Anzahl pro Dekade. Die Datenbasis für die Balken ist das Mittel der Oberrheinstationen Karlsruhe, Heidelberg und Freiburg für die Kontrolllauf-Periode 1961–1990 und das Szenario A1B 2071–2100, jeweils über die 3 mal 10 darin enthaltenen Dekadensimulationen gemittelt (Quelle: SPEKAT; ENKE; KREIENKAMP, 2007)

### 3.2.2. Niederschläge

#### 3.2.2.1. Niederschlagsverteilung in Rheinland-Pfalz

Die Niederschlagsverhältnisse in Rheinland-Pfalz sind regional sehr unterschiedlich. Dies betrifft sowohl die Höhe als auch die Häufigkeit der Niederschläge. Zu ihrer Erfassung verfügt Rheinland-Pfalz über ein dichtes Niederschlagsmessnetz. Allein die Wasserwirtschaftsverwaltung (WWV) betreibt 50 automatisch registrierende bzw. digital aufzeichnende Niederschlagsmesser (Ombrometer). Hinzu kommen die Stationen der Land- und Forstwirtschaftsverwaltung, des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und weitere Messstellen von Verbänden, Kommunen und privaten Dienstleistern. In der kartographischen Messstellenübersicht sind die Stationen gelb und orange gekennzeichnet, deren Messungen exemplarisch vorgestellt werden (siehe Abb. 3.9).

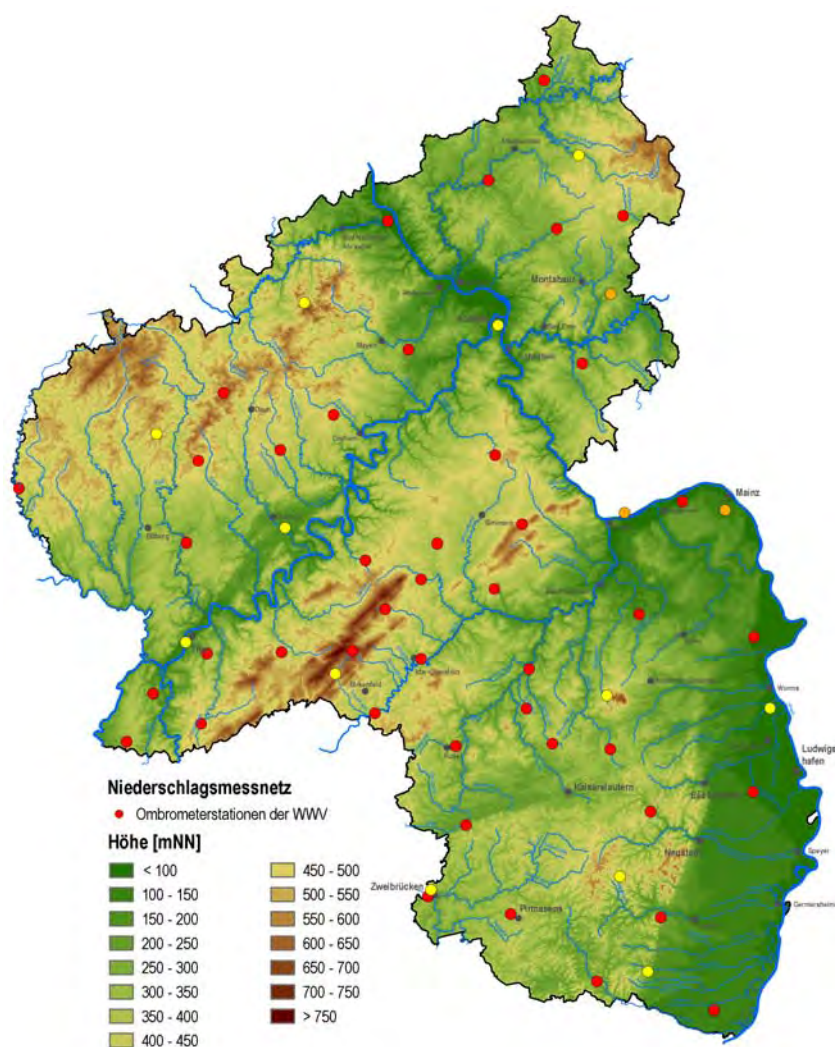
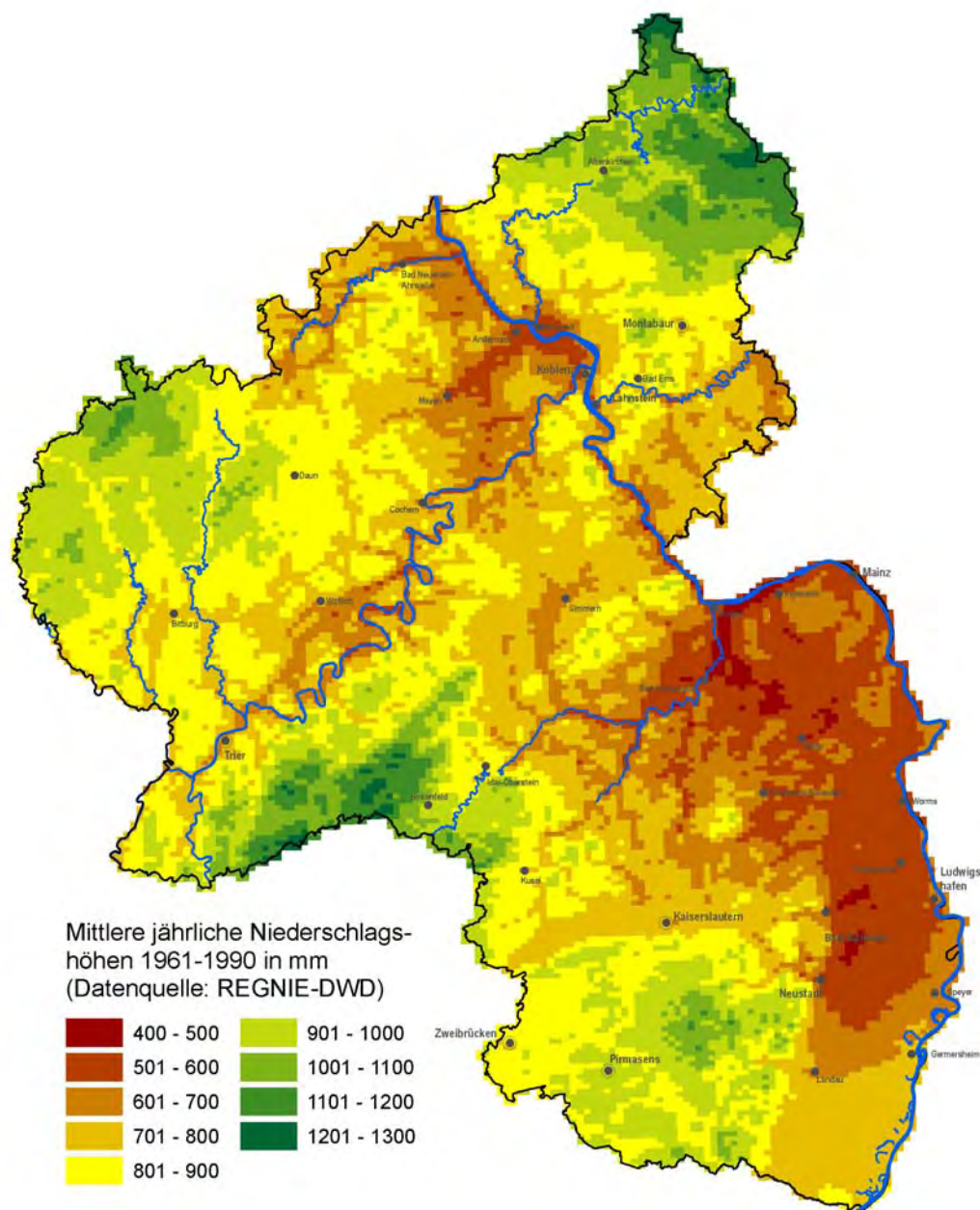


Abb. 3.9: Niederschlagsmessstationen in Rheinland-Pfalz



Räumliche Struktur der Niederschlagsverhältnisse:

Die Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz wird vor allem durch die Mittelgebirge geprägt. Auf der windzugewandten Seite (Luv) der Gebirge, wo die feuchten Luftmassen aus Westen zum Aufsteigen gezwungen werden, fällt deutlich mehr Niederschlag. Während das geschützt gelegene Rheinhessen stellenweise unter 500 mm Jahresniederschlag aufweist, werden an exponierten Punkten in der Eifel, im Hunsrück und im Westerwald über 1200 mm erreicht.



**Abb. 3.10: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen der Normalperiode (1961-1990) in mm <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> REGNIE = Methode zur Regionalisierung von Niederschlagshöhen (DWD)

### Jahreszeitliche Struktur der Niederschlagsverhältnisse:

Auch über das Jahr hinweg fällt der Niederschlag nicht auf alle Monate gleichmäßig verteilt. Der „Jahresgang“ der mittleren Monatshöhen zeigt in Rheinland-Pfalz regionaltypische Unterschiede.

Zur Verdeutlichung sind charakteristische Jahresgänge einander gegenübergestellt (Abb. 3.11). Pro Region wurde jeweils eine Messstelle als Repräsentant herausgegriffen. Die Darstellung erfolgt auf Basis des langjährigen Klimamittels 1961-1990 (derzeit verwendete Normalperiode). Der Jahresgang in den Darstellungen beginnt mit dem Monat März und damit mit dem Beginn des meteorologischen Frühjahrs.

In den niederschlagsreichen Luv – Lagen (quadratische Symbole) der Gebirge fällt sehr viel Niederschlag im Winterhalbjahr. Besonders stark ausgeprägt ist dies in Eifel und Hunsrück (grün hinterlegt).

Wohingegen in der Westpfalz und im Westerwald (grau hinterlegt) die Niederschlagsverteilung eher „zweihöckrig“ (mit Minima im April und im Hochsommer/Frühherbst) erscheint (beide Regionen liegen auf annähernd gleicher geographischer Länge).

Im Lee der Gebirge (dreieckige Symbole) ist dann keine Dominanz der Winterniederschläge mehr feststellbar.

Die großen Flusstäler von Rhein und Mosel (gelborange hinterlegt) sind sehr niederschlagsarm.

Im Rheingraben und im Koblenz-Neuwieder Becken (Kreissymbol) dominieren die Sommerniederschläge.

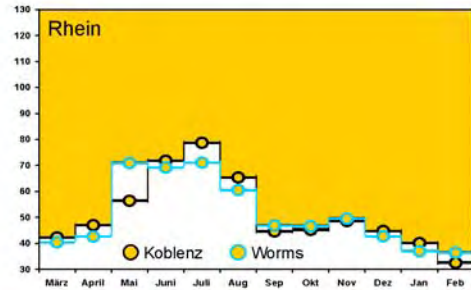
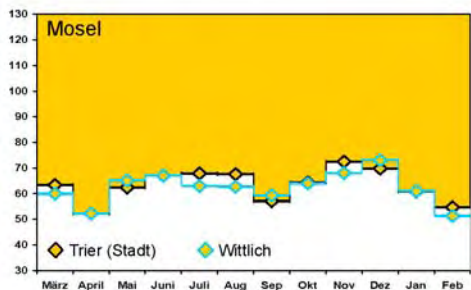
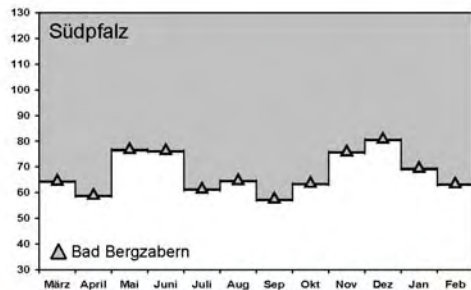
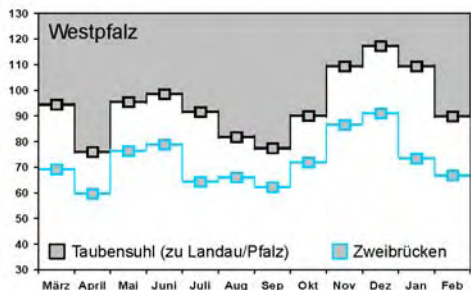
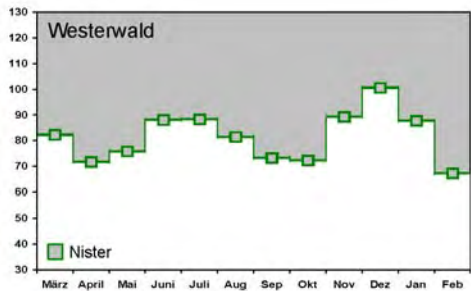
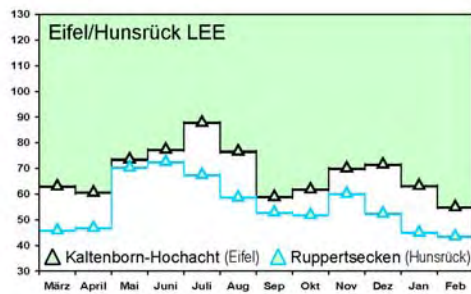
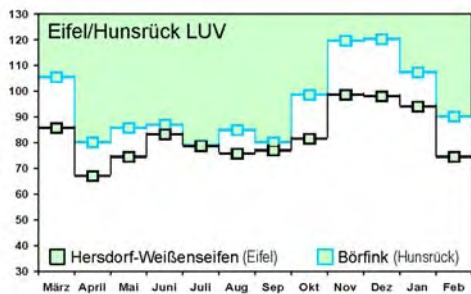


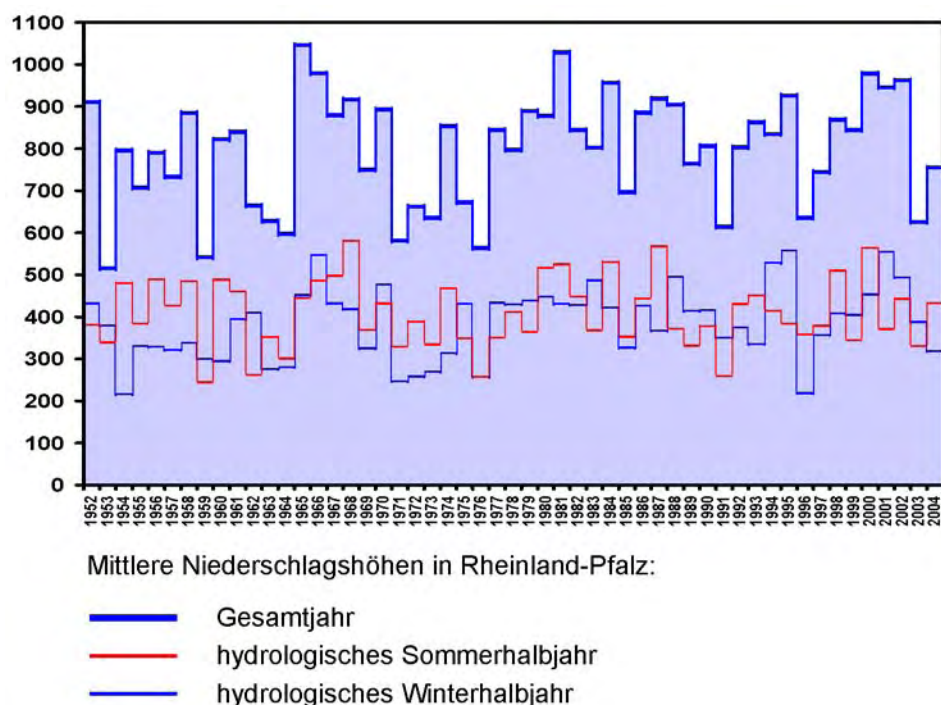
Abb. 3.11: Charakteristische Jahrgänge der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen der Normalperiode (1961-1990) in mm

### 3.2.2.2. Bereits beobachtete Niederschlagsänderungen

Das Niederschlagsgeschehen ist von Natur aus sehr heterogen. Dies zeigt sich auch in einem komplexen Trendbild.

#### Änderung der mittleren Niederschlagsverhältnisse:

Die jährlichen Niederschlagshöhen von Rheinland-Pfalz, wie auch die jeweilig auf die hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahre (Mai bis Oktober und November bis April) entfallenden Anteile, differieren stark von Jahr zu Jahr (siehe Abb. 3.12). Diese Fluktuationen erschweren eine sichere Trendanalyse.



**Abb. 3.12: Mittlere Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz (1952-2004) in mm**

Rein optisch bewertet, scheinen die mittleren Niederschlagsverhältnisse in Rheinland-Pfalz seit Ende der siebziger Jahre auf einem höheren Niveau angesiedelt zu sein, wobei vor allem die Werte aus den hydrologischen Winterhalbjahren ab diesem Zeitpunkt im Mittel entsprechend höher liegen (siehe Abb. 3.13). Dies korrespondiert mit der beobachteten Zunahme der Häufigkeit von Westwindwetterlagen.

Im Mittel über Rheinland-Pfalz haben sich die Niederschlagsniveaus beider hydrologischer Jahreszeiten aneinander angeglichen (siehe auch Kap. 3.2.4.2: Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser in Rheinland-Pfalz).



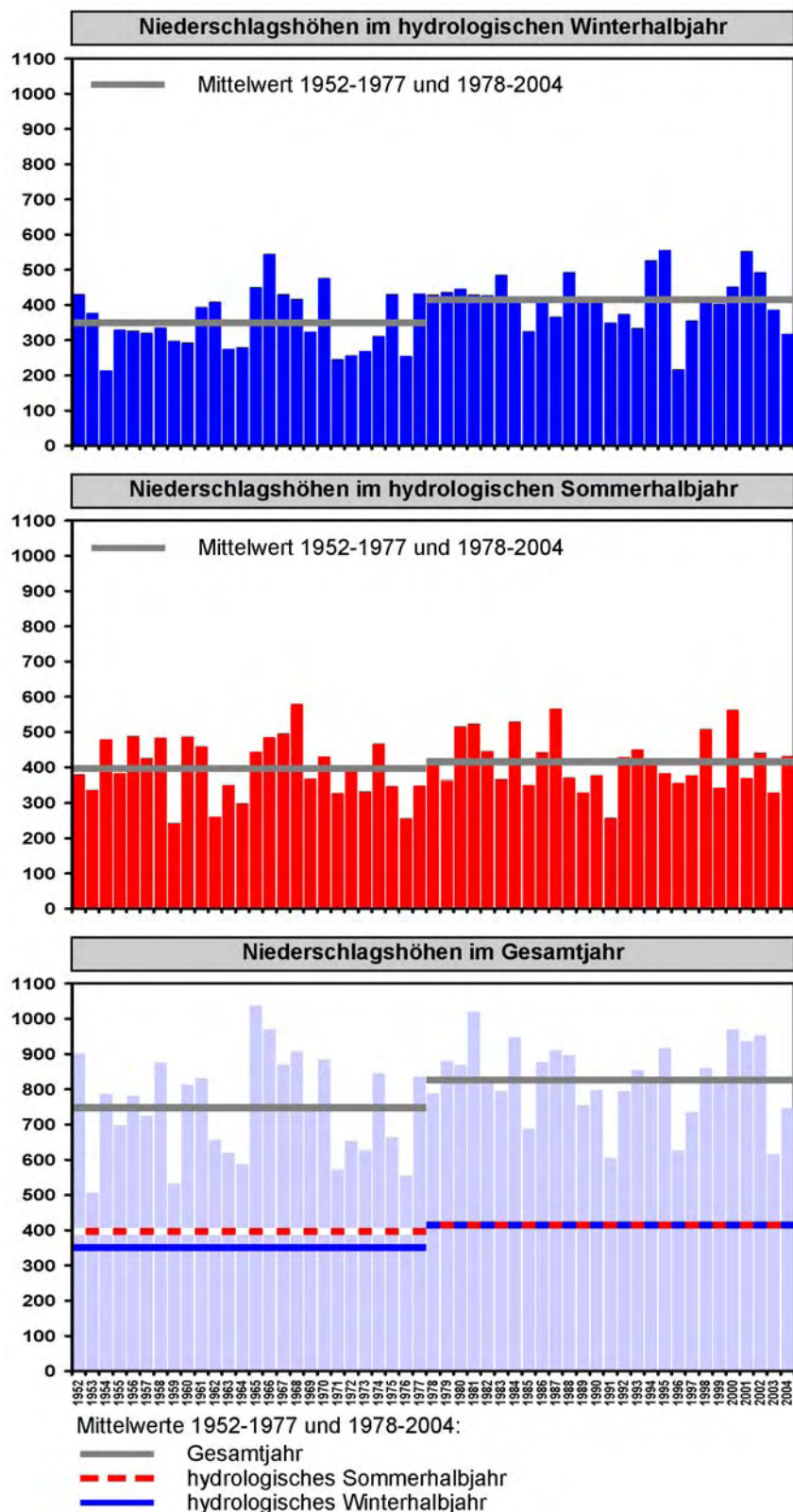


Abb. 3.13: Mittlere Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz (1952-2004) in mm, mit Mittelwertbalken 1952-1977 und 1978-2004

### Niederschlagstrend in Rheinland-Pfalz:

Erst seit 50 Jahren gibt es für Rheinland-Pfalz flächendeckende Niederschlagsmessungen. Längere Zeitreihen existieren nur an einzelnen Messorten. Rheinland-Pfalz-weite, bzw. flächenbezogene Analysen sind deshalb nur über den Zeitraum ab 1951 möglich.

Tabelle 3.4 vergleicht das Trendverhalten der letzten 50 Jahre mit dem Langzeittrend (linearer Trend über 100 Jahre) an den Stationen Eppenrod (Westerwald), Geisenheim (liegt grenznah zu Rheinland-Pfalz) und Mainz, für die entsprechend lange Zeitreihen vorhanden sind. Die Stabilität der Trendausagen bezüglich ihrer Richtung und ihrer Größenordnung zueinander wird hierdurch veranschaulicht.

**Tab. 3.4: Linearer Niederschlagstrend der mittleren Niederschlagsspende in Prozent**

Station	1901-2003	1901-2000	1951-2000	Trendverhalten
Eppenrod	+21 %	+20 %	+11 %	Zunahme
Geisenheim	+4 %	+3 %	-8 %	+/- keine Änderung
Mainz	+22 %	+25 %	+13 %	Zunahme

### Jahreszeitliche Struktur der Trendentwicklung:

Die Trendanalyse der letzten 50 Jahre belegt eine Umverteilung der Niederschläge im Jahresgang, verursacht durch eine Veränderung der Wetterlagenhäufigkeit.

**Frühling, Herbst und Winter** sind nahezu in ganz Rheinland-Pfalz tendenziell **feuchter** geworden, wobei die Monate März, Oktober und Dezember die stärksten Niederschlagszunahmen aufweisen.

Die Niederschlagshöhen, aufsummiert über die Sommermonate zeigen hingegen eine deutlich fallende Tendenz. Vor allem der August ist im Mittel trockener geworden.

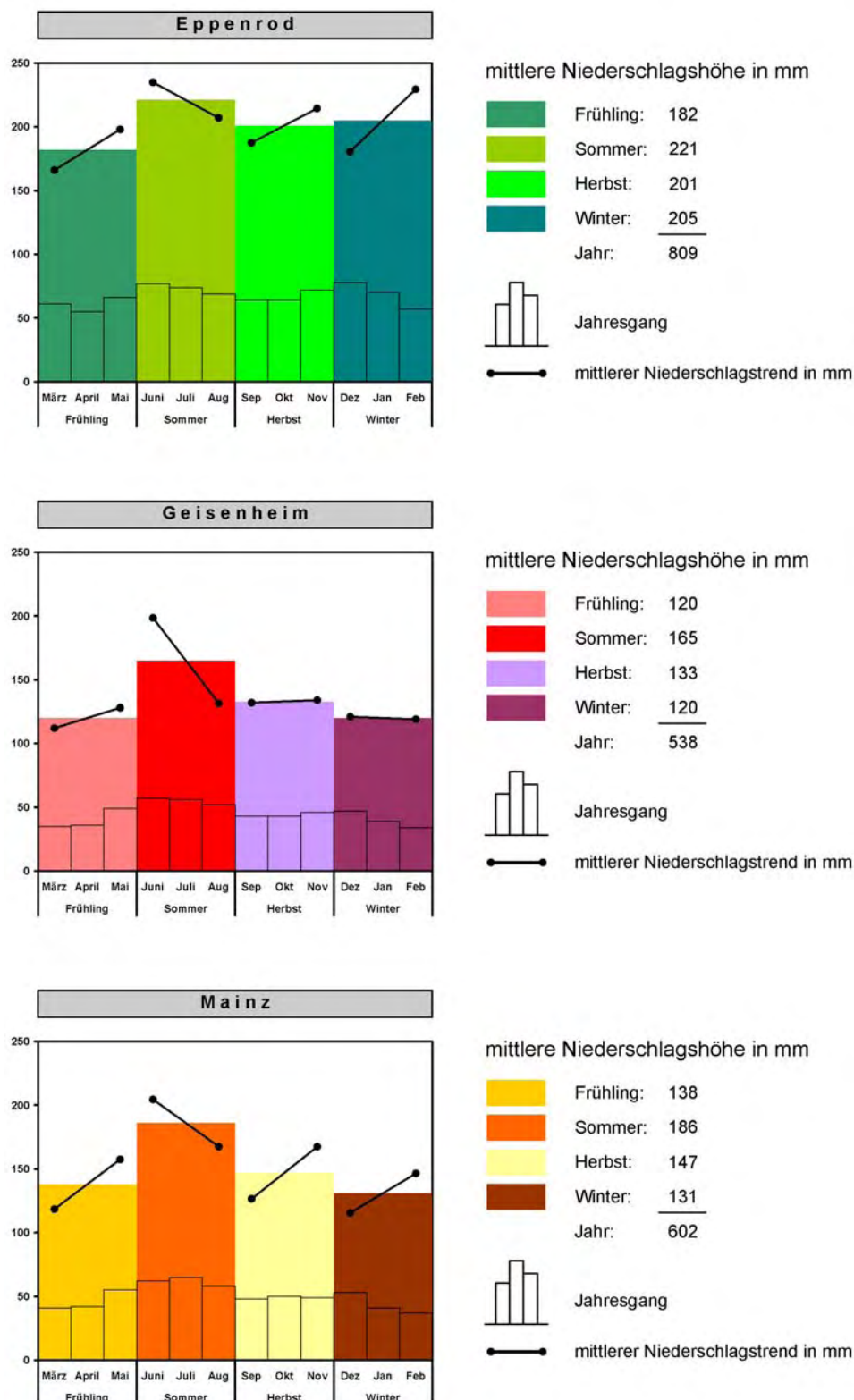


Abb. 3.14: Mittlere jahreszeitliche Niederschlagshöhen (1951-2000) und lineare Trends der Jahreszeiten an den Stationen Eppenrod, Geisenheim und Mainz in mm




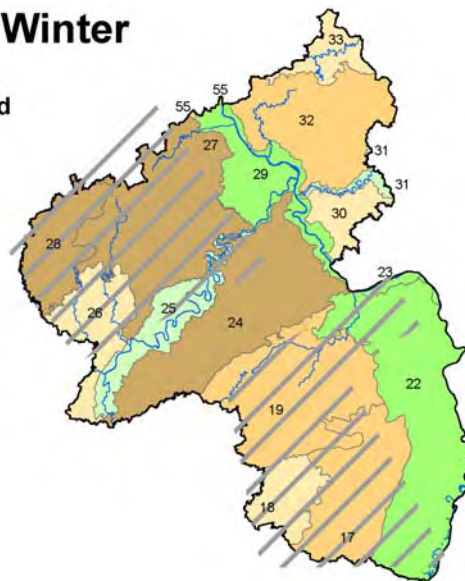
### Räumliche Struktur des Trends:

Im Frühjahr, Herbst und Winter zeigen die beobachteten relativen Trends bei der Zunahme der jahreszeitlichen Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz die gleichen räumlichen Strukturen. In allen drei Jahreszeiten sind es die selben Gebiete, die den stärksten Anstieg aufweisen (regionale hot-spots: Eifel, Hoch- und Idarwald sowie Pfälzer Wald).


Das Trendbild bei der prozentualen Abnahme der Sommerniederschlagshöhen ist in Rheinland-Pfalz hingegen recht homogen. Einzige Ausnahme bildet das Mittelrheingebiet. Hier ist der relative Trend der Abnahme deutlich geringer als im restlichen Land.

## Frühjahr, Herbst, Winter

 starker positiver Trend

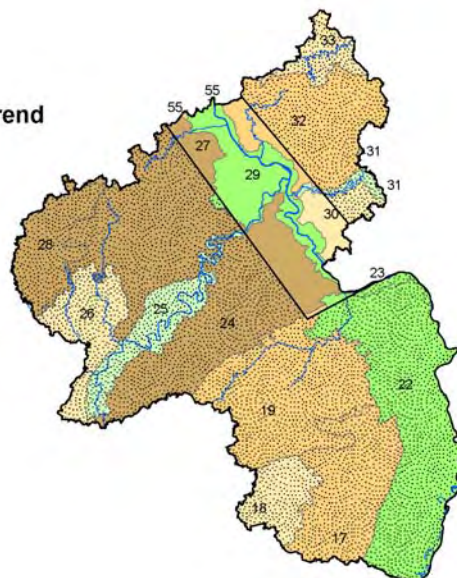


## Sommer

 deutlicher negativer Trend

### Naturräumliche Gliederung

- 17 - Haardtgebirge
- 18 - Pfälzisch-Saarländisches Muschelkalkgebiet
- 19 - Saar-Nahe-Bergland
- 22 - Nördliches Oberrheintiefend
- 23 - Rhein-Main-Tiefend
- 24 - Hunsrück
- 25 - Moseltal
- 26 - Gutland
- 27 - Osteifel
- 28 - Westeifel
- 29 - Mittelrheingebiet
- 30 - Taunus
- 31 - Giessen-Koblenzer Lahntal
- 32 - Westerwald
- 33 - Bergisch-Sauerländisches Gebirge
- 55 - Niederrheinische Bucht



**Abb. 3.15: Regionale Unterschiede des prozentualen Trends (Trendzeitraum: 1951-2000) bei den jahreszeitlichen Niederschlagshöhen**

#### Häufigkeit besonders niederschlagsreicher Jahreszeiten:

Die Neigung zu besonders niederschlagsreichen Jahreszeiten, d.h. die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Jahreszeiten mit einer Niederschlagshöhe, wie sie im statistischen Mittel für diese Jahreszeit nur alle 100 Jahre zu erwarten ist, hat sich in Rheinland-Pfalz nicht wesentlich verändert. **Trotz der beobachteten Umverteilung der jahreszeitlichen Niederschlagshöhe, sind besonders niederschlagsreiche Winter nicht wahrscheinlicher und besonders niederschlagsreiche Sommer nicht unwahrscheinlicher geworden.** Anders als beispielsweise im östlich angrenzenden Hessen, wo der Rückgang der Neigung zu besonders niederschlagsreichen Sommern ausgeprägt ist. Lediglich im Frühling entlang des Rheins (ohne Rhein/Main-Gebiet) und der Mosel und im Herbst im ganzen Land hat sich die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen besonders hoher jahreszeitlicher Niederschlagshöhen leicht verstärkt.

#### Häufigkeit von extrem niederschlagsreichen Tagen:

**In Rheinland-Pfalz ist ganzjährig keine Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit für extrem hohe Tagesniederschläge zu beobachten.** Dies steht im Gegensatz zu Hessen, wo vielerorts extrem niederschlagsreiche Sommertage seltener geworden sind.

Wahrscheinlichkeitszunahmen treten in Rheinland-Pfalz nur regional auf, wobei jahreszeitlich betrachtet, unterschiedliche Regionen betroffen sind.

Mit Ausnahme des Moseltals ist die Wahrscheinlichkeit für extrem feuchte Tage in Rheinland-Pfalz im Frühjahr unverändert.

Im Sommer verzeichnet lediglich - zusätzlich zum Moseltal - der Hunsrück einen schwachen Häufigkeitszuwachs.

Ausgeprägter ist die steigende Neigung zu extrem hohen Tagesniederschlägen im Herbst und im Winter, wobei dies im Herbst auf das Rheintal und die rechtsrheinischen Regionen von Rheinland-Pfalz beschränkt bleibt und im Winter vor allem im Westen zu verzeichnen ist.

#### 3.2.2.3. Niederschlagsentwicklung bis 2100

Klimaprojektionen für die Zukunft sind nicht in der Lage, das Wetter für bestimmte Tage der Zukunft vorherzusagen. Durch die Modellläufe wird nicht der Zustand selbst, sondern die Statistik des Zustandes der Atmosphäre ermittelt. Klimaprojektionen geben darüber Auskunft, wie sich in Abhängigkeit der Emissionsszenarien die Eintrittswahrscheinlichkeiten und die mittleren Häufigkeiten ändern. Deshalb ist es sinnvoll, immer nur längere Mittelungszeiträume und deren Statistiken zu vergleichen. Üblich ist ein Mittelungszeitraum von 30 Jahren. Dies entspricht auch der Zeitspanne, wie sie von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) bei der Festlegung der „Normalperiode“ verwendet wird. Die Mittelwerte aus der Normalperiode werden als Bezugswerte benutzt um Abweichungen aktueller Zeitabschnitte von der „Norm“ anzugeben (z.B. zu kalte oder zu warme Monate). Die derzeit gültige Normalperiode ist der Zeitraum 1961-1990.

Die globalen Klimamodelle haben eine Auflösung von rund 200 x 200 km. Eine höhere räumliche Auflösung der Globalmodelle ist rechenzeittechnisch bislang nicht möglich. Kleinerskalige Phänomene, wie die Hebungsprozesse an den deutschen Mittelgebirgen (Luv- und Lee-Effekte) fallen quasi durch die Maschengitter. Zum regionalen Downscaling werden dynamische Modelle (ähnlich den Globalmodellen) mit geringerem Gitterabstand oder statistische Methoden verwendet.

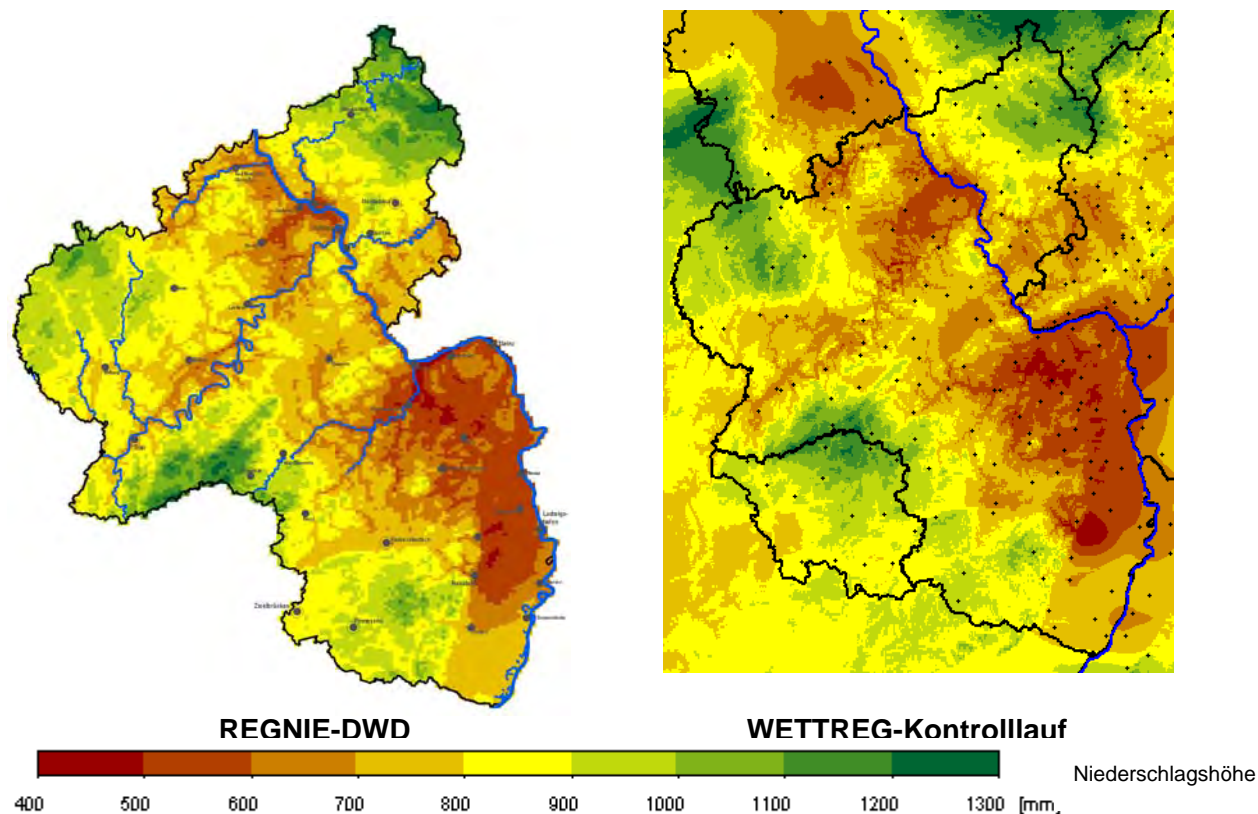
- Dynamische Verfahren fokussieren auf Teilregionen des globalen Modells und rechnen in diesen Gebieten mit deutlich höherer räumlicher Auflösung („Nesting“), wobei an der Bearbeitung des jeweiligen Teilgebietes die Antriebsdaten aus einem globalen Klimamodell zum Einsatz kommen. Hochentwickelte dynamische Regionalisierungen sind sehr aufwendig und haben einen hohen Bedarf an Computer – Ressourcen.
- Statistische Verfahren gehen davon aus, dass die globalen Modelle im großräumigen Maßstab in der Lage sind, die Muster der atmosphärischen Zirkulation treffend zu beschreiben. Es werden statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Mustern/Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen identifiziert, wobei die aus der Vergangenheit (Messreihen von Klimastationen) gewonnenen Beziehungen auf die Projektionen der globalen Modelle angewendet werden.

Ein Vergleich der Ergebnisse der voneinander unabhängigen Verfahren kann methodenbedingte Unterschiede aufdecken und somit helfen, die Belastbarkeit der Aussagen hinsichtlich der regionalen Niederschlagsentwicklung abzuschätzen. Mit den für Rheinland-Pfalz vorliegenden Datensätzen von REMO (dynamisches Gittermodell) und WETTREG (wetterlagenbasierendes, statistisches Verfahren) ist die Grundvoraussetzung hierfür gegeben. Die REMO- und WETTREG- Datensätze sind beide Regionalisierungen der selben Modellläufe des gekoppelten Atmosphären – Ozean – Zirkulationsmodells ECHAM5. In ihrer tendenziellen Aussage stimmen beide Verfahren überein.

Für alle betrachteten Zukunftsszenarien wird die weitere Fortsetzung des in Rheinland-Pfalz beobachteten Trends zu **steigenden Winterniederschlagshöhen** und zur **Abnahme der mittleren Niederschlagsspenden im Sommer** abgeschätzt.

Entwicklung der Aufteilung der Niederschlagshöhen auf die hydrologischen Halbjahre: (basierend auf den WETTREG – Regionalisierungen)

Klimamodelle benutzen für die Kontrollläufe (Modellgüteprüfung durch Vergleich mit Klimaaufzeichnungen) nur die beobachteten Treibhausgaskonzentrationen (Klimamessdaten gehen nicht ein) und für die Szenarielläufe die Treibhausgaskonzentrationen für die Zukunft, wie sie für die einzelnen Szenarien vorgegeben werden. Das heutige Klima wird von den Kontrollläufen, so wie Klimaprojektionen es für die Zukunft tun, auch nur im Mittel wiedergegeben. Die Zeitreihen für die Vergangenheit stimmen in ihrem Verlauf nicht immer gleich gut mit den gemessenen Werten überein. Es werden deshalb zur Bewertung der Modellgüte nur mittlere Zustände, Statistiken und regionale Muster herangezogen. Die gleiche Vorgehensweise bietet sich auch bei den regionalisierten Daten an, um ihre Aussagefähigkeit und Belastbarkeit hinsichtlich der regionalen Unterschiede des Klimasignals zu bewerten (siehe Abb. 3.16). Da WETTREG mit Stationsdaten arbeitet, liefert es auch nur für Stationen, an denen Messreihen zur Verfügung stehen, synthetische Klimazeitreihen für die Zukunft. Die Flächendarstellungen werden durch höhenabhängige Interpolationen erzeugt. Bei der Interpretation der Karten ist dies zu berücksichtigen.



**Abb. 3.16: Vergleich der gemessenen mit den simulierten Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990<sup>1</sup>**

Der in Rheinland-Pfalz bereits seit Beginn der siebziger Jahre beobachtete Anstieg der Niederschlagshöhen im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) wird sich nach den WETTREG – Klimaprojektionen linksrheinisch noch weiter verstärken. Zur Mitte des Jahrhunderts soll zusätzlich im gesamten südlichen Rheinland-Pfalz sowie rechtsrheinisch eine Entwicklung zu geringeren Niederschlagshöhen im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) einsetzen.<sup>2</sup>

Diese Entwicklungen zeigen die WETTREG-Projektionen für alle der drei Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 (Szenarien mit höheren Emissionswerten: A1B (Emissionsrückgang ab 2050), A2 (ungebremster Anstieg); Szenario mit niedrigeren Emissionswerten: B1).<sup>3</sup>

Für Rheinland-Pfalz ergeben die Regionalisierung der ECHAM5 – Läufe mit WETTREG insgesamt zum Ende des Jahrhunderts, bei leicht zunehmenden Jahresniederschlagshöhen, eine deutliche **Verschiebung der Niederschlagsspenden auf das hydrologische Winterhalbjahr**.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Die Punkte in der Karte WETTREG-Kontrolllauf kennzeichnen Niederschlagsmessstationen

<sup>2</sup> Siehe Abb. 3.17: Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 und der Periode 2071-2100

<sup>3</sup> Siehe Abb. 3.18: Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Periode 2071-2100 für A1B, A2 und B1

<sup>4</sup> Vergleiche Abb. 3.19: Mittlere Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 und Abb. 3.20: Mittlere Niederschlagshöhen der Vergleichsperiode 2071-2100



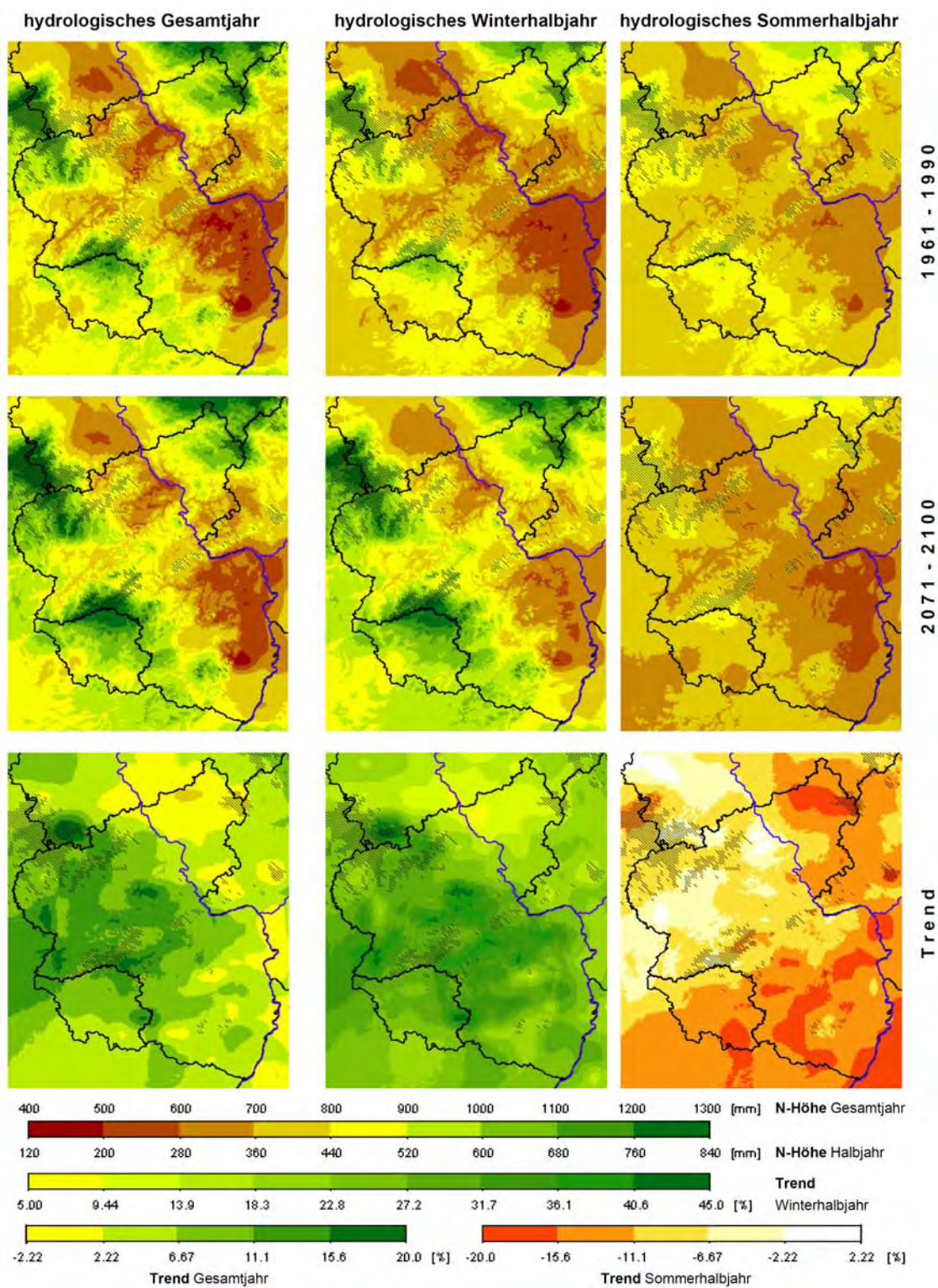


Abb. 3.17: Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 und der Periode 2071-2100 (WETTREG;A1B;Mitt.)



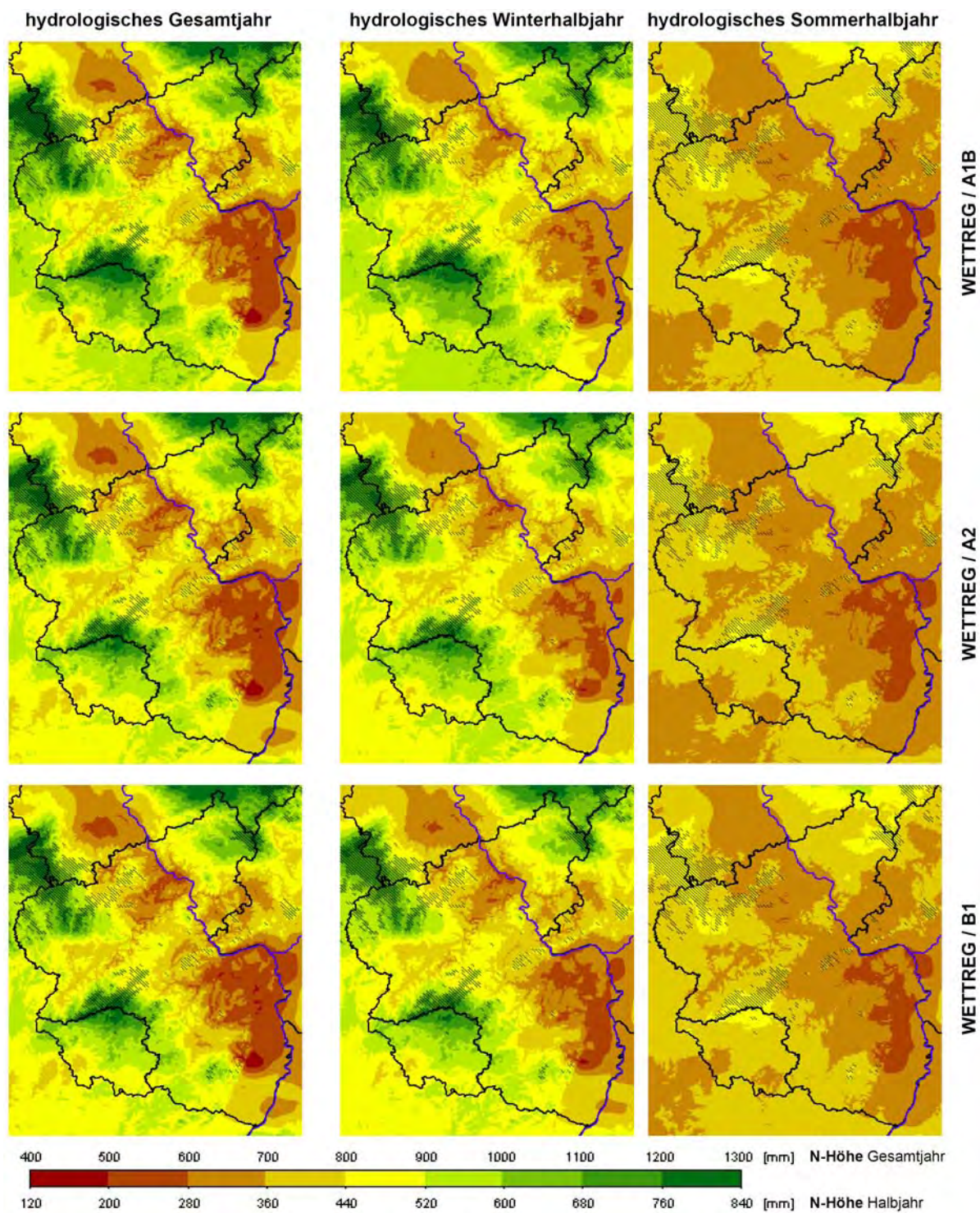
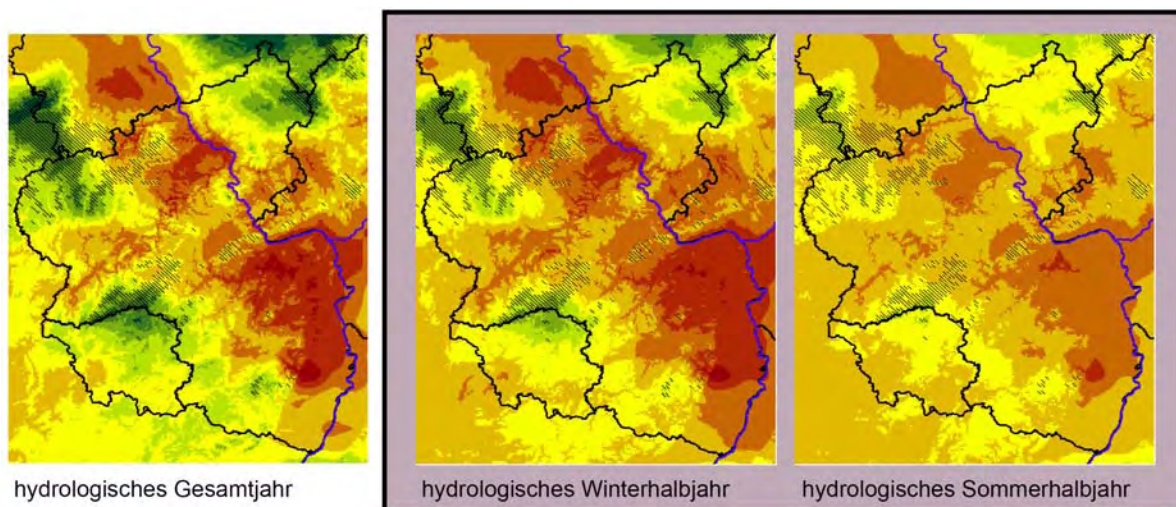


Abb. 3.18: Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Periode 2071-2100 (WETTREG;Mitt.) für A1B, A2 und B1





Jahresniederschlag mm	Region	Niederschlagshöhe hydrologisches Winterhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Sommerhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Winterhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Sommerhalbjahr
900 - 1200	Eifel LUV			dominant	
	Hunsrück LUV			dominant	
	Westerwald			gleich	gleich
	Westpfalz LUV			größer	
700 - 900	Eifel LEE				größer
	Hunsrück LEE				größer
	Westpfalz LEE				größer
	Südpfalz				dominant
400 - 700	Mosel				größer
	Koblenz/Neuwieder Becken				dominant
	Mittelrhein				größer
	Oberrheintal/Rheinhessen				dominant

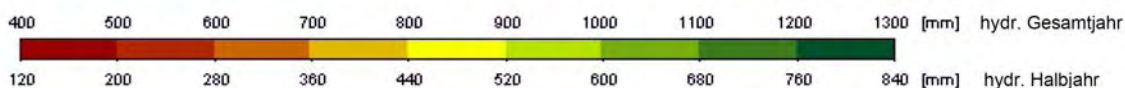
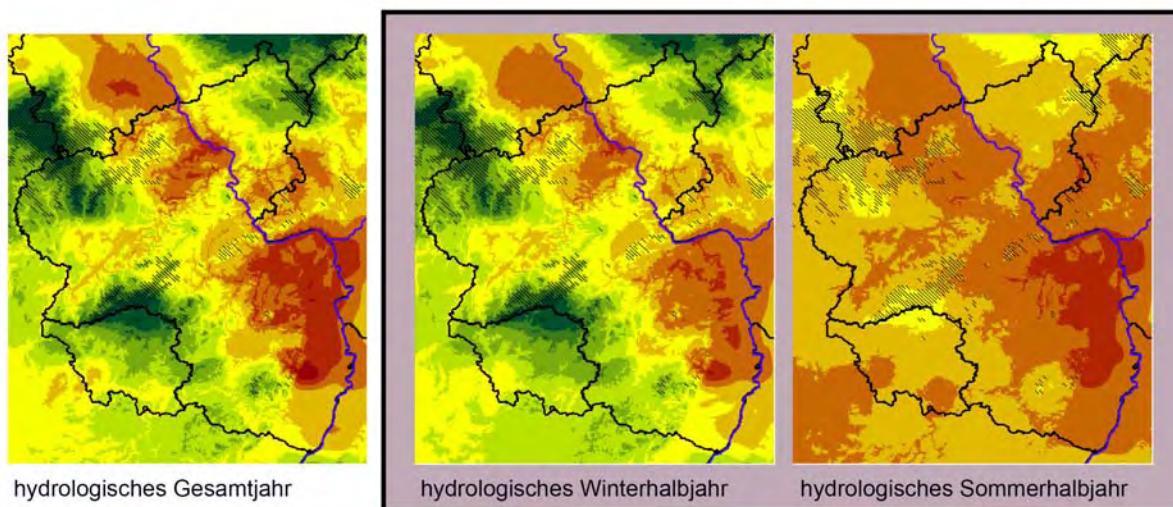


Abb. 3.19: Mittlere Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 (Kontrolllauf WETTREG)





Jahresniederschlag mm	Region	Niederschlagshöhe hydrologisches Winterhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Sommerhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Winterhalbjahr	Niederschlagshöhe hydrologisches Sommerhalbjahr
900 - 1300	Eifel LUV			dominant	
	Hunsrück LUV			dominant	
	Westerwald			dominant	
	Westpfalz LUV			dominant	
700 - 900	Eifel LEE			größer	
	Hunsrück LEE			dominant	
	Westpfalz LEE			dominant	
	Südpfalz			dominant	
	Mosel			größer	
400 - 700	Koblenz/ Neuwieder Becken			gleich	gleich
	Mittelrhein			größer	
	Ober rheintal/ Rheinhessen			größer	

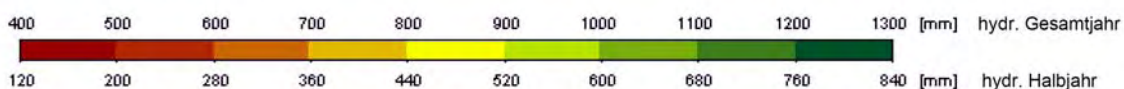


Abb. 3.20: Mittlere Niederschlagshöhen der Vergleichsperiode 2071-2100 (WETTREG;A1B;Mitt.)

### 3.2.3. Extremwetterereignisse

#### 3.2.3.1. Beobachtete Extremereignisse und Eintrittsveränderungen

##### Starkniederschlagshöhen:

Der KOSTRA<sup>3</sup> – Atlas „Starkniederschläge für Deutschland“ des Deutschen Wetterdienstes ist als bundesweit einheitliche, für Bemessungen verbindliche Regel eingeführt. Er enthält deutschlandweit flächendeckend die räumliche Verteilung von Starkniederschlagshöhen in Abhängigkeit von Dauerstufen (18 Dauerstufen zwischen 5min und 72h) und der Jährlichkeit (8 Jährlichkeiten zwischen zweimal pro Jahr und einmal in 100 Jahren). Durch KOSTRA-DWD-2000 wird der bislang gültige KOSTRA – Atlas (Basiszeitraum 1951 – 1980) fortgeschrieben und auf eine längere Datenbasis (1951 – 2000) gestellt. Die Veränderung des Starkniederschlagsgeschehens in Deutschland durch die Klimaänderung ist für den Fortschreibungsbericht einer genauen Analyse unterzogen worden.

Das Starkniederschlagsgeschehen der kurzen Dauerstufen (15min, 60min) ist sehr kleinräumig und variabel. Die räumliche Variation ist hier größer als die zeitliche Variabilität und überdeckt so das Trendverhalten. Eine räumlich abgesicherte extremwertstatistische Aussage der Kurzzeitniederschläge soll jedoch zukünftig durch den Einsatz radargestützter Bodenniederschlagsverteilungen (Radar – Online - Aneichung) machbar werden.

Bei den Dauerstufen größer 24h zeigen sich jedoch räumlich begrenzte Trends, die zu signifikanten Änderungen der Starkniederschlagshöhen und damit auch der Bemessungsgrundlage führen.

Im Westen und Südwesten Deutschlands, also auch in Rheinland-Pfalz, **nehmen winterliche Starkniederschläge** nachgewiesenermaßen bei höheren Jährlichkeiten **zu**. Der zyklonale Zirkulationstyp (Großwetterlage) hat dort seinen Einfluss verstärkt.

Sommerliche Starkniederschläge bleiben tendenziell gleich. Auch in Gebieten mit der Tendenz zu mehr Trockenheit im Sommer, können dennoch episodisch intensive Starkniederschläge auftreten.

##### Wind:

Von Sturm wird bei einer Windgeschwindigkeit von mehr als 8 Beaufort (Bft) gesprochen, das bedeutet ab etwa 75 km/h. Stündliche Windauswertungen in Deutschland gibt es seit ca. 1951, jedoch keine hinreichend langen und homogenen Messreihen. Das Datenmaterial wird von der im Auftrag des UBA erstellten Studie zu den Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen in Deutschland als ungeeignet für eine vertrauenswürdige statistische Aussage hinsichtlich der Häufigkeitsentwicklung von Tagesmaxima über 8 Bft bewertet (Quelle: JONAS; STAEGER; SCHÖNWIESE, 2005).

Ein Hinweis auf eine höhere Zahl von Stürmen ist jedoch eine markante Häufigkeitszunahme der jährlichen Anzahl von Orkantiefs mit einem Kerndruck von kleiner gleich 950 hPa über dem Nordatlantik seit Ende der siebziger Jahre, die der DWD registriert hat (Quelle: LEVÈBVRE, 2001).

Windhose, (Groß)-Trombe und Tornado sind Bezeichnungen für das gleiche Phänomen. Sie entstehen durch Wirbelbildung in höheren, feuchtwarmen und labilen Luftschichten mit kräftiger Konvektionsbewölkung (Gewitterwolke). Aus der Wolke wächst der Wirbel nach unten. In dem schlauchar-

---

<sup>3</sup> Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung

tigen Gebilde treten sehr hohe tangentielle Windgeschwindigkeiten und Windscherung auf. Sie werden je nach Windgeschwindigkeit und der damit verbundenen Schadenswirkung in sechs Klassen eingestuft (Fujita-Tornado-Skala: F0-F5).

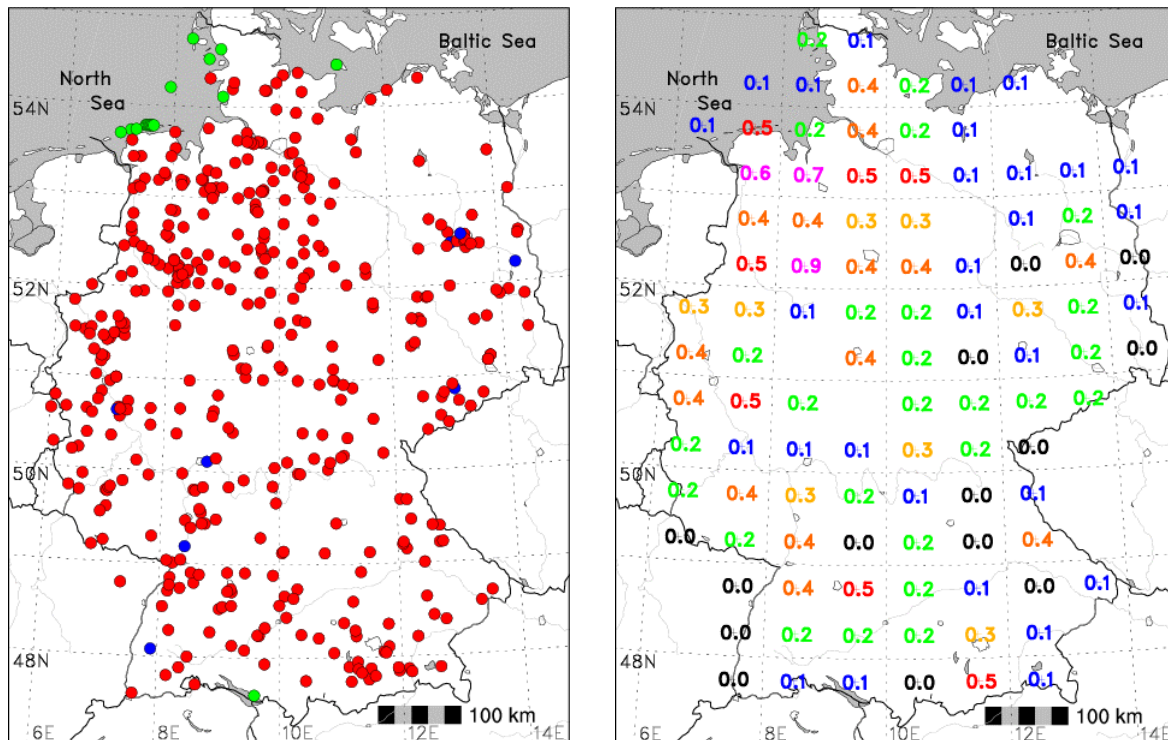
Ein Tornado der Stärke F4 (bis zu etwa 400 km/h) richtete beispielsweise 1968 in Pforzheim große Schäden an und kostete zwei Menschenleben. Im Gegensatz zu Hurricans, Taifunen oder Orkanen, die einen Durchmesser von bis zu 1000 Kilometern erreichen, sind Tornados nur einige Dutzend bis einige hundert Meter breit. Auf Grund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung werden schwächere Tornados vor allem in unbebauten Gebieten oftmals übersehen, nicht gemeldet oder fälschlicherweise als normale Sturmschäden qualifiziert.

Für Deutschland wird eine Zahl von 20 bis 30 Tornados pro Jahr geschätzt. Seit etwa dem Jahr 2000 hat die Zahl der Meldungen stark zugenommen, in erster Linie von schwachen Tornadoereignissen. Das häufigere Bekanntwerden von Tornadoereignissen ist nicht unbedingt ein Nachweis für häufigeres Auftreten, sondern ist mit der veränderten Medienlandschaft zu begründen.

TORDACH ist ein 1997 gegründetes Netzwerk von mehr als 30 Wissenschaftlern in Deutschland (D), Österreich (A) und der Schweiz (CH), das Informationen zu Tornados, Wasserhosen und Gewitterfallböen sammelt und eine Datenbank betreibt. Ziel ist es, eine belastbare, vollständige Klimatologie der lokalen Unwetter in jedem der drei Länder zu erstellen.

Im Jahresgang liegt das Maximum im Juli mit 27 % der Fälle. Die Aktivität ist aber generell von Anfang Mai bis Ende August hoch. Tornados treten am häufigsten zwischen ca. 15 Uhr und 19 Uhr auf. In Mittelgebirgsregionen werden Gebiete mit großer Tornadohäufigkeit von komplexen Geländestrukturen mitverursacht, die lokale Variationen von Hebung und Windscherung erzeugen.

Ein Beispiel für eine regionale Häufung, über die bereits Kenntnis besteht, ist die Region des mittleren Oberrheins, etwa von Straßburg bis Heidelberg, die sogar als „Tornado-Allee“ bezeichnet wird (Quelle: Symposium Naturkatastrophen in Mittelsgebirgsregionen, TORDACH (2006)).



**Abb. 3.21:** Die beiden Tornadokarten zeigen die seit 1950 verzeichneten Tornadobeobachtungen in Deutschland (Quelle: [www.tordach.org](http://www.tordach.org))

Das linke Bild gibt jede Meldung separat an (442 Fälle mit genau bekanntem Ort). Die Farben der Punkte bezeichnen Tornado-Typen (rot = Tornado, grün = aufs Land ziehende Wasserhose, blau = Kleintrombe).

Die Grafik rechts zeigt die Beobachtungshäufigkeit. Hier sind auch Fälle, in denen nur die Region des Tornados bekannt ist, mit berücksichtigt (471 Ereignisse). Dazu wurde auf einem  $0.50^\circ \times 1.00^\circ$  Breite-Länge Gitter die Tornadodichte pro Jahr pro 10.000 Quadratkilometer von 1950 bis heute berechnet. Die Zahlen sind auf eine Nachkommastelle gerundet, d.h. die Zahl 0.0 bedeutet bis 0.05 Meldungen pro Jahr pro 10.000 km<sup>2</sup>, die Zahl 0.1 bedeutet 0.05 bis 0.15 Meldungen pro Jahr pro 10.000 km<sup>2</sup>, usw. (Quelle: [www.tordach.org](http://www.tordach.org)).

### 3.2.3.2. Prognose der Extremwetterentwicklung bis 2100

Klimamodelle versuchen auf der Basis der Energiebilanz der Erde die wesentlichen Aspekte des Klimas, wie Meeresströmungen und Winde, Luft- und Wassertemperaturen, Wolken- und Eisbedeckung für die gesamte Erde aus den Grundgleichungen der Thermodynamik und Hydrodynamik und aus empirischen Beziehungen nachzubilden. Sie sind allerdings auch immer nur so zukunftsstauglich, wie sie maßgebliche, eventuell auch erst zukünftig wichtige Prozesse beinhalten. Darin liegt neben den Annahmen zur Emissionsentwicklung die zweite große Unsicherheit jeglicher Klimaprognose. Mathematisch gesehen sind Klimaberechnungen ein Randwertproblem und damit stabiler als die Wettervorhersage (Anfangswertproblem), die bei leicht verschiedenen Anfangsbedingungen bereits

innerhalb eines kurzen Prognosezeitraums zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen kommen kann, da das Wetter von „chaotischen“ Prozessen (Chaos-Theorie) dominiert wird.

Andererseits bedeutet dies aber auch, dass Klimamodelle nicht in der Lage sind, kurzfristige und lokale Entwicklungen wie Extremereignisse vorherzusagen.

**Unabhängig von der Prognostizierbarkeit hat jedoch folgende Grundaussage Gültigkeit:  
Eine warme Atmosphäre kann mehr Wasserdampf aufnehmen. Mehr Wasserdampf bedeutet auch mehr latente Energie und diese ist die Basis für heftigere Wettererscheinungen.**



### 3.2.4. Grundwasser

#### 3.2.4.1. Grundwasserlandschaften und Grundwasserneubildung in Rheinland-Pfalz

Unter Grundwasserlandschaften versteht man Gebiete, die hydrogeologisch und morphologisch einheitlich aufgebaut sind und deren Wasser typische hydrochemische Merkmale aufweist. Man unterscheidet drei Arten von Grundwasserleitern nach Art der Hohlräume im Speichergestein: Porengrundwasserleiter mit hohem mechanischen Reinigungsvermögen und guten Speichereigenschaften, Kluftgrundwasserleiter mit schlechtem Reinigungsvermögen und geringer Ergiebigkeit sowie Karstgrundwasserleiter mit sehr schlechtem Reinigungsvermögen und mittlerer Ergiebigkeit.

#### Legende zu Abb. 3.22:

	<b>Grundwasserlandschaft</b>	<b>Geografische Verbreitung</b>	<b>Art des Grundwasserleiters</b>	<b>Ergiebigkeit des Grundwasserleiters</b>
	Quartäre und pliozäne Sedimente	Rheinebene, Rheinterrassen, Terrassen der Rhein Nebenflüsse	Porengrundwasserleiter	mittel bis stark
	Quartäre Magmatite	Eifel	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	stark
	Tertiäre Kalksteine	Rheinhessen	Karst- und Kluftgrundwasserleiter	stark bis gering
	Tertiäre Mergel und Tone	Rheinhessen, Kannebäckerland	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	gering bis sehr gering
	Tertiäre Bruchschollen des Oberrheingrabenrandes	Vorhaardt	Karst-, Kluft- und Porengrundwasserleiter	stark bis sehr gering
	Tertiäre Vulkanite	Westerwald	Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark
	Sandsteine des Lias	Bitburger Land	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	mittel
	Muschelkalk und Keuper	Bitburger Land, Saargau, Westrich	Kluftgrundwasserleiter	mittel bis gering
	Buntsandstein	Westeifel, Westrich, Landstuhler Bruch, Pfälzerwald	Poren- und Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark
	Rotliegend-Sedimente	Wittlicher Senke, Saar-Nahe-Bergland	Kluftgrundwasserleiter	gering bis mittel
	Rotliegend-Magmatite	Saar-Nahe-Bergland	Kluftgrundwasserleiter	gering bis mittel
	Devonische Kalksteine	Westeifel, Taunus	Karst- und Kluftgrundwasserleiter	mittel bis stark
	Devonische Quarzite (und Hangschutt)	Eifel, Westerwald, Hunsrück, Taunus	Kluftgrundwasserleiter	mittel
	Devonische Schiefer und Grauwacken	Eifel, Westerwald, Hunsrück, Taunus	Kluftgrundwasserleiter	gering

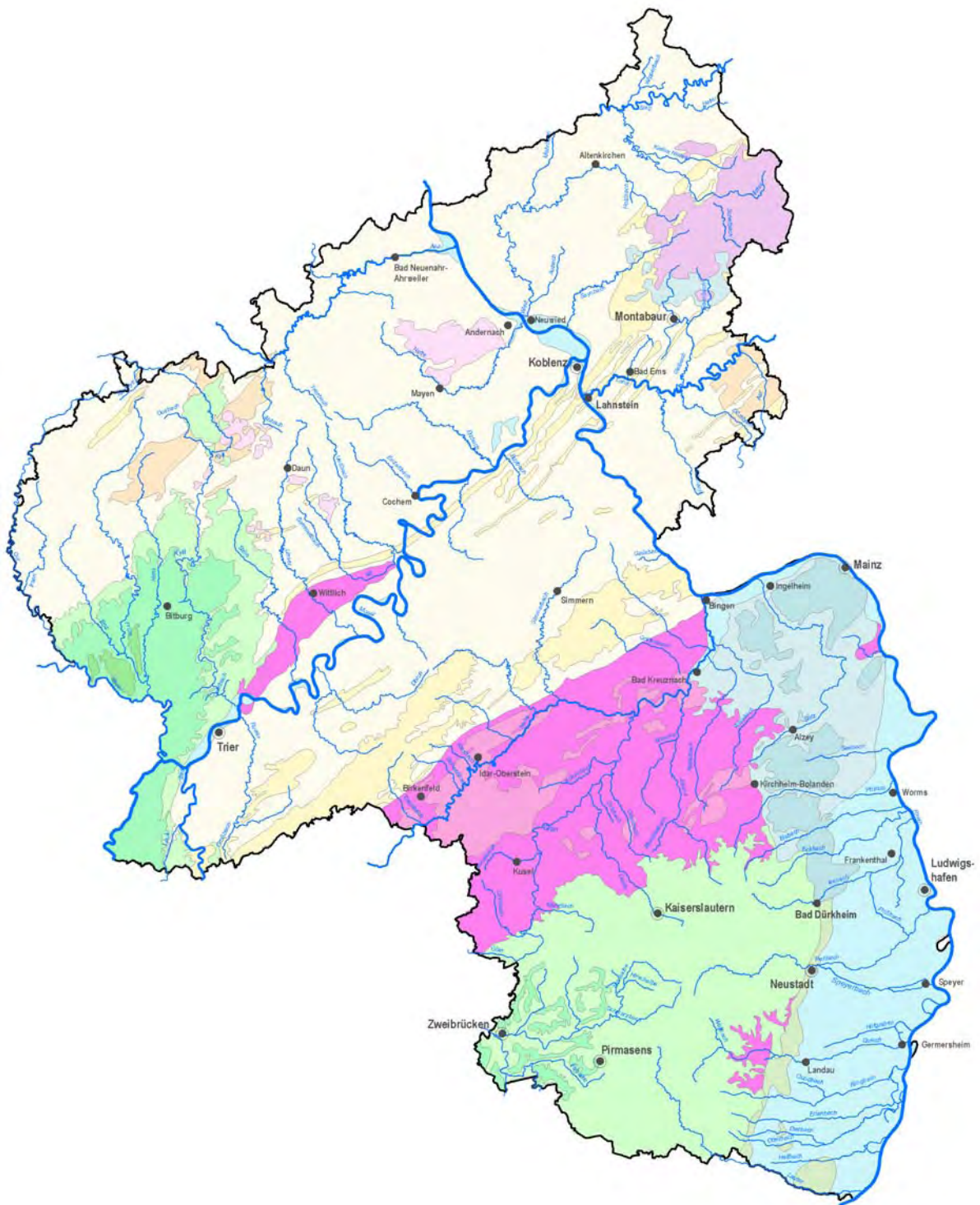


Abb. 3.22: Grundwasserlandschaften in Rheinland-Pfalz



Unter Grundwasserneubildung versteht man die Zusicckerung des in den Boden infiltrierten Niederschlagswassers zum Grundwasser. In Rheinland-Pfalz beträgt das mittlere jährliche Niederschlagsangebot etwa 800 mm. Davon kommen durchschnittlich rund 100mm/a (entspricht rund 2 Milliarden m<sup>3</sup>/a) der Grundwasserneubildung zugute (siehe Abb. 3.23).

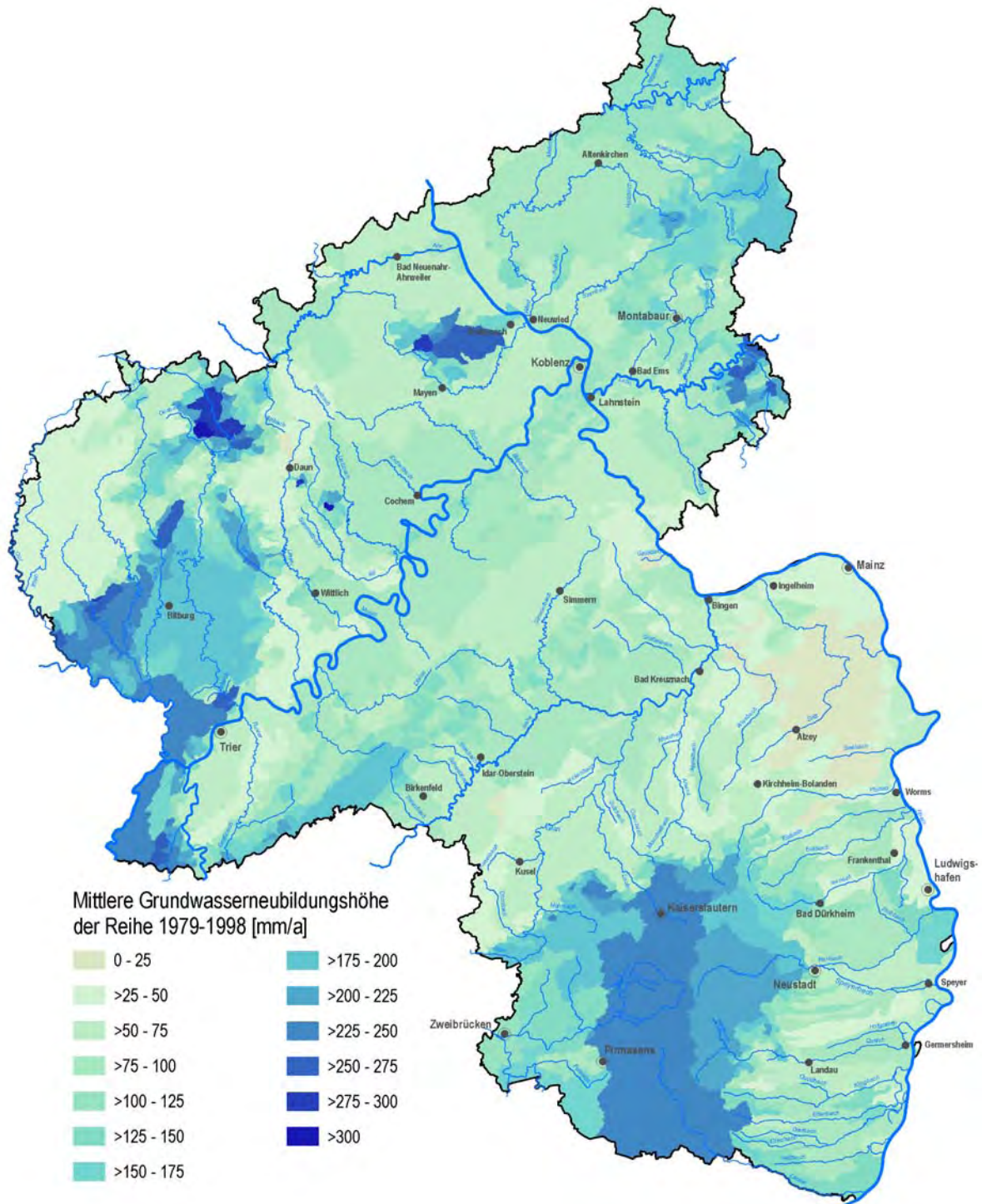


Abb. 3.23: Mittlere Grundwasserneubildungshöhe (1979-1998) in mm/a

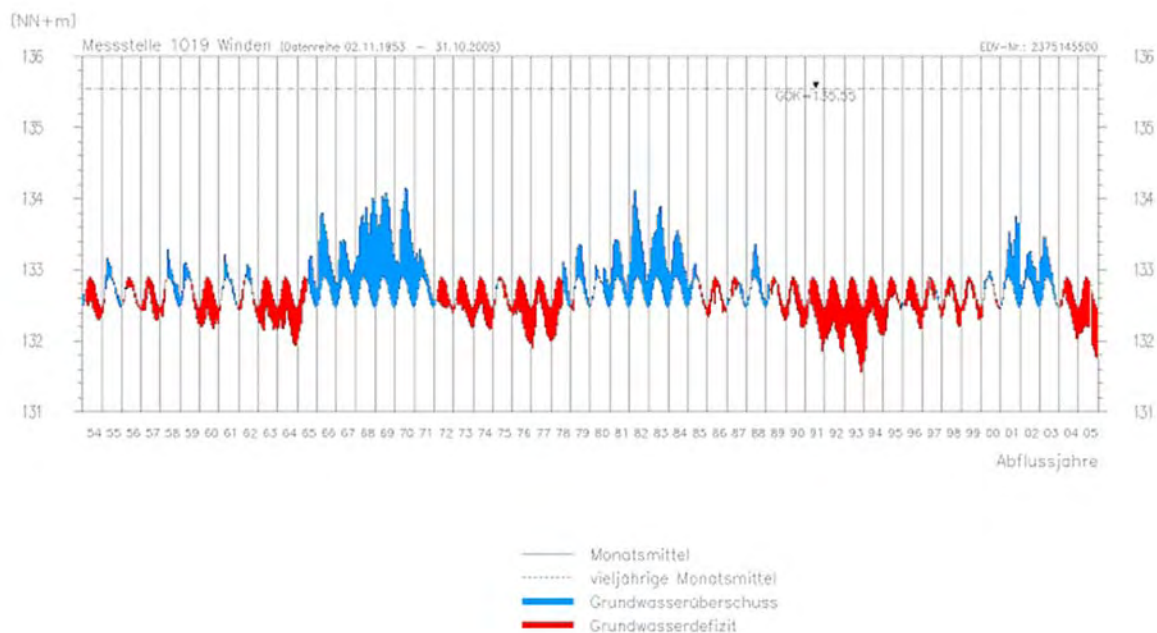
### 3.2.4.2. Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser in Rheinland-Pfalz

#### These:

Die Durchschnittstemperatur steigt in den nächsten Jahrzehnten, d. h. die Sommer werden heißer, die Winter milder. Der Niederschlag nimmt zu, insbesondere im Winterhalbjahr, während die Sommer etwas trockener werden.

#### Mögliche Auswirkungen auf das Grundwasser:

Die Grundwasserneubildung findet fast ausschließlich in der vegetationsfreien Zeit des hydrologischen Winterhalbjahres (November bis April) statt. In diesem Zeitraum ist die Verdunstung deutlich geringer als im Sommerhalbjahr. Die Grundwasserneubildung unterliegt neben dieser jahreszeitlichen auch einer vieljährigen Periodik von Nass- und Trockenjahren (siehe Abb. 3.24).



**Abb. 3.24: Nass- und Trockenjahre (Zeitreihe: 1954–2005) an der Messstelle Winden**

Grundsätzlich sollte ein höheres Niederschlagsdargebot während des hydrologischen Winterhalbjahres zu einer erhöhten Grundwasserneubildung führen. Allerdings wird sich die vegetationsfreie Periode durch die generelle Temperaturerhöhung verkürzen – die Winter werden nicht nur milder, sondern auch kürzer. Das bedeutet, dass ein Teil der Neubildungserhöhung durch die „Verkürzung“ des Winters kompensiert wird.

Die Grundwasserneubildung hängt nicht nur vom winterlichen Niederschlagsdargebot, sondern auch von den hydraulischen Eigenschaften des Bodens und des Speichergesteins ab.

In den Buntsandsteingebieten Pfälzerwald, Bitburger Land und Raum Bettingen, in den quartären Lockersedimentgebieten Vorderpfalz und Neuwieder Becken, im quartären Magmatitgebiet von Weibern/Rieden und in den mitteldevonischen Kalkmulden der Nordeifel und im Raum Hahnstätten muss bei einer deutlichen Erhöhung des Winterniederschlags mit **steigenden Grundwasserständen**

gerechnet werden. Damit verbunden ist die Gefahr der Vernässung von Kellern und anderen Bauwerken in morphologisch tief liegenden Regionen mit geringen Grundwasserflurabständen (beispielsweise Raum Frankenthal/Ludwigshafen).

In den übrigen Gebieten des Landes (Rheinisches Schiefergebirge, Nordpfälzer Bergland) hätte ein erhöhtes Niederschlagsangebot keine gravierenden Auswirkungen auf die Grundwassersituation, denn hier liegt bereits unter den derzeitigen Bedingungen, in Folge der ungünstigen Speichereigenschaften, eine geringe Neubildungsrate vor. Hier würde sich die Niederschlagssituation in erster Linie im Abflussgeschehen widerspiegeln.

Die für Hessen prognostizierte 25-prozentige Erhöhung der mittleren Grundwasserneubildungsrate bis zum Jahr 2050 kann zwar für Rheinland-Pfalz nicht bestätigt werden, weil ein entsprechendes Grundwassermodell für das Land derzeit erst im Aufbau ist. Da die hydrogeologischen und klimatischen Verhältnisse in beiden Ländern jedoch ähnlich sind und auch die für Hessen berechnete durchschnittliche (rezente) Neubildungsrate mit der von Rheinland-Pfalz gut übereinstimmt, könnte man im Analogieschluss für Rheinland-Pfalz eine ähnliche Entwicklung der Grundwasserverhältnisse erwarten.

### 3.2.5. Abfluss

Der in den Einzugsgebieten flächenhaft gebildete Abfluss konzentriert sich im Gewässernetz und führt das Wasser zusammen mit dem aus der Landschaft abgetragenen Material letztendlich ins Meer. Oberirdische Gewässer und Grundwasser stehen dabei meist in einer Wechselwirkung. In Rheinland-Pfalz wird der Abfluss von Fließgewässern an ca. 150 repräsentativen Pegeln erfasst. Der mittlere Abfluss von Rheinland-Pfalz beträgt ca. 320 mm pro Jahr, verteilt sich aber gemäß dem Niederschlagsangebot unterschiedlich auf die Landesfläche. So ist in der Eifel und der oberen Nahe mit einem Abfluss von 400 - 500 mm zu rechnen, im hohen Westerwald auch bis über 650 mm pro Jahr. In den Niederungen der oberrheinischen Tiefebene, dem Neuwieder Becken sowie in Leelagen sind Abflüsse im Bereich von 100 - 200 mm pro Jahr durchaus üblich (siehe Abb. 3.25).



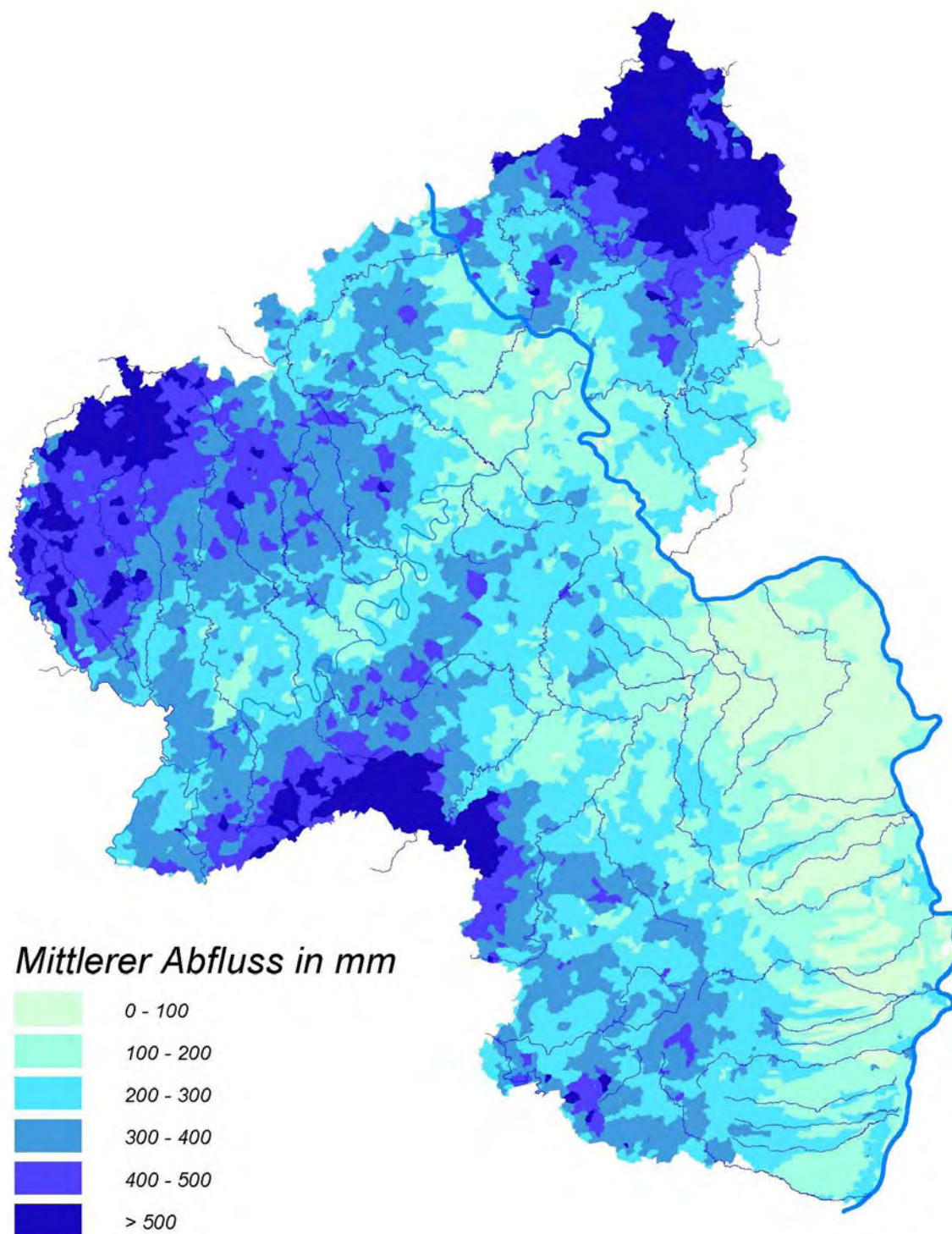


Abb. 3.25: Mittlere Abflüsse in Rheinland-Pfalz

Dem Abfluss wird bei der Änderung unseres Klimas eine besondere Bedeutung zugemessen. Eine **Häufung** der Extreme wie **Hoch- und Niedrigwasser** ist nicht ausgeschlossen.

Die Änderung des Niederschlagsregimes in Folge des Klimawandels muss nicht zwangsläufig zu einer Änderung im Abflussregime führen, da die Abflussbildung ein hochgradig nichtlinearer Prozess ist. Dieser Prozess ist abhängig von der Landnutzung, der Lage der hochwasserrelevanten Flächen zum Vorfluter, der Geologie und der Böden. Hinzu kommen ereignisspezifische Faktoren wie Vorfeuchte, Niederschlagsintensität und -dauer.

Um Synergieeffekte bei der Ermittlung von Auswirkungen der prognostizierten Klimaveränderung auf hydrologische Prozesse zu nutzen, ist Rheinland-Pfalz im Jahr 2007 dem Kooperationsvorhaben KLIWA des Deutschen Wetterdienstes, Bayern und Baden-Württembergs, beigetreten. Das Projekt KLIWA (**Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft**) hat derzeit folgende Arbeitsschwerpunkte:

- Die Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushaltes anhand einer Analyse vorhandener historischer Daten.
- Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt über Simulationsrechnungen mit Wasserhaushaltsmodellen.

Wesentliches Ziel ist die Entwicklung nachhaltiger wasserwirtschaftlicher Vorsorgekonzepte.

In Rheinland-Pfalz werden die erforderlichen Wasserhaushaltsmodelle zur Zeit flächendeckend entwickelt. Die in Baden-Württemberg und Bayern bereits vorliegenden Simulationsergebnisse können aber qualitativ bereits auf Rheinland-Pfalz übertragen werden:

Der Trend zu feuchteren Wintern und trockeneren Sommern wird sich fortsetzen. Während die Abnahme der Sommerniederschläge weniger ausgeprägt sein wird, können die Winterniederschläge deutlich – im Westen stärker als im Osten – zunehmen. Aus der Zunahme der Westwetterlagen, die höhere Niederschläge bringen können, ist abzusehen, dass die Hochwassergefahr im Winterhalbjahr steigt. Dabei werden vor allem die **mittleren Hochwasser**, weniger die extremen hinsichtlich Höhe und **Häufigkeit zunehmen**. Auch wenn eine Abnahme der Sommerniederschläge erwartet wird, deutet sich dennoch an, dass es stärker als bisher zu lokal begrenzten, ausgeprägten Starkregenereignissen kommen kann. Dies kann bei ausgetrockneten Böden die Erosionstätigkeit fördern, stellt aber auch eine besondere Herausforderung im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft dar.

#### 3.2.5.1. Hochwasserabfluss

Der mittlere Hochwasserabfluss MHQ ist eine statistische Größe, um das langfristige Hochwassergeschehen oberirdischer Gewässer quantitativ zu beschreiben. MHQ wird berechnet als arithmetisches Mittel der jeweils höchsten am Pegel beobachteten Abflüsse in den Einzeljahren einer mehrjährigen Beobachtungsreihe. Um das Hochwasserverhalten unterschiedlich großer Gewässereinzugsgebiete miteinander vergleichen zu können, wird häufig der auf die Einzugsgebietsfläche bezogene Hochwasserabfluss, die sogenannte Hochwasserabflussspende verwendet.

Mit dem Regionalisierungsverfahren HQ-REGIO wurde die mittlere Hochwasserabflussspende MHq für alle Gewässereinzugsgebiete > 10 km<sup>2</sup> in Rheinland-Pfalz ermittelt (siehe Abb. 3.26: MHq, regionalisiert).

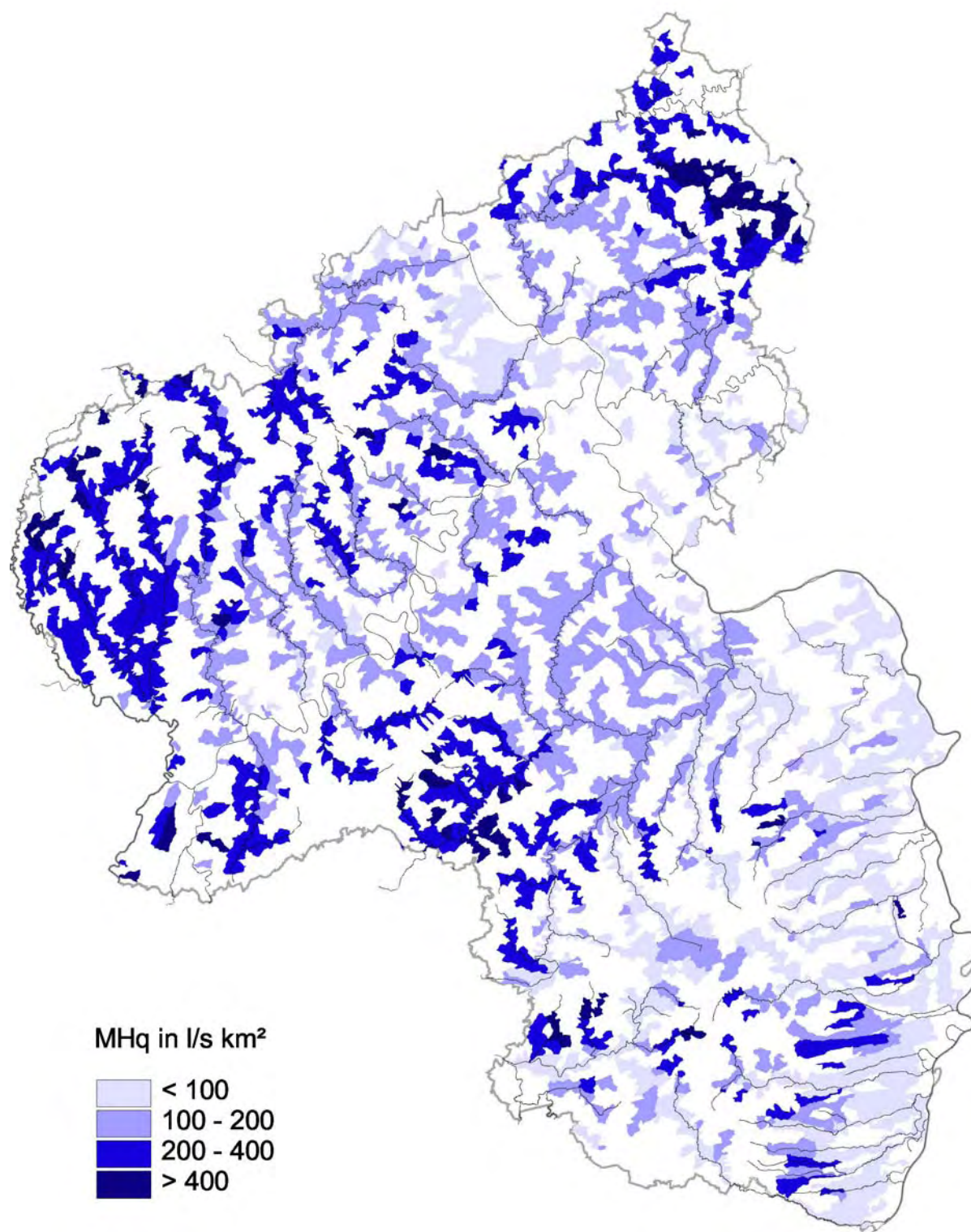


Abb. 3.26: Hochwasserabflussspenden MHq in Rheinland-Pfalz



In der räumlichen Varianz von MHQ spiegelt sich die topographische Struktur des Landes wieder. In den Höhenlagen von Eifel, Hunsrück und Westerwald dominieren hohe bis sehr hohe Hochwasserabflussspenden, die im Unterlauf größtenteils im Flachland verlaufenden Zuflüsse zum Oberrhein zeichnen sich dagegen allgemein durch geringe Hochwasserabflussspenden aus. Generell verringern sich, u.a. bedingt durch das abnehmende Gefälle, die Hochwasserabflussspenden entlang eines Gewässers von der Quelle bis zur Mündung, wobei dieser Effekt in Mittelgebirgsregionen stärker ist als im Flachland. Weitere Einflussgrößen auf die Hochwasserabflussspende sind die Niederschlagssumme und (bei einem speziellen Hochwasserereignis) die zeitliche Verteilung der Niederschlagsintensität, der Versiegelungs- und bewaldete Anteil, die topographische Höhe und die Flussdichte.

Die Abteilung Wasserwirtschaft des LANDESAMTES FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT (LUWG) hat in einer Studie aus dem Jahr 2005 "Analyse der langjährigen Abflussverhältnisse im Hochwasserbereich vor dem Hintergrund eines Klimawandels" untersucht, wieweit bereits eine Veränderung der Hochwasserabflüsse (Höhe, Häufigkeit) in Rheinland-Pfalz erkennbar ist. Betrachtet wurden mit insgesamt 39 Pegeln alle, die eine Beobachtungsdauer von etwa 50 Jahren haben.

Im ersten Schritt wurde die gesamte Zeitreihe der Jahreshöchstabflüsse aufgetragen und optisch ausgewertet. Dabei war ohne weitere rechnerische Analyse erkennbar, dass die Zeitreihen Ende der siebziger Jahre einen Sprung aufweisen. Diese Erscheinung - rechnerisch auch über eine Bruchpunktanalyse nachweisbar - sagt aus, dass die Hochwasserabflüsse seit 25 - 30 Jahren im Mittel höher ausfallen als im Zeitraum davor. Erklärt werden kann dieses Phänomen mit dem im gleichen Zeitraum nachgewiesenen, vermehrten Auftreten von zyklonalen Westwetterlagen und damit einhergehend verstärkten Niederschlägen. Für weitere Trenduntersuchungen wurden daher neben den gesamten Zeitreihen auch Teilreihen bis 1977 und ab 1978 betrachtet.

#### Für den Bereich der Oberflächengewässer ergibt sich zusammenfassend folgendes Ergebnis:

Wird die Häufigkeit aller Hochwasserereignisse größer als der mittlere höchste Abfluss im Beobachtungszeitraum (MHQ) für die Zeitreihe ab 1978 mit der bis 1977 verglichen, hat sich diese um rd. 25 % seit 1978 erhöht. Dieses häufigere Auftreten spiegelt die im selben Zeitraum verstärkte Häufigkeit von zyklonalen Westwetterlagen wider. Diese Wetterlagen, verbunden mit höheren Niederschlägen, sind auch dafür verantwortlich, dass sich die mittleren Hochwasserabflüsse (MHQ) seit Ende der siebziger Jahre auf einem höheren Niveau bewegen. Gegenüber dem vorhergehenden Zeitraum liegt die Erhöhung in einer Größenordnung von 20 %.

Im Rahmen des Projektes "Änderung im Abflussregime des Rheins" werden 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 - 2000. Auszugsweise sollen hier die Ergebnisse für den Pegel Kaub zusammengefasst dargestellt werden. Der Pegel Kaub liegt zentral in Rheinland-Pfalz und umfasst mit einem Einzugsgebiet von mehr als 100.000 km<sup>2</sup> den Alpen-, Hoch-, Ober- und Mittelrhein inklusive seiner Zuflüsse.

Auswertungen von Trenduntersuchungen zeigen, dass die Gebietsniederschläge für das gesamte Einzugsgebiet des Oberrheins bis zum Pegel Kaub tendenziell zunehmen. Statistisch abgesichert ist dies für die Niederschlagssummen der hydrologischen Winterhalbjahre und Jahresserien. Für die mittleren Abflüsse am Pegel Kaub ist ein gesicherter Anstieg für den Monat Dezember, Februar und März

nachweisbar. Entsprechend ist auch die Zunahme des mittleren Abflusses für das hydrologische Winterhalbjahr und die Jahresreihe jedoch eine Abnahme der Abflüsse im August zu verzeichnen. Bei der Betrachtung der Ergebnisse für die Pegel Basel, Maxau, Worms und Kaub wird ersichtlich, dass die sommerliche Abnahme sowie die winterliche Zunahme der mittleren Abflüsse mit zunehmendem Einzugsgebiet statistisch immer weniger deutlich wird. Dies hängt sicherlich mit dem ausgleichenden Einfluss der nivalen (durch Schneeschmelze geprägten) und pluvialen (durch Regenereignisse geprägten) Abflussregime des Rheins bzw. seiner Nebenflüsse zusammen. Die Hochwasserscheitelabflüsse des Rheins am Pegel Kaub nehmen für die Jahres- und Winterserie statistisch abgesichert zu, mit Sprung Mitte der siebziger Jahre. Eine statistische Absicherung der Zunahme der Hochwasserscheitel in den Sommermonaten ist allerdings nicht gegeben.

#### 3.2.5.2. Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz

Überschwemmungsgebiete (ÜSG) sind Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen oder Hochufern sowie sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchschlossen oder die für Hochwasserentlastung oder -rückhaltung beansprucht werden (§ 31 b Abs. 1 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushaltes (WHG)); (siehe Abb. 3.27).

Die Ausweisung von ÜSG soll vorrangig den schadlosen Hochwasserabfluss und die dafür erforderliche Wasserrückhaltung gewährleisten. Ein weiteres Ziel ist, Hochwasserschäden zu vermeiden bzw. Schadenspotentiale zu begrenzen. Die Karte der Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz zeigt, dass hochwassersensible Bereiche in allen Landesteilen anzutreffen sind.

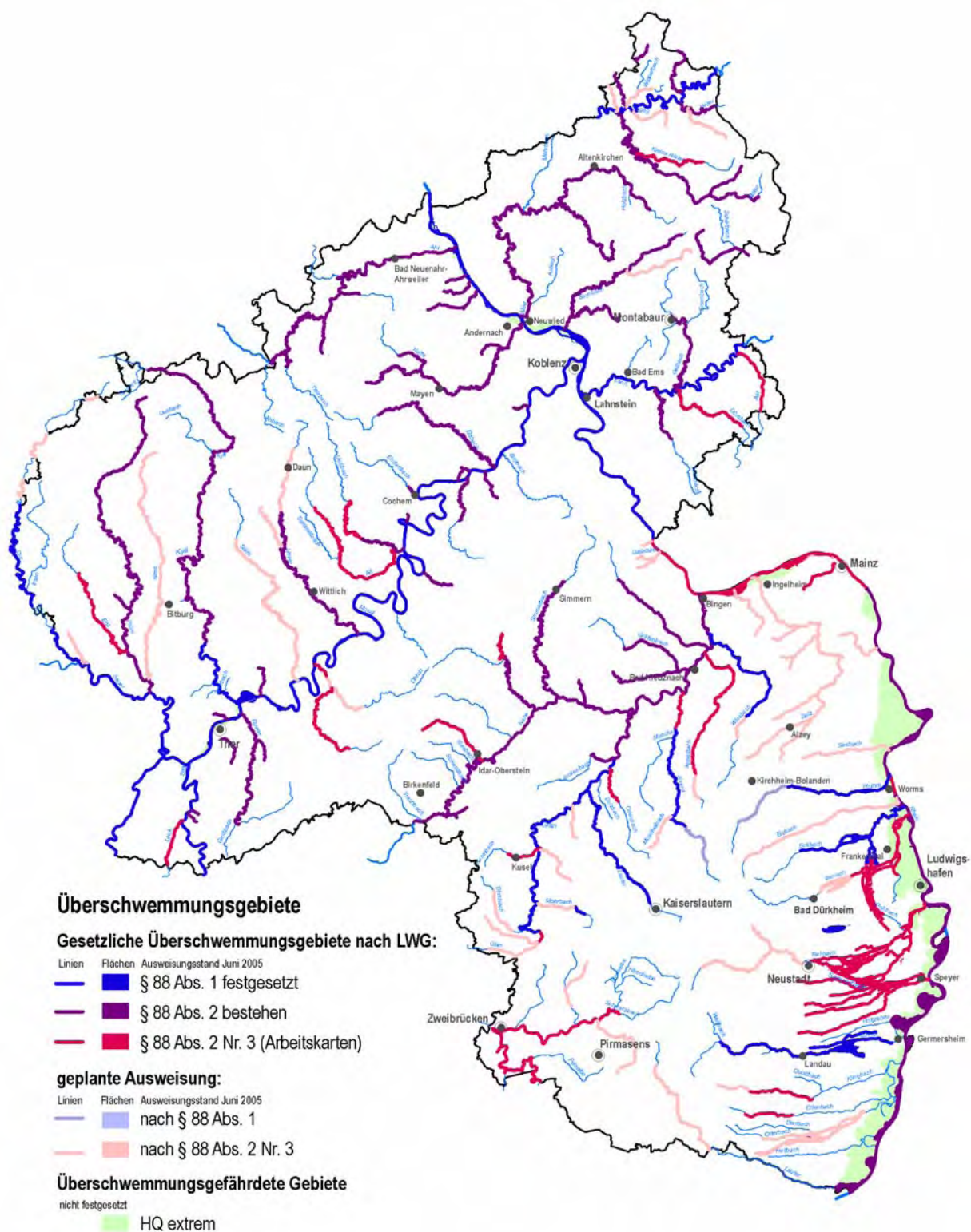


Abb. 3.27: Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz



Vor dem Hintergrund eines möglichen Hochwasseranstieges in Folge des Klimawandels ist über die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten hinaus die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten, wie es im EU-Projekt Transnational Internet Map Information System on Flooding (TIMIS) erfolgt, vorrangiges Ziel. Die Gefahrenkarten (siehe Abb. 3.28) werden für alle Gewässer (Abschnitte) erstellt, die erhebliche Gefährdung für Leib und Leben sowie Güter bergen. Insgesamt handelt es sich um 3000 km Gewässerlänge in Rheinland-Pfalz. Vorläufer dieses Projektes waren der Gefahrenatlas Mosel und der Rheinatlas der Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR). Die Gefahrenkarten sind somit ein wichtiges Instrument der Hochwasservorsorge insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels. In Verbindung damit wird im Rahmen des Projektes TIMIS auch ein flächendeckendes Hochwasserfrühwarnsystem für die Einzugsgebiete kleiner Flüsse entwickelt. Die Warnungen werden internetbasiert dargestellt, vergleichbar den Unwetterwarnungen der Wetterdienste.

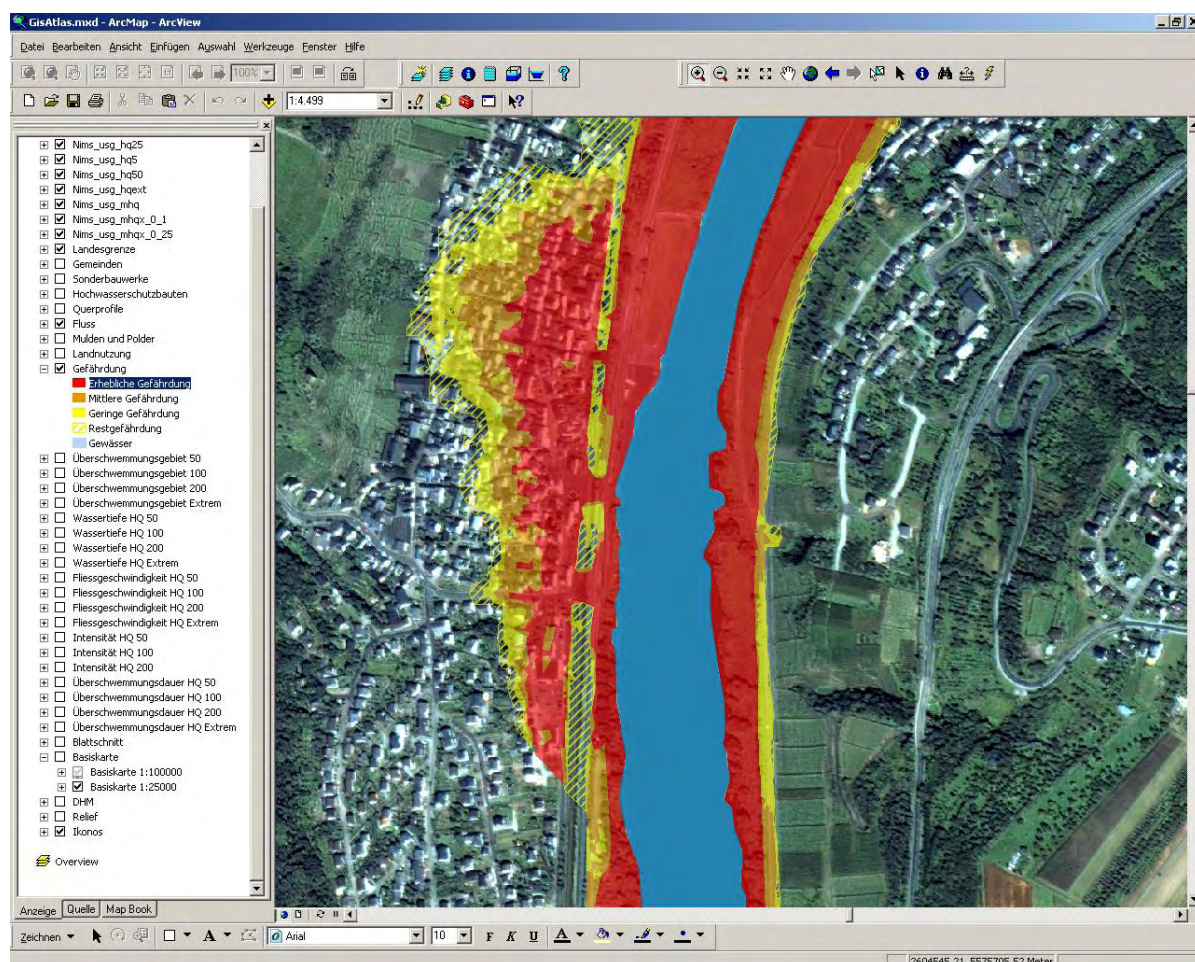


Abb. 3.28: Ausschnitt aus dem Gefahrenatlas Mosel

### 3.2.6. Vegetation

#### 3.2.6.1. Pflanzenphänologie in Rheinland-Pfalz

Die Phänologie (griech. = Lehre von den Erscheinungen) befasst sich mit dem Jahresablauf periodisch wiederkehrender Wachstums- und Entwicklungserscheinungen bei Pflanzen (und Tieren), beispielsweise sind dies Blattentfaltung, Blütenbildung oder Fruchtreife.

Da die Entwicklungsprozesse von Pflanzen in hohem Maße temperaturabhängig sind, sind phänologische Daten eine gute Variante einer Bioindikation, sowohl vom zeitlichen Spektrum, als auch in Bezug auf die Kausalität von Klima- und Pflanzenentwicklungskenngrößen. Phänologische Daten ermöglichen es, eine natürliche Vegetationszeit einer Region zu definieren und den jährlichen Entwicklungsablauf der Vegetation darzustellen.

Seit 1936 gehört in Deutschland das Aufgabengebiet der Phänologie zum Deutschen Wetterdienst (DWD). Heute beobachten ca. 1500 ehrenamtliche Mitarbeiter des DWD, so genannte „Phänologische Beobachter“, die Vegetation und notieren die periodischen Wachstums- und Entwicklungserscheinungen in ihrer zeitlichen Abhängigkeit. In Rheinland-Pfalz gibt es 386 „Phänologische Stationen“, die gleichmäßig über das Land verteilt sind.

Die Auswirkung der Klimaänderungen auf die Vegetation in Rheinland-Pfalz und regionale Unterschiede wurden im Jahr 2003 in einem gemeinsamen Projekt der Fachhochschule Bingen mit dem Referat Umweltmeteorologie des LUWG an Hand phänologischer Daten des DWD für den Zeitraum von 1950 bis 2000 untersucht (HENNIGES, 2003). Zur Aufteilung des Landes diente die naturräumliche Gliederung 3. Ordnung, die das Land Rheinland-Pfalz in 16 Naturräume teilt.

Ausgewertet wurden dazu Pflanzen mit besonderer Aussagekraft für die Phänologie, die so genannten „phänologischen Zeigerpflanzen“. Spezielle Phasen dieser Pflanzen sind charakteristisch für eine „phänologische Jahreszeit“, wobei das Jahr in zehn dieser physiologisch-biologisch begründeten phänologischen Jahreszeiten eingeteilt ist:

#### Frühling

- Vorfrühling: Haselnuss (Blüte), ersatzweise Schneeglöckchen (Blüte)
- Erstfrühling: Forsythie (Blüte), ersatzweise Stachelbeere (Blattentfaltung)
- Vollfrühling: Apfel (Blüte), ersatzweise Stiel-Eiche (Blattentfaltung)

#### Sommer

- Frühsommer: Schwarzer Holunder (Blüte)
- Hochsommer: Sommer-Linde (Blüte), ersatzweise Winter-Linde (Blüte)
- Spätsommer: Frühapfel (Fruchtreife), ersatzweise Eberesche (Fruchtreife)

#### Herbst

- Frühherbst: Schwarzer Holunder (Fruchtreife)
- Vollherbst: Rosskastanie (Fruchtreife)
- Spätherbst: Stiel-Eiche (Blattverfärbung), ersatzweise Rosskastanie (Blattverfärbung)

#### Winter

- Vegetationsruhe: Winterweizen (Auflaufen), ersatzweise Apfel, spätreifend (Blattfall)



Die Darstellung der phänologischen Jahreszeiten erfolgt anhand von „Phänologischen Uhren“, bei denen jeweils die mittlere Länge der Jahreszeiten in Tagen angegeben ist. Für jeden Naturraum in Rheinland-Pfalz wurden die mittleren Verhältnisse aus jeweils 10 Jahren in einer eigenen phänologischen Uhr zusammengefasst. In den „Doppelten Phänologischen Uhren“ sind zur besseren Vergleichbarkeit die Uhren der beiden zeitlich am Weitesten voneinander entfernten Dekaden von 1951 bis 1960 und von 1991 bis 2000 ineinander verschachtelt gegenübergestellt. Die Kreisfläche im Inneren stellt die so genannten „Klimatologischen Jahreszeiten“ dar, bei denen das Jahr in Frühling, Sommer, Herbst und Winter, bestehend jeweils aus genau 3 Monaten, eingeteilt ist. Der Winter z.B. beginnt am 1. Dezember und endet mit dem letzten Februartag.

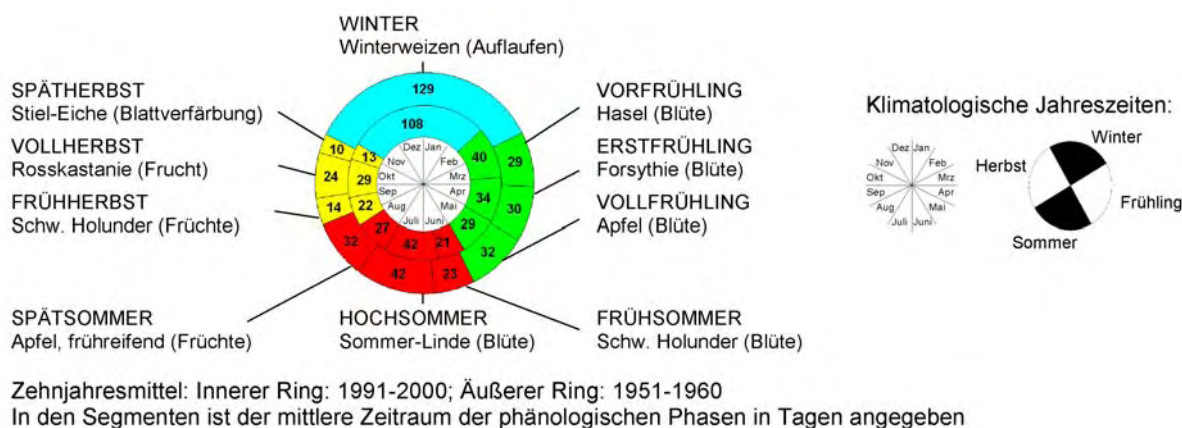


Abb. 3.29: Erläuterung der Doppelten Phänologischen Uhren

Bei Betrachtung der „Doppelten Phänologischen Uhren“ ist zu erkennen, dass sich die Jahreszeiten gegen den Uhrzeigersinn verschoben haben (siehe Abb. 3.30). Die Übereinstimmung der klimatologischen mit den phänologischen Jahreszeiten war vor 50 Jahren eher gegeben.

Vor allem der **Vegetationsbeginn** hat sich z.T. **erheblich verfrüht**.

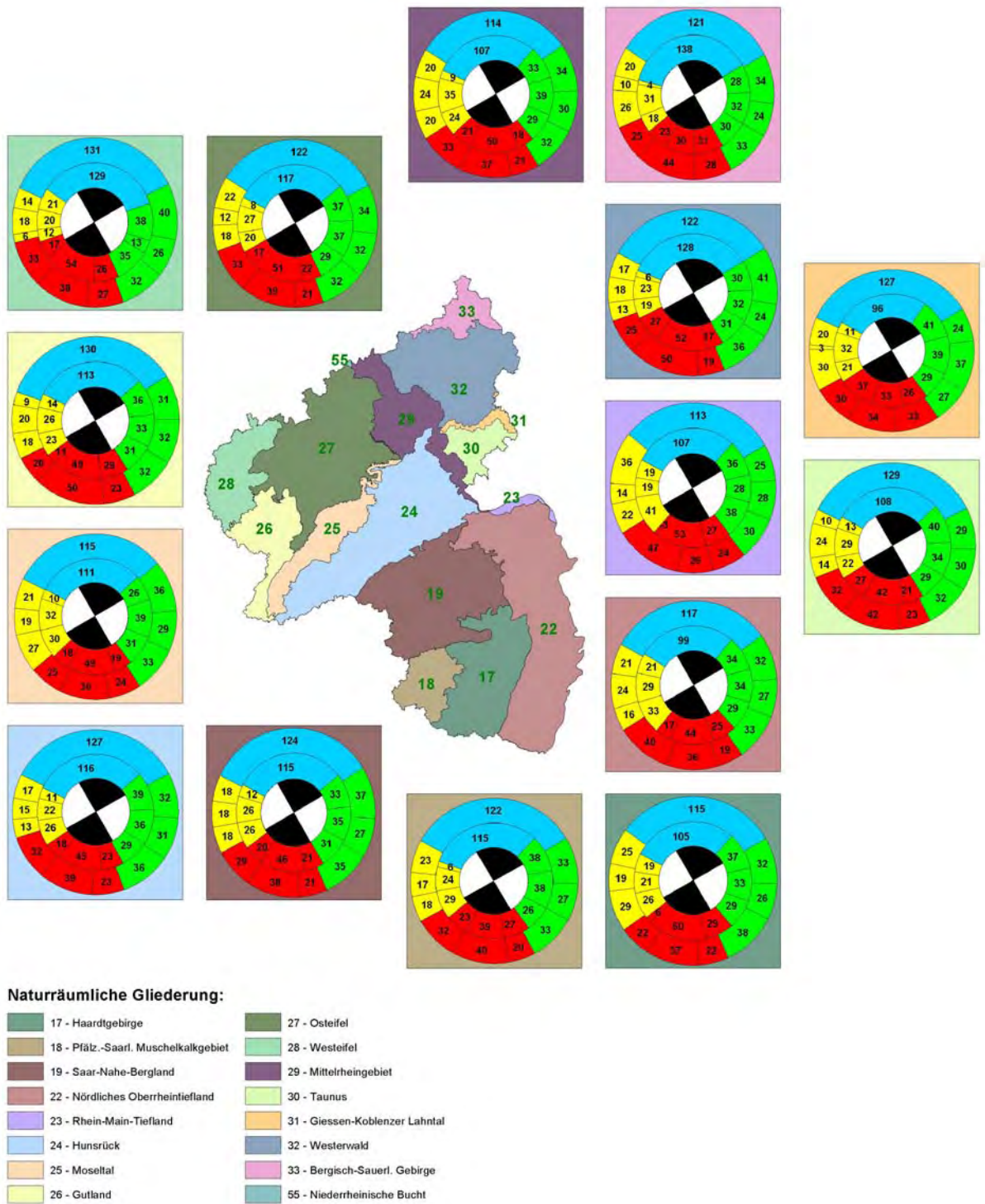


Abb. 3.30: Doppelte Phänologische Uhren der Naturräume von Rheinland-Pfalz (die Hintergrundfarben der Uhren entsprechen den Farben der Naturräume)

### 3.2.6.2. Einfluss des Klimawandels auf Obstgehölze

Der zeitigere Blühbeginn von Obstgehölzen birgt die Gefahr zunehmender Spätfrostschäden. Frost während der Blütezeit gehört im Obstbau mit zu den gefährlichsten Witterungsereignissen, wodurch im Extremfall die Ernte eines ganzen Jahres vernichtet werden kann. Zusätzlich besteht das Risiko des verstärkten Aufkommens von Fruchtschädlingen und steigender Befallsdruck durch Schaderreger auf Grund des veränderten Temperaturniveaus. Klimaänderungen beinhalten neben Gefahren auch Chancen. Durch Anpassungsmaßnahmen, wie z.B. Auswahl von geeigneten Obstsorten und –arten, sind Risiken (Spätfrostschäden, Verkürzung der Reifephase, Wassermangel, etc.) minimierbar und Chancen (verlängerte Vegetationszeit, höhere Temperaturen) nutzbar.

### 3.2.7. Artenzusammensetzung

#### 3.2.7.1. Beobachtete Populationsänderungen

Die Verbreitungsareale vieler Tier- und Pflanzenarten verschieben sich zunehmend nach Norden oder im Gebirge aufwärts.

Wärmeliebende Arten wandern entlang des Rheingrabens von Süden her ein (z.B. Auftreten von mediterranen Libellenarten; Arealausdehnung von Feuerlibelle und der Gottesanbeterin; Einwanderung und Vermehrung wärmeliebender Vogelarten wie Bienenfresser und Silberreiher).

Die Phänologie vom Vogelzug und das Brutverhalten (z.B. frühere Eiablage der Kohlmeise) ist ebenfalls im Wandel begriffen.

#### 3.2.7.2. Gefährdungspotential für die Artenvielfalt

Tiere und Pflanzen sind in der Lage, auf klimatische Veränderungen zu reagieren, und zwar einerseits durch phänologische Plastizität, also Flexibilität der Individuen. Arealveränderungen und Vorverlegung der Fortpflanzung sind Beispiele für die Anpassungsfähigkeit. Andererseits können auf Grundlage der genetischen Vielfalt innerhalb von Populationen, durch natürliche Selektion, die unter den geänderten Bedingungen erfolgreichsten Individuen ausgelesen werden, was zu einer dauerhaften Veränderung der vererbten Eigenschaften einer Art führt. Verändertes Zugverhalten bei Vögeln ist ein Beispiel für erbliche Anpassung an den Klimawandel durch genetische Variation und Selektion.

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 schnellen Klimawandel mitzuhalten. Viele Pflanzenarten brauchen zum Beispiel Jahrzehnte, um ihr Areal um wenige Meter zu verlagern. Die Verschiebung der klimatischen Bedingungen geht jedoch viel schneller vonstatten. Andererseits können zum Beispiel wind- und wasserverbreitete Pflanzen in jeder Generation mehrere Kilometer zurücklegen und werden außerdem durch Barrieren kaum in ihrer Verbreitung behindert. Auch bei Tieren gibt es artspezifische Unterschiede in der Mobilität, die die Reaktionsgeschwindigkeit auf den klimatischen Wandel bestimmen. Sehr mobile Tierarten, die auch größere Barrieren überwinden können, wie viele Vögel und Insekten, können auf Veränderungen ihrer Lebensräume schneller reagieren als wenig mobile Tiere wie Amphibien und Reptilien.

„Genetische Veränderungen laufen langsamer ab als individuelle Verhaltensanpassungen. Je kürzer die Generationsfolge, desto schneller ist eine Anpassung durch Selektion möglich. Einjährige Pflanzen und Insekten werden sich daher schneller genetisch verändern können als Bäume oder große Säugetiere. Unterschiedliche Anpassungsgeschwindigkeiten können wiederum zu Verschiebungen von Konkurrenzverhältnissen führen.“ (Auszug aus INKLIM 2012 – Baustein II; Klimafolgen im Bereich Naturschutz; PAMPUS, 2005)

Gefährdet sind vor allem Arten oder einzelne Populationen, die wegen begrenzter Ausbreitungsfähigkeit oder aufgrund von Barrieren in der fragmentierten Landschaft nicht in der Lage sind, schnell genug mit den von ihnen benötigten klimatischen Bedingungen mitzuwandern.

Unter diesem Gesichtspunkt gewinnt der Biotopverbund, wie er im § 29 des Landesnaturschutzgesetzes (LNatSchG) geregelt ist, noch größere Bedeutung. Er berücksichtigt, dass ein wirkungsvolles Konzept für den Arten- und Biotopschutz sich nicht auf den Schutz naturnaher Restflächen und besonders gefährdeter Arten beschränken darf, sondern das ökologische Gefüge der gesamten Landschaft und die Beziehungen der Populationen untereinander miteinbeziehen muss.

Die Planung vernetzter Biotopsysteme (VBS) stellt die regionalen und überregionalen Ziele des Arten- und Biotopschutzes landesweit und flächendeckend (ausgenommen die Siedlungsbereiche) umfassend im Maßstab 1: 25.000 dar. Die funktionalen Aspekte der Vernetzung werden dabei besonders berücksichtigt.

Ausgehend von den naturräumlichen Gegebenheiten entwickelt die VBS Zielvorstellungen

- zum Erhalt naturnaher Lebensräume,
- zur Entwicklung naturnaher Lebensräume,
- zur biotoptypenverträglichen Nutzung.

Sie enthält eine Fülle wichtiger Daten und liefert umfassende fachliche Informationen, die als Orientierungs- und Argumentationshilfe dienen.

Die Planung vernetzter Biotopsysteme ist ein Angebot an alle, die Landschaft gestalten, den Arten- und Biotopschutz in ihre Vorhaben zu integrieren. Sie ist nicht auf bestimmte Instrumentarien zur Umsetzung ausgerichtet, sondern ihre Ziele sollen vorwiegend durch Einbringen in die unterschiedlichsten Fachplanungen umgesetzt werden. Sie stellt damit auch eine wesentliche Grundlage zur Umsetzung des Biotopverbundes nach § 29 LNatSchG dar.

Die Planung vernetzter Biotopsysteme liegt für alle 24 Kreise und die kreisfreien Städte des Landes Rheinland-Pfalz vor.



### 3.2.8. Erosion

#### 3.2.8.1. Erosionsgefährdung in Rheinland-Pfalz

Nennenswerter Bodenabtrag erfolgt bei Starkregenereignissen (Wassererosion) und nach langen Trockenperioden durch Windverfrachtung (Winderosion).

Klimafaktoren und Standortfaktoren, wie Feinbodenart, Humusgehalt, Skelettgehalt, Hangneigung und Hanglänge bzw. Fetchlänge (freier Windangriffsweg) bestimmen die potentielle Erosionsgefährdung von Flächen. Durch die schützende Wirkung des dauerhaften Bewuchses ist die Erosionsgefahr bei Forst- und Grünlandflächen vergleichsweise gering. Bei den weitaus gefährdeteren ackerbaulichen Nutzflächen spielt der momentane Bedeckungsgrad, der Bearbeitungsfaktor (Funktion der Bewirtschaftungsweise) und der Erosionsschutzfaktor (Funktion der angewandten Bodenschutzmaßnahme, wie Konturbearbeitung und Terrassierung) eine große Rolle. Werden diese Faktoren zusätzlich berücksichtigt, so verwendet man dann den Begriff der aktuellen Erosionsgefährdung.

Sowohl die potentielle als auch die aktuelle Erosionsgefährdung durch Wasser oder Wind lassen sich mittels bodenkundlicher Methoden (Modellberechnungen) für verschiedene Maßstabsbereiche ermitteln. Für Rheinland-Pfalz stehen diesbezüglich Karten zur potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser für die ackerbaulich genutzten Flächen frei zugänglich im Umweltatlas Rheinland-Pfalz ([www.umweltatlas.rlp.de](http://www.umweltatlas.rlp.de)).

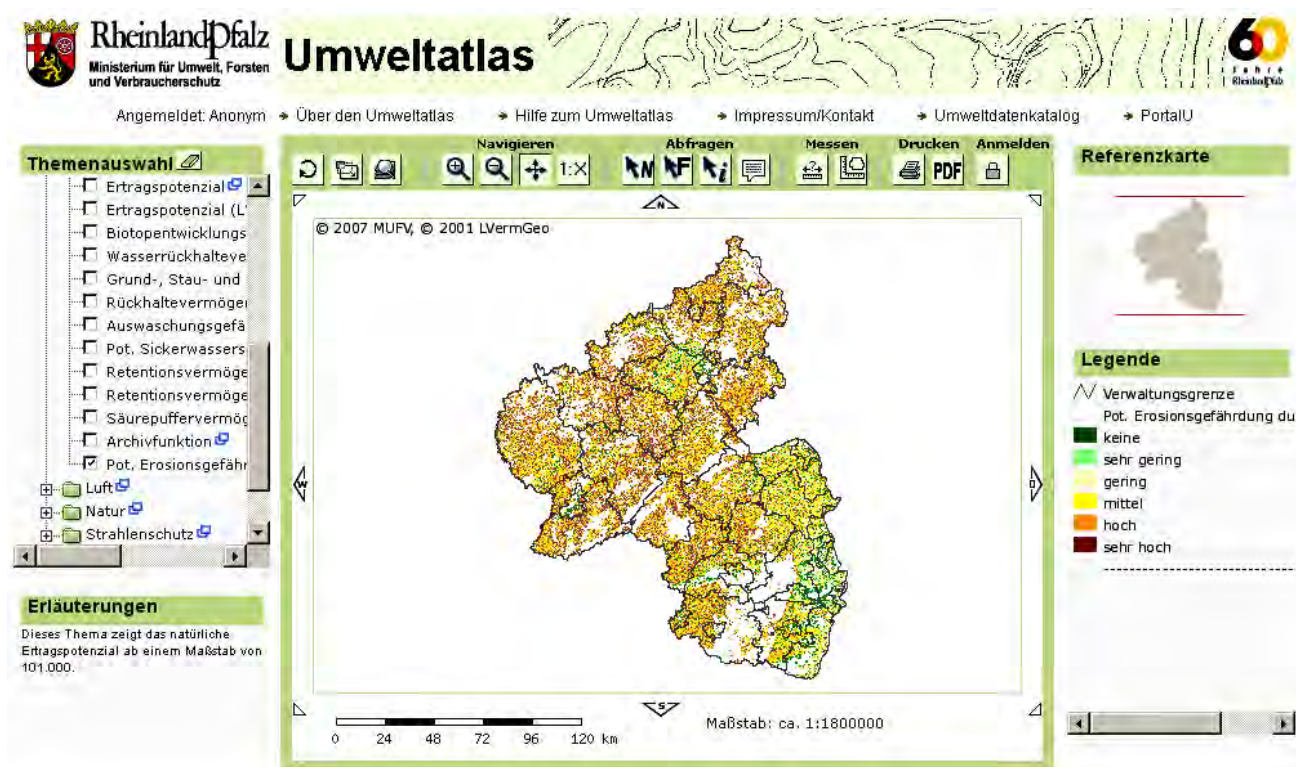


Abb. 3.31: ONLINE-Karte der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser



Besonders durch Wassererosion gefährdete Gebiete liegen in den sehr hängigen Weinbaugebieten des mittleren Moseltals, in den hängigen Lagen des Rheinhessischen Tafel- und Hügellands, im südöstlichen Teil des Saar-Nahe-Berglands, im Zweibrücker Westrich, in den hängigen Lagen des Gutlands, Saargaus und in Teilen des Maifeld-Pellenzer Hügellands. (MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2005: Schutzwürdige und schutzbedürftige Böden)

Erosion verändert nicht nur die Bodenfunktion (Lebensraumfunktion, Regel-, Filter- und Puffervermögen) der durch Abtrag bzw. Auftrag von Bodenmaterial betroffenen Böden, sondern führt auch zu erhöhter Staubbelastung, beeinflusst Gewässer und gefährdet unter Umständen das Straßen- und Schienennetz.

Die aktuelle Erosionsgefahr lässt sich maßgeblich durch eine angepasste Fruchtfolgegestaltung und Bearbeitungsweise steuern. (Vgl. landwirtschaftliche Anpassungsstrategien im Anhang A 2.4.4: Landwirtschaft).

#### 3.2.8.2. Einfluss des Klimawandels auf die Erosionsgefährdung

Die Erosionswirksamkeit der Niederschläge ist die klimatisch bedingte Komponente bei der Ermittlung der Erosionsgefahr durch Wasser. Auf Grund der bereits beobachteten Häufigkeits- und Intensitätszunahme dieser Niederschlagsereignisse (vgl. Kap. 3.2.3: Extremwetterereignisse) wird die prognostizierte Intensivierung der Starkniederschläge als der maßgebliche Faktor für eine künftig **verstärkte Erosionsgefahr durch Wasser** eingeschätzt. In Hanglagen können sie sogar im Extremfall das Auftreten von Schlammlawinen bewirken.

Aber auch längere **Trockenperioden**, die **Winderosion** fördern, werden wahrscheinlicher.

### 3.3 Allgemeine Folgen der Klimaveränderungen

Der in Rheinland-Pfalz stattfindende Klimawandel ist eine Medaille mit zwei Seiten. Er zeigt sowohl angenehme als auch unangenehme Folgen, wie z.B.:

- Immer neue Wetterrekorde – das Wettergeschehen neigt jedoch auch zunehmend zu großen Gegensätzen.
- Die Badesaison an den 78 Badeseen in Rheinland-Pfalz beginnt früher und dauert länger – doch ist die Wasserqualität bei hohen Temperaturen zunehmend gefährdet.
- Die Vegetationsperiode setzt früher im Jahr ein. Wärmeliebende Pflanzen wie z.B. Feigen in der Weinbauregion der Vorderpfalz, breiten sich weiter aus. Allerdings steigt die Gefahr von Spätfrostschäden. Einige neu zugewanderte Pflanzenarten und verlängerte Pollenflugzeiten, wie Haselnusspollen Anfang Dezember im Rhein-Main-Gebiet, verschärfen die Betroffenheit durch Allergien.
- Die Bedingungen für den Weinanbau ändern sich – für wärmeliebende Rotweinsorten können sie besser, für die fruchtbetonten Weißweine können sie schlechter werden, manche Rebsorten können verschwinden..
- Auch in der Tierwelt gibt es Gewinner und Verlierer – neue Arten wandern ein, z.B. die mediterrane Feuerlibelle, andere werden zunehmend verdrängt.
- Die Vermehrung mancher Krankheitsüberträger kann für den Menschen gefährlich werden – so haben sich die Zecken im Pfälzer Wald und in Rheinhessen deutlich vermehrt und sind länger im Jahr aktiv.
- Auch Tiere sind von einwandernden Krankheitserregern betroffen. Bisher war nicht bekannt, dass heimische Mücken den Blauzungenvirus übertragen können, das Virus traf also auf einen geeigneten Vektor.

#### 3.3.1. Betroffene Bereiche (Sektoren) in Rheinland-Pfalz

Die folgende Übersicht beschreibt in Stichworten ausgewählte, potenzielle Betroffenheitssektoren:

**Tab. 3.5: Betroffenheitssektoren von Klimaveränderungen - Beispiele**

Bereich	Betroffenheit
Landwirtschaft und Weinbau	Verlängerte Wachstumsperiode Gesteigerte Variabilität der Witterung Steigender Befallsdruck durch Schaderreger und verstärktes Aufkommen von Schädlingen (durch verändertes Temperaturniveau) Neue Pflanzenkrankheiten und Schädlinge (Einwanderungsschiene Oberrheingraben) Hitze- und Trockenschäden Schäden durch Starkniederschläge Qualität des Rieslings; Trend zu Rotweinen (Huglin Index)

Bereich	Betroffenheit
Forst	Veränderung der Wuchsdynamik und der Konkurrenzfähigkeit der Arten untereinander Veränderung der Wuchszonen der Baumarten Waldschäden durch Windbruch und durch Kombination von Trockenheit und länger anhaltenden Ozonperioden Zunahme von Schädlingen
Wasserwirtschaft	Hochwasserschutz Wasserversorgung Lokal steigende Grundwasserstände (durch vermehrte Winterniederschläge) Wachsender Beregnungsbedarf Badewasserqualität Überlastung von kommunalen Kanalnetzen durch Starkniederschläge
Gesundheit	Hitzewellen Einwanderung bzw. Vermehrung von Vektoren (z.B. Zecken, Stechmücken) oder Wirtstieren Allergien (Verlängerung Pollenflugzeit, zugewanderte Pflanzenarten) Verstärkung der lufthygienischen Belastung: Ozon (Veränderung des Strahlungshaushalts in Kombination mit Erwärmung) und Feinstaub (Zunahme der Länge von Trockenperioden)
Natur- und Artenschutz	Veränderung des Artenspektrums Wanderbewegungen Arealverschiebungen
Tourismus	Rückgang des Wintersporttourismus, jedoch längere Saison für Frühjahrs – und Herbst-Aktivitäten und Wanderurlaube (Mandelblüte, Weinlese etc.) Verlängerte Badesaison
Schifffahrt	Sommer: häufigere und längere Niedrigwasserperioden (Verminderung des Tiefganges / Frachtreduzierung) Winter: Schifffahrtsbeschränkungen durch Hochwasser
Energiewirtschaft	Kühlwasserprobleme im Sommer Spitzenlast durch Kühlanlagen bei Hitzeperioden In milden Wintern weniger Energiebedarf

### 3.3.2. Qualitative Wertung der Vulnerabilitäten der Bereiche (deutschlandweiter, regionaler Vergleich)

Die Verletzbarkeit der vom Klimawandel betroffenen Bereiche und damit das potentielle Schadensrisiko wird nicht nur vom Ausmaß der Betroffenheit, sondern auch von der jeweiligen Anpassungsfähigkeit bestimmt. Diese Vulnerabilität der Bereiche ist regional unterschiedlich. Eine Studie des Umweltbundesamtes bewertet die Vulnerabilitäten vergleichend für die Naturräume Deutschlands (siehe Abb. 3.32).

Bereich  Naturraum	Wasser		Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Biodiversität und Naturschutz	Gesundheit		Tourismus		Verkehr	Alle Bereiche
	Hochwasser	Dürre				Hitzebelastung	Vektor übertragene Krankheiten	Wintersporttourismus	Sonst. Tourismusformen		
Küste	---	~	-	-	-/- -?(2)	-	-?	k.A.	-	-	-
Nordwestdeutsches Tiefland	---	~	~	~	-/- -?(2)	~	-?	k.A.	-	-	-
Nordostdeutsches Tiefland	---	---	---	---	-/- -?(2)	-	-?	k.A.	-	-	---
Westdeutsche Tieflandsbucht	---	-	-	-	-/- -?(2)	---	---	k.A.	-	-	-
Zentrale Mittelgebirge und Harz	---	-	~	-	-/- -?(2)	-	-?	---	-	-	-
Südostdeutsche Becken und Hügel	---	---	---	---	-/- -?(2)	---	---	k.A.	-	-	---
Erzgebirge, Thüringer und Bayerischer Wald	---	-	-	-	-/- -?(2)	-	---	---	-	-	-
Links- und rechtsrheinische Mittelgebirge	---	-	-	-	-/- -?(2)	-	---	---	-	-	-
Oberhangraben	---	-	-	---	-/- -?(2)	---	---	k.A.	-	-	---
Alp und nordbayerisches Hügelland	---	-	-	-	-/- -?(2)	-	---	---	-	-	-
Alpenvorland	---	-	-	---	-/- -?(2)	-	---	k.A.	-	-	-
Alpen	---	~	~	-	---	~	-?	---	-	-	---
Deutschland gesamt	---	-	-	-	-/- -?(2)	-	---	---	-	-	-

<b>Bewertung:</b>	<b>Bewertung „alle Bereiche“:</b>	(1) Sturmfluten und Meeresspiegelanstieg
--- hohe Vulnerabilität	hohe Vulnerabilität, wenn mehr als 2 Bereiche hoch	(2) Vulnerabilität abhängig von Schutzziel.
- mäßige Vulnerabilität	mäßige Vulnerabilität, wenn 1-2 Bereiche hoch	- Schutz des Status Quo:
~ geringe Vulnerabilität	geringe Vulnerabilität, wenn kein Bereich hoch	- hohe Vulnerabilität
? Hohe Unsicherheit bzw. Schwierigkeit bei der Einschätzung	(„halbe“ Bereiche zählen nur halb)	- Prozessschutz: mäßige Vulnerabilität
k.A. keine Angaben	Bewertung „Deutschland gesamt“: Mittelwert	

**Abb. 3.32: Zusammenfassende Darstellung der Vulnerabilitäten (Schadensrisiko) gegenüber dem Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland ohne weitere Maßnahmen (Quelle: ZEBISCH; GROTHMANN; SCHRÖDER; HASSE, 2005)**

### 3.3.3. Umgang mit dem Klimawandel – vorsorgende Planung

#### Information der betroffenen Bereiche (Sektoren):

Klimaänderungen haben Auswirkungen auf viele Sektoren des Lebens. Eine Abschätzung der Folgen bedarf der interdisziplinären Zusammenarbeit.

Mit den Datensätzen von WETTREG und REMO steht für Rheinland-Pfalz ein Fächer von regionalen Klimaprojektionen für die nächsten 100 Jahre zur Verfügung. Um diese Projektionen nutzen zu können, sind aus den umfangreichen Datenreihen, durch geeignete Auswertungen und Visualisierungen, Basisinformationen zu extrahieren, die den Experten aus unterschiedlichen Fachgebieten als Grundlage für weitere Klimafolgenabschätzungen dienen können. Auch sind Unsicherheiten in den prognostizierten, lokalen Klimaänderungen, u.a. auch modellbedingt, einer fachlichen Einschätzung zu unterziehen.

Öffentlichkeitsinformation und die Durchführung von Veranstaltungen und Workshops unterstützen den Aufbau eines Expertennetzwerkes für Rheinland-Pfalz.

#### Risikominimierung durch Förderung der Anpassungsfähigkeit und der Flexibilität:

Die regionalen Klimaprojektionen können nicht das zukünftige Klima in Rheinland-Pfalz vorhersagen. Hierzu hängt das zukünftige Weltklima von zu vielen Möglichkeiten der Menschheits- und damit auch der Emissionsentwicklung ab. Hinzukommen weitere klimabeeinflussende Faktoren, die noch unsicher bzw. zum Teil noch nicht umfassend genug bekannt sind. Die Klimamodellläufe spannen jedoch, in Abhängigkeit von unterschiedlichen Emissionsszenarien einen wahrscheinlichen Entwicklungskorridor des Weltklimas auf und verdeutlichen die Ausprägung. Die darauf basierenden regionalen Klimaprojektionen zeigen, dass für die untersuchten möglichen Weltklimaentwicklungen regionale Muster und zum Teil Unterschiede in der Entwicklung des Regionalklimas in Rheinland-Pfalz auftreten. Sie sind damit Grundlage, um die Art und Bandbreite der möglichen Auswirkungen und Folgen des zukünftigen Klimawandels für Rheinland-Pfalz auch lokal abzuschätzen zu können.

Bei aller Unsicherheit der Klimaprojektionen ist hinsichtlich der Klimaentwicklung der nächsten 100 Jahre in Rheinland-Pfalz eines jedoch sicher: die räumliche und zeitliche Variabilität wird noch weiter zunehmen. Alles Leben in Rheinland-Pfalz wird sich auf große Witterungsgegensätze und partiell schnelle klimatische Veränderungen einstellen müssen.

**Den Risiken des Klimawandels kann wirksam nur durch eine Verminderung der Verwundbarkeit, d.h. durch stabile Mensch-Umwelt-Systeme und durch Förderung der Vielseitigkeit und Flexibilität begegnet werden.**



## 3.4 Spezifische Folgen der Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen

### 3.4.1 Wasserwirtschaft

Der gesamte Wasserhaushalt ist unmittelbar an die klimatischen Bedingungen geknüpft. Deshalb und um den engen Zusammenhang mit den beobachteten und zukünftig möglichen Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen gerecht zu werden, wurde bereits im Kapitel 3.2 „Klimawandel in Rheinland-Pfalz“ die landesspezifischen Fakten hierzu, aufgegliedert in die Bereiche Grundwasser und Abfluss, dargestellt.

Eine Abschätzung der erwarteten **Folgen** des Klimawandels für die Wasserwirtschaft ist, in Zusammenhang gesetzt mit den lokalen Grundgegebenheiten in Rheinland-Pfalz, ebenfalls in den Kapiteln 3.2.4 „Grundwasser“ und 3.2.5 „Abfluss“ enthalten.

Von der Wasserwirtschaftsverwaltung werden mögliche Auswirkungen des Klimawandels umfassend berücksichtigt und fließen in konkrete **Maßnahmen** ein.

Dies sind insbesondere:

- Konsequente Umsetzung des rheinland-pfälzischen Drei-Säulen-Hochwasserschutzkonzeptes. Dieses beinhaltet für den Oberrhein technische Schutzmaßnahmen zur Erreichung einer 200-jährlichen Hochwassersicherheit einschließlich der konkreten Planung von Reserveräumen für Extremhochwasser (in der Hördter Rheinaue sowie im Eicher Rheinbogen) für darüber hinausgehende Hochwasser (Vorsorgeansatz).
- Die Aktion Blau zur Renaturierung und Revitalisierung der Flüsse und Bäche für mehr dezentralen Hochwasserrückhalt auf der Fläche (Vermeidungsansatz).
- Die Grundsätze der rheinland-pfälzischen Abwasserbeseitigung mit dezentraler Niederschlagswasserkonzeption mit Versickerung/Rückhalt (wo immer möglich) und zugleich zur Vermeidung der Einleitung in die Kanalisation bzw. in die Gewässer (Vermeidungsansatz).
- Die Gewässerbewirtschaftung in der Vorderpfalz durch Schaffung großräumiger Verbundsysteme (Nord- und Südspange) unter Berücksichtigung der geringen Wasserführung der Bäche in den Sommermonaten und zeitweise hohen Grundwasserständen (Vorsorgeansatz).
- Das zentrale Beregnungskonzept für die Vorderpfalz und Rheinhessen mit Entnahme aus dem Rhein und Verzicht (Schonung) auf unkoordinierte dezentrale Entnahmen aus den empfindlichen Bächen und dem Grundwasser (Vorsorgeansatz).
- Die großräumigen Trinkwasserverbundsysteme zum überregionalen Mengenausgleich im Bedarfsfall (Wasserversorgungsplan Rheinland-Pfalz).

Die Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Rheinland-Pfalz ist zum 1. Januar 2007 der Vereinbarung zwischen den Ländern Baden-Württemberg und Bayern sowie dem Deutschen Wetterdienst zu einer längerfristigen Gebiets- und fachübergreifenden Zusammenarbeit zum Thema „Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ beigetreten.

Gegenstände der Zusammenarbeit sind:

- Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushaltes
- Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt
- Messprogramm zur Erfassung künftiger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushaltes
- Öffentlichkeitsarbeit

Hinsichtlich der ausführlichen Darstellung des Projektrahmens sowie der Beschreibung der laufenden und bereits abgeschlossenen Arbeiten wird - um den Rahmen dieses Berichtes nicht zu sprengen - auf das gemeinsame Internetportal der Kooperationspartner verwiesen ([www.kliwa.de](http://www.kliwa.de)). Ein Übersichtsplan des KLIWA - Arbeitsprogramms befindet sich im Anhang des vorliegenden Berichtes.

### 3.4.2 Erosion und Bodenschutz

Für den Bereich Bodenschutz sind derzeit keine konkreten **Folgen** feststellbar. Die prognostizierten klimatischen Veränderungen der meteorologischen Parameter Temperatur und Niederschlag werden Auswirkungen auf den Boden haben. Dies wird kurz- bis mittelfristig zu Änderungen der Bodenzusammensetzung und Bodenfruchtbarkeit, zum Bodenwasserhaushalt mit Auswirkungen auf den Gebietsabfluss und die Grundwasserneubildung sowie auf die Bodenerosion durch Wasser und Wind führen.

Die höheren Temperaturen, geringere Niederschläge und längere Trockenperioden führen insbesondere im Sommer zu einer verringerten Bodenfeuchte und zu einer Verstärkung der Wind-Erosionsgefahr.

In Folge sowohl der Zunahme winterlicher Starkniederschläge (vgl. Kap. 3.2.3.: Extremwetterereignisse) wie auch der erwarteten Fortsetzung des Trends zu insgesamt noch weiter steigenden Winterniederschlagshöhen (vgl. Kap. 3.2.2.: Niederschläge) muss mit einer verstärkten Wasser-Erosion von Bodenmaterial sowie einer Risikoverstärkung von Hochwasserereignissen bzw. Überschwemmungen gerechnet werden.

Ingesamt sind – je nach Teilgebieten von Rheinland-Pfalz und den zugrunde zu legenden Szenarien – Veränderungen der Böden als „Produktionsstandort“ für landwirtschaftliche Erzeugnisse, einschließlich Energiepflanzen, zu erwarten. Durch eine nachhaltige standortangepasste Bodennutzung (z.B. Verhinderung der Boden- und Winderosion, konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat und Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität) (BUNDESRAT Drucksache 469/07, 2007) können negative Auswirkungen ggf. verringert bzw. ausgeschlossen werden, während gleichzeitig u.a. auch positive Auswirkungen durch längere Vegetationsperioden gegeben sind (vgl. Kap. 3.4.4.: Landwirtschaft).

Die Böden – insbesondere in den noch derzeitigen Permafrostgebieten - bestimmen als Kohlenstoffspeicher wesentlich das Klimageschehen. Kohlendioxid ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Eine weitere Erhöhung des Kohlendioxids in der Atmosphäre lässt eine Zunahme der globalen Temperaturen erwarten. Weltweit der größte und gleichzeitig langfristige aktive terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff ist der Boden. Eine Schlüsselrolle spielt dabei der

Humusanteil im Boden, welcher durch die Verrottung organischer Substanzen entsteht. Er kann Kohlenstoff im Boden binden und damit einen Beitrag zur Minderung des Kohlendioxid-Gehaltes in der Atmosphäre leisten.

Die Rodung von Wäldern, die Trockenlegung von Sümpfen und Mooren, sowie die Ausdehnung der Landwirtschaftsflächen, beschleunigen den Abbau und Zerfall von Humus. Landnutzungsänderungen dieser Art sind u.a. auch Ursachen für den anthropogen bedingten Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre. (IPCC, 2007)

Mit umweltfreundlichen Bodennutzungs- und Bewirtschaftungssystemen kann Kohlenstoff im Boden und in den terrestrischen Ökosystemen gebunden werden.

Der Boden ist bedeutend als Produktionsstandort für forst- und landwirtschaftliche Erzeugnisse.

Anliegen des Bodenschutzes ist es, die fachlichen Grundlagen zum Bodenzustand stetig zu verbessern. Mittels bewährter Methoden zur Bewertung der Bodenfunktionen (z.B. zur Bodenfruchtbarkeit, zur Bodenerosion) können durch Variation von Klimafaktoren detaillierte landesweite Prognosekarten für unterschiedliche Szenarien erstellt werden. Diese stellen damit wichtige Ausgangsprognosedaten für darauf abzustellende Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungsweisen dar.

Die Wechselwirkungen zwischen Klimaänderungen und den Veränderungen des Bodenzustandes sind komplexer Natur und noch nicht in ihrer Gesamtheit untersucht. Im Vordergrund der Forschungsaktivitäten stehen bisher die Vorhersage und Quantifizierung der terrestrischen Kohlenstoffbilanz von Böden und die Prozesse des Kohlenstoffumsatzes im System Atmosphäre - Bestand – Boden (ZEBISCH, GROTHMANN, SCHRÖDER, HASSE, 2005). Hier ist zukünftig eine Betrachtung der Gesamtprozesse im Boden (Wasserhaushalt, Gehalt an organischer Substanz) und der Wechselwirkungen zwischen Boden, Vegetation, Atmosphäre und Klima notwendig. Es fehlt die zusammenfassende komplexe Darstellung und Analyse aller mit den Klimaänderungen in Zusammenhang stehenden Sachverhalte zum Bodenschutz und eine darauf aufbauende Ableitung geeigneter Methoden- und Anpassungsstrategien.

Im Einzelnen können folgende Hinweise zu **Forschungsbedarf** gegeben werden (vgl. UMWELTBUNDESAMT, 2005: Workshop „Klimaänderungen – Herausforderungen für den Bodenschutz“):

- Forschung zu Fragen der Kohlenstoffstabilisierung im Boden, z.B. Interaktion zwischen chemischen und biologischen Prozessen,
  - Untersuchungen von Wechselwirkung und Einfluss des Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf im Boden,
  - Gewinnung verlässlicher Aussagen darüber, wie die organische Bodensubstanz auf veränderte Umweltbedingungen, wie z.B. erhöhtes Angebot an Stickstoff und steigende Temperaturen, reagiert,
  - Untersuchungen zur Steuerung der Kohlenstoff-Flüsse durch Pflanzen- und Bodenprozesse.
- Ermittlung des Status Quo: Inventur der Kohlenstoff-Vorräte in den Böden (alle Landnutzungen, Kohlenstoffgehalte, Lagerungsdichte, Moore: Mächtigkeit des Torfkörpers) um

die notwendigen Basisdaten für eine belastbare Abschätzung der Entwicklung der Bodenkohlenstoff-Vorräte vornehmen zu können.

- Entwicklung von Strategien zur langfristigen Kohlenstoff-Speicherung in Böden.

Die Auswirkung der erhöhten Starkniederschläge auf die Erosion der Böden wird als bedeutend angesehen. Hier ist ebenfalls Forschungsbedarf erkennbar. Auf Grund des Vorhandenseins von geeigneten Bodendaten für Rheinland-Pfalz ist vorgesehen, flächendeckend die Auswirkungen unterschiedlicher Klimaszenarien auf die Erosionssituation zu prognostizieren.

Für die sichere Ableitung von Trends sind definierte, zuverlässige Ist-Ausgangszustände sowie mehrere mit identischer Methode durchgeführte Wiederholungsuntersuchungen, - in parameterabhängigen geeigneten zeitlichen Abständen - notwendig. Für den Bereich Bodenschutz sind als methodischer Ansatz deshalb Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) besonders geeignet.

Vor diesem Hintergrund soll das in unseren Wäldern seit Jahrzehnten von der Forstwirtschaft betriebene Umweltmonitoring durch ergänzende Untersuchungen zu vollwertigen Bodendauerbeobachtungsflächen ausgebaut werden.

### 3.4.3 Forstwirtschaft

**Folgen** des Klimawandels für die Forstwirtschaft zeichnen sich ab. Die sturmbedingten Schadholzmengen im Wald haben zugenommen (1984/1985, 1990 Vivian/Wiebke, 1999 Lothar, 2007 Kyrill) (LANDESFORSTEN RHEINLAND-PFALZ; Holzeinschlagsstatistiken der entsprechenden Jahre). Ebenso waren in den letzten 1 ½ Jahrzehnten häufiger warm-trockene Vegetationszeiten zu verzeichnen. Hierdurch kam es zu Stress-Belastungen, die wiederum z.B. bei der Baumart Fichte zu erhöhtem Borkenkäferbefall und Schadholzaufkommen geführt haben. Die Befunde der Wasserhaushaltssimulationen an den Dauerbeobachtungsflächen der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz belegen eine besondere Trockenstressbelastung in den Jahren 2003, 1999, 1997, 1991 und 1990 (FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ, 2007a).

Die Faktorenkomplexe Sturmschaden und Trockenstress verstärken sich gegenseitig. Durch Sturm aufgerissene Wälder mit plötzlich frei in der Sonne stehenden Bäumen sind hitzeanfällig. Vormalig geschlossene Wälder, in denen Borkenkäfer an windexponierter Stelle Löcher verursacht haben, fallen leichter dem Sturm zum Opfer. Die Belastung durch Luftschadstoffe bekommt eine zusätzliche Brisanz, wenn durch Freiflächensituationen und Temperaturextreme Umsetzungsprozesse in Gang kommen, die Stickstoff- und Versauerungsschübe im Waldboden beschleunigen.

Schadinsekten, die in früheren Zeiten nur in Südeuropa relevant waren, wandern entlang der großen Flusstäler nach Norden (MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ, 2006: Waldzustandsbericht). Der Befall durch Schwammspinner und den Eichenprozessionsspinner war bis dato in Rheinland-Pfalz nicht beobachtet worden.

Die klimatischen Bedingungen bestimmen maßgeblich, welche Waldgesellschaft von Natur aus in welcher Region dominiert. Allerdings wirken sich nicht nur die Jahresmitteltemperatur und die Jahresniederschlagssumme, sondern weitere Standortsfaktoren, wie Winter- und Spätfröste, Sommer-

trockenheit und auch Bodeneigenschaften, wie etwa die Nährstoffverfügbarkeit, die Durchwurzelbarkeit und die Wasserspeicherfähigkeit aus.

Die **Anpassung** an sich ändernde Umweltbedingungen verläuft im Wald sehr langsam. Das zeigen die „Wanderungsbewegungen“ der verschiedenen Baumarten nach der letzten Eiszeit. Die aktuell berechneten Veränderungen der Klimabedingungen erfolgen in weitaus kürzeren Zeiträumen als die Erwärmung nach der letzten Eiszeit. Zudem ist die Anpassung durch die Zersplitterung und Isolierung der Waldareale durch waldfreie, landwirtschaftlich genutzte oder besiedelte Gebiete beeinträchtigt.

Die durch den Klimawandel bedingte Gefährdung des Waldes durch Sturm, Starkregen, Hagel oder ausgeprägte Dürren und in deren Folge auch durch Feuer sowie Insektenkalamitäten wird daher zunehmen. In welchem Maß, zu welcher Zeit und an welchem Ort hiermit zu rechnen ist, lässt sich nicht mit hoher Bestimmtheit vorhersagen, da neben den Unsicherheiten der Szenarien die Zusammensetzung des Waldes und die Exponiertheit jeweils sehr unterschiedlich sind. Es lassen sich aber Risikobereiche identifizieren, in denen mit höherer Wahrscheinlichkeit Schäden eintreten werden. So muss beispielsweise damit gerechnet werden, dass die Baumart Fichte im trockenwarmen Weinbauklima ausfallen wird (KÖLLING, 2007):

Bei einer Klimaerwärmung ist mit wesentlichen Veränderungen im Wirt-Parasit-Verhältnis der einheimischen Arten zu rechnen (SEEMANN, DELB, SCHRÖCK, 2001). Darüber hinaus werden sich neue Schädlinge und Krankheiten leichter etablieren können. Insekten und Pathogene werden zum einen aufgrund der klimatischen Veränderungen häufig günstigere Entwicklungs- und Überlebensbedingungen vorfinden und zum anderen sind die Abwehrmechanismen der Bäume bei Temperaturanstieg und zunehmender Sommertrockenheit geschwächt.

Steigen werden auch die Risiken von Hochwasser, Sturzfluten, Erosion und sommerlichem Wassermangel (SPEKAT, ENKE, KREIENKAMP, 2007), wodurch Waldlebensraumtypen und Biotope beeinträchtigt werden oder sogar verloren gehen können.

Es wird weiterhin Wald in Rheinland-Pfalz geben. Es wird jedoch in seiner Zusammensetzung Verschiebungen zu warm-trockeneren Ausprägungen geben. Die Anpassungsstrategie ist darauf ausgerichtet, den Übergang ohne großflächigen Zusammenbruch des Systems zu ermöglichen. Die waldbaulichen Entscheidungen erfolgen unter Unsicherheiten, da es sich um besonders lange Zeiträume handelt. Die Standortbedingungen der Bäume werden sich innerhalb eines einzigen Lebenszyklus ändern, da ein Baumindividuum nicht „flüchten“ kann.

Die Maxime der Anpassungsstrategie liegt daher in Risikostreuung durch Vielfalt und in rechtzeitigen, d.h. mit Blick auf erwartete Veränderungen proaktiven Waldumbaumaßnahmen. Die für die jeweiligen Wälder und Betriebe erforderlichen Maßnahmen werden im Zuge der Forstbetriebsplanung operationalisiert.

Die heimischen Baumarten verfügen über sehr unterschiedliche Anpassungen an die jeweils herrschenden Standortbedingungen. Einige haben ihre „Wohlfühlbereiche“ in eher kühlen Klimaten, andere sind an eher warme Klimate angepasst. Einige Baumarten, wie die Buche oder der Bergahorn, besitzen eine sehr große ökologische Amplitude, andere, wie Speierling oder Elsbeere besetzen dagegen vergleichsweise kleine ökologische Nischen.



Diese Vielfalt bietet große Chancen. So lassen sich an künftige Klimabedingungen besser angepasste Baumarten gezielt fördern und weniger angepasste zurückdrängen. Beispielsweise stockt ein nennenswerter Teil der Fichte bereits bei den gegenwärtigen Klimabedingungen in Rheinland-Pfalz auf trockenstressgefährdeten Standorten. Dort soll die Fichte behutsam durch trockenstresstolerantere Baumarten wie Douglasie oder Eiche ersetzt werden. In den kühleren und regenreicheren höheren Lagen des rheinischen Schiefergebirges ist dagegen eine generelle Abkehr von der Fichte als Wirtschaftsbaumart nicht erforderlich.

Auch bislang eher seltene, wärmeverträgliche Baumarten wie Sommerlinde, Spitzahorn, Speierling, Wildkirsche und Edelkastanie werden verstärkt berücksichtigt. Auf warm-trockenen Standorten kommt auch eine Beteiligung von Baumarten, die auf solche Standortverhältnisse spezialisiert sind, wie Robinie oder Schwarzkiefer in Betracht.

Grundsätzlich sind die Bedingungen für eine Anpassung der Wälder an den Klimawandel in Rheinland-Pfalz gut. Bereits heute gibt es eine große klimatische Bandbreite im Land, die vom warmen Weinbauklima bis hin zu feucht kühlen Mittelgebirgshöhenzügen reicht. Die weite Amplitude der Buchenwälder, die zum überwiegenden Teil die natürlichen Waldgesellschaften im Land abbilden, ermöglicht eine Waldentwicklung, die nicht darauf angewiesen ist, völlig fremde, bislang nicht im Ökosystem beheimatete Elemente einzuführen. Die aufeinander abgestimmten Lebensgemeinschaften und Kreisläufe müssen nicht aufgebrochen werden. Die große Chance liegt in der Möglichkeit, Wälder anzureichern, Vielfalt zu steigern und damit auch Risiko zu streuen.

Bei der Baumartenwahl müssen grundsätzlich die jeweils herrschenden standörtlichen Verhältnisse wie Exposition, Bodenwasserhaushalt oder Nährstoffverfügbarkeit beachtet werden. Eine noch größere Bedeutung als bisher erlangt in diesem Zusammenhang die forstliche Standortkartierung, da die Einhaltung der standörtlichen Vorgaben noch wichtiger als bislang wird. Die Standortkarten werden zeitdynamisch im Hinblick auf klimabedingte Standortveränderungen erweitert um besondere Risikoareale auszuweisen.

Wo ein Baumartenwechsel notwendig erscheint, soll dieser behutsam erfolgen, beispielsweise durch den Voranbau der erwünschten Baumarten unter die vorhandenen Bestände. Ein überhasteter Baumartenwechsel zum Beispiel durch kompletten Abtrieb und Neupflanzung kann zu beträchtlichen wirtschaftlichen Einbußen führen und mit gravierenden ökologischen Nachteilen verbunden sein.

Ein Ersatz der heimischen oder eingebürgerten Baumarten durch Baumarten aus wärmeren Klimaten ist weder notwendig noch auf größerer Fläche verantwortbar. Zu bedenken ist, dass auch in den nächsten Jahrzehnten noch sehr kalte Winter und kühlfeuchte Sommer auftreten können. Auch lassen sich die Risiken des Anbaus neuer Baumarten erst nach sehr langwierigen Anbauversuchen zuverlässig abschätzen.

Eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung der Risiken durch den Klimawandel ist die gezielte Erhöhung des Anteils von Mischbeständen. Daher wird der Umbau von Nadelholzreinbeständen in stabile Mischbestände konsequent fortgesetzt. Auch in reinen Laubholzbeständen wird eine Mischung unterschiedlicher Baumarten angestrebt.

Zur Risikominimierung trägt ebenso eine intensive Waldpflege durch konsequente Förderung der Kronen- (und Wurzel-) Entwicklung vitaler Einzelbäume sowie eine Erhöhung der vertikalen Strukturvielfalt durch Aufbau mehrschichtiger und möglichst altersgemischter Waldbestände bei. Die Waldbaurichtlinien wurden entsprechend weiterentwickelt und in die Praxis eingeführt.

(MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 1993 ff: Waldbaurichtlinien für Landesforsten). Bäume mit großer Krone fruktifizieren früher. Hierdurch wird schneller der natürliche Generationenwechsel zum Folgewald ermöglicht. Die wiederkehrende Rekombination des Erbgutes erleichtert die Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen. Großkronige Bäume erreichen darüber hinaus schneller die gewünschte technische Zieldimension im Stammbereich. Diese Bäume können früher geerntet werden und sind über vergleichsweise kürzere Zeiträume den Witterungsrisiken ausgesetzt.

Auch der genetischen Vielfalt innerhalb der einzelnen Arten kommt eine Schlüsselrolle bei der Anpassung des Waldes an künftige Klimaverhältnisse zu. Entscheidend sind die genetische Diversität und die Angepasstheit der Populationen an die aktuell und künftig herrschenden Klimabedingungen. Eine breite genetische Basis mit einer ausreichenden Zahl von Merkmalskombinationen befähigt die Arten, sich an Veränderungen der Umweltbedingungen anpassen zu können. Entsprechende Untersuchungs- und Sicherungsprogramme wurden durch die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz eingeleitet.

Baumarten, die von Natur aus in sehr unterschiedlichen Klimaten vorkommen, wie Buche oder Douglasie, haben sich im Laufe der Evolution an die jeweils herrschenden Umweltbedingungen angepasst. So zeigen die verschiedenen europäischen Buchenherkünfte große Unterschiede in der Trockenstresstoleranz. Die genetische Differenzierung dieser Baumarten in Hinblick auf ihre Umweltansprüche wird künftig verstärkt genutzt.

Andere Baumarten, wie insbesondere die Wildobst- und Sorbusarten sind durch Jahrtausende lange menschliche Wirtschaft auf Restvorkommen zurückgedrängt worden. Sie sind häufig nur mehr als Einzelexemplare oder in kleinen Gruppen anzutreffen und haben nicht die Möglichkeit, sich untereinander zu bestäuben. Daher können Inzuchtmerkmale wie schlechte Keimfähigkeit oder Wuchsdepressionen auftreten. Da diese Baumarten nicht nur sehr wertvolles Holz liefern, sondern auch wärmetolerant sind, werden sie künftig eine größere Rolle im Waldbau spielen. Allerdings muss gewährleistet sein, dass das Saat- und Pflanzgut eine hohe genetische Diversität aufweist. Daher wurden in Rheinland-Pfalz Samengärten dieser Baumarten angelegt. In den Samengärten wird eine große Anzahl individueller Genotypen zu Fortpflanzungseinheiten zusammengeführt. Deren Nachkommenschaften sind mit höherer genetischer Vielfalt und dementsprechend besserer Anpassungsfähigkeit ausgestattet. Bis heute wurden für 22 seltene Baumarten Samengärten im Land Rheinland-Pfalz angelegt, darunter alle bei uns vorkommenden Wärme liebenden Baumarten wie Sommerlinde, Speierling, Elsbeere, Vogelkirsche, Wildapfel, Wildbirne, Spitzahorn und Robinie.

Aber auch die größte genetische Vielfalt in den Populationen einer Baumart hat dort ihre Grenzen, wo die Wasserversorgung und andere Standortfaktoren für das Gedeihen der jeweiligen Baumpopulationen nicht mehr zuträglich sind. Im Rahmen von Herkunftsversuchen werden Ökotypen einer Baumart identifiziert, die mit den Standortverhältnissen am besten zurechtkommen.

Auch das genetische Potenzial der Niederwälder ist in diesem Zusammenhang ein wichtiges und womöglich sehr wertvolles Naturinventar. Bäume, die teilweise seit Jahrhunderten in z.B. warmen Weinbaugebieten in den großen Flusstälern überdauert haben, sind bestens angepasst und tragen mit hoher Wahrscheinlichkeit Erbinformationen in sich, die gesichert werden müssen.

Eine Züchtung von besonders trockenheitsresistenten Bäumen wird nicht verfolgt, da die Züchtung mit einer Einengung der genetischen Diversität verbunden ist. Zudem wird die Fokussierung auf nur

einen Standortsfaktor (z.B. Wasserversorgung) den komplexen und sich im Laufe eines Baumlebens kaum vorhersehbar ändernden Umwelteinflüssen nicht gerecht.

Auch bei einem raschen Gegensteuern wird eine Verstärkung klimabedingter Stresseinflüsse auf den Wald nicht vermeidbar sein. Umso mehr gilt es, andere Stresseinflüsse nach Möglichkeit zu reduzieren. Daher müssen die Anstrengungen zur Verminderung der Emission von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen konsequent fortgesetzt werden. Zur Stabilisierung versauerungsgefährdeter Waldökosysteme hat sich die Waldkalkung bewährt (SCHÜLER, 1996). Sie wird daher im erforderlichen Umfang fortgeführt.

Angesichts des Klimawandels erlangt die erforderliche Reduzierung der Schalenwildbestände eine noch höhere Priorität als bereits bisher. Nur bei angepassten Wilddichten kann die angestrebte Entwicklung von Mischbeständen mit Einbeziehung bislang seltener, wärmetoleranter Baumarten gelingen.

Aller Voraussicht nach werden bei einer Klimaerwärmung die Risiken durch Schadorganismen und Krankheiten steigen. Um Gefahren für den Wald rechtzeitig erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können, ist eine Intensivierung der Überwachung der Waldbestände auf das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten erforderlich. Besonderes Augenmerk wird hierbei nicht nur auf die bereits heute relevanten Schadorganismen zu richten sein wie die Fichtenborkenkäfer, sondern auch auf bislang noch wenig beachtete Gegenspieler unserer Bäume wie rinden- und holzbrütende Laubholzborkenkäfer, Prachtkäfer und verschiedene blattfressende Schmetterlingsarten. Zu intensivieren sein wird auch die Überwachung des Auftretens von invasiven Arten wie beispielsweise des Kiefernholznematoden oder des asiatischen Laubholzbockkäfers.

Zunehmen wird auch die Gefährdung des Waldes durch Waldbrände. Die Waldbrandgefährdung kann durch geeignete waldbauliche Maßnahmen, beispielsweise durch Unterbau von Nadelbaumbeständen mit Laubbäumen, und durch geeignete Erschließungsmaßnahmen eingedämmt werden.

Die im Zuge des Klimawandels projizierte Erhöhung der winterlichen Niederschläge in den rheinland-pfälzischen Mittelgebirgen birgt die Gefahr häufigerer und stärkerer Hochwasserereignisse. Da der Wald die flächenmäßig bedeutsamste Bodennutzungsform in Rheinland-Pfalz ist, muss der Wald zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen (SCHÜLER, 1996).

Die Waldbewirtschaftung trägt diesen Zielen Rechnung. Wesentliche Bausteine hierbei sind:

- Naturnaher Waldbau und die kontinuierliche Erhaltung einer Vegetationsbedeckung
- Aufforstungen zur Abflusshemmung in ausgedehnten landwirtschaftlichen Arealen
- Förderung und Erhaltung der Bodenporenstruktur durch Schutzkalkung versauerter Wälder und durch Förderung von ökologisch stabilen Mischwäldern
- Bodenschonende Holzernte- und Bringungstechnologien
- Beschränkung der Waldwegedichte auf den notwendigen Umfang
- Wasserableitung von Waldwegen und Versickerung in benachbarten Waldflächen

- Vermeidung von Linienstrukturen, Schließen von Entwässerungsgräben
- Schaffung und Erhaltung von naturnahen Wasserrückhalteräumen im Wald
- Renaturierung der Waldbäche, der Uferbereiche und Bachauen sowie von Feuchtgebieten, Bruchflächen und Mooren.

Die Waldforschung kann in Deutschland bei Fragen zur Gefährdung des Waldes durch den Klimawandel auf einer breiten Wissensbasis aufbauen. Dennoch stellen sich mit den sich verändernden Rahmenbedingungen insbesondere folgende Fragen:

Welche Baumart reagiert auf die Klimaänderungen empfindlicher als andere? Welche Baumarten und welche Baumartenmischungen sollen künftig auf welchen Standorten angebaut werden? Welche Herkünfte oder welche Rassen sind auf welchen Standorten geeignet? Wie verändern sich der Wasserhaushalt, der Nährstoffhaushalt und die Kohlenstoffspeicherung der Waldstandorte bei den verschiedenen Klimaszenarien? Wie verschieben sich die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten und wie reagiert ihr Wachstum bei Änderung der Klimabedingungen? Wie entwickeln sich beim Klimawandel die Schäden durch Veränderungen in den Wirt-Parasit-Verhältnissen?

Als Methoden stehen der Einsatz von Waldökosystemmodellen und modellgestützten Szenarioanalysen zur Verfügung. Hiermit können gegebenenfalls Fragen der Art „was wäre, wenn.....“ beantwortet werden, ohne die Befunde langjähriger Versuchsreihen abwarten zu müssen. Allerdings sind Langzeituntersuchungen wie beispielsweise Anbauversuche mit verschiedenen Baumarten, Herkünften oder Rassen unter unterschiedlichen Klimabedingungen nach wie vor unverzichtbar, zumal alle Szenarioanalysen mit Unsicherheiten behaftet sind.

Von zentraler Bedeutung ist es, ungünstige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Nur dann kann rechtzeitig gegengesteuert werden. Hier kommt dem forstlichen Umweltmonitoring eine Schlüsselrolle zu. In den letzten Jahrzehnten wurde das forstliche Umweltmonitoring von einem Aufnahmeverfahren der Waldschäden zu einem umfassenden und europaweit harmonisierten Umweltüberwachungssystem im Wald ausgebaut. Es liefert umfangreiche Daten mit bereits weit zurück reichenden Zeitreihen zu Witterungsverläufen, Wasserhaushalt, phänologischen Beobachtungen, Nährstoffnachhaltigkeit, Biodiversität, Kohlenstoffspeicherung, Luftschadstoffbelastung und anderen abiotischen und biotischen Stresseinflüssen sowie Informationen zur Reaktion der Waldbäume und Ökosysteme auf die sich verändernden Umweltbedingungen.

Vor dem Hintergrund der potenziellen Bedeutung des Klimawandels für die Forstwirtschaft stehen eine Reihe aktueller **Projekte** in unmittelbarem thematischen Zusammenhang mit dem Klimawandel:

#### Projekt „WaReLa“

In einem interdisziplinären, EU-geförderten Projekt (Water Retention by Land-Use – WaReLa) hat die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz gemeinsam mit Partnern aus Rheinland-Pfalz, Baden Württemberg und den europäischen Nachbarländern Waldbewirtschaftungsstrategien entwickelt und in Testgebieten beispielhaft umgesetzt. Diese dienen dem Wasserrückhalt und tragen damit zum vorbeugenden Hochwasserschutz bei (FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ, 2007b)

### Projekt „ForeStClim“

Die Landesforsten Rheinland-Pfalz planen ab Anfang 2008 mit Partnern aus Rheinland-Pfalz, anderen Bundesländern und anderen europäischen Staaten ein umfassendes Projekt zur Entwicklung und Umsetzung von Strategien zur Anpassung der Waldbewirtschaftung an die sich ändernden Klimabedingungen durchzuführen. Der Projektantrag mit dem Titel „Transnational Forestry Management Strategies in Response to Regional Climate Change Impacts (ForeSt Clim) (Transnationale Strategien zur Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen regionaler Klimaänderungen) wurde beim Interreg IV B-Programm „European Territorial Cooperation“ eingereicht.

### Projekt „Sturmgefährdungskarte“

Ein von der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation gefördertes Projekt „Sturmgefährdungskarte Rheinland-Pfalz“ wurde an der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft abgeschlossen. Es liegt ein GIS-gestütztes Tool vor, welches eine Einstufung nach Gefährdungsklassen ermöglicht. Die Implementierung in die Praxis wird derzeit vorbereitet.

### EUFORGEN

Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft beteiligt sich am „European Forest Genetic Resources Programme“ EUFORGEN. Der internationale Verbund ermöglicht insbesondere mit Blick auf den Klimawandel koordinierte Vorgehensweisen und Untersuchungsprogramme, die einen sehr breiten Klimagradienten von Nord- bis Südeuropa nutzen können.

### Projekt FutMon

Das forstliche Umweltmonitoring wird in seinen Strukturen und seiner Ausrichtung überarbeitet. Im November 2007 wird das LIFE+ Projekt „FutMon“ unter europäischer Federführung durch die Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft beantragt. Die Länder sind hieran als Partner beteiligt. Rheinland-Pfalz wird durch die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft vertreten.

### Bodenzustandserhebung

Die zweite bundesweite Wald-Bodenzustandserhebung (BZE II) ist angelaufen. Die Außenaufnahmen werden im Jahr 2008 abgeschlossen sein. Die Arbeiten in Rheinland-Pfalz werden durch die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft koordiniert. Neben der exakten Quantifizierung der Bodenveränderungsprozesse wird es mit Hilfe der BZE möglich sein, die Kohlenstoffspeicher-Leistung der Wälder im aufstockenden Bestand und insbesondere auch im Boden genau beziffern zu können.

## 3.4.4 Landwirtschaft

Sich verändernde Witterungsverläufe mit sich häufenden extrem trockenen und lang andauernden heißen Phasen während des Sommers oder lokale Starkniederschläge haben **Auswirkungen** auf den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen und die Erzeugung von Agrarprodukten, insbesondere auch von Qualitätsgemüse und -obst. Diese Kennzeichen eines Klimawandels werden gravierende Folgen auch wirtschaftlicher Art haben und werfen Fragen auf, inwieweit und in welcher Form landwirtschaft-



liche Betriebe betroffen sein werden und welche Anpassungsstrategien unabdingbar sind. (vgl. LÜTTGER, 2006a; LÜTTGER, 2006b; ZEBISCH et al., 2005).

Der Durchschnitt der Jahresmitteltemperatur in Deutschland lag in den Jahren von 1961 bis 1990 bei 8,3 °C. Bei den Jahresmitteltemperaturen bestehen starke regionale und saisonale Unterschiede. Die 1990iger Jahre waren das wärmste Jahrzehnt. Die durchschnittliche Erwärmung im letzten Jahrhundert betrug ca. 0,8 - 1,0 °C. Seit Beginn der 1980iger Jahre steigen die Temperaturen kontinuierlich an. Die Temperaturerhöhung geht zum Teil auf milder werdende Winter zurück; seit den 1980iger Jahren ist jedoch auch während der Vegetationszeit ein deutlich ansteigender Temperaturtrend erkennbar. In der Pfalz sind dies bis zu 2,5 °C.

Der mittlere Jahresniederschlag in Deutschland in den Jahren 1961 bis 1990 lag bei 800 mm. Im vergangenen Jahrhundert (Messungen von 1901 bis 2003) gab es eine Zunahme des jährlichen Niederschlages um etwa 10 % bzw. 150 mm. Der Anstieg kann in den letzten 30 Jahren auf eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zurückgeführt werden. Gleichzeitig weist der Trend der Jahre 1981 bis 2003 einen deutlichen Rückgang der Sommerniederschläge bis um 100 mm aus. Diese Tendenz wird sich weiter verstärken, worauf Ergebnisse aus verschiedenen Szenarien hinweisen. Diese zeigen eine Zunahme der Niederschläge im Jahresmittel um 6,6 bis 29,6 % bis zum Jahr 2080 gegenüber 1990 bei abnehmenden Sommerniederschlägen um bis zu 33 %.

Neben den Alpen und Regionen Ostdeutschlands gehört Südwestdeutschland (Oberrheingraben) zu den empfindlichsten Regionen. Insbesondere dort, wo bereits jetzt eine negative Wasserbilanz vorliegt, wird die Landwirtschaft direkt und vornehmlich durch aride Sommer beeinflusst werden.

Infolge ansteigender Temperaturen und sinkender Sommerniederschläge zeigt die klimatische Wasserbilanz seit 1981 für die Pfalz einen zunehmend negativen Trend. Verbunden mit höheren Verdunstungsraten ist eine Fortsetzung dieses Trends und somit eine Verstärkung der negativen Wasserbilanz zu erwarten.

Die aufgelisteten **Folgen** sind bereits feststellbar. In Abhängigkeit der jeweiligen Jahreswitterung treten die Folgen differenziert und räumlich sowie zeitlich in unterschiedlichem Ausmaß und Ausprägung auf (vgl. ZEBISCH ET AL., 2005). Eine Fortsetzung dieser Entwicklung anhand der aufgezeigten Folgen wird aufgrund der meteorologischen Prognosen erwartet.

- Ertragseinbußen (direkt) durch zu hohe Temperaturen und eingeschränkte Wasserversorgung (v.a. Hitzewellen, Trockenheit) sowie infolge extremer Wetterereignisse (z.B. Hagel, Starkniederschläge, Stürme)

Eine klimabedingte Veränderung der Niederschlagsmengen- und Niederschlagsverteilung kann sich negativ auch auf die Grünlandbewirtschaftung und Futterproduktion insgesamt auswirken. Dies betrifft sowohl die Erntemengen als auch die Qualität (z.B. Energiegehalte von Maissilagen, Änderung der Anteile der Pflanzenarten des Grünlands) der wirtschaftseigenen Futtermittel (z.B. Gras- und Maiserzeugnisse).

- Ertragseinbußen (indirekt) durch einen steigenden bzw. sich qualitativ verändernden Befallsdruck durch Schädlinge und Krankheiten sowie Beikrautarten

Eine Temperaturerhöhung wirkt sich beschleunigend auf die Geschwindigkeit der Entwicklungszyklen von Lebewesen und damit auch von Schadorganismen aus. Bei pflanzenschädigenden Insekten mit mehreren Generationen (z.B. Blattlaus) kann sich der biologische

Jahreszyklus um eine weitere Generation erweitern. Die relevanten Pilzkrankheiten an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sind hinsichtlich des Zeitpunktes ihres Auftretens, der Befallsstärke und der Ausbreitungsgeschwindigkeit an die Abfolge feuchter und trockener Witterungsperioden angepasst. Inwieweit der Klimawandel das zukünftige Spektrum der Pilzkrankungen verändert, lässt sich nicht mit Sicherheit vorhersagen. Unstrittig dürfte die Zunahme von Sonnenschein liebenden Pilzen wie z.B. dem Echten Mehltau sein, dessen Schadwirkung schon jetzt erheblich ist. Längere Schadensphasen bedingen auch einen erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln kann infolge extremer Witterung (z.B. Hitzewellen, Starkniederschläge) eingeschränkt sein mit Folgen für die Ertragssicherheit und Qualität der Agrarerzeugnisse sowie der Ressourcen Wasser und Boden.

Ein Auftreten von klimasensitiven Tierkrankheiten (z.B. Blauzungenkrankheit) kann nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für das vermehrte Vorkommen von Schaderregern (Mäuseplage in 2007), Vorratsschädlingen und (tier-) gesundheitsrelevanten Pflanzenkrankheiten (z.B. Mykotoxine durch Schimmelpilze) sowie das entsprechende Auftreten neuer Arten. Allerdings ist nicht bekannt, ob das Auftreten der Blauzungenkrankheit, die durch Insekten (Gniten) übertragen wird, eine Folge von Klimaveränderungen oder „nur“ eine Einschleppung durch Vektoren (Verkehrsmittel, Tiertransporte) ist.

- Stärkere Ertragsschwankungen infolge zunehmender Klimavariabilität (erschwerter Anpassung durch geeignete Arten- und Sortenwahl sowie Anbausysteme)
- Längere Vegetationszeiten können bei moderatem Temperaturanstieg und ausreichender Wasserversorgung zur Erhöhung des Ertragspotentials führen. Damit einhergehende Veränderungen von Entwicklungsstadien, wie beispielsweise ein früherer Blühbeginn bei Obstbäumen, ist mit einem erhöhten Risiko durch Spätfröste verbunden, die Verlängerung der Weideperiode hingegen ermöglicht Drei- bis Vierschnittssysteme im Grünland.

Ebenfalls ist davon auszugehen, dass veränderte Temperaturperioden den Stoffwechsel und damit die Inhaltsstoffe der Nahrungsmittelpflanzen verändern. Diese Qualitätsänderungen werden Auswirkungen auf Nährwert als auch Verarbeitung und Lagerung haben.

- Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch verstärkte Wind- und Wassererosion sowie beschleunigte Zersetzung und Mineralisierung der organischen Bodensubstanz durch hohe Temperaturen. Daraus kann ohne Anpassungsstrategie ein Rückgang an Kohlenstoffvorräten durch Humusabbau (bis 2100 wird mit einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit zwischen 20 und 30 %, möglicherweise bis zu 60 % gerechnet).
- Langfristige Erwärmung über das Temperaturoptimum vieler Kulturpflanzen hinaus wird eine Veränderung des Kulturpflanzenpektrums verursachen

Als **Anpassungsstrategien** (Pflanzen- und Tierproduktion) kommen zunächst folgende Überlegungen zum Tragen (vgl. ZEBISCH ET AL., 2005; MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW, 2007):

- Anbau angepasster Arten und Sorten (wärmeliebend, hitzetolerant, mit hoher Wassernutzungseffizienz)
- Anpassung von Anbau- und Fruchtfolgesystemen

Zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden in Rheinland-Pfalz zahlreiche Projekte zum Anbau nachwachsender Rohstoffe gefördert und betreut. Beispielsweise werden verschiedene Hirsearten alternativ zu Mais an unterschiedlichen Standorten getestet. Ziel dieser Sortenprüfungen und Fruchtfolgesysteme ist es, die Leistung- und die Anpassungsfähigkeit unterschiedlicher Pflanzenarten verschiedener Herkünfte und Kontinente in unserem Klimabereich festzustellen. Weiterhin werden derzeit Umstellungen von klassischen Sommerungsarten (z.B. Hafer, Durum, Zuckerrüben) auf Winterungsanbau geprüft. Die dadurch erzielte Verlängerung der Vegetationsperiode erhöht das Ertragspotenzial und verbessert die Ausnutzung der Winterfeuchte. Alle aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse fließen direkt in die Beratung der Landwirte ein. In Verbindung einer angepassten Fruchtfolgegestaltung ist es möglich, alle Produktionsfaktoren zu optimieren und den Ressourcenverbrauch (Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln) zu minimieren. Nicht zuletzt wird durch den Anbau verschiedener Pflanzenarten auch ein Beitrag zur Biodiversität innerhalb unserer Kulturlandschaft geleistet.

- Differenziertes Bewässerungs- und Düngemanagement

Die präzise und zielgerichtete Steuerung des Einsatzes von Wasser und Düngemitteln wird seitens der Officialberatung an den Dienstleistungszentren Ländlicher Raum kontinuierlich weiterentwickelt. Vor dem Hintergrund insbesondere zunehmender lokaler Starkniederschläge und Dürreperioden ist eine räumlich und zeitlich an die Wetterereignisse angepasste, differenzierte Steuerung von großer Bedeutung. Ziel ist die Entwicklung eines flächendeckend anwendbaren und praktikablen Instrumentariums zur Gewährleistung sowohl der Ertragssicherung als auch des Grundwasserschutzes (Reduzierung des Eintrags von Nitrat durch das Sickerwasser in das Grundwasser).

- Konservierende Bodenbearbeitung

Die Anpassung von Anbau- und Fruchtfolgesystemen (Wechsel von Sommerung zu Winterung, Kulturartenwechsel, Zwischenfrüchte etc.) hat gleichzeitig Auswirkungen auf die Bodenbearbeitung und führt in aller Regel zur Minderung der Erosionsgefährdung und zur Sicherung der organischen Masse im Boden. Neue Techniken der Bodenbearbeitung (Mulchsaat, Minimalbodenbearbeitung) sparen Kraftstoff und können zur Reduktion der gasförmigen Emissionen des Bodens beitragen. Rheinland-Pfalz fördert über PAULA die Mulchsaat, entwickelt in langjährigen Forschungsprojekten konservierende Bodenbearbeitungssysteme und unterstützt über die Beratung die flächendeckende Einführung solcher Systeme in der Praxis.

- Pflanzenschutz

In Rheinland-Pfalz erfolgt seit zehn Jahren die bundesweite Koordination für die Entwicklung und Validierung aller Prognosemodelle im Pflanzenschutz über die Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP), die seither in die landwirtschaftliche Praxis 16 Prognosemodelle und in die gartenbauliche Praxis 10 Prognosemodelle eingeführt hat. Vergleichbar mit dem Bewässerungs- und Düngemanagement ist auch die Neu- und Weiterentwicklung von Prognosemodellen für eine, den Witterungsereignissen angepasste, differenziertere Diagnose und somit zielgerichteter Behandlung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingsbefall erforderlich.

- Unterstützung des Anbaus Nachwachsender Rohstoffe (Substitution fossiler Brennstoffe)

Durch die Bereitstellung von Energie aus Biomasse bzw. deren Bereitstellung zur energetischen Nutzung kann die Landwirtschaft einen Beitrag zur Reduktion von klimaschädlichen Emissionen leisten (Ersatz von fossilen Rohstoffen und dadurch Vermeidung von energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung aus Biogas). Einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung der Landwirtschaft und aller Nutzer landwirtschaftlicher Biomasse soll hierbei das Beratungszentrum Nachwachsende Rohstoffe beim Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Eifel in Zusammenarbeit mit dem Kompetenznetzwerk Nachwachsende Rohstoffe leisten. Durch die enge Verflechtung von Beratungsstellen, Lehr- und Forschungsinstitutionen sowie landwirtschaftlichem Berufsstand können abgestimmte Impulse für Beratung, Versuchswesen, Forschung und Entwicklung gegeben werden, im Bereich „Biogas“ z.B. zu den Themen Reduzierung direkter Methanemissionen, Steigerung sinnvoller Wärmenutzung oder auch Alternativpflanzen zu Mais sowie standortangepasster Energiepflanzenanbau zur Vermeidung von Erosionen.

- Förderinstrumente

Rheinland-Pfalz setzt eine Vielzahl von Fördermaßnahmen ein, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Die Maßnahmen reichen von der einzelbetrieblichen Investitionsförderung zur Bioenergieerzeugung, besonders tiergerechter Haltungsverfahren, der Diversifizierung der betrieblichen Entwicklung, einem breit gefächerten Beratungswesen bis hin zur Förderung der einzelbetrieblichen Energieberatung, die Förderung der Beregnung, ländliche Bodenordnungsmaßnahmen mit Beiträgen auch zur Landschaftsdurchgrünung, größeren Nutzflächen mit deutlich geringerem Kraftstoffbedarf für die bewirtschaftenden Maschinen und demzufolge niedrigeren Emissionen, forstliche Maßnahmen bis hin zu einer breiten Palette an Agrarumweltmaßnahmen. Kreatives Potenzial vor Ort und somit in den Regionen kann zudem mit Hilfe der Integrierten Ländlichen Entwicklung (Konzepterstellung und Regionalmanagement-Förderung) sowie dem besonders auf Innovation abzielenden Leader-Ansatz erschlossen werden.

Nachfolgend skizzierte Aspekte spiegeln **Forschungsbedarf** im Bereich der Landwirtschaft wieder. Die wirtschaftliche Produktion von Obst und Gemüse ist heute ohne den gezielten Einsatz von Wasser kaum mehr rentabel. Zur Produktions- und Qualitätssicherung einerseits und zur Ermöglichung von Wachstum und Optimierung der Wertschöpfung innerhalb der Branche andererseits ist die Beregnung einer der wichtigsten Produktionsfaktoren für den Obst- und Gemüseanbau. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels erhält daher der Zugang zu Wasser einen substantiellen Stellenwert.

In engem Zusammenhang mit der Installation einer Beregnungs-Infrastruktur steht deren präzise Steuerung. Vor dem Hintergrund negativer Wasserbilanzen, lokaler Starkniederschlagsereignisse und der prognostizierten Verschiebung der höchsten monatlichen Abflüsse des Rheins vom Sommer ins Frühjahr und somit ein Rückgang des Wasserangebots (die Wasserentnahme zur Beregnung der Vorderpfalz erfolgt aus einem Altrhein-Seitenarm in Waldsee-Otterstadt bei Speyer) müssen Konzepte zum Beregnungsmanagement erarbeitet werden.

Ein weiteres Argument für die Beregnungssteuerung ist die Reduzierung des Eintrags von Kontaminanten durch Sickerwasser in tiefere Bodenschichten bzw. in das Grundwasser. Dies ist auch im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie relevant.

Die Änderung von Fettsäuremustern, Proteinqualität und Stärke - Proteinverhältnisse bei den Nahrungsmittelpflanzen erfordern die Prüfung neuer Verarbeitungsmodalitäten. Eine Anpassung muss z.B. über Neuzüchtung, den Wechsel von Sommerung zu Winterung, aber auch durch veränderte Düngestrategien erforscht werden.

Neben dem Wassermanagement muss sich die Forschung im Weinbau um Strategien des Pflanzenschutzes, der Eignung von Rebsorten und Unterlagen sowie um Fragen der Oenologie im Hinblick auf den Erhalt der Typizität der hiesigen Weine kümmern.

Im Bereich der Tierproduktion besteht Klärungsbedarf u.a. hinsichtlich der Konsequenzen des Klimawandels für das Grünland und den übrigen Futterbau in Rheinland-Pfalz und die Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der weltweit gehandelten Futtermittel (z.B. Mais, Sojabohnen).

Derzeit befindet sich konkret folgendes **Projekt** zur Bearbeitung klimarelevanter Themen in der Planung: Radargesteuertes Niederschlagsmessnetz als Basis für eine gezielte Bewässerung im Garten- und Weinbau (Zusammenarbeit zwischen dem DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück/ Agrarmeteorologie, dem LUWG und dem Deutschen Wetterdienst).

### 3.4.5 Natur- und Artenschutz

In Bezug auf den Artenschutz sind als **Folgen** des Klimawandels aktuell bislang nur einzelne Arealverschiebungen in unterschiedlicher Weise als klimabedingt beschrieben worden - vor allem zuwandernde Arten aus südlichen Verbreitungsräumen und die Ausbreitung Wärme liebender Arten.

Für Rheinland-Pfalz liegen verschiedene Einzelbeobachtungen vor. Insbesondere konnten anhand von Bestandsveränderungen bei Libellen klimabedingte Veränderungen belegt werden (OTT, 2001; OTT, 2005). Klimabedingte Bestandszunahmen sind naturkundlichen Beobachtungen unterschiedlicher Quellen zu entnehmen (z.B. Bienenfresser, Silberreihher, Gottesanbeterin, diverse Wanzenarten). Die Veränderungen sind Zeichen eines begonnenen Prozesses. Klimabedingte Ausfälle einzelner Arten sind derzeit jedoch noch nicht beobachtet oder belegt.

In Bezug auf den Klimawandel ist davon auszugehen, dass die induzierten mittelbaren Veränderungen in der Landnutzungsstruktur und -qualität stärkere Bedeutung für die zukünftigen Aufgabenstellungen und Ziele des Naturschutzes haben werden als die unmittelbaren Veränderungen der Lebensmöglichkeiten von Pflanzen und Tieren. Beispielsweise kann davon ausgegangen werden, dass eine Veränderung der standörtlichen Voraussetzungen zu Anpassungsprozessen bei den unterschiedlichen Nutzungsformen führen wird. Damit ergeben sich aber auch Veränderungen der Lebensgrundlagen wildlebender Arten, die sich mehrheitlich an die Bedingungen der Kulturlandschaft angepasst haben und nicht jede Nutzungsform tolerieren können.

Die Schwierigkeit, solche mittelbaren Veränderungen für Rheinland-Pfalz konkret zu prognostizieren, wird dadurch erhöht, dass die klimatischen Veränderungen regional unterschiedlich ausfallen werden. Die Szenarien beschreiben insoweit für die unterschiedlichen Mittelgebirgsräume und



Niederungsflächen bzw. Flussregionen in Rheinland-Pfalz unterschiedlich ausgeprägte Veränderungen.

Mittelfristig werden Arealverschiebungen erkennbar werden und empfindliche Arten und Lebensräume, die keine Möglichkeiten oder geringe Fähigkeiten zum Ausweichen haben, werden zurückgehen, andere Arten können von Süden nachfolgen. Wegen der unterschiedlichen Potenziale der Arten, auf die Veränderungen zu reagieren, sind langfristig auch Veränderungen auf der Ebene der Lebensgemeinschaften wahrscheinlich, wenn Schlüsselarten ausfallen. Die Konsequenzen für die genetische Vielfalt sind derzeit deshalb noch nicht einzuschätzen.

Auf der Grundlage überregionaler Forschungsergebnisse können zukünftig folgende Trends erwartet werden:

- Bestandsschwankungen und Arealverlagerungen: Am Beispiel der Brutvögel wurde für Europa modelliert, dass es sowohl „Gewinner“ als auch „Verlierer“ geben wird. Es breiten sich einige Vogelarten aus und besiedeln neue Räume, so z.B. der Bienenfresser nach Norden und erreicht damit auch eine Ausbreitung nach Rheinland-Pfalz. Mehr Arten werden jedoch ihr natürliches Areal verkleinern. Andere Arten wie der Rotmilan verlagern lediglich ihr Areal, ohne dass Aussagen abgeleitet werden können, ob dieses insgesamt zur Verkleinerung oder Vergrößerung des Bestandes führt. In der Bilanz wird für Rheinland-Pfalz, entgegen dem europäischen Trend, eher mit einer Zunahme oder Konstanz der Artenvielfalt gerechnet.
- Weitere Zunahme Wärme liebender Arten (vgl.: OTT, 2001; OTT, 2005; SIMON; 2007), ihr ggf. phänologisch früheres Auftreten im Jahr und die Ausbreitung wärmetoleranter Lebensräume nach Norden wie auch in der Höhenzonierung.
- In Bezug auf die Entwicklung Kälte bevorzugender Arten bestehen Unsicherheiten, z.B. hinsichtlich mooriger oder montaner Habitats. Modellierungen und vorliegende Erkenntnisse z.B. des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung zeigen, dass solche mikroklimatischen Situationen auch stabil bleiben können, obwohl Rückgänge einiger Arten wahrscheinlich sind. Es kann also sein, dass trotz Klimaerwärmung die besagten wärmeempfindlichen Arten natürlicherweise überleben können, z.B. in bleibenden Kaltluftsenken in höheren Lagen. Diese Artvorkommen müssen genauer identifiziert und beobachtet werden.
- Gefährdungen von Gewässerlebensräumen: 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.

Für den Arten- und Biotopschutz in Rheinland-Pfalz kann somit zusammenfassend generell davon ausgegangen werden, dass nach derzeitiger Kenntnis die unmittelbaren Veränderungen für die Lebensmöglichkeiten von Pflanzen- und Tierarten bei dem gegenwärtig angenommenen Umfang klimatischer Veränderungen vermutlich insgesamt eher als gering einzustufen sind.

Hinsichtlich relevanter Überlegungen zu **Anpassungsmaßnahmen** im Bereich des Arten- und Biotopschutzes ist es auf Basis des flächendeckend vorliegenden Biotopverbundes möglich, allen Entscheidungs- und Planungsträgern Grundlagen für die Sicherung und Entwicklung der Durch-

gängigkeit von Lebensräumen – auch im Rahmen der Landschaftsplanung - zur Verfügung zu stellen. Die dynamische Betrachtung von Lebensräumen und Lebensgemeinschaften ist im Arten- und Biotopschutz bedeutsamer als der Schutz von Individuen einer Art. In diesem Rahmen kommt auch großflächigen Schutzgebieten für eine nachhaltige Entwicklung eine Bedeutung zu.

Folgende strategische Säulen sind wichtig:

- **Biotopverbund:** Ein zentraler Bestandteil der Reaktion auf den Klimawandel ist der Biotopverbund. Als flächendeckendes Instrument, das auf die unterschiedlichen Biotoptypen ausgelegt ist und insoweit die unterschiedlichen Lebensraumansprüche der jeweiligen Artengruppen berücksichtigt, sichert er klimabedingt notwendig werdende Ausweichbewegungen. Insoweit wird ein natürliches „Gleiten“ der Lebensgemeinschaften ermöglicht.
- **Dynamischer Artenschutz und Zielartensysteme:** Artvorkommen haben sich schon immer verändert, doch dieser Veränderungsprozess kann durch den Klimawandel verstärkt werden, wobei insbesondere der Erhaltungszustand der Arten, für die landesspezifische bzw. nationale Verantwortung vorliegt, Beachtung finden muss. Auf der Grundlage, dass einzelne Arten stellvertretend für die Ansprüche anderer Mitglieder der Lebensgemeinschaft stehen, sollen deren Habitate erhalten werden. Diese Strategie ist als eine Säule in einem umfassenden Naturschutz im Klimawandel auch unter der Voraussetzung wichtig, dass diese Zielartensysteme regelmäßig (alle 10 bis 15 Jahre) überprüft und falls notwendig neu justiert werden.
- **Vernetzung und Dynamik innerhalb der Schutzgebiete:** Auch innerhalb der Schutzgebiete sind Veränderungen bei Populationen und Lebensräumen zu erwarten. Schutzgebieten kommt auch unter veränderten Klimabedingungen eine Rolle bei der Erhaltung der Biodiversität zu. Sie sind dabei nicht nur Refugien für Arten und Lebensräume, sondern als „Hot Spots“ der Artenvielfalt und Zentren der genetischen Diversität auch Ausgangspunkte für Veränderungsprozesse. Dazu müssen sie jedoch in den Biotopverbund eingebunden bleiben, damit beispielsweise Wanderungsprozesse möglich werden.

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. Insgesamt muss der Kohärenzgedanke (Netzwerke von Schutzgebieten) Leitlinie sein, um mögliche negative Folgen des Klimawandels entscheidend abpuffern zu können. Das NATURA 2000-Gebietssystem stellt dazu den Ansatz bereit, in dem durchaus auch Veränderungen von Lebensräumen und Dynamik, infolge von Art- und Arealveränderungen, möglich sind. Allerdings ist auch das Schutzregime der Richtlinien selbst im Hinblick auf den Klimawandel zu dynamisieren.

Insbesondere die nicht primär auf den Artenschutz zielenden Schutzgebietskategorien (z.B. Naturparke, Biosphärenreservate, LSG) werden in Zukunft als Erprobungsräume nachhaltiger Entwicklung unter veränderten klimatischen Bedingungen steigende Bedeutung erlangen.

Die Flexibilisierung der Eingriffsregelung bietet Raum für eine dynamischere Kompensationsbetrachtung. Die Erleichterung des Einsatzes von Ersatzgeldzahlungen und die Schaffung von Ökopoolösungen dienen in diesem Sinne der Umsetzung eines flexiblen Lebensraumkonzeptes.

Die Weiterentwicklung des Vertragsnaturschutzes wird auf der Grundlage eines aktiven Qualitätsmanagements in einem ständigen Prozess den aktuellen Anforderungen angepasst. Die PAULA-Vertragsnaturschutzprogramme werden weiterentwickelt, ergänzt, flexibilisiert und stärker modular aufgebaut.

Verschiedene Monitoringaktivitäten (z.B. im Rahmen NATURA-2000 und der Evaluierung des Vertragsnaturschutzes sowie das Monitoring ausgewählter Zeiger-Arten) liefern Ansätze einer zielgerichteten Beobachtung der Auswirkungen des prognostizierten Klimawandel und für entsprechende Reaktionen.

Auch im Bereich des Arten- und Biotopschutzes besteht im Hinblick auf Folgen und Anpassungsoptionen im Zuge des Klimawandels konkreter **Forschungsbedarf**, insbesondere bezüglich der Abläufe sowie der funktionellen Zusammenhänge innerhalb von Populationen und Lebensgemeinschaften.

Hierzu gehören Fragen zu Migrationsraten und Ausbreitungsgeschwindigkeiten und zur Größe der Minimumariele, als Voraussetzung für das Überleben bzw. die Neubesiedelung. Wesentliche Informationen hierzu sind allerdings über die Ergebnisse der Planung Vernetzter Biotopsysteme bereits vorliegend.

Wie bereits dargelegt, wird der Naturschutz in erster Linie durch derzeit noch nicht abschließend erkannte mittelbare Folgen des Klimawandels betroffen sein. Es gilt auch diese mittelbaren Folgen in ihrer Dynamik und Reichweite zu erfassen, darzustellen und zu analysieren. Forschungsbedarf besteht in diesem Zusammenhang in Bezug auf die Biodiversität der sogenannten „Normallandschaft“. Schließlich fehlen weitgehend Kenntnisse über die Wirksamkeit der unterschiedlichen Anpassungsstrategien.

Im Rahmen konkreter **Projekte** soll ein Biodiversitätsmonitoring die Weiterentwicklung der Arten, Lebensgemeinschaften und ihrer Lebensräume auf der Landesfläche erfassen und Grundlage für Maßnahmenplanungen sein.

Mit dem Aufbau des kohärenten Natura-2000-Gebietsnetzes ist ein wesentlicher Schritt zur Sicherung der Biodiversität abgeschlossen. Das entsprechende Natura-2000-Monitoring ist als zentraler Baustein in ein Biodiversitätsmonitoring zu integrieren. Weitere laufende Aktivitäten zur Umweltbeobachtung sind daraufhin zu überprüfen, welche Bedeutung sie haben können, den Ablauf der Veränderungen durch den Klimawandel zu beurteilen, und ggf. weiterzuentwickeln.

Zum landesweiten Biotopverbund liegt ein Fachkonzept vor, das die flexible Nutzung und Umsetzung auf verschiedenen Ebenen ermöglicht.

Das Indikatorenset des Nachhaltigkeitsprogramms der Landesregierung soll im Rahmen der Fortschreibung 2009 ergänzt werden. Dabei ist z.B. die Einführung des Indikators „Beginn der Apfelblüte“ als Zeiger für die Veränderung der Phänologie geplant.

Die Programme des Vertragsnaturschutzes sind im Rahmen der letzten Aktualisierung flexibler ausgestaltet worden und damit auch geeignet, Veränderungen infolge des prognostizierten Klimawandels aufzugreifen.

In einer landesweiten Testphase werden die Grünlandprogramme zusätzlich zu den Programmvarianten mit Bewirtschaftungsauflagen als Kennartenprogramme angeboten. Derzeit wird ein

Modellprojekt „Partnerbetrieb Naturschutz“ durchgeführt, mit dem weitere Erkenntnisse über Möglichkeiten der Fortentwicklung des Vertragsnaturschutzes im Sinne einer ganzheitlichen und zielorientierten Ausrichtung gewonnen werden, die auch unter dem Aspekt des Klimawandels relevant sein können.

### 3.4.6 Gesundheit

Bei den gesundheitlichen **Folgen** des Klimawandels lassen sich direkte und indirekte Wirkungspfade unterscheiden. Bei den direkten Wirkungen handelt es sich um die unmittelbaren Folgen von Klima- und Wetteränderungen auf den menschlichen Organismus. Hitzewellen, aber auch extreme Kälte können zu einer erhöhten Sterblichkeit oder zu vermehrten Krankheiten führen. Allmähliche Veränderungen von Durchschnittstemperaturen können sich des Weiteren auch auf das körperliche Wohlbefinden auswirken. Wetterextreme und deren Folgen wie Dürren, Stürme, Sturmfluten, Überschwemmungen, Lawinenabgänge oder Erdbeben können das Leben und die Gesundheit vieler Menschen bedrohen.

Auf indirektem Wege üben Klimaänderungen durch Krankheitsüberträger (vektorbedingte Infektionserkrankungen) wie Stechmücken, Zecken oder Nagetiere, deren Verbreitungsgebiete, Population oder Infektionspotential von klimatischen Bedingungen abhängig ist, einen Einfluss auf den Menschen aus.

Auch die gesundheitlichen Aspekte einer verlängerten Pollenflugzeit und des verlängerten Kontaktes zu allergenen Pflanzen/Pflanzenbestandteilen durch eine zu erwartende verlängerte Vegetationsperiode (früherer Anfang, späteres Ende) werden zunehmend Beachtung verlangen, wie auch die Kontrolle und ggf. Bekämpfung der Ausbreitung entsprechender Pflanzen.

Weiterhin werden, gerade im Hinblick auf Kinder und den zunehmenden Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung auch in Rheinland-Pfalz, die gesundheitlichen Folgen von regelmäßig auftretenden Hitzewellen zunehmend umfassende vorbeugende Maßnahmen erfordern, wie auch die gesundheitlichen Folgen anderer extremer, Klimawandel bedingter Wetterereignisse, wie Überschwemmungen durch Starkregen und vermehrte Starkwindphasen.

Überschwemmungen bergen das Risiko einer Freisetzung von Chemikalien aus dem Boden und aus nicht gesicherter Lagerhaltung. Weitere Gesundheitsrisiken könnten sich im direkten Kontakt mit Infektionserregern im Wasser ergeben oder indirekt durch nachfolgende Kontamination des Trinkwassers durch eine ggf. erfolgende Überlastung der Trinkwasseraufbereitung.

Weiterhin sind gesundheitliche Folgen bei längerer Dauer sommerlich hoher Ozonwerte zu erwarten. Dabei ist zu bedenken, dass 10- 15% der Bevölkerung in Deutschland als empfindlich auf Ozon reagierend gelten. Hauptwirkungen des Reizgases sind Einschränkungen der Lungenfunktion und Schleimhautreizungen in den oberen Atemwegen. Insgesamt wird eine Erhöhung der Zahl der cardio-respiratorischen Erkrankungen durch eine Klimawandel-bedingte Erhöhung der Grundbelastung der Atemluft mit Ozon weltweit erwartet (vgl. zu den Folgen des Klimawandels: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007: 20ff, 26; EBERT ET AL., 2005: 55ff; UMWELTBUNDESAMT, 2005; MAIER ET AL., 2003; ROBERT-KOCH-INSTITUT, 2007).

Gegebenenfalls ergeben sich in Zukunft Fragen des verbesserten Schutzes vor Gesundheitsgefahren aus der Umwelt durch Freisetzung gesundheitsschädlicher Chemikalien und Exposition der

Betroffenen gegenüber Krankheitserregern bei Starkregenfällen und dies auch in Regionen, die in Rheinland-Pfalz bislang nicht von Überschwemmungen bedroht waren. Auch die klassische Trinkwasseraufbereitung (Flockungsfiltration) in kleinen Wasserversorgungsanlagen könnte sich wegen begrenzter Reduktionsleistung von Krankheitserregern bei Starkregen als nicht ausreichend erweisen. Es sind hier langfristig angelegte und übergreifende Lösungen zu suchen.

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit könnte es auch durch die höher werdenden Durchschnittstemperaturen in Mitteleuropa zu einem verstärkten Auftreten von Krankheitsüberträgern (Vektoren) und Krankheitserregern aus südlichen Regionen Europas und z.B. auch aus tropischen und subtropischen Regionen Afrikas kommen. Dadurch ist eine Veränderung bzw. Erweiterung des Infektionserregerspektrums zu erwarten.

Auch ist an ein mögliches verstärktes Auftreten von Hautkrebserkrankungen bei intensiverer, Klimawandel-bedingter UV-Strahlungs-Exposition der Bevölkerung in den Sommermonaten zu denken.

Es erscheint ebenfalls als realistische Annahme, dass die in der Wärme günstigeren Lebens- oder Übertragungsbedingungen für an Wasser gebundene Krankheitserreger den Infektionsdruck auf den Menschen erhöhen. So gelten z.B. durch Lebensmittel und Wasser übertragene Infektionen wie Salmonellose, Giardiasis und Kryptosporidiose als sensibel für Klimaveränderungen. Im Zusammenhang mit konstant höheren Temperaturen könnten Infektionen über Naturbadeteiche (Schwimmbäder ohne Desinfektion) aber auch über Badegewässer begünstigt werden (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007: S. 20).

Der expandierende globale Handel und Tourismus kann, soweit die klimatischen Bedingungen günstig sind, an einer zunehmenden Verbreitung von Krankheiten (Schädlinge, Wirtspflanzen und –tiere, Vektoren) mitwirken (EBERT, B., 2005). Der Klimawandel könnte die Etablierung fremder Arten in der hiesigen Flora und Fauna begünstigen und darüber für die Verbreitung von Krankheiten, die hier bislang nicht heimisch waren, mitursächlich sein (ROBERT-KOCH-INSTITUT, 2007).

**Maßnahmen** bzw. **Anpassungsoptionen** wurden bereits ergriffen. Im Hinblick auf die Ozonbelastung in Rheinland-Pfalz sind kontinuierliche Messungen und ein Frühwarnsystem für die Bevölkerung seit langem etabliert, wie auch Informationsbroschüren mit Hinweisen zum gesundheitlich geeignetem Verhalten erstellt wurden.

Maßnahmen und Initiativen zur Verringerung der Vorläufersubstanzen des Ozons aus Industrie, Straßenverkehr und Privathaushalten sind ergriffen worden, wobei jedoch zu beachten ist, dass es sich im Hinblick auf die Ozonbelastung und Ozonentstehung um eine länderübergreifende Problemstellung handelt. Das Umweltbundesamt (UBA) führt aus, dass zwar die Spitzenwerte der Ozonbelastung derzeit rückläufig sind, die mittlere Ozonkonzentration aber steige, durch Ozon-Ferntransporte aus anderen Ländern (UMWELTBUNDESAMT, 2005: Sommersmog).

Im Zusammenhang mit der Befürchtung, dass in Zukunft vermehrt mit extremen Wetterereignissen, z.B. Hitzewellen, zu rechnen sein wird, hat die Landesregierung Rheinland-Pfalz eine seit 1. November 2005 geltende Verwaltungsvereinbarung mit dem Deutschen Wetterdienst - Abteilung Medizin-Meteorologie - abgeschlossen.

Hierin verpflichtet sich der Deutsche Wetterdienst, dem Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit, Familie und Frauen, dem Landesamt für Soziales, Jugend und Versorgung und einem von



diesem genannten Adressatenkreis (Gesundheitsämtern, Einrichtungen der Altenhilfe, Krankenhäusern etc.) bei erwarteter Hitzebelastung unverzüglich Hitzewarnungen zu übermitteln. Zur generellen Einschätzung der Wettersituation in Bezug auf Hitzebelastungen übermittelt die Abteilung Medizin-Meteorologie täglich dem vorgenannten Ministerium eine Hitzevorinformation. Neben den Hitzewarnungen und Hitzevorinformationen stehen Expertinnen und Experten des Deutschen Wetterdienstes dem obigen Adressatenkreis täglich zur telefonischen Beratung zur Verfügung.

Im Zusammenhang mit dem möglichen verstärkten Auftreten von Krankheitsüberträgern und dadurch vermehrt auftretenden Infektionen ist Gegenstand des Tätigwerdens die Umsetzung der entsprechenden bundesrechtlichen Bestimmungen des Infektionsschutzgesetzes. Änderungsnotwendigkeiten dieses Gesetzes, die sich möglicherweise aufgrund einer Zunahme vektorbedingter Infektionskrankheiten in Zukunft ergeben, werden unter Beteiligung der Bundesländer vorgenommen.

Das Infektionsgeschehen beim Menschen wird durch die Gesundheitsbehörden im Rahmen des Infektionsschutzgesetzes kontinuierlich beobachtet.

### 3.4.7 Raumordnung und Landesplanung

Der Klimabericht zeigt die absehbaren Veränderungen des Klimas mit den entsprechenden Folgen u.a. auch für die verschiedenen räumlichen Nutzungsansprüche.

So werden sich Veränderungen insbesondere in den Bereichen:

- Siedlung / Infrastruktur
- Wasserwirtschaft / Hochwasserschutz
- Landwirtschaft / Forstwirtschaft
- Natur und Landschaft
- Tourismus

ergeben.

Hier übernimmt die Raumordnung als zusammenfassende, überörtliche und überfachliche Planung zur Ordnung, Entwicklung und Sicherung des Raumes die zentrale Aufgabe der vorbeugenden Koordination der unterschiedlichen Bedürfnisse an den Raum. Der Klimaschutz bildet in diesem Zusammenhang entsprechend dem Leitbild einer nachhaltigen Raumentwicklung (§ 1 Abs. 2 RAUMORDNUNGSGESETZ) einen wichtigen Aspekt der Raumordnung.

Dazu stehen der Raumordnung formelle und informelle Instrumente zur Verfügung. Im Landesentwicklungsprogramm werden die Ziele und Grundsätze für Rheinland-Pfalz insgesamt formuliert. Diese sind im Rahmen der regionalen Raumordnungspläne für die Planungsregionen zu konkretisieren. Die Bauleitpläne (Flächennutzungs- und Bebauungspläne) müssen sich in der Folge gemäß § 1 Abs. 4 BauGB (BAUGESETZBUCH) an diese Vorgaben anpassen.

Darüber hinaus können in informellen Ansätzen, wie z.B. in regionalen Entwicklungskonzepten, spezielle klimarelevante Fragestellungen räumlich vertieft werden.

Der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Raumordnung zeigt sich insbesondere in zwei grundlegenden Handlungsfeldern. Zum einen leistet die Raumordnung einen Beitrag zum Klimaschutz. Des Weiteren kommt der Raumordnung auch im Bereich der Anpassung an die Folgen von Klimaveränderungen Bedeutung zu.

Das Landesentwicklungsprogramm und die regionalen Raumordnungspläne beinhalten bereits heute mittelbar wirksame Klimaschutzziele.

Es ist zum Beispiel nachgewiesen, dass die Verkehrsleistung und der Energieverbrauch mit abnehmender Siedlungsdichte steigen. Damit einhergehen ein erhöhter CO<sub>2</sub>-Ausstoß und die zunehmende Versiegelung von Freiflächen.

Aufgabe der Raumordnung ist hier:

- Langfristige Steuerung der Siedlungsentwicklung
- Integrierte Siedlungs- und Verkehrsplanung
- Verringerung der Neuinanspruchnahme von Flächen

Die Hochwassergefahren werden in der Zukunft vor allem in den Winterhalbjahren zunehmen können. Dabei werden ggf. aufgrund von ausgeprägten – lokal begrenzten – Starkregenereignissen die mittleren Hochwasser an Häufigkeit zunehmen.

Aufgabe der Raumordnung ist hier:

- Vorsorgende Sicherung von Retentionsflächen für den Hochwasserschutz
- Ausreichende Freiflächensicherung für die Niederschlagsversickerung und Schutz bewaldeter Flächen als Grundwasserspeicher
- Reduzierung der Neuinanspruchnahme von Siedlungsflächen

Außerdem gilt es, einen Beitrag zum Grundwasserschutz durch quantitativen und qualitativen Flächenschutz zu leisten.

Zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei der Energiegewinnung sind in der Zukunft verstärkt regenerative Energieträger einzusetzen.

Aufgabe der Raumordnung ist hier:

- Flächenvorsorge und Standortsicherung für regenerative Energien wie Wind-, Sonnenenergie, Geothermie und Biomasse

Bereits heute werden im Landesentwicklungsprogramm und den regionalen Raumordnungsplänen sowie auf der Ebene der Bauleitplanung entsprechende Regelungen und Konzeptionen erarbeitet. Die Raumordnung wird sich künftig verstärkt mit der vorausschauenden Bewältigung der räumlichen Folgewirkungen des Klimawandels auseinandersetzen. Dabei wird insbesondere der Zusammenarbeit mit den Trägern der Fachplanung besondere Bedeutung beizumessen sein.

## 4 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt klimarelevante Daten und Zusammenhänge für Rheinland-Pfalz zusammen. Hierbei wird genauer auf die spezifische Situation in Rheinland-Pfalz eingegangen, Art, Ausmaß und Folgen der Klimaveränderungen werden beschrieben und es werden Anpassungsoptionen erörtert.

### Klimapolitik und Energiepolitik

Ziele und Grundsätze der rheinland-pfälzischen Klimapolitik wurden in der Regierungserklärung „Rheinland-Pfalz ein Land voller Energien – für Klima, Wachstum und sichere Versorgung“ vom 28. Juni 2007 in engem Zusammenhang mit der Energiepolitik definiert:

Die Energiestrategie baut auf vier Pfeilern: „Energie einsparen“, „Energieeffizienz steigern“, Erneuerbare Energien ausbauen“ und „die eigene Energieversorgung im Land stärken“.

Die Ausrichtung der Energiestrategie führt zu weniger Treibhausgasemissionen und schützt das Klima. Klimaschutz soll mit der Innovationskraft der rheinland-pfälzischen Unternehmen verbunden werden und dadurch zusätzliche Arbeitsplätze schaffen.

Der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und des Anteils erneuerbarer Energien, CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerkstechnologie, intelligente Energiemanagementsysteme und Verbrauchskennzeichnungen für Pkw's, um nur einige Eckpfeiler zu nennen, finden sich in der Energiestrategie für Rheinland-Pfalz. Sie sind auch Bestandteil der so genannten Meseberger Beschlüsse, die unterstützt werden.

### Klimaveränderungen in Rheinland-Pfalz

Im Hauptteil dieses Berichtes (Kapitel 3) werden zunächst die Klimaveränderungen der letzten 100 bzw. 50 Jahre in Rheinland-Pfalz untersucht. Anschließend werden die seit diesem Jahr vorliegenden regionalisierten Daten zweier Simulationsmodelle (WETTREG und REMO) für Zukunftsprojektionen auf der Ebene des Landes Rheinland-Pfalz erstmalig eingesetzt.

In einem weiteren Teilbereich werden die Vulnerabilitäten, d.h. die Empfindlichkeiten der einzelnen Lebensbereiche (Wasser, Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft, sowie Gesundheit und Wirtschaft) aufgezeigt, um daraus Anpassungsoptionen abzuleiten:

Als Antwort kommt der Reduzierung der Treibhausgasemissionen - so deutlich und so rasch wie möglich – absolute Priorität zu. Aber auch spezifische Anpassungsmaßnahmen an nicht mehr vermeidbare Klimaveränderungen und Nutzung der Chancen, die daraus erwachsen können, sind zu entwickeln bzw. umzusetzen.

In Rheinland-Pfalz beträgt die bereits eingetretene Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur rd. + 0,8 °C im Zeitraum zwischen 1901 bis 2004, wobei die Erhöhung sich insbesondere im Winter zeigt (mit + 1,0 bis 2,0 °C). Für Deutschland wird bis Ende 2100 eine mittlere Erwärmung (je nach Szenario, d.h. je nach der Höhe der anthropogenen Treibhausgasemissionen) zwischen 2,5 und 3,5 °C errechnet.

Nach diesen Szenarien werden heiße Tage zukünftig häufiger werden, ebenso wie Hitzeperioden. Gleichzeitig steigt die durchschnittliche Dauer einer Hitzeperiode.

Korrespondierend mit der beobachteten Zunahme der Häufigkeit von Westwindwetterlagen stiegen tendenziell in den letzten 50 Jahren die mittleren Niederschlagshöhen im Winter (z.T. auch Herbst und Frühling) – insbesondere in Eifel, Hoch- und Idarwald sowie Pfälzer Wald-, während im Sommer keine derartige Erhöhung festzustellen ist, sondern in den meisten Teilen von Rheinland-Pfalz eine Reduzierung der Sommerniederschläge beobachtet wurde. Auch die betrachteten Zukunftsszenarien schätzen einen weiteren Trend zu steigenden Winterniederschlägen und Abnahme der mittleren Niederschlagsmengen im Sommer ab.

Verbunden mit den meteorologischen Veränderungen wurden die betroffenen Sektoren für Rheinland-Pfalz näher beleuchtet. Einige ausgewählte Aspekte sind:

- Landwirtschaft und Weinbau: verlängerte Wachstumsperiode, möglicher steigender Beregnungsbedarf, evtl. neue Pflanzenkrankheiten und Schädlinge, neue Sorten
- Forst: veränderte Wuchsdynamik, Waldschäden durch Windbruch und Trockenperioden, Zunahme von Schädlingen, Veränderung des standortangepassten Artenspektrums
- Wasserwirtschaft: ggf. steigende Hochwassergefahr im Winter, lokal steigende Grundwasserstände
- Gesundheit: Hitzewellen, Einwanderung bzw. Vermehrung von Vektoren, Ozonbelastung
- Natur- und Artenschutz: Veränderung des Artenspektrums, Arealverschiebungen
- Raumordnung und Landesplanung: Verschiebung räumlicher Nutzungsansprüche, Verringerung der Neuinanspruchnahme von Flächen

Der bereits eingetretene und sich weiter fortsetzende Klimawandel erfordert schon jetzt eine vorsorgende Planung. Dabei gilt: **Risikominimierung durch Förderung der Anpassungsfähigkeit und der Flexibilität:**

Den Risiken des Klimawandels kann wirksam durch stabile Systeme und Förderung der Vielseitigkeit und Flexibilität begegnet werden. Voraussetzung dafür ist eine umfassende Information der betroffenen Sektoren über erkennbare Veränderungen und ihre Implikationen.

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1

Anstieg der Jahresmitteltemperatur

Tab. 3.2

Änderung der Jahresdurchschnittstemperatur in den einzelnen Bundesländern von 1901 bis 2004

Tab. 3.3

Mittlerer jahreszeitlicher Temperatortrend (1951-2000) in Rheinland-Pfalz

Tab. 3.4

Linearer Niederschlagstrend der mittleren Niederschlagsspende in Prozent

Tab. 3.5

Betroffenheitssektoren von Klimaveränderungen



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1

Regionen von Rheinland-Pfalz

Abb. 3.2

Thermische Belastungsgebiete in Rheinland-Pfalz

Abb. 3.3

Jährliche mittlere Tagesmitteltemperaturen in Deutschland seit 1900

Abb. 3.4

Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Deutschland in °C, simuliert mit REMO für die Szenarien B1, A1B und A2

Abb. 3.5

Verlauf der Entwicklung der Sommermitteltemperatur als Differenz zu den derzeitigen mittleren Verhältnissen im Szenario A1B im Modellvergleich

Abb. 3.6

Verlauf der Entwicklung der Wintermitteltemperatur als Differenz zu den derzeitigen mittleren Verhältnissen im Szenario A1B im Modellvergleich

Abb. 3.7

Vergleich der Anzahl der „heißen Tage“ des Jahres 2003 mit dem langjährigen Durchschnitt in den drei thermisch am stärksten belasteten Regionen von Rheinland-Pfalz am Beispiel der Städte Koblenz, Mainz und Mannheim/Ludwigshafen

Abb. 3.8

Häufigkeitsverteilung der Länge von Perioden, in denen der Schwellwert der Tageshöchsttemperatur von 30°C überschritten wird (Zähleinheit ist die Anzahl pro Dekade)

Abb. 3.9

Niederschlagsmessstationen in Rheinland-Pfalz

Abb. 3.10

Mittlere jährliche Niederschlagshöhen der Normalperiode (1961-1990) in mm

Abb. 3.11

Charakteristische Jahrgänge der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen der Normalperiode (1961-1990) in mm

Abb. 3.12

Mittlere Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz (1952-2004) in mm

Abb. 3.13

Mittlere Niederschlagshöhen in Rheinland-Pfalz (1952-2004) in mm, mit Mittelwertbalken 1952-1977 und 1978-2004

## Abb. 3.14

Mittlere jahreszeitliche Niederschlagshöhen (1951-2000) und lineare Trends der Jahreszeiten an den Stationen Eppenrod, Geisenheim und Mainz in mm

## Abb. 3.15

Regionale Unterschiede des prozentualen Trends (Trendzeitraum: 1951-2000) bei den jahreszeitlichen Niederschlagshöhen

## Abb. 3.16

Vergleich der gemessenen mit den simulierten Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990

## Abb. 3.17

Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 und der Periode 2071-2100 (WETTREG;A1B;Mitt.)

## Abb. 3.18

Vergleich der mittleren Niederschlagshöhen der Periode 2071-2100 (WETTREG;Mitt.) für A1B, A2 und B1

## Abb. 3.19

Mittlere Niederschlagshöhen der Normalperiode 1961-1990 (Kontrolllauf WETTREG)

## Abb. 3.20

Mittlere Niederschlagshöhen der Vergleichsperiode 2071-2100 (WETTREG;A1B;Mitt.)

## Abb. 3.21

Die beiden Tornadokarten zeigen die seit 1950 verzeichneten Tornadobeobachtungen in Deutschland.

## Abb. 3.22

Grundwasserlandschaften in Rheinland-Pfalz

## Abb. 3.23

Mittlere Grundwasserneubildungshöhe (1979-1998) in mm/a

## Abb. 3.24

Nass- und Trockenjahre (Zeitreihe: 1954-2005) an der Messstelle Winden

## Abb. 3.25

Mittlere Abflüsse in Rheinland-Pfalz

## Abb. 3.26

Hochwasserabflussspenden MHq in Rheinland-Pfalz

## Abb. 3.27

Überschwemmungsgebiete in Rheinland-Pfalz

## Abb. 3.28

Ausschnitt aus dem Gefahrenatlas Mosel

## Abb. 3.29

Erläuterung der Doppelten Phänologischen Uhren

Abb. 3.30

Doppelte Phänologische Uhren der Naturräume von Rheinland-Pfalz

Abb. 3.31

ONLINE- Karte der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser

Abb. 3.32

Zusammenfassende Darstellung der Vulnerabilitäten (Schadensrisiko) gegenüber dem Globalen Wandel (insb. Klimawandel) in Deutschland ohne weitere Maßnahmen

## Literatur

### Einführung/Ziele und Grundsätze

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT,

2007: Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, August 2007

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)

2007: 4. Sachstandsbericht (AR4) über Klimaänderungen, Bericht der AG I: Wissenschaftliche Grundlagen, deutsche Kurzzusammenfassung.

2007: 4. Sachstandsbericht (AR4) über Klimaänderungen, Bericht der AG I: Wissenschaftliche Grundlagen, deutsche Übersetzung der englischen Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.

2007: 4. Sachstandsbericht (AR4) über Klimaänderungen, Bericht der AG II: Auswirkungen, Anpassungsstrategien, Verwundbarkeiten, deutsche Kurzzusammenfassung, herausgegeben vom BMU.

2001: 3. Sachstandsbericht (AR3) über Klimaänderungen.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ

2007: 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz.

2007: Regierungserklärung Energie- und Klimaschutz.

## Klimawandel und Folgen von Klimaveränderungen

### BAUGESETZBUCH

2006: (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S.2414), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2006 (BGBl. I S.3316).

### BUNDESREGIERUNG

2007: Unterrichtung durch den Bundesrat; Grünbuch der Kommission der Europäischen Gemeinschaft an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der Europäischen Union; Drucksache 469/07.

### DECH, S.; HOLZ, A.; STRUNZ, G.

1997: Thermalkartierung der Landoberfläche Rheinland-Pfalz mit NOAA-AVHRR-Fernerkundungsdaten, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

### DEUTSCHER WETTERDIENST

2006: DWD Homepage; [www.dwd.de](http://www.dwd.de) .

### DEUTSCHER WETTERDIENST; BARTELS, H. u.a.

1997: KOSTRA-Atlas: Starkniederschlagshöhen für Deutschland.

2005: KOSTRA-Atlas: Starkniederschlagshöhen für Deutschland; Fortschreibungsbericht.

### EBERT, B. et al

2005: Globale Erwärmung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten, Bundesgesundheitsblatt (BGBL) , Springer Medizin Verlag 2005, S. 55-62.

### FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALDÖKOLOGIE UND FORSTWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (FAWF)

2007a: Internetauftritt der FAWF unter [www.wald-rlp.de](http://www.wald-rlp.de); Forschung an Dauerbeobachtungsflächen, Klima und Witterung, Witterungsverlauf.

2007b: WaReLa: Water Retention by Land-Use; Entwicklung von transnationalen Elementen der Raumplanung zum vorbeugenden Hochwasserschutz durch angepasste Landnutzung in mesoskaligen Einzugsgebieten; Interreg IIIB-Projekt, Broschüre Projektbeschreibung, 39 S.

### HENNIGES, Y.; DANZEISEN, H.; ZIMMERMANN, R.

2005: Regionale Klimatrends mit Hilfe der phänologischen Uhr, dargestellt am Beispiel RLP; Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, ecomed Band 17 Nr. 1, S.28 ff.

### HENNIGES, Y.

2003: Pflanzenphänologie in Rheinland-Pfalz; Diplomarbeit FH Bingen.



## HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE

2005: 9. Hessisches Klimaschutzforum „Zukunftsstrategien für den Klimaschutz in Hessen“; Tagungsband, Kassel.

2005: Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen INKLIM 2012; Baustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen; Abschlussbericht Dezember 2005.

## IKHR (INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETS)

2007: Vorbereitet auf Klimaänderungen im Einzugsgebiet des Rheins? Broschüre.

## INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)

2007: 4. Sachstandsbericht. Deutsche Übersetzung, Sept. 2007, Herausgeber: IPCC-Koordinierungsstelle an der Universität Stuttgart, Stuttgart.

2007: 4. Sachstandsbericht (AR4) über Klimaänderungen, Bericht der AG II: Auswirkungen, Anpassungsstrategien, Verwundbarkeiten, deutsche Kurzzusammenfassung, herausgegeben vom BMU.

2001: 3. Sachstandsbericht (AR3) über Klimaänderungen.

## JONAS, M.; STAEGER, T.; SCHÖNWIESE, C.

2005: Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremen durch Klimaänderungen -Schwerpunkt Deutschland-; Umweltbundesamt.

## KLARA

2005: Abschluss-symposium des Verbundprojektes Klimawandel; Auswirkungen, Risiken, Anpassung.

2004: 1. Symposium des Verbundprojektes Klimawandel; Auswirkungen, Risiken, Anpassung, Stuttgart.

## KLIWA

2006: 3. Symposium; Stuttgart; KLIWA-Berichte Heft 10.

2005: Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern; KLIWA-Berichte Heft 5.

2000: Fachvorträge beim KLIWA-Symposium Karlsruhe Nov.2000; KLIWA-Berichte Heft 1.

## KÖLLING, C., LWF FREISING

2007: Klimagerechte Baumartenwahl als zentrale Aufgabe der Anpassung an den Klimawandel. Tagung der süddeutschen Waldbaureferenten in Treis-Karden, 26.06.2007.

## KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

2007: Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen – Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU.

## KOMMISSION FÜR DIE HYDROGEOLOGIE DES RHEINS (KHR)

2007: Regionale Zusammenarbeit Rhein; Projekt „Änderung im Abflussregime des Rheins“;  
<http://ihp.bafg.de/servlet/is/5061/>

## LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT

2005: Analyse der langjährigen Abflussverhältnisse im Hochwasserbereich vor dem Hintergrund eines Klimawandels.

## LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT/MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RLP

2000: Karte der Thermischen Belastungsgebiete Rheinland-Pfalz.

## LANDESFORSTEN RHEINLAND-PFALZ

Holzschlagstatistik des Landes Rheinland-Pfalz

## LEFEBVRE, C.

2001: Häufigkeit von Stürmen im Nordatlantik; DWD, Abteilung Klima und Umwelt.

## LÜTTGER, ANDREA

2006: „Klimawandel und Gartenbau - sind Auswirkungen für den Zusatzwassereinsatz zu erwarten?“ Internationales Symposium für Bewässerung gartenbaulicher Kulturen, Mildura/Australien.

2006: „Klimawandel und Gemüsebau - Auswirkungen auf die Kulturführung“. 25. Pfälzer Gemüsebautag.

## MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

2006: Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert.

## MAIER, W. et.al.

2003: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland, Forschungsbericht 454 des Umweltbundesamtes, Mai 2003.

## MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RHEINLAND-PFALZ

2007: Umweltatlas Rheinland-Pfalz; [www.umweltatlas.rlp.de](http://www.umweltatlas.rlp.de)

2006: Waldzustandsbericht für Rheinland-Pfalz.

2005: Schutzwürdige und schutzbedürftige Böden in Rheinland-Pfalz.

1993 ff: Waldbaurichtlinien für Landesforsten Rheinland-Pfalz; abrufbar unter [www.wald-rlp.de/unser\\_wald/naturnahe\\_wald-bewirtschaftung/](http://www.wald-rlp.de/unser_wald/naturnahe_wald-bewirtschaftung/).

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ  
DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

2007: Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Wege zu einer Anpassungsstrategie.

OTT, J.

2001: Expansion of Mediterranean Odonata in Germany and Europe –consequences of climatic changes – Adapted behaviour and shifting species ranges. In: WALTER, G.-R. et al. (Eds.) (2001): „Fingerprints“ of climate change. – Kluwer Academic Publishers, New York. S. 89-111.

2005: Klimaänderung – auch ein Thema und Problem für den Biodiversitätsschutz im Grenzüberschreitenden Biosphärenreservat Vosges du Nord und Pfälzerwald? – Annales Scientifiques Res. Bios. Vosges du Nord-Pfälzerwald 12: 127-142.

PAMPUS, M.

2005: Einschätzung zu möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen ; INKLIM 2012, Baustein II.

RAUMORDNUNGSGESETZ

2006: (ROG) vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2081, 2102), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 9. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2833)

ROBERT- KOCH-INSTITUT

2007: West-Nil-Virus – Erkrankungen durch Klimawandel?, RKI-Pressemitteilung, April 2007.

SIMON, H..

2007: 1. Nachtrag zum Verzeichnis der Wanzen in Rheinland-Pfalz (Insecta: Heteroptera).- Fauna Flora Rheinland-Pfalz 11, 1: 109-135.

SCHÖNWIESE, C.D.; STAEGER, T.; STEINER, H.; BRINCKMANN, S.

2005: Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901 bis 2003; INKLIM 2012, Baustein II.

SCHÜLER, G.

1996: Bodenschutz durch standortdifferenzierte Waldkalkung. Mitt. d. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch., 79, 133-136.

SEEMANN, D., DELB, H., SCHRÖCK, H.-W.

2001: Empfehlungen zur Behandlung von durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrius biguttatus* F.) geschädigten Eichenbeständen. Merkblatt der FVA Baden-Württemberg und der FAWF Rheinland-Pfalz.

SPEKAT, A.; ENKE, W.; KREIENKAMP, F.,

2007: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 21000 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2; Publikation des Umweltbundesamtes.

TORDACH

2006: Homepage des Kompetenzzentrums für lokale Unwetter (TorDACH): [www.tordach.org](http://www.tordach.org) .

TORDACH; DOTZEK, N.

1999: Tornados in Deutschland; Symposium Naturkatastrophen in Mittelgebirgsregionen; Stürme und Orkane.

UMWELTBUNDESAMT

2005: Hintergrundinformation: Sommersmog, Juni 2005, pdf-Dokument.

2005: Workshop "Klimaänderung - Herausforderung für den Bodenschutz", 28./ 29. Sept. 2005, pdf - Dokument

UMWELTBUNDESAMT/MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

2006: Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert, Hintergrundpapier.

UMWELTKERNINDIKATORENSYSTEM DES UMWELTBUNDESAMTES (KIS)

2007: [www.env-it.de](http://www.env-it.de) Umweltdaten; Thema: Klimaänderung; Indikator : Jahresmitteltemperatur in Deutschland ab 1901.

ZEBISCH, MARC *et al.*

2005: "Climate Change in Germany. Vulnerability and adoption strategies of climate-sensitive sectors." Environmental research plan of the federal ministry for the environment, nature conservation and nuclear safety. Research report 201 41 253.

ZEBISCH, M.; GROTHMANN, T.; SCHRÖDER, D.; HASSE, C.

2005: Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme; Publikation des Umweltbundesamtes.

## Anhang

ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN E.V. (AGEB);

o.J.: Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland.

BRÜGGEMANN, A.;

2005: Energieeffizienz beim Endverbrauch: Ein Überblick über Potenziale, Hemmnisse und Förderinstrumente in Deutschland.

BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN

2003: Straßenverkehrszählung 2000 - Ergebnisse. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 101.

1997: Straßenverkehrszählung 1995 - Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 41.

BUNDESANZEIGER

1993: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen - TA Siedlungsabfall (TASi) (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993, Banz. Nr. 99a vom 29.05.1993.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

2007: Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbaren Energien Gesetz (EEG). BMU-Entwurf. Kurzfassung.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT/  
UMWELTBUNDESAMT/ ÖKO-INSTITUT/ IFEU

2005: Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz.

BVM

Verkehr in Zahlen (ViZ); bearbeitet von DIW; Erscheinungsweise jährlich; Bonn/Berlin.

DIW BERLIN & INFAS

2003: Mobilität in Deutschland (MiD) 2002 – Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten. Projektnummer 70.0681/2001 im Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.

DEUTSCHE UMWELTSTIFTUNG (DBU)

2002: Ökobilanz Bioabfallverwertung. Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen. Bd. 52. Erich Schmidt Verlag, Berlin.



DOEDENS, C.; CUHLS, B. & GOLDBACH

2001: Emissionen von Treibhausgasen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung, Bundesministerium für Bildung und Forschung.

HOHLER, S.;

O. J.: Erneuerbare Energien und Energieeffizienz – Aktualität und Dringlichkeit des Übergangs zu nachhaltigen Energien.

HEINZ + FEIER GMBH;

2003: Emissionskataster nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen Hessen 2000.

JOHNKE, B. ET AL. (Hrsg.)

2004: Abfall, Energie und Klima. Wege und Konzepte für eine integrierte Ressourcennutzung. E-rich Schmidt Verlag, Berlin.

KNÖRR, W.; REUTER, CH. et al., IFEU

2005: TREMOD - Transport Emission Model, Update. Fortschreibung des Daten- und Rechenmodells Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

KRAFTFAHRT-BUNDESAMT:

Statistische Mitteilungen, Reihe 1, 2 und 3: Kraftfahrzeuge; Erscheinungsweise jährlich (Reihe 1, Reihe 3) bzw. monatlich (Reihe 2), Flensburg.

LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE

2006: Nationaler Inventarbericht 2006 – Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft.

LÄNDERARBEITSKREIS ENERGIEBILANZEN

2006: CO<sub>2</sub>-Bilanz.

2006: Zeitreihen von Energie- und CO<sub>2</sub>-Indikatoren.

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ

2007: Interne Datenerfassung der Emissionsberichte 2005 und 2006.

2004: Interne Datenerfassung der Emissionserklärungen 2004.

LANDESBETRIEB STRAßEN UND VERKEHR RHEINLAND-PFALZ

2006: Ergebnisse der automatischen Zählgeräte 2005, Vorabinformation.

2005: Analyse der Verkehrsentwicklung in Rheinland-Pfalz, Bericht 2005.

2004: Analyse der Verkehrsentwicklung in Rheinland-Pfalz, Bericht 2004.

2003: Analyse der Verkehrsentwicklung in Rheinland-Pfalz, Bericht 2003.

## MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ, RHEINLAND-PFALZ

- 2007: 7. Energiebericht.
- 2007: Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2006.
- 2006: Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2005.
- 2005: Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2004.

## STATISTISCHES BUNDESAMT

- Binnenschifffahrt (Fachserie 8: Verkehr; Reihe 4); erscheint jährlich; Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Luftverkehr (Fachserie 8: Verkehr; Reihe 6); erscheint jährlich; Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- 2006: Die Bundesländer. Strukturen und Entwicklungen, Ausgabe 2005.
- 2004: Rheinland-Pfalz 2050 – Band I

## STATISTISCHES LANDESAMT

- 2006: Einpendler, Auspendler. Bad Ems
- 2006: Klimaschutz RLP. Energieträger in 2005 errichteten Gebäuden in Rheinland-Pfalz. Bad Ems
- 2006: Energieträger bei Neubaugenehmigungen 2005. Bad Ems
- 2005: Ein Ländervergleich in Zahlen. Bad Ems
- 2005: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen am 31.12.2004. Bad Ems
- 2005: Statistisches Monatsheft Rheinland-Pfalz, „Struktur und Entwicklung des produzierenden Gewerbes in Rheinland-Pfalz 1991 bis 2002“, 12/2005
- 2004: Wohnsituation der Haushalte und Familien im April 2002. Ergebnisse der Mikrozensus-Zusatzerhebung im April 2002. Haushalte im Mai 1987, September 1993, April 1998 und 2002. Bad Ems

## STEINFELD, H. et al.

- 2006: Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.

## UMWELTBUNDESAMT

- 2007: Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2005, Nationaler Inventarbericht 2007.
- 2006: Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2004, Nationaler Inventarbericht 2006.
- 2005: Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2003, Nationaler Inventarbericht 2005.

2002: Ansatz für die Schätzung der luftseitigen Deponieemissionen für den ersten Berichtszeitraum – erarbeitet durch das UBA – Berlin, basierend auf dem nicht veröffentlichten Berichtsentwurf (Stand: Dez. 2002) zum UBA-Forschungsvorhaben „Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien“, Teilbereich Abfall/Abwasser, ifeu/Öko-Institut e.V.

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) ÖKO-INSTITUT/IFEU

2005: Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale.

UMWELT DEUTSCHLAND

2006: Fahrleistungen, Verkehrsleistungen, Fahrzwecke und Transportintensität.

VERBAND DEUTSCHER VERKEHRSUNTERNEHMEN (VDV)

2007: VDV-Statistik 2006.

2006: VDV-Statistik 2005.

2005: VDV-Statistik 2004.

2004: VDV-Statistik 2003.

2003: VDV-Statistik 2002.

2002: VDV-Statistik 2001.

## Weiterführende Literatur

ALFRED-WEGENER-STIFTUNG

2003: Terra Nostra; 6. Deutsche Klimatagung Klimavariabilität; Potsdam.

BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ (BUND), LANDESVERBAND RHEINLAND-PFALZ

2003: Tagungsband: Klimawandel – Herausforderung für Rheinland-Pfalz.

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG

2003: Herausforderung Klimawandel.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

2007: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung.

2006: Nationaler Allokationsplan (NAP II) 2008-2012 für die Bundesrepublik Deutschland, Fassung vom 28. Juni 2006.

2006: Entwicklung der erneuerbaren Energien 2005.

CHMIELEWSKI, FRANK, M.; RÖTZER, THOMAS

2000: Phenological trends in Europe in relation to climate changes; Agrarmeteorologische Schriften No.7 2000, Humboldt-Universität zu Berlin.

CHOUDHURY, KEYA; DZIEDZIOCH, CORNELIA; HÄUSLER, ANDREAS; PLOETZ, CHRISTIANE

2004: Zusammenstellung und Auswertung geeigneter Kriterien, Indikatoren, UVP und dergleichen für die notwendige Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten bei Maßnahmen des Klimaschutzes, insbesondere bei Landnutzungsänderungen Climate Change 04/04, Umweltbundesamt.

DEUTSCHE METEOROLOGISCHE GESELLSCHAFT (DMG)

2001: Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG), der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie (ÖGM) und der Schweizerischen Gesellschaft für Meteorologie (SGM), Klimastatement anl. DACH-MT 2001.

ENKE, W.; DEUTSCHLÄNDER, T.; SCHNEIDER, F.; KÜCHLER, W.

2005: Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulations; Meteorologische Zeitschrift Volume 14, 2005, no.2, p 247ff.

EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR

2004: Impacts of Europe's changing climate; EEA Report No.2.

EUROPEAN CLIMATE FORUM (ECF)

2004: What is dangerous climate change?; Results of a Symposium on Key Vulnerable Regions and Climate Change; German Summary, Buenos Aires.

GERSTENGRABE, F.W.; BADECK, F.; HATTERMANN, F.; KRYSANOVA, V.; LAHMER, W.; LASCH, P.; STOCK, M.; SUCKOW, F.; WECHSUNG, F.; WERNER, P.C.

2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven; PIK Report No. 83.Potsdam.

HENNEGRIFF, W.; KOLOKONOTROKIS, V.; WEBER, H.; BARTELS, H.;

2006: Klimawandel und Hochwasser – Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz.

HOPPMANN, D.

1994: Weinqualität Spiegelbild der Jahreswitterung; Das Deutsche Weinmagazin 1994, no.1.

JACKSON ENVIRONMENT INSTITUTE

2000: Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe; The Europe Acacia Project, East Anglia, United Kingdom.

JUNGCLAUS, J.; MAROTZKE, J.

2006: Will Greenland melting halt the thermohaline circulation?; In: Geophysical Research Letters, Vol 33.

KOMPASS

2007: Homepage des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung am Umweltbundesamt.

KÖRSCHENS, M.; VON LENGERKEN, J.; ROST, D.; VON LENGERKEN, G.; HOWITZ, H.

2004: Landwirtschaftliche Bodennutzung und Nutztierhaltung. Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurt/Main.

KRAFTFAHRZEUGBUNDESAMT

2006: Statistische Mitteilungen Reihe 1: Fahrzeugzulassungen; Neuzulassungen - Besitzumschreibungen - Löschungen - Bestand.

2006: Statistische Mitteilungen Reihe 2: Fahrzeugbestand; Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2006 nach Zulassungsbezirken. Sonderheft 1.

KUNERT, U. et al., DIW

2005: Aktualisierung und Weiterentwicklung der Berechnungsmodelle für die Fahrleistungen von Kraftfahrzeugen und für das Aufkommen und für die Verkehrsleistungen im Personenverkehr (MIV); im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen.

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT

2005: Hydrologischer Atlas Rheinland-Pfalz.

LANDESINNUNGSVERBAND SCHORNSTEINFEGERHANDWERK RLP

2006: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2005.



2004: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2003.

LÜBBERS, P., Statistisches Landesamt - StaLA

2006: Kraftfahrzeugbestand steigt weiter. Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz 05/2006, S. 288-294.

LÜTTICH, M.; DÄMMGEN, U.; EURICH-MENDEN, B.; DÖHLER, H.; OSTERBURG, B.; LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE

2006: Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2006 für 2004.

MAIER, W.A.; GRUNEWALD, J.; HABEDANK, B.; HARTELT, K.; KAMPEN, H.; KIMMIG, P.; NAUCKE, T.; OEHME, R.; VOLLMER, A.; SCHÖLER, A.; SCHMITT, C.

2001: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland, Umweltbundesamt.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ RLP

2005: Landschaftsprogramm, Klimaökologische Ausgleichsräume.

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU

2006: 6. Energiebericht Rheinland-Pfalz.

2000: Landesverkehrsprogramm Rheinland-Pfalz.

OTT, J.

2005: Klimaänderung – auch ein Thema und Problem für den Biodiversitätsschutz im grenzüberschreitenden Biosphärenreservat Vosges du Nord und Pfälzerwald, In: Ann. Sci.Res.Bios.Trans. Vosges du Nord-Pfälzerwald 12.

POSITIVE

2000: Abstract Booklet of the International Conference “Progress in Phenology”, Projekt der Europäischen Union, Freising.

RAHMSTORF, S.; SCHELLNHUBER, H.J.

2006: Der Klimawandel; Verlag C.H.Beck Wissen.

RULAND, W.

2007: Konsequenzen des Klimawandels für die Landwirtschaft; Publikation der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

SCHABER, J.

2002: Phenology in Germany in the 20th century: methods, analyses and Models; PIK Report No. 78, Potsdam.

SCHRÖDER, W.; SCHMIDT, G.; HASENCLEVER, J.

2005: Korrelation meteorologischer und pflanzenphänologischer Indikatoren des Klimawandels – statistische Analyse am Beispiel Baden-Württemberg; Klimaänderung und Klimaschutz. ecomed Verlag.

STERN, N.

2006: Review on the Economics of Climate Change. Sog. Stern-Report

THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE

2004: KLIMAWANDEL in Thüringen – eine Herausforderung in unserer Zeit; Jena.

UMWELTBUNDESAMT

2007: Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG; Hintergrundpapier, Dessau.

2006: Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben; Hintergrundpapier, Dessau.

2006: Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben; Workshopbericht, Berlin.

2005: Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland -Kenntnisstand und Handlungsnotwendigkeiten-; Workshopbericht, Dessau.

2005: Klimaschutz in Deutschland bis 2030.

UMWELTBUNDESAMT/DEUTSCHE EMISSIONSHANDELSSTELLE (DEHST)

2007: Kohlendioxidemissionen der emissionshandelspflichtigen Anlagen im Jahr 2006.

2006: Emissionshandel: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2005. Auswertung der Ist-Emissionen des Emissionshandelssektors im Jahr 2005 in Deutschland.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA)

2007: Leitfaden zur Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen.

## ANHANG

<b>A 1</b>	<b>Einheiten, Abkürzungen, Übersichten</b> .....	<b>A-3</b>
<b>A 1.1</b>	<b>Im Text verwendete Einheiten und Umrechnungsfaktoren</b> ...	<b>A-3</b>
A 1.1.1	Einheiten und Umrechnungsfaktoren .....	A-3
A 1.1.2	Vorsätze und Vorsatzzeichen .....	A-3
A 1.1.3	Einheiten und Abkürzungen .....	A-4
A 1.1.4	Standardentsprechungen .....	A-4
<b>A 1.2</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis zum Teilbereich “Verkehr”</b> .....	<b>A-5</b>
<b>A 1.3</b>	<b>Übersicht über internationale Maßnahmen im Klimaschutz</b> .....	<b>A-6</b>
<b>A 2</b>	<b>Emissionen klimarelevanter Gase</b> .....	<b>A-7</b>
<b>A 2.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>A-7</b>
<b>A 2.2</b>	<b>Verfahren zur Bilanzierung klimarelevanter Gase</b> .....	<b>A-8</b>
<b>A 2.3</b>	<b>Klimarelevante Emissionen aus dem Bereich Energie und Industrie</b> .....	<b>A-10</b>
A 2.3.1	Vorgehensweise bei der Datenzusammenstellung .....	A-10
A 2.3.2	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus den emissionshandelspflichtigen Anlagen .....	A-11
A 2.3.3	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus sonstigen Industrieanlagen .....	A-14
<b>A 2.4</b>	<b>Klimarelevante Emissionen der privaten Haushalte und der Kleinverbraucher</b> .....	<b>A-15</b>
A 2.4.1	Vorbemerkungen .....	A-15
A 2.4.2	Methodische Vorgehensweise .....	A-15
A 2.4.3	Energierrelevante Kenngrößen .....	A-16
A 2.4.4	Emissionen klimarelevanter Gase aus dem Sektor Private Haushalte und Kleinverbraucher .....	A-20

<b>A 2.5</b>	<b>Klimarelevante Emissionen des Verkehrsbereiches .....</b>	<b>A-21</b>
A 2.5.1	Energieverbrauch des Verkehrs in Rheinland-Pfalz.....	A-22
A 2.5.2	CO <sub>2</sub> -Emissionen des Verkehrs in Rheinland-Pfalz.....	A-24
<b>A 2.6</b>	<b>Klimarelevante Emissionen in Rheinland-Pfalz aus sonstigen Bereichen .....</b>	<b>A-25</b>
A 2.6.1	Abfallwirtschaft.....	A-25
A 2.6.2	Landwirtschaft.....	A-30
<b>A 2.7</b>	<b>Zusammenfassung klimarelevanter Emissionen in Rheinland-Pfalz .....</b>	<b>A-35</b>
<b>A 3</b>	<b>Zusätzliche Grunddaten sowie methodische Erläuterungen.....</b>	<b>A-36</b>
<b>A 3.1</b>	<b>Herkunft der Emissionsdaten klimarelevanter Gase bezogen auf die Sektoren und Teilsektoren im Klimabericht Rheinland-Pfalz .....</b>	<b>A-36</b>
<b>A 3.2</b>	<b>Gebiets- und Bevölkerungsmerkmale Rheinland-Pfalz .....</b>	<b>A-38</b>
<b>A 3.3</b>	<b>Energieträger in 2005 errichteten Gebäuden in Rheinland-Pfalz .....</b>	<b>A-51</b>
<b>A 3.4</b>	<b>Entwicklung der in Neubauten eingesetzten Energieträger in Rheinland-Pfalz zwischen 1990 und 2005.....</b>	<b>A-56</b>
<b>A 3.5</b>	<b>Anzahl der Ein- und Auspendler in Rheinland-Pfalz.....</b>	<b>A-57</b>
<b>A 3.6</b>	<b>Ablaufschema des Schätzverfahrens zur Projektion der Daten aus 2002/2004 auf das Jahr 2006 .....</b>	<b>A-58</b>
<b>A 3.7</b>	<b>Projektrahmen – KLIWA .....</b>	<b>A-59</b>

## Anhang A 1: Einheiten, Abkürzungen, Übersichten

### Anhang A 1.1

#### Im Text verwendete Einheiten und Umrechnungsfaktoren

Tab. A 1.1.1 Einheiten und Umrechnungsfaktoren

	Einheit	Umrechnungsbeziehung
Arbeit/Energie (Joule)	J 1 kJ = 10 <sup>3</sup> J	1 kJ = 0,000278 kWh = 0,2388 kcal = 0,000034 kg SKE = 0,000024 kg RÖE
Leistung (Watt)	W 1 kW = 10 <sup>3</sup> W 1 MW = 10 <sup>6</sup> W 1 GW = 10 <sup>9</sup> W 1 TW = 10 <sup>12</sup> W	1 kWh = 860 kcal = 3.600 kJ = 3,6 MJ = 0,123 SKE = 0,086 RÖE
Wärme (Kalorie)	cal	1 kcal = 4,186 kJ = 0,001163 kWh
Steinkohleeinheit	SKE	1 kg SKE = 7.000 kcal = 8,14 kWh = 29.308 kJ = 0,7 kg RÖE
Rohöleinheit	RÖE	1 kg RÖE = 41.868 kJ = 11,63 kWh = 1,428 kg SKE

Tab. A 1.1.2 Vorsätze und Vorsatzzeichen

Wert ausgeschrieben	Wert	Name	Symbol/Abk.
1.000.000.000.000.000	10 <sup>+15</sup>	Peta	P
1.000.000.000.000	10 <sup>+12</sup>	Tera	T
1.000.000.000	10 <sup>+9</sup>	Giga	G
1.000.000	10 <sup>+6</sup>	Mega	M
1.000	10 <sup>+3</sup>	kilo	k
100	10 <sup>+2</sup>	hekto	h
0,1	10 <sup>-1</sup>	dezi	d
0,01	10 <sup>-2</sup>	zenti	c
0,001	10 <sup>-3</sup>	milli	m
0,000.001	10 <sup>-6</sup>	mikro	μ



**Tab. A 1.1.3 Einheiten und Abkürzungen**

Abkürzung	Einheit
°C	Grad Celsius
A	Jahr
cal	Kalorie
g	Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
J	Joule
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
ppm	Parts per million
W	Watt

**Tab. A 1.1.4: Standardentsprechungen**

Einheit	entspricht
1 Tonne (t)	1 Megagramm (Mg)
1 Kilotonne (kt)	1 Gigagramm (Gg)
1 Megatonne (Mt)	1 Teragramm (Tg)

## Anhang A 1.2

**Abkürzungsverzeichnis zum Teilbereich „Verkehr“**

B	Bundesstraßen
BAB	Bundesautobahnen
Fz-km	Fahrzeug-Kilometer: Einheit der Fahrleistungen im Verkehr. Berechnung als Produkt aus der Anzahl der Fahrzeuge und der Fahrtweite pro Fahrzeug.
G	Gemeindestraßen
K	Kreisstraßen
L	Landesstraßen
Lkw	Lastkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge (= Lkw < 3,5t).
MIV	Motorisierter Individualverkehr: Pkw und motorisierte Zweiräder
MZR	Motorisierte Zweiräder: Kleinkrafträder mit Versicherungskennzeichen und Krafträder.
n.a.	Nicht anwendbar: Wird in den Tabellen im Bericht angegeben, wenn aufgrund fehlender oder inkonsistenter Daten keine Berechnung möglich war.
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr: Stadtbusse und Straßenbahnen
ÖSPV	Öffentlicher Straßenpersonenverkehr: Busse im Personennah- und -fernverkehr sowie Straßenbahnen.
Pkm	Personen-Kilometer: Einheit der Verkehrsleistungen im Personenverkehr Berechnung als Produkt aus <ul style="list-style-type: none"><li>• Fahrleistung x Fahrzeugauslastung oder</li><li>• Anzahl der Verkehrsteilnehmer x durchschnittlicher Entfernung.</li></ul>
Pkw	Personenkraftwagen
TJ	Terajoule: Einheit des Energieverbrauchs.
tkm	Tonnen-Kilometer: Einheit der Verkehrsleistungen im Güterverkehr. Berechnung als Produkt aus <ul style="list-style-type: none"><li>• Fahrleistung x Fahrzeugauslastung oder</li><li>• Transportmenge x durchschnittlicher Transportentfernung.</li></ul>
TREMODO	Transport Emission Model: Computergestütztes Rechenmodell für Fahrleistungen, Verkehrsleistungen, Energieverbrauch und Emissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland. Grundlage der deutschen Emissionsberichterstattung im Verkehrssektor.

## Anhang A 1.3

## Übersicht über internationale Maßnahmen im Klimaschutz (Stand 2007)

Tab. A 1.3 Internationale Konferenzen im Zuge der Klimarahmenkonvention der UN

Konferenz/Abkommen	Datum	Ort	Ergebnis
Umweltgipfel	1992	Rio de Janeiro	Globale Klimarahmenkonvention, Agenda 21
1. Klimakonferenz (COP1)	1995	Berlin	„Berliner Mandat“ ist Basis für Verhandlungen über ein Protokoll zur Verringerung von THG-Emissionen
3. Klimakonferenz (COP3)	1997	Kyoto	Kyoto-Protokoll verabschiedet
5. Klimakonferenz (COP5)	2000	Den Haag	Verhandlungen scheitern und werden ausgesetzt
6. Klimakonferenz (COP6)	2001	Bonn	Fortführung der Verhandlungen; Einigung über Ausgestaltung des Kyoto-Protokolls
7. Klimakonferenz (COP7)	2001	Marrakesch	Entscheidungen zu Ausgestaltung und Umsetzung des Kyoto-Protokolls
9. Klimakonferenz (COP9)	2003	Mailand	Bestandsaufnahme des internationalen Klimaschutzes. Leitlinien für die Emissionsberichterstattung
10. Klimakonferenz (COP10)	2004	Buenos Aires	Minderung von Treibhausgasemissionen; Anpassung an die unvermeidlichen Folgen des Klimawandels
11. Klimakonferenz (COP11)	2005	Montreal	Fortschreibung des Kyoto-Protokolls über 2012 hinaus, Aushandlung neuer Grenzwerte für Treibhausgasemissionen
12. Klimakonferenz (COP12)	2006	Nairobi	Fortschreibung des Kyoto-Protokolls über 2012 hinaus
13. Klimakonferenz (COP13)	2007	Bali	Fortschreibung des Kyoto-Protokolls über 2012 hinaus

## Anhang A 2 Emissionen klimarelevanter Gase

### A 2.1 Allgemeines

Die Treibhausgase sind aufgrund ihres Treibhauseffektes und ihrer Persistenz in der Atmosphäre auf CO<sub>2</sub> normiert (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) und werden als Global Warming Potential (GWP) in einer einheitlichen Einheit geführt

- ▶ 1 Mg<sup>1</sup> Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entspricht 1 Mg GWP (Hauptquellen: Verbrennung fossiler Energieträger und von Biomasse – Brandrodung - Zementproduktion<sup>2</sup>)
- ▶ 1 Mg Methan (CH<sub>4</sub>) entspricht 21 Mg GWP<sup>3</sup> (Hauptquellen: Reisanbau, Haltung von Wiederkäuern, Abfalldetonen, Kohlebergbau, Erdöl- und Erdgasproduktion<sup>4</sup>), d.h. 1 Mg Methan trägt in einem definierten Zeitraum von 100 Jahren 21mal stärker zum Treibhauseffekt<sup>5</sup> bei als 1 Mg CO<sub>2</sub>
- ▶ 1 Mg Lachgas (N<sub>2</sub>O) entspricht 310 Mg GWP (Hauptquellen: Stickstoffdünger in der Landwirtschaft, Reisanbau, Kläranlagen<sup>6</sup>)
- ▶ 1 Mg Fluorkohlenwasserstoffe und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) entsprechen bis zu 11.700 Mg GWP. FCKW wurden als Treibgase in Spraydosen und Kältemittel in Kühlanlagen eingesetzt, sind aber seit 1995 in Deutschland verboten und werden deshalb im Klimabericht Rheinland-Pfalz nicht weiter betrachtet.
- ▶ 1 Mg perfluorierte Kohlenwasserstoffe (R-134a/HFC-134a – Kältemittel in Kühlanlagen) entspricht bis zu 9.200 Mg GWP
- ▶ 1 Mg Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) entspricht 23.900 Mg GWP (wird als Schutzgas und Isoliergas in der Technik eingesetzt)

Wichtigster Entstehungsbereich für klimarelevante Treibhausgase ist die Energieerzeugung. Verbrennungsprozesse bzw. Energieverbräuche aus dem verarbeitenden Gewerbe, aus Haushalten und von Kleinverbrauchern, sowie aus dem Verkehr (= Hauptsektoren) sind überwiegend verantwortlich für die durch menschliche Aktivität verursachten, emittierten CO<sub>2</sub>-Mengen.

---

<sup>1</sup> Es werden in diesem Bericht SI-Einheiten (SI= Système International d'Unités) benutzt. Das bedeutet u.a., dass nicht von Tonnen (t) gesprochen wird, sondern von Megagramm (Mg), und nicht von 1.000 Tonnen (t) oder Kilotonnen (kt), sondern von Gigagramm (Gg).

<sup>2</sup> Auch: Vulkanismus, Wald-, Busch- und Steppenbrände

<sup>3</sup> Die hier angeführten Umrechnungsfaktoren sind die noch immer verwendeten Umrechnungsfaktoren, die aus dem 2. IPCC-Bericht aus dem Jahr 1996 stammen. Die Zahlen wurden zwar im 3. IPCC-Bericht aus 2001 korrigiert (z.B. 23 für Methan und 296 für Lachgas), doch solange diese nicht offiziell in einer Vertragsstaatenkonferenz (COP) beschlossen wurden, sind die Umrechnungsfaktoren aus 1996 weiter in allen Inventaren zu verwenden.

<sup>4</sup> Auch: Wasser-beeinflusste Böden, sonstige Wiederkäuer, Termiten, Moore und Sumpfböden.

<sup>5</sup> Die klimatische Wirkung eines Treibhausgases beruht auf seiner Fähigkeit, die von der Erdoberfläche reflektierte Wärmestrahlung im Infrarotbereich zu absorbieren und so die Atmosphäre zu erwärmen.

<sup>6</sup> Auch: Ozeane, Wasser-beeinflusste Böden, Wald-, Busch- und Steppenbrände

Für das Jahr 2005 gibt der seit zwei Jahren erscheinende Nationale Inventarbericht folgende Emissionsmengen an:

**Tab. A 2.1: Treibhausgasemissionen in Deutschland – Veränderungen gegenüber dem Basisjahr 1990 (Quelle: Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2005. Nationaler Inventarbericht 2007. UMWELTBUNDESAMT)**

Treibhausgas	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
	CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Gg							
Netto CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>1</sup>	1.003.732	889.654	848.700	866.081	850.914	865.198	860.522	836.446
CH <sub>4</sub>	99.266	81.494	64.722	61.435	57.855	53.795	49.611	47.632
N <sub>2</sub> O	84.760	77.882	59.744	60.702	60.059	62.704	64.933	66.501
HFC, PFC, SF <sub>6</sub>	11.862	15.464	12.667	13.812	13.760	13.707	14.059	14.820
<b>Gesamt</b>	<b>1.199.620</b>	<b>1.064.493</b>	<b>985.832</b>	<b>1.002.030</b>	<b>982.587</b>	<b>995.404</b>	<b>989.126</b>	<b>965.398</b>

In dem hier vorliegenden Bericht wurden als zusätzliche Informationen zu den Hauptsektoren die Mengen klimaschutzrelevanter Emissionen aus den Bereichen Landwirtschaft und Abfallwirtschaft ermittelt bzw. zusammengestellt.

## A 2.2 Verfahren zur Bilanzierung klimarelevanter Gase

Die Datenaufbereitung erfolgte im Wesentlichen aus der Nutzung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen des LÄNDERARBEITSKREISES (LAK) ENERGIEBILANZEN bzw. der CO<sub>2</sub>-Bilanz aus dem 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz, aus der UGR (umweltökonomischen Gesamtrechnung) und aus sektorspezifischen Berechnungen nach den Ansätzen des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (vgl. hierzu insbesondere den Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2004 und 1990-2005, UMWELTBUNDESAMT 2006 / 2007)<sup>2</sup>.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus dem Primärenergieverbrauch nach dem Verfahren des LAK-Energiebilanzen unterscheidet eine Quellenbilanz und eine Verursacherbilanz (vgl. nachfolgende Tabelle).

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz, wie sie aus der Energiebilanz abgeleitet wird, kann für den Bereich Energie/ Industrie nicht unmittelbar mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus den emissionshandlungspflichtigen und den emissionserklärungspflichtigen Anlagen berichtet bzw. erklärt werden, verglichen werden. Methodenbedingt findet nicht die gleiche Anlagen-/Sektorabgrenzung statt (Energieerzeugungsanlagen eines Papierherstellers werden beispielsweise im Immissionsschutz – und damit auch den darauf bezogenen Erhebungen - dem Produktionsbereich „Papier“ zugeordnet, nicht dem Energiebereich). Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Aufstellungen besteht darin, dass die Emissionsberichte nach dem Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG) und die Emissionserklärungen nach

<sup>1</sup> einschließl. LULUCF (= Land Use, Land Use Change and Forestry)

<sup>2</sup> Zur Herkunft der Emissionsdaten s. Anhang 2.1

der 11. Bundesimmissionsschutz-Verordnung (BImSchV) auch prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen erfassen und nicht nur die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>1</sup> Folglich sind die so ermittelten Werte von CO<sub>2</sub>-Emissionen höher, als die rein energiebedingten CO<sub>2</sub>-Angaben in den CO<sub>2</sub>-Bilanzen des 7. Energieberichtes.

**Tab. A 2.2: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Primärenergie (Quellenbilanz)- und Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Rheinland-Pfalz 2002-2004 (Quelle: LÄNDER-AK ENERGIEBILANZEN / 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz, 2007)**

Bereich	Quellenbilanz in 1.000 Mg CO <sub>2</sub>			Verursacherbilanz in 1.000 Mg CO <sub>2</sub>		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Verkehr	9.456	9.690	9.805	9.729	9.951	10.133
davon Straße	9.119	9.233	9.270			
Luft	223	340	417			
Schiene	70	70	65			
Schiff	45	48	52			
Haushalte und Kleinverbraucher (Gewerbe, Handel, Dienstleistung - GHD)	9.416	8.984	8.818	18.507	17.683	17.808
Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe	5.690	4.072	3.878	15.307	14.597	13.519
Umwandlungsbereich	3.231	4.042	3.931			
davon Strom	2.918	2.565	2.878			
davon Fernwärme	313	1.477	1.053			
<b>Gesamt</b>	<b>27.793</b>	<b>26.787</b>	<b>26.432</b>	<b>43.543</b>	<b>42.231</b>	<b>41.460</b>

### Quellenbilanz

Die Quellenbilanz basiert auf dem Primärenergieverbrauch eines Landes, unterteilt nach den Quellen „Umwandlungsbereich“ und „Endenergiebereich“. Unberücksichtigt bleiben die mit dem Importstrom zusammenhängenden Emissionen. Dagegen geht der exportierte Strom in die Berechnung mit ein.

- Die Quellenbilanz ermöglicht eine Aussage über die gesamte im Land emittierte CO<sub>2</sub>-Menge. Rückschlüsse über das Verbrauchsverhalten der Endenergieverbraucher sind jedoch nicht möglich.

### Verursacherbilanz

Die Verursacherbilanz basiert ebenfalls auf dem Primärenergieverbrauch eines Landes, allerdings werden die Emissionen des Umwandlungsbereiches nicht getrennt erfasst, sondern nach dem Verur-

<sup>1</sup> vgl. hierzu auch Fußnote 10 auf S. 153 des 7. Energieberichtes Rheinland-Pfalz, 2007



sacherprinzip werden sie dem verursachenden Endenergieverbrauchersektor zugeordnet. Die Berechnung basiert auf dem Brennstoffverbrauch aller Stromerzeugungsanlagen in Deutschland. Ein direkter Zusammenhang mit den tatsächlich in einem Land angefallenen Emissionen ist allerdings nicht mehr gegeben.

- ▶ Quellen- und Verursacherbilanz liegen in Rheinland-Pfalz insbesondere für den Bereich der Privaten Haushalte und Kleinverbraucher deutlich auseinander, da Rheinland-Pfalz in erheblichem Umfang Strom von außerhalb des Landes bezieht.

Mit dem Energieverbrauch zusammenhängende und erläuternde Gebiets- und Bevölkerungsmerkmale sind Anhang 2.2 dieses Berichtes zu entnehmen.

## A 2.3 Klimarelevante Emissionen aus dem Bereich Energie und Industrie

### A 2.3.1 Vorgehensweise bei der Datenzusammenstellung

Es werden zwei Gruppen<sup>1</sup> von Emissionsdaten aus Industrie und Gewerbe unterschieden, da sie aus verschiedenen Quellen stammen:

Gruppe 1: Hierbei handelt es sich um die emissionshandelspflichtigen Anlagen. Die Zahlenangaben beziehen sich auf die Berichtsjahre 2005 und 2006. Es werden in Abschnitt 3.3.2 den für 2005 und 2006 berichteten Mengen die für 2004 in den Emissionserklärungen erklärten Mengen, sowie die für die 1. Handelsperiode nach dem Kyoto-Protokoll (2005-2007) zugeteilten Mengen gegenübergestellt. Die Mengen aus Gruppe 1 stellen gleichzeitig den größten Anteil aus der Gesamtmenge der Emissionen aus Industrie und Gewerbe dar.

Gruppe 2: Diese Gruppe bezieht sich auf Anlagen, die nach der 11. BImSchV zur Abgabe von Emissionserklärungen verpflichtet sind, wobei diejenigen nicht berücksichtigt werden, die emittierte CO<sub>2</sub>-Mengen bereits über die Berichterstattung im Emissionshandel angegeben haben. Die letzten abgegebenen Emissionserklärungen geben die Mengen aus dem Jahr 2004 an. Es handelt sich bei diesen Erklärungen um auf Plausibilität geprüfte Betreiberangaben.

---

<sup>1</sup> Die dritte Gruppe des gewerblichen Bereiches – nämlich die der Kleinerzeuger (GHD – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) wird „traditionell“ mit den Privaten Haushalten miterfasst (vgl. Kapitel A 2.4). Die Emissionen errechnen sich hier aus den spezifischen Energieverbräuchen je nach Wirtschaftsbereich.

A 2.3.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den emissionshandelspflichtigen Anlagen

In Rheinland-Pfalz emittierten die 87 rheinland-pfälzischen emissionshandelspflichtigen Anlagen (vgl. nachfolgende Abbildung) rd. 1,4 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus emissionshandelspflichtigen Anlagen in Deutschland, bezogen auf die Jahre 2005/2006.

**Tab. A 2.3 : Emissionshandelspflichtige Anlagen und deren CO<sub>2</sub>-Emissionen in Rheinland-Pfalz (Quelle: Interne Datenerfassung der Emissionserklärungen 2004 und der Emissionsberichte 2005 und 2006 der Anlagenbetreiber, LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT)**

Art der Tätigkeit	Anzahl der Anlagen	Für 2004 erklärte CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mg	Für 2005 berichtete CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mg	Für 2006 berichtete CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mg	Pro Jahr zugeteilte CO <sub>2</sub> -Emissionen (2005-2007) in Mg	Jährliche Übermengen der Branche in Mg 2005/2006 in Mg (gerundet)
Feuerungsanlagen/ Energieerzeugungsanlagen	51	5.442.630	4.487.053	4.325.563	6.074.813	1.650.000
Anlagen zur Herstellung von Zementklinkern	6	1.271.013	1.168.900	1.451.472	1.276.471	-35.000
Anlagen zur Herstellung von Papier und Pappe	10	237.031	255.062	267.597	364.025	100.000
Anlagen zur Herstellung von Glas	6	214.850	247.998	229.933	287.710	50.000
Raffinerien	3	125.162	104.710	104.638	118.768	15.000
Anlagen zur Herstellung von keramischen Erzeugnissen	10	85.843	78.618	81.577	84.601	4.500
Stahl, Eisen, Metalle	1	28.080	14.004	24.309	28.080	9.000
<b>Gesamt</b>	<b>87</b>	<b>7.376.529</b>	<b>6.356.345</b>	<b>6.485.089</b>	<b>8.234.968</b>	<b>1.800.000</b>

Der Überschuss zwischen berichteten und zugeteilten Mengen resultiert zu 85 % aus nur acht der 87 Anlagen.

Die Gründe für die Unterschiede sind zu einem kleinen Teil auf technischen Fortschritt und „fuel switch<sup>1</sup>“ zurückzuführen. Zum größeren Teil spielen eine überhöhte Zuteilung (→ ex-post-Korrektur<sup>2</sup> zu erwarten), ein Rückgang bei der Produktion, Produktionsverlagerungen und Sonderzuteilungen eine Rolle.

---

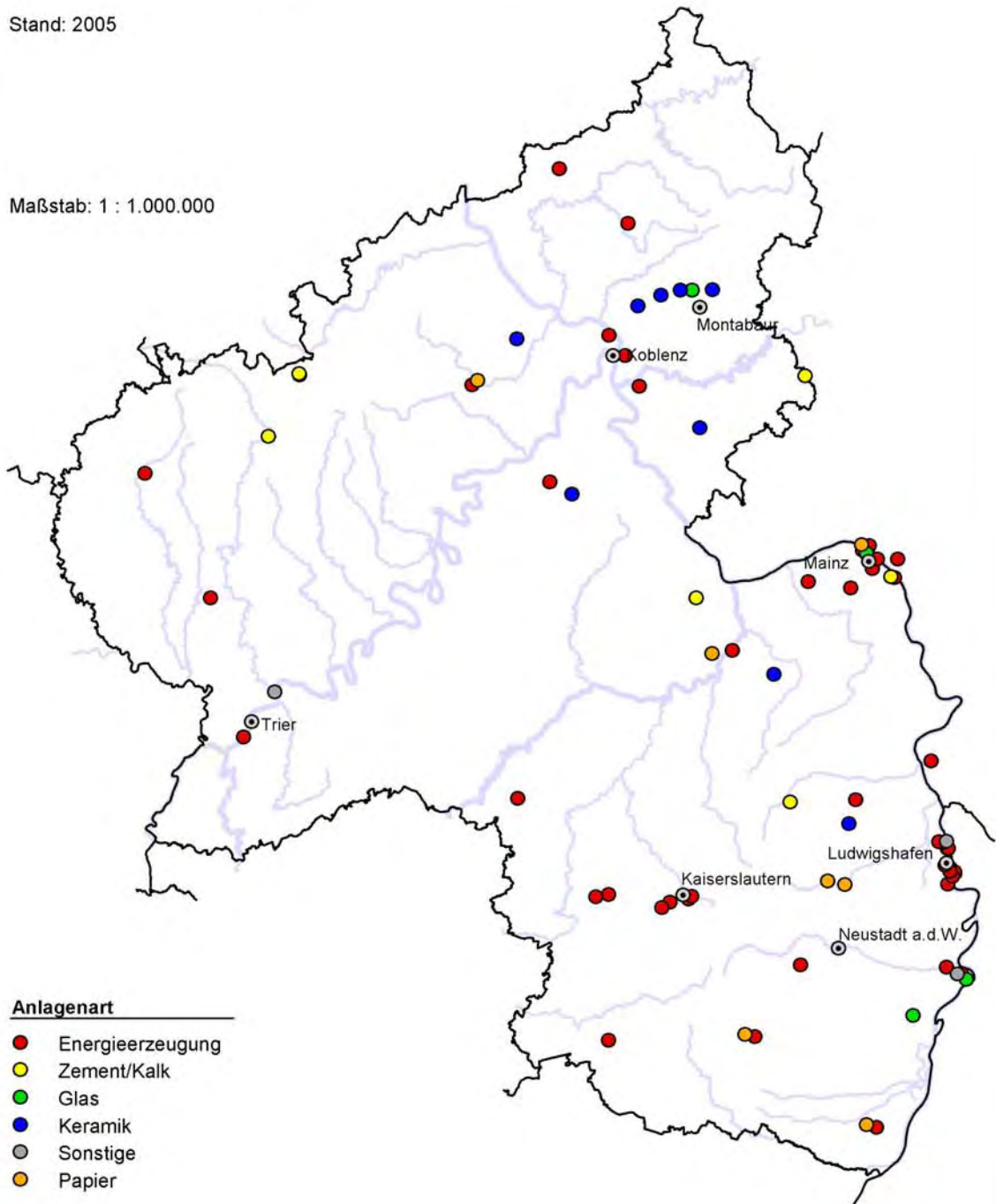
<sup>1</sup> Fuel switch = Wechsel des Energieträgers von einem fossilen auf einen biogenen Energieträger (mit  $E_f = 0$ ) oder Wechsel von Kohle auf Erdgas als Energieträger mit geringeren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen

<sup>2</sup> Gemäß Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007) unterliegt die Zuteilungsentscheidung für Emissionsberechtigungen nach bestimmten Zuteilungsregeln einer nachträglichen („ex-post“) Überprüfung und unter bestimmten Umständen einer Korrektur (hierzu bietet die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) auf ihrer Homepage unter [www.dehst.de](http://www.dehst.de) einen Leitfaden an).

## Emissionshandelspflichtige Anlagen in Rheinland-Pfalz

Stand: 2005

Maßstab: 1 : 1.000.000



A 2.3.3 CO<sub>2</sub>-Emissionen aus sonstigen Industrieanlagen

Anzahl und Struktur der sonstigen industriellen Anlagen, die Kohlendioxid emittieren, sowie die emittierten Mengen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen außerhalb des Emissionshandelsbereiches sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

**Tab. A 2.4: In den Emissionserklärungen für das Jahr 2004 angegebene Mengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen in Rheinland-Pfalz (ohne Anlagen und Emissionen, die im Rahmen des Emissionshandels erfasst sind – Zahlen gerundet)**

Art der Tätigkeit	Anzahl der Anlagen	CO <sub>2</sub> -Emissionen 2004 In Mg
Feuerungsanlagen	17	220.000
Motorenanlagen	18	46.000
Anlagen Steine und Erden (außer Zement, Glas, Keramik), davon:	82	
Mahlen, Brechen, Klassieren	11	18.100
Keramik	37	226.500
Bitumen, Asphalt, Teererzeugnisse	34	61.400
Anlagen Holz, Zellstoff (Papier und Pappe)	5	35.400
Industrielle Abfallverbrennungsanlagen	5	790.000
Sonstige Anlagen		
Anlagen Stahl, Eisen, sonstige Metalle	34	268.600
Anlagen zur Herstellung chemischer Produkte	181	2.288.800
Anlagen zur Oberflächenbehandlung	52	98.000
Anlagen zur Herstellung von Nahrungsmitteln	3	160.000
Rest	44	54.200
<b>Gesamt</b>	<b>441</b>	<b>4.266.000</b>

In den Emissionserklärungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz sind alle wesentlichen Luftverunreinigungen angegeben, darunter auch die Treibhausgase Methan und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Insgesamt wurden für 2004 250 Mg Methanemissionen und 14.024 Mg Lachgasemissionen angegeben. Dies entspricht insgesamt einen CO<sub>2</sub>-Äquivalent von rd. 4.350.000 Mg.

## A 2.4 Klimarelevante Emissionen der privaten Haushalte und der Kleinverbraucher

### A 2.4.1 Vorbemerkungen

Der Teilbereich Private Haushalte bezieht hier neben der statistischen Gruppe der Privathaushalte auch die Gruppe der so genannten Kleinverbraucher<sup>1</sup> ein. Seit 1995 wird dieser Verbrauchssektor in den Energiebilanzen des Bundes und der Länder als „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ (GHD) ausgewiesen<sup>2</sup>.

Die Betrachtungen zum Verbrauch und zu den klimarelevanten Emissionen der untersuchten Sektoren beziehen sich auf das Jahr 2004, für das der Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen und die Statistischen Ämter der Länder Daten veröffentlicht haben<sup>3</sup>.

Projektionen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Quellengruppen Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für das Jahr 2006 wurden auf der Grundlage aktueller Kenngrößen des Energieverbrauchs unter Einbeziehung einschlägiger spezifischer Verbrauchs- und Emissionsfaktoren erarbeitet. Sie liefern Hinweise über die Entwicklung des Verbrauchs und der Emissionen seit 2004.

### A 2.4.2 Methodische Vorgehensweise

Die Höhe des Raumwärmebedarfs der Haushalte und Kleinverbraucher wird stark von der herrschenden Außentemperatur, der Dämmung der Gebäude und der gewünschten Raumwärme in Wohnungen und Büroräumen sowie Werkstätten bestimmt. Als Kenngrößen zur Abschätzung des Raumwärmebedarfs gelten neben der gewünschten Raumtemperatur etwa die Anzahl der Bewohner und Beschäftigten, die Größe der Wohnungen, das Alter der Gebäude, die Wirkungsgrade der Heizanlagen oder die zur Wärmegewinnung eingesetzten Energieträger und die Heizanlagen an sich.

Nachdem statistisch gesicherte Informationen über den Endenergieverbrauch der Emittentengruppen Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für das Bundesland Rheinland-Pfalz nur bis zum Jahr 2004 vorliegen, wurden für das Jahr 2006 Schätzungen vorgenommen.

Die Vorgehensweise für das gewählte Schätzverfahren ist Anlage A 3.6 zu entnehmen.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Während der Begriff der Privaten Haushalte eindeutig festgelegt ist, findet sich für die Gruppe der Kleinverbraucher keine eindeutige, allgemein akzeptierte Definition. In den Umweltbehörden einiger Bundesländer wurde unter der Bezeichnung „Kleinverbraucher“ in Abgrenzung zur Gruppe der genehmigungsbedürftigen Anlagen - die Gruppe der sonstigen, nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen zusammengefasst.

<sup>2</sup> ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN E.V. (AGEB); Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland; o.J. Der Sektor GHD schließt den Energieverbrauch militärischer Dienststellen ein und beschränkt sich im gewerblichen Bereich auf Betriebe mit weniger als 20 Beschäftigten.

<sup>3</sup> vgl. 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz, 2007

<sup>4</sup> Im Sektor Private Haushalte setzt sich der emissionsrelevante Endenergiebedarf aus dem Raumwärmeenergiebedarf und dem Energiebedarf für die Warmwasserbereitung und das Kochen zusammen. Zunächst wird der Energiebedarf für die Erzeugung von Raumwärme auf der Grundlage der zu beheizenden Flächen anhand spezifischer Energiebedarfsfaktoren berechnet. Anschließend findet eine Verteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Energieträger statt. Sie orientiert sich an der Verteilung der Energiearten, die zur Be-



Nach Ermittlung der Energieverbrauchsprognosen werden die daraus resultierenden Emissionen abgeleitet. Hierbei finden Emissionsfaktoren des Länderarbeitskreises Energiebilanzen Anwendung.

#### A 2.4.3 Energierrelevante Kenngrößen

##### A 2.4.3.1 Grundlagen

Der für die Warmwasserbereitung, die Raumwärme und die Prozesswärme in Kleinbetrieben erforderliche Energiebedarf kann überschlägig über statistische Kenngrößen geschätzt werden.

Rund  $\frac{3}{4}$  der eingesetzten Endenergie im Haushaltsbereich entfallen auf die Erzeugung von Raumwärme<sup>1</sup>. Bezieht man die Energieverbräuche zur Warmwasserbereitung und zum Kochen mit ein, liegt der Endenergieverbrauch zur Bereitstellung der geforderten Wärme in Haushalten bei über 90 %<sup>2</sup>.

Die Menge der benötigten Raumwärme hängt im Wesentlichen vom Umfang der zu beheizenden Flächen und Räume ab, die im Haushalts-, Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungsbereich genutzt werden.

Die Anzahl der Wohngebäude nahm seit dem Jahr 2000 um knapp 6 % und die Anzahl der Wohnungen um über 5 % zu, während die Anzahl der Einwohner nur um 0,5 % stieg.

Die rechnerische Wohnflächenverfügbarkeit erhöhte sich in Rheinland-Pfalz in diesem Zeitraum damit von 42,7m<sup>2</sup> auf etwa 45,5m<sup>2</sup> je Einwohner.

##### A 2.4.3.2 Private Haushalte - Bestand Wohneinheiten 2006

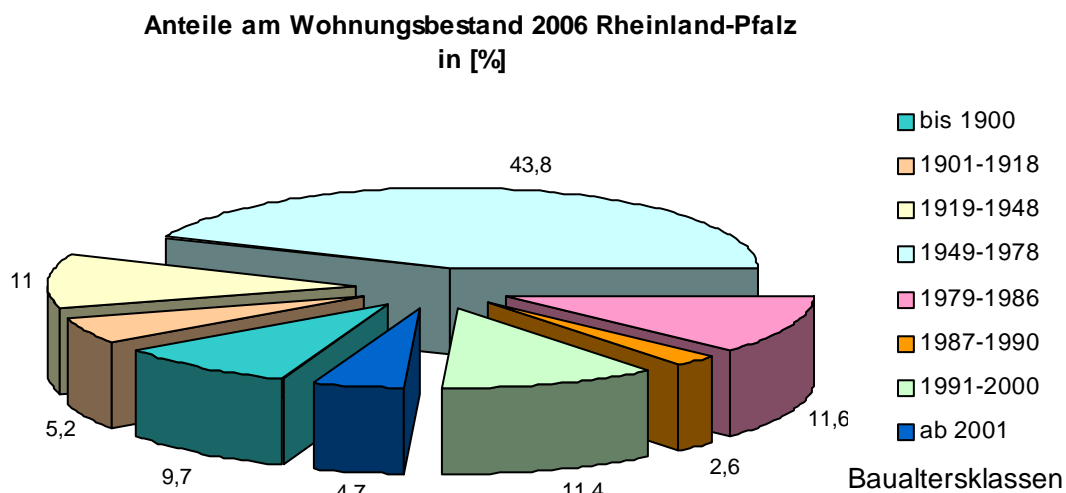
Die folgende Grafik veranschaulicht die auf der Grundlage der Daten aus 2002 prognostizierte Aufteilung der Wohneinheiten in Wohn- und Nichtwohngebäude nach Baualtersklassen im Jahr 2006.

---

heizung des Wohnungsbestandes verwendet werden. Der Endenergieverbrauch für die Raumwärme ergibt sich dann auf der Grundlage der berechneten Bedarfsgrößen unter Berücksichtigung der an den Verbrauchsgrößen des Jahres 2004 „geeichten“ spezifischen Verbrauchsfaktoren. Der für die Warmwasserbereitung und das Kochen erforderliche Endenergieverbrauch wird pauschal über bundesweite Verbrauchs- und Einwohnerzahlen abgeschätzt. Eine direkte Abhängigkeit zwischen der Einwohnerzahl und dem Verbrauch wird dabei unterstellt

<sup>1</sup> BRÜGGEMANN. Energieeffizienz beim Endverbrauch: Ein Überblick über Potenziale, Hemmnisse und Förderinstrumente in Deutschland; in: KfW Bankengruppe, Konzernkommunikation (Hrsg.); Energie effizient nutzen: Klima schützen, Kosten senken, Wettbewerbsfähigkeit steigern; Frankfurt a.M. 2005, S. 20

<sup>2</sup> HOHLER. Erneuerbare Energien & Energieeffizienz – Aktualität und Dringlichkeit des Übergangs zu nachhaltigen Energien; Vortrag vom 14.04.2005 an der evangelischen Akademie Tutzing. DESTATIS weist im November 2006 folgende Zahlen aus: 76 % des Energieverbrauches der privaten Haushalte für Raumwärme, 11 % für Warmwasser, 13 % für Kochen, Elektrogeräte und Beleuchtung.



**Abb. A 2.1: Verteilung des Bestandes an Wohnungen und Wohneinheiten im Jahr 2006 nach Bauersklassen**

Alter und technische Lebensdauer der Gebäude und ihrer Bauteile bestimmen wesentlich ihren Erhaltungszustand, der wiederum den Wärmeenergiebedarf beeinflusst.

Aus Abb. A 2.1 ist erkennbar, dass knapp 70 % der Gebäude vor 1978 errichtet wurden.

Die den Bauersklassen zuzuordnenden Wärmebedarfskennzahlen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

**Tab. A 2.5: Spezifische Wärmeenergiebedarfskennzahlen<sup>1</sup> für private Haushalte (Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung) zum Jahr 2004**

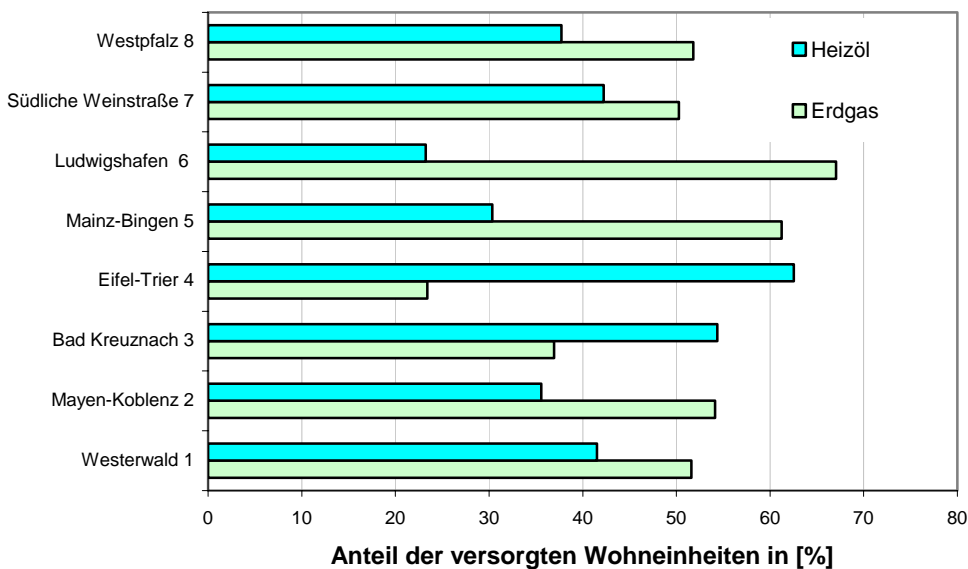
Gebäudegröße	Wärmebedarf in kWh/m <sup>2</sup> x a in Gebäuden der Altersklasse				
	bis 1948	1949-1978	1979-1986	1987-1990	ab 1991
EFH/ZFH	133	133	93	80	67
MFH ≤ 6WE	113	113	80	73	60
MFH > 6WE	100	100	73	60	53

EFH Einfamilienhaus; ZFH Zweifamilienhaus; MFH Mehrfamilienhaus; WE Wohneinheiten

Zur regionalen Detaillierung der prognostizierten Bestandsdaten 2006 wurde eine räumliche Differenzierung für die acht Regionen nach der räumlichen Gliederung der Mikrozensus-Zusatzerhebungen 2002 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Unterschiede beim Einsatz der Energieträger Heizöl und Erdgas (vgl. Abb. A 2.2).

<sup>1</sup> Die Werte errechnen sich aus dem relativen Wärmeenergiebedarf pro m<sup>2</sup> Wohnfläche in Verbindung mit Mikrozensusdaten und Daten des LÄNDER-AK ENERGIEBILANZEN über den Gasabsatz in Haushalten.

Diese Daten bilden die Grundlage für die Verbrauchsberechnungen zur Abschätzung der Energieeinsätze bei der Beheizung des Wohnungsbestandes im Land Rheinland-Pfalz.



**Abb. A 2.2: Anteile des mit Heizöl und Erdgas versorgten Wohnungsbestandes 2006 nach Regionen in Rheinland-Pfalz**

#### A 2.4.3.3 Kleinverbraucher<sup>1</sup>

Bezugsgröße für die Schätzungen der Energieverbräuche und Emissionen des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen stellt die Zahl der Beschäftigten und Erwerbstätigen dar<sup>2</sup>.

Einen wichtigen Einfluss auf den Endenergiebedarf besitzt die Art der Branche, innerhalb derer nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen betrieben werden. Deshalb wird in dieser Studie eine Gliederung der Erwerbstätigen in fünf Wirtschaftsbereiche vorgenommen, die einerseits statistisch erfasst sind und andererseits unterschiedliche Verbrauchsgewohnheiten erwarten lassen<sup>3</sup>.

Die Wärmenergiebedarfskennwerte nach diesen Branchen sind in Tabelle A 2.6 dargestellt.

<sup>1</sup> Entspricht dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

<sup>2</sup> Analog zu HEINZ + FEIER GMBH; Emissionskataster Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen Hessen 2000 (2003)

<sup>3</sup> Von einer Einbeziehung des land- und forstwirtschaftlichen Bereichs wird angesichts der geringen Zahl der dort Beschäftigten (< 0,3%) abgesehen.

**Tab. A 2.6: Wärmebedarfskennwerte<sup>1</sup> nach ausgewählten Wirtschaftsbereichen**

Wirtschaftsbereiche	Kennwert in MWh pro Beschäftigtem und Jahr
Verarbeitendes Gewerbe	23,0
Baugewerbe	2,0
Handel	5,0
Finanzierung, Vermietung, Unternehmensdienstleister	5,0
öffentliche und private Dienstleister	9,0

Der gesamte Wärmeenergiebedarf des Sektors GHD ergibt sich dann als Summe der nach Wirtschaftsbereichen differenzierten Energiebedarfswerte.

A 2.4.3.4 Ergebnis der Betrachtungen zu den energierelevanten Kenngrößen des Bereiches der Privaten Haushalte und der Kleinverbraucher

Die aus Tab. A 2.6 in Verbindung mit den jeweiligen Beschäftigtenzahlen ermittelten Daten repräsentieren in Verbindung mit den jeweiligen Wohnflächen den Energiebedarf der Verbrauchergruppen nach Energieträgerarten (vgl. Tabelle A 2.7).

**Tab. A 2.7: Endenergiebedarf der Verbrauchergruppen nach Energieträgerarten**

Bezugsjahr	Endenergiebedarf in GWh/a						
	Erdgas	Heizöl	Strom/ Fernwärme	Holz, erneuerbare Energien	Kohle	Gesamt	in %
Privathaushalte	14.049	12.068	3.392	378	254	30.141	61,6 %
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	5.556	4.110	8.258	844	-	18.768	38,4 %
Gesamt	19.605	16.178	11.650	1.222	254	48.909	100 %

<sup>1</sup> Analog zu HEINZ + FEIER GMBH; Emissionskataster Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen Hessen 2000 (2003)

#### A 2.4.4 Emissionen klimarelevanter Gase aus dem Sektor Private Haushalte und Kleinverbraucher

Die folgende Tabelle beinhaltet die zur Ermittlung der klimarelevanten Gase aus dem Bereich Privater Haushalte und Kleinverbraucher verwendeten Emissionsfaktoren.

**Tab. A 2.8: Emissionsfaktoren für nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen ohne Abgasreinigung<sup>1</sup>**

Emittierter Stoff	Einheit	Heizöl EL	Erdgas	Braunkohle	Steinkohle	Holz
CO <sub>2</sub>	g/MWh	266.400	201.600	349.200	338.400	370.800
N <sub>2</sub> O	g/MWh	2,16	1,08	0	39,6	5,76
CH <sub>4</sub>	g/MWh	0,36	3,6	0	720	612

0: entweder liegen keine Daten vor oder der Wert ist vernachlässigbar/nicht nachweisbar

Anhand der ermittelten Endenergiebedarfswerte der einzelnen Energieträger und der Emissionsfaktoren wurden die Jahresemissionen im Sektor Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für das Jahr 2006 ermittelt (vgl. Tabelle A 2.9).

**Tab. A 2.9: Hochrechnung der Emissionen klimarelevanter Gase für das Jahr 2006. Sektoren: Private Haushalte und GHD**

Region	Jahresemissionen		
	CO <sub>2</sub> in 1000 Mg/a	N <sub>2</sub> O in Mg/a	CH <sub>4</sub> in Mg/a
1 Westerwald	1.356	9	54
2 Mayen-Koblenz	1.298	9	63
3 Bad Kreuznach	529	4	20
4 Eifel-Trier	1.137	9	56
5 Mainz-Bingen	1.222	8	49
6 Ludwigshafen	1.247	8	56
7 Südliche Weinstraße	594	4	28
8 Westpfalz	1.149	8	51
<b>Gesamt</b>	<b>8.532.000 Mg CO<sub>2</sub></b>	<b>59 (= 21.080 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente)</b>	<b>377 (= 7.900 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente)</b>

Ein Vergleich der für die Bereiche Private Haushalte und GHD für das Jahr 2006 ermittelten Jahresemissionen CO<sub>2</sub> von 8.532 Gg mit den **Emissionen des Jahres 2004<sup>2</sup> von 8.818 Gg** zeigt eine prognostizierte Abnahme der Emissionen um 3,3 %.

<sup>1</sup> Quellen: LÄNDER-AK ENERGIEBILANZEN 2002 bis 2004, UMWELTBUNDESAMT. HEINZ + FEIER GMBH; Emissionskataster Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen Hessen 2000 (2003)

<sup>2</sup> 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz (2007), S. 230

Zusätzlich zu den auf Rheinland-Pfalz bezogenen Berechnungen, wie sie in diesem Abschnitt ange stellt wurden, erfolgte vom Statistischen Bundesamt im Jahr 2006 die Vorlage aktueller bundesweiter Daten zum Energieverbrauch der privaten Haushalte nach der umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR). Einige Aussagen sollen hier ebenfalls kurz vorgestellt werden:

- Der Energieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen ist zwischen 1995 und 2005 (temperaturbereinigt) um 3,5 % gestiegen. Dabei ist eine zweigeteilte Entwicklung erkennbar: bis zum Jahr 2000 stieg der Energieverbrauch zunächst um 11 %, um dann – vermutlich beeinflusst von den Energiepreiserhöhungen in Höhe von 42 % zwischen 1999 und 2005 – um rd. 7 % zu sinken.
- Der Energieverbrauch der stromverbrauchenden Geräte (Kochen, Elektrogeräte und Beleuchtung) stieg zwischen 1995 und 2004 um 17,3 % an, während sich der Energieverbrauch für Heizen um 2,8 % erhöhte und der Energiebedarf für Warmwasser um 1,4 % zurückging. Damit hat sich der Anteil der Raumheizung am gesamten Energieverbrauch von rd. 76 % in 2004 auf nur noch 61 % in 2005 verringert, der Anteil Warmwasser stieg von 11 auf 12 %, der Anteil des Bereiches Kochen, Elektrogeräte, Beleuchtung von 13 auf 27 %.
- Die Zahl der in privaten Haushalten eingesetzten Elektrogeräte stieg in den Jahren 1993 bis 2003 erheblich an: Personalcomputer +213 %, Wäschetrockner +106 %, Geschirrspülmaschinen +103 %, Mikrowellengeräte +93 %, Videorecorder +61 %.
- Der Verbrauch von Heizenergie pro m<sup>2</sup> Wohnfläche konnte aufgrund verbesserter Wärmedämmung und Heizungstechnik sowie durch verändertes Heizverhalten der Haushalte zwischen 1995 und 2004 um rd. 9 % reduziert werden. Allerdings wirkten diesen Einsparerfolgen die erhöhte genutzte Wohnfläche (+13 %) aufgrund geringerer Haushaltsgrößen (die Bevölkerungszahl ist zwischen 1996 und 2004 nur um rd. 1 % gestiegen, während die Zahl der Haushalte um rd. 5 % gestiegen ist) und damit wachsender Pro-Kopf-Wohnfläche entgegen.

## A 2.5 Klimarelevante Emissionen des Verkehrsbereiches

Für die Bestandsaufnahme des Energieverbrauchs bzw. der damit verursachten klimarelevanten Emissionen des Verkehrs muss definiert werden, welcher Verbrauch bzw. welche Emissionen dieser Bilanzierung zu Grunde liegen. Die drei Hauptprinzipien der Abgrenzung sind dabei

- das **Verursacherprinzip**: „Wie viel verkehrliche klimarelevante Emissionen verursachen die Einwohner von Rheinland-Pfalz“.
- das **Territorialprinzip**: „Wie viele klimarelevante Emissionen verursacht der Verkehr auf und über dem Territorium von Rheinland-Pfalz“. Hier tritt das Problem auf, dass der Transit- und vor allem der Luftverkehr nicht oder kaum zu erfassen sind.
- das **Energiebilanz-Prinzip**: „Abbildung der klimarelevanten Emissionen nach dem Verkauf der verkehrsbezogenen Energieträger (Kraftstoffe, Strom) im Bundesland“. Hier ist zu berücksichtigen, dass der Verkaufsort nicht immer gleich dem Ort des Verbrauchs ist, weil z. B. Fahrzeuge diesseits der Landesgrenze betankt werden und jenseits fahren oder umgekehrt.



Hinzu kommt, dass im Verkehrsbereich auch Elektrizität genutzt wird, deren Erzeugung und Emissionen in Klimabilanzen nicht dem Verkehr, sondern dem stationären Sektor zugerechnet werden.

Die Energiebilanz-gestützte Berechnung entspricht dem zwischen den Bundesländern abgestimmten Modus und wurde auch hier angewendet.

Wichtigste Datenbasis zur Ableitung der klimarelevanten Emissionen im Verkehr ist deshalb die Energiebilanz. Sie liegt für Rheinland-Pfalz bis 2004 vor und weist für den Verkehrssektor den Kraftstoffabsatz und den Stromverbrauch für die Verkehrsträger Straße, Schiene, Binnenschifffahrt und Flugverkehr aus.

Da für das Jahr 2006 keine dem entsprechenden Angaben vorliegen, wurde der Energieverbrauch aufgrund des bundesweiten Trends hochgerechnet.

- Im Straßenverkehr wurden die verfügbaren landesspezifischen Daten (Kfz-Bestände, Verkehrszählungen, Fahrleistungen je Straßenkategorie) zur Erstellung eines Verkehrsmengengerüsts verwendet. Auf dieser Grundlage wurde der statistische Energieverbrauch im Straßenverkehr berechnet, zwischen den Fahrzeugkategorien (Pkw, Lkw, Bus etc.) aufgeteilt und abschließend auf die Energiebilanz abgestimmt
- Während der Energieverbrauch des Straßenverkehrs mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden kann, ist eine analoge Genauigkeit für den übrigen Verkehr nicht erzielbar.

Die Bilanz der klimarelevanten Emissionen des gesamten Verkehrs in Rheinland-Pfalz wurde somit auf Grundlage der Energiebilanz nach der international üblichen Methode erstellt. Sie ist vergleichbar zu den Bilanzen anderer Bundesländer bzw. der nationalen Bilanz.

#### A 2.5.1 Energieverbrauch des Verkehrs in Rheinland-Pfalz

Der Endenergieverbrauch des Verkehrs in Rheinland-Pfalz entspricht in der Summe für die einzelnen Sektoren und Kraftstoffarten den Angaben der Energiebilanz. Eine Aufteilung innerhalb der Verkehrsbereiche erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Die Aufteilung für den Straßenverkehr wurde anhand der Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien und spezifischer Verbrauchswerte aus TREMOD<sup>1</sup> durchgeführt.
- Beim Schienenverkehr konnten nur die Angaben zum Verbrauch des Nahverkehrs rückgerechnet werden, da Angaben zu Verkehrsleistungen im Personenfernverkehr und Güterverkehr fehlen.
- Die Werte für die Binnenschifffahrt entsprechen den Angaben der Energiebilanz. Hier bestehen jedoch nachweislich in den Jahren ab 2000 Diskrepanzen zur tatsächlich in Rheinland-Pfalz erbrachten Verkehrsleistung.
- Der Energieverbrauch des Luftverkehrs wurde anhand der gesamtdeutschen Kennzahlen auf die Bereiche Personen- und Güterverkehr aufgeteilt.

---

<sup>1</sup> TREMOD = Transport Emissions Modelling, Quelle: IFEU 2007

## Verkehrssektor:

- Der gesamte Endenergieverbrauch im Verkehr war im Jahr 2000 um 29 % höher als 1990. Bis 2002 ging der Energieverbrauch etwas zurück, um anschließend wieder anzusteigen, so dass 2004 im Verkehrssektor etwa 33 % mehr Energie verbraucht wurde als 1990.
- Über 95 % des Endenergieverbrauchs im Verkehr entfallen auf den Straßenverkehr.
- Im Motorisierten Individualverkehr (MIV = Pkw und Zweiräder) war der Energieverbrauch 2006 um 21 % höher als 1990. Dabei ging nach dem Jahr 2000 der Verbrauch von Ottokraftstoff zurück, während der Verbrauch von Diesel weiter anstieg.
- Im Schienenpersonennahverkehr ist der Energieverbrauch bis 2006 gegenüber 1990 um 31 % angestiegen, der Anteil der Elektrotraktion hat sich von 46 % auf 61 % erhöht.
- Im Straßengüterverkehr hat der Energieverbrauch 1990-2006 um ca. 50 % zugenommen.
- Im Flugverkehr (Personen- und Güterverkehr) ist der Energieverbrauch seit 1990 um mehr als das Dreizehnfache angestiegen.

**Tab. A 2.10: Endenergieverbrauch des Personen- und Güterverkehrs in Rheinland-Pfalz (Werte für 2006 hochgerechnet)**

Verkehrsträger	1990	1995	2000	2002	2004	2006
	<b>TJ</b>					
Motorisierter Individualverkehr (Otto)	62.227	71.651	71.283	67.326	68.744	61.623
Motorisierter Individualverkehr (Diesel)	9.755	15.404	18.152	20.202	22.861	25.263
Busse	2.506	3.381	2.887	2.505	2.424	2.383
Straßenbahnen	81	65	69	57	62	64
Schienenpersonennahverkehr Elektro	361	565	633	634	635	629
Schienenpersonennahverkehr Diesel	420	631	545	441	425	397
Schienenpersonenfernverkehr <sup>1</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Luftverkehr (National & Internat.)	376	1.650	1.908	2.371	4.493	5.030
<b>Summe Personenverkehr <sup>1</sup></b>	<b>75.864</b>	<b>93.345</b>	<b>95.477</b>	<b>93.537</b>	<b>99.645</b>	<b>95.388</b>
Straßengüterverkehr	24.023	31.510	36.876	35.033	35.237	35.824
Schienengüterverkehr <sup>1</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Binnenschiffverkehr	1.623	1.546	716	601	708	742
Luftverkehr (National & Internat.)	97	415	403	639	1.148	1.328
<b>Summe Güterverkehr <sup>1</sup></b>	<b>25.743</b>	<b>33.471</b>	<b>37.996</b>	<b>36.273</b>	<b>37.093</b>	<b>37.894</b>
<i>Schienenverkehr Elektro Rest <sup>1</sup></i>	1398	1.447	39	802	1.194	n.a.
<i>Schienenverkehr Diesel Rest <sup>1</sup></i>	829	701	498	504	459	n.a.
<b>Gesamtverkehr</b>	<b>103.834</b>	<b>128.965</b>	<b>134.010</b>	<b>131.116</b>	<b>138.391</b>	<b>n.a.</b>

<sup>1</sup> Dem Schienenpersonenfernverkehr und -güterverkehr konnten keine Verbrauchswerte in der Abgrenzung der Energiebilanzen zugerechnet werden. Die Anteile des Endenergieverbrauchs der Energiebilanz im Schienenverkehr, die weder Straßenbahnen noch Schienenpersonennahverkehr zuzurechnen sind, sind am Tabellenende aufgeführt.

n.a.: nicht anwendbar

A 2.5.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs in Rheinland-Pfalz

Aus den Werten zum Energieverbrauch wurden die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen abgeleitet. Dabei wurden die kraftstoffbezogenen Emissionsfaktoren für Otto- und Dieselmotoren gemäß der deutschen Klimaberichterstattung (= Nationales Treibhausgasinventar) zugrunde gelegt. Eventuell enthaltene Anteile an Bioenergieträgern sind in den Energiebilanzen des Landes ab 2004 ausgewiesen. Daher wird für 2004 der im 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz (2007) ausgewiesene Biodieselanteil von 4 % am Gesamtdiesel berücksichtigt. Für 2006 wird ein Anteil von 7 %, entsprechend dem Bundesdurchschnitt, angenommen.

**Tab. A 2.11: Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen des Personen- und Güterverkehrs in Rheinland-Pfalz (Werte für 2006 hochgerechnet)**

Verkehrsträger	1990	1995	2000	2002	2004	2006*
	<b>Mg</b>					
Motorisierter Individualverkehr (Otto)	4.480.000	5.159.000	5.132.000	4.847.000	4.950.000	4.437.000
Motorisierter Individualverkehr (Diesel)	722.000	1.140.000	1.343.000	1.495.000	1.624.000	1.739.000
Busse	185.000	250.000	214.000	185.000	172.000	164.000
Straßenbahnen	0	0	0	0	0	0
Schienenpersonennahverkehr Elektro	0	0	0	0	0	0
Schienenpersonennahverkehr Diesel	31.000	47.000	40.000	33.000	30.000	27.000
Schienenpersonenfernverkehr <sup>1</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Luftverkehr (National & Internat.)	28.000	122.000	141.000	175.000	332.000	372.000
<b>Summe Personenverkehr</b>	<b>5.452.000</b>	<b>6.718.000</b>	<b>6.871.000</b>	<b>6.736.000</b>	<b>7.109.000</b>	<b>6.739.000</b>
Straßengüterverkehr	1.774.000	2.330.000	2.727.000	2.591.000	2.504.000	2.467.000
Schienengüterverkehr <sup>1</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Binnenschiffverkehr	120.000	114.000	53.000	44.000	50.000	51.000
Luftverkehr (National & Internat.)	7.000	31.000	30.000	47.000	85.000	98.000
<b>Summe Güterverkehr</b>	<b>1.902.000</b>	<b>2.475.000</b>	<b>2.810.000</b>	<b>2.683.000</b>	<b>2.639.000</b>	<b>2.617.000</b>
<i>Schienenverkehr Elektro Rest<sup>1</sup></i>	0	0	0	0	0	n.a.
<i>Schienenverkehr Diesel Rest<sup>1</sup></i>	67.000	52.000	37.000	37.000	33.000	n.a.
<b>Gesamtverkehr</b>	<b>7.415.000</b>	<b>9.245.000</b>	<b>9.718.000</b>	<b>9.456.000</b>	<b>9.780.000</b>	<b>9.356.000</b>

<sup>1</sup> Dem Schienenpersonenfernverkehr und -güterverkehr konnten keine Energieverbräuche in der Abgrenzung der Energiebilanzen zugerechnet werden. Die aus dem statistischen Endenergieverbrauch berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Schienenverkehr, die weder Straßenbahnen noch Schienenpersonennahverkehr zugerechnet werden konnten, sind separat am Tabellenende aufgeführt.  
n.a.: nicht anwendbar

Der Straßenverkehr liefert mit 94 % den mit Abstand größten Verursacheranteil an den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrsbereiches.

Der Dieselanteil am PKW-Bestand nimmt seit Jahren zu und zwar zwischen 1999 und 2006 in Rheinland-Pfalz von 13% auf 23%.

Der Anteil des Dieselmotors am Kraftstoffverbrauch im gesamten Straßenverkehr hat sich zwischen 1990 und 2006 von 35 % auf 50 % erhöht. Ursachen dafür sind die gestiegenen Anteile der Diesel-PKW und die Zunahme des Straßengüterverkehrs.

Das durchschnittliche Fahrzeugalter liegt in Rheinland-Pfalz bei 8,4 Jahren.

## A 2.6 Klimarelevante Emissionen in Rheinland-Pfalz aus sonstigen Bereichen

Folgende Sektoren wurden betrachtet:

- Abfallwirtschaft (Deponien, Verbrennungsanlagen, Behandlungsanlagen)
- Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngung)

Bei den Nebensektoren wurden insbesondere die Methan- und Lachgasemissionen untersucht.

### A 2.6.1 Abfallwirtschaft

Die deutsche Abfallwirtschaft hat<sup>1</sup> seit 1990 ihren Treibhausgasausstoß um rd. 46 Mio. Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente reduziert. Grund dafür ist die im letzten Jahrzehnt deutlich zunehmende stoffliche Verwertung von Abfällen und die gleichzeitig zurückgehende Deponierung unbehandelter Restabfälle, die gemäß der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) seit 01. Juni 2005 verboten ist.

Als Betrachtungsbereiche hinsichtlich klimarelevanter Emissionen aus abfallwirtschaftlichen Anlagen gelten:

- Deponien
- Abfallverbrennungsanlagen und
- Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen/Bioabfallkompostwerke

#### A 2.6.1.1 Vorgehensweise zur Ermittlung der diffusen Methanemissionen aus den rheinland-pfälzischen Deponien

Zunächst wurden diejenigen Deponien identifiziert, die bei der Ermittlung zu berücksichtigen waren. Als Ausgangspunkt wurden die Deponien herangezogen, auf denen im Jahr 2004 und 2006 (aktuelle Abfallbilanz) noch Abfälle abgelagert wurden. Ab dem 01.06.2005 dürfen nur noch vorbehandelte Abfälle auf Deponien abgelagert werden, d.h. solche, die keine biologisch abbaubaren Stoffe enthalten. Als weiteres Auswahlkriterium galt die Größenordnung der Deponie und als drittes Kriterium, dass aufgrund der vergangenen Ablagerungsaktivitäten noch relevante Ausgasungen zu erwarten waren. Insgesamt wurden dementsprechend für 18 Deponien, die 2004 noch geöffnet waren, Merkmale ermittelt, die die Menge an diffusen Methanemissionen entscheidend bestimmen (Ablagerungsmenge und Abdeckungs-/Abdichtungszustand).

#### Situation Rheinland-Pfalz

Überschlägig wurden für 18 noch offene Deponien diffuse Methanemissionen gemäß untenstehender Formel<sup>2</sup> zwischen 16.600 Mg und 25.000 Mg Methan berechnet. Dies entspricht 350.000 bis 525.000

<sup>1</sup> Nach der Studie „Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale“, UMWELTBUNDESAMT (HRSG.) ÖKO-INSTITUT/IFEU, 2005

<sup>2</sup> Die Formel zur Berechnung der diffusen Methanemissionen (Me) für Deponien mit annähernd gleichbleibenden Abfallmengen und Abfallqualitäten lautet:  $Me \text{ (Mg/a)} = M * DOC * DOC_r * F * D * C$

Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente für das Jahr 2004<sup>1</sup>. Nach Untersuchungen zur Ermittlung der Deponiegasemissionen nach gemischtem Verfahren Messung/Berechnung (TU Wien) wird diese Grobberechnung angepasst und eine plausible Größenordnung von rd. 11.000 Mg Methan, also insgesamt 231.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Jahr 2004 angenommen.

Die Ablagerung nur noch vorbehandelter d.h. reaktionsarmer Abfälle ab 01.06.2005 und die verstärkte Abdeckung noch offener Deponiebereiche mit geeigneten Bodenmassen, die als Methanoxidationsschicht wirken, führen zu einer nachhaltigen Reduktion der diffusen Methanemissionen. Daher wurde für das Jahr 2006 eine andere Vorgehensweise gewählt. Auf der weitestgehend abgedeckten Hausmülldeponie (HMD) Budenheim (20 ha) wurde messtechnisch eine Methanemissionsfracht von 85 Mg/a ermittelt.

Auf Grundlage:

1. des o.g. Messwertes
2. des ab Juni 2005 nur noch reaktionsarmen Deponiegutes und
3. der heute zum großen Teil abgedeckten und in Teilen schon abgedichteten Deponiebereiche

darf für die betrachteten Hausmülldeponien in 2006 von einer Abnahme auf ca. 1000 Mg CH<sub>4</sub> /a (entspricht ca. 21.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalenz) ausgegangen werden. Dies stellt eine Reduktion der diffusen Methanemissionen von ca. 90 % dar.

Diese Restemission wird sich sukzessive weiter verringern, wenn die Deponien ihre den gesetzlichen Vorgaben entsprechende Oberflächenabdichtung erhalten haben.

#### A 2.6.1.2 Abfallverbrennungsanlagen

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Abfallverbrennungsanlagen sind vom Geltungsbereich des Treibhausgasemissionshandelsgesetzes (TEHG) ausgenommen worden, doch erzeugen sie mit dem Verbrennungsprozess selbstverständlich CO<sub>2</sub>, so dass an dieser Stelle eine Betrachtung erfolgen soll.

Zur Ermittlung eines einheitlich zu verwendenden Faktors zwischen der Abfallmenge und den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Müllheizkraftwerken (MHKW) wurden die nachfolgenden relevanten Quellen gesichtet, die Vergleichszahlen zur Verfügung stellen:

---

M Menge der jährlich abgelagerten Abfälle, die zur Gasbildung beitragen (Hausmüll, un behandelter Siedlungsabfall oder ähnliche Abfälle)

DOC Anteil biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Abfall (Mg C pro Mg Abfall). Vorschlag 0,180 Mg

DOC<sub>r</sub> Anteil des unter Deponiebedingungen zu Deponiegas umgewandelten Kohlenstoffs. Vorschlag: 50 % nach Rettenberger/Stegmann

F Faktor zur Umrechnung des umgesetzten Kohlenstoffs zu Methan. Verhältnis der Molekulargewichte Methan (16 g/mol) zu Kohlenstoff (12 g/mol) ergibt den Faktor F = 1,33

D Anteil des nicht gefassten oder biologisch oxidierten Methans. Vorschläge je nach Art der Entgasung: bei aktiver Entgasung und offenen Einbaubereichen etwa 40 % = 0,4, bei betriebenen Deponien ohne Gasfassung wird eine 90 %-Emission = 0,9 angenommen

C Methankonzentration im Deponiegas. Vorschlag: sofern nicht bekannt wird 0,55 als mittlerer Wert herangezogen

<sup>1</sup> Es wurden Werte für D gemäß unten stehender Formel von 0,4 bzw. 0,6 angenommen.

- ÖKO-INSTITUT, 2002: Der „Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung“ kam auf rd. 390 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Mg Abfall, wenn das biogene C unberücksichtigt bleibt (also Faktor 0,39).
- JOHNKE, 2004 gibt eine Menge von 415 kg CO<sub>2</sub> pro Mg Abfall an (also Faktor 0,415), wenn der biogene Anteil unberücksichtigt bleibt und die IPCC-Richtlinie gibt auf supranationaler Ebene eine Menge von 557 kg CO<sub>2</sub> pro Mg Abfall an (also Faktor 0,557).

Daraus wurde für den vorliegenden Bericht für die MHKW ein einheitlicher Faktor von 0,5 verwendet (Abfallmenge in Mg x 0,5 = CO<sub>2</sub>-Menge in Mg; s. Tabelle A 2.12).

**Tab. A 2.12: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus rheinland-pfälzischen Abfallverbrennungsanlagen in 2004/2006 (Quelle: Interne Datenerfassung der Emissionserklärungen – EE 2004, LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT UND ABFALLBILANZEN 2004 und 2006, MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ)**

Abfallverbrennungsanlagen in Rheinland-Pfalz	Abfallinput in Mg		CO <sub>2</sub> in Mg	
	2004	2006	2004	2006
Mainz	214.351	246.206	107.175	123.103
Pirmasens	169.829	183.342	84.915	91.671
Ludwigshafen	150.310	214.410	75.155	107.205
Industrielle Klärschlammverbrennung	401.865	380.488	167.000	158.000
Industrielle Rückstandsverbrennung	121.946	102.640	241.000	203.000
<b>Gesamt „MHKW und industrielle Abfallverbrennungsanlagen“</b>			<b>675.245</b>	<b>683.000</b>

Für die Rückstandsverbrennungsanlage eines industriellen Unternehmens wurden für 2004 241.000 Mg CO<sub>2</sub>-Emissionen und für eine industrielle Klärschlammverbrennungsanlage 167.000 Mg/a CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen der Emissionserklärung angegeben. Der biogene Anteil in industriellen Abfällen und industriellen Klärschlämmen ist im Detail nicht bekannt, wird jedoch insgesamt als vernachlässigbar eingeschätzt. Insofern wird hier kein Faktor vorgeschlagen. Es wird die für die beiden Anlagen vom Betreiber angegebene Menge zu Grunde gelegt. Der jeweilige Faktor Abfallmenge zu CO<sub>2</sub>-Menge wird auch für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Jahr 2006 verwendet.

In der Studie des BUNDES-UMWELTMINISTERIUMS/UMWELTBUNDESAMTES „Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz“ (2005) wird die aus der Abfallverbrennung genutzte Energie zu Recht als Gutschrift für die Einsparung fossiler Energieträger dargestellt. In dem vorliegenden Klimabericht ist diese Vorgehensweise jedoch aufgrund der Gesamtbilanzierung nicht möglich. Die Einsparung an



fossiler Energie durch die Energienutzung aus der Abfallverbrennung ist bereits in den Daten der Energiewirtschaft enthalten, ohne dass diese dort quantifizierbar wären. Konsequenterweise sind damit auch Biomasse-, Biogas- und Holzverbrennungs- und -vergasungsanlagen, die mit nahezu 100 % an regenerativen Brennstoffen betrieben werden, klimaneutral. Die Energiegutschrift bezüglich der Einsparung an fossilen Brennstoffen geht auf Seiten der Energiewirtschaft mit ein.<sup>1</sup>

#### A 2.6.1.3 Mechanisch-biologische Behandlungsanlagen (MBA)

Die nachfolgende Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) basiert auf dem von DOEDENS ET AL. durchgeführten Forschungsvorhaben „Emissionen von Treibhausgasen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“.

Im mittleren Fall wird von

115-140 kg CO<sub>2</sub> pro Mg FS<sup>2</sup>,

0,5 – 1 kg CH<sub>4</sub> pro Mg FS und

0,05 – 0,1 kg N<sub>2</sub>O pro Mg FS

ausgegangen. Dies ergibt für 2004 und 2006 die nachfolgenden CO<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalenzmengen:

**Tab. A 2.13: Treibhausgasemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Rheinland-Pfalz im Jahr 2004 (Quelle für die Menge behandelter Abfälle: Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2004)**

Behandelte Abfallmenge	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mg	CH <sub>4</sub> -Emissionen in Mg	N <sub>2</sub> O-Emissionen in Mg	CO <sub>2</sub> - bzw. CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Mg
150.000 Mg <sup>3</sup>	17.250 – 21.000	75 – 150	7,5 – 15	
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus CH <sub>4</sub>		1.575 – 3.150		
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus N <sub>2</sub> O			2.375 – 4.650	
Gesamt				21.200 – 28.800

<sup>1</sup> Insgesamt zeigt die oben genannte Studie sehr anschaulich, dass der Beitrag der Abfallwirtschaft in Deutschland zum Klimaschutz seit Anfang der 90er Jahre signifikant war. Diese Aussage lässt sich so auch auf Rheinland-Pfalz übertragen.

<sup>2</sup> FS = Feststoff

<sup>3</sup> Die hier genannten in MBA behandelten Mengen beziehen sich auf rheinland-pfälzische Abfallmengen. Hinzu kommen rd. 30.000 Mg behandelte Mengen, die von außerhalb des Landes Rheinland-Pfalz stammen, aber in einer rheinland-pfälzischen Anlage behandelt werden.

**Tab. A 2.14: Treibhausgasemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Rheinland-Pfalz im Jahr 2006 (Quelle für die Menge behandelter Abfälle: „Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2006“)**

Behandelte Abfallmenge	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mg	CH <sub>4</sub> -Emissionen in Mg	N <sub>2</sub> O-Emissionen in Mg	CO <sub>2</sub> - bzw. CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Mg
220.000 Mg <sup>1</sup>	25.300 – 30.800	110-220	11 - 22	
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus CH <sub>4</sub>		2.310 – 4.620		
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus N <sub>2</sub> O			3.410 – 6.820	
Gesamt				31.020 – 42.240

#### A 2.6.1.4 Bioabfallkompostierungsanlagen

Die Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Behandlung von Bioabfall und Grünabfall basiert auf den Ergebnissen eines Forschungsvorhaben der DEUTSCHEN BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU, 2002). Dort wurde eine Berechnungsmethode für die Gase CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub> für den Bereich der Kompostierung abgeleitet. Dabei wurde zwischen Bioabfällen aus Haushalten und Grünabfällen unterschieden.

Für den Bioabfall aus Haushalten ergaben sich demnach folgende Emissionsfaktoren (EF):

EF- N<sub>2</sub>O = 0,083 kg N<sub>2</sub>O/Mg Bioabfall

EF-CH<sub>4</sub> = 2,5 kg CH<sub>4</sub>/Mg Bioabfall

und für den Grünabfall aus Haushalten folgende Emissionsfaktoren:

EF- N<sub>2</sub>O = 0,0603 kg N<sub>2</sub>O/Mg Grünabfall

EF-CH<sub>4</sub> = 3,36 kg CH<sub>4</sub>/Mg Grünabfall

Diese Werte werden auch für den Nationalen Inventarbericht der Treibhausgasemissionen verwendet.

Für Rheinland-Pfalz ergibt dies für 2004 und 2006 die nachfolgenden CO<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalenzmengen:

**Tab. A 2.15: Treibhausgasemissionen aus der Behandlung von Bioabfällen und Grünabfall in Rheinland-Pfalz in 2004/2006 (aus: Abfallbilanz Rheinland-Pfalz 2004 und 2006)**

Behandelte Abfallmengen (2004 und 2006 fast gleich)	CH <sub>4</sub> -Emissionen in Mg	N <sub>2</sub> O-Emissionen in Mg	CO <sub>2</sub> -Äquivalente in Mg
300.000 Mg Bioabfall	750	25	
230.000 Mg Garten-/Grünabfall	773	14	
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus CH <sub>4</sub>	32.000		
CO <sub>2</sub> -Äquivalente aus N <sub>2</sub> O		12.100	
Gesamt			44.100

### A 2.6.2 Landwirtschaft

In Rheinland-Pfalz werden mehr als 40 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Hauptquellen für die Treibhausgas-Emissionen aus der Landwirtschaft sind:

- CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Darmgärung der Wiederkäuer
- CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Gülle
- N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Böden durch den Einsatz von Stickstoffdüngern

Die bei der Tierhaltung anfallende Gülle wird im Wesentlichen als Wirtschaftsdünger gelagert bzw. auf landwirtschaftliche Böden ausgebracht. Bereits im Stall, aber auch bei der Lagerung und späteren Ausbringung, werden die Treibhausgase CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O emittiert. Zusätzlich werden gasförmige Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe und die Gase NH<sub>3</sub>, NO und N<sub>2</sub>, welche als Vorläufersubstanzen für Lachgas (N<sub>2</sub>O) gelten, freigesetzt.

Die Emissionen sind von folgenden Faktoren abhängig: der Tierart, der Tierleistung, der Ernährung, den Aufenthaltszeiten im Stall und auf der Weide, dem Einsatz von Stroh und der Art der Lagerung sowie den umweltspezifischen Bedingungen bei der Ausbringung von Stickstoffdüngern auf Böden.

Rinder- und Milchkuhhaltung tragen bei den CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Verdauungsvorgang den wesentlichen Teil zur Gesamtemission bei, gefolgt von der Schweinehaltung. Demgegenüber sind die Emissionen aus der Haltung von Geflügel, Pferden und Schafen vernachlässigbar.

#### A 2.6.2.1 CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung

Als Grundlage für die Ermittlung von Emissionswerten sind die Viehbestandszahlen heranzuziehen. Insgesamt sind die Viehbestände in Rheinland-Pfalz, wie auch in den anderen Bundesländern, rückläufig. Deshalb ist mit einer weiteren Abnahme der Emissionswerte zu rechnen.

Die enterische Fermentation bei der Verdauung ist eine Hauptursache für Methan-Emissionen im Bereich der Landwirtschaft. Im Magen von Wiederkäuern entsteht Methan (CH<sub>4</sub>) durch mikrobielle Umsetzung von Cellulose<sup>1</sup>.

Für die Berechnung der Emissionen aus der Fermentation wird für Schweine, Schafe, Pferde und weitere Tierarten eine einfache Methode auf der Basis von international anerkannten Schätzwerten<sup>2</sup> angewendet (Tier-1-Verfahren<sup>3</sup>)

$$\text{Emission}_{\text{CH}_4} = \text{Emissionsfaktor}_{\text{Tierklasse}} * \text{Anzahl der Tiere}$$

Eine detailliertere Methode (Tier-2-Verfahren) mit variablen Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von Ort und Zeit (landesspezifisch) steht für die Hauptquellgruppen Milchkühe und „übrige Rinder“ zur Verfügung.

<sup>1</sup> Die Verwertung des ansonsten unverdaulichen Materials erfolgt durch die Mikroben des Pansens.

<sup>2</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsgrundlagen ist im Nationalen Inventarbericht 2006 – Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft, LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE, SH 291A; Kapitel 4 zu finden.

<sup>3</sup> Tier (engl.) = Ebene

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 1990 bis 2004 verlaufen die Emissionsmengen rückläufig (vgl. Tabelle A 2.16). Im Nationalen Inventarbericht 2005 wird die Abnahme der Emissionen als Folge rückgängiger Tierzahlen erklärt.

Im Jahr 2004 haben die Milchkühe in Rheinland-Pfalz 13.600 Mg Methan emittiert. Das entspricht einem GWP<sup>1</sup> von:

$$13.600 \text{ Mg CH}_4 \triangleq 285.600 \text{ Mg CO}_2\text{-Äquivalenten}$$

Der rheinland-pfälzische Anteil an den bundesweiten Methanemissionen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung beträgt knapp 3 %. In Rheinland-Pfalz sind demnach die Methanemissionen aus der Tierproduktion von untergeordneter Bedeutung<sup>2</sup>. Gleichzeitig bestehen nur geringe Möglichkeiten diese zu reduzieren<sup>3</sup>.

**Tab. A 2.16: Summe der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Tierhaltung in Rheinland-Pfalz von 1990 – 2004 (Quelle: Nationaler Inventarbericht (NIR) 2006; LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE, SH 291 A)**

Methanemissionen aus der Tierhaltung in Mg/a								
Rinder, Schweine, Schafe, Pferde, Ziegen, Büffel								
	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
RPL	32.500	30.800	30.800	30.800	28.600	28.200	27.400	26.100
<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalente RPL</b>	<b>682.500</b>	<b>646.800</b>	<b>646.800</b>	<b>646.000</b>	<b>600.600</b>	<b>592.200</b>	<b>575.400</b>	<b>548.100</b>
Deutschland	1.158.000	999.700	999.600	994.700	951.300	938.300	918.400	882.100
<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalente D</b>	<b>24.318.000</b>	<b>20.994.000</b>	<b>20.992.000</b>	<b>20.889.000</b>	<b>19.977.000</b>	<b>19.704.000</b>	<b>19.286.000</b>	<b>18.524.000</b>

<sup>1</sup> GWP = CO<sub>2</sub>-Äquivalent; 1 Mg CH<sub>4</sub>  $\triangleq$  21 Mg CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> Nach einer FAO-Schätzung fallen weltweit jährlich etwa 260 Mio. Tonnen Methan an. Die Menge, die auf die mikrobielle Verdauung von Wiederkäuern entfällt, wird mit etwa 86 Mio. Tonnen (33 %) angegeben. Der Anteil aus der Tierproduktion Westeuropas (5,7 Mio. Tonnen) an diesem geschätzten globalen Gesamtmethananfall beträgt 2,2 % bzw. 6,6 % an dem aus Verdauungsprozessen stammenden Methan (vgl. STEINFELD ET AL., 2006, UMWELTBUNDESAMT, 2006).

<sup>3</sup> Die Methanbildung im Verdauungstrakt von Wiederkäuern (Rinder, Schafe, Ziegen, Büffel, Kamele, Wildwiederkäuer und andere) ist abhängig von der Höhe der Futteraufnahme bzw. der Leistung und der Rationsgestaltung. Bei höheren Leistungen (z.B. Kilogramm Milch pro Tag, tägliche Zunahme) geht der Methananfall bezogen auf das Produkt (Milch, Fleisch) deutlich zurück. In Mitteleuropa sind die Leistungen der Wiederkäuer bereits rel. hoch, d.h. bezogen auf die Einheit erzeugter Produkte (kg Milch, kg Fleisch) fällt weniger Methan an. Das Reduzierungspotenzial in Deutschland bzw. Mitteleuropa ist daher relativ gering. Weltweit ist jedoch durch Leistungssteigerungen in Verbindung mit einer Verringerung der Zahl der gehaltenen Tiere ein deutlich höheres Reduzierungspotenzial zu erwarten.

#### A 2.6.2.2 Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden und der Stickstoffdüngung

Stickstoff gelangt aus verschiedenen Quellen in landwirtschaftliche Böden:

- Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Viehdung, Gülle) und Mineraldünger
- Weidegang des Viehs
- Biologische Stickstoffbindung
- Einarbeitung von Pflanzenrückständen in den Boden
- Ablagerungen aus der Atmosphäre

Überwiegend verantwortlich für  $N_2O$ -Emissionen sind die mikrobiellen Prozesse der Nitrifikation und der Denitrifikation. Die größten  $N_2O$ -Mengen werden bei der Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln freigesetzt. Zu den gedüngten landwirtschaftlichen Nutzflächen gehören:

- Ackerland
- Dauerkulturen
- Gärtnerische Nutzfläche
- Gedüngtes Grünland
- Ertragsreblflächen

**Tab. A 2.17: Stickstoff-Emissionen aus gedüngten Kulturen in Rheinland-Pfalz und GWP<sub>N2O1</sub> für Rheinland-Pfalz und Deutschland<sup>2</sup> (Quelle: Nationaler Inventarbericht (NIR) 2006; Landbauforschung Völknerode, SH 291 A)**

Stickstoff-Emissionen aus gedüngten Kulturen in Rheinland-Pfalz in Gg/a									
		1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
N <sub>2</sub> O	Mineraldünger	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	0,5	0,9	1,0
	Wirtschaftsdünger	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	Klärschlämme	-	-	-	-	-	-	0,000	0,047
	<b>Summe N<sub>2</sub>O RLP</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
	GWP <sub>N2O</sub> RLP	620,0	620,0	496,0	527,0	527,0	372,0	465,0	496,0
	Summe N <sub>2</sub> O D	84,6	76,6	70,4	73,6	73,7	78,0	73,9	74,3
	GWP <sub>N2O</sub> D	26.226	23.746	21.824	22.816	22.847	24.180	22.909	23.033
NO	Mineraldünger	1,0	1,0	0,7	0,8	0,8	0,4	0,7	0,8
	Wirtschaftsdünger	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
	Summe NO RLP	1,5	1,5	1,2	1,3	1,3	0,9	1,1	1,2
	Summe NO D	51,1	45,0	40,2	42,6	42,7	46,0	42,5	42,7
N <sub>2</sub>	Mineraldünger	6,6	6,4	5,0	5,3	5,2	2,6	4,5	5,0
	Wirtschaftsdünger	3,4	3,4	3,2	3,3	3,1	3,1	3,0	2,9
	Summe N <sub>2</sub> RLP	10,1	9,8	8,2	8,5	8,3	5,7	7,5	7,9
	Summe N <sub>2</sub> D	340,4	299,8	268,2	284,2	284,5	306,6	283,6	284,9
NH <sub>3</sub>	Mineraldünger	1,4	1,3	1,3	1,3	1,7	1,2	1,1	1,4

Im Verlauf der Jahre 1990 bis 2004 sind die Emissionen von Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus landwirtschaftlichen Nutzflächen von 2,0 Gg a<sup>-1</sup> (1990) auf 1,6 Gg a<sup>-1</sup> (2004) zurückgegangen. Das entspricht einem GWP von:

$$1.600 \text{ Mg N}_2\text{O} \times \text{Faktor } 310 \triangleq 496.000 \text{ Mg CO}_2\text{-Äquivalente}$$

Die für Deutschland ermittelten Lachgas-Emissionen zeigen ebenfalls eine leicht rückläufige Tendenz. Im Jahr 2004 betrug der Anteil von Rheinland-Pfalz bezogen auf die Summe der Bundesländer 2,15 %.

Die Emissionen der Vorläufersubstanzen für Lachgas sind über dem Betrachtungszeitraum für NO und N<sub>2</sub> leicht rückläufig, die Werte für NH<sub>3</sub> zeigen keine Tendenz nach unten.

<sup>1</sup> GWP = CO<sub>2</sub>-Äquivalent; 1Mg N<sub>2</sub>O  $\triangleq$  310 Mg CO<sub>2</sub>

<sup>2</sup> gelb hinterlegt wurde die Zeile der Lachgasemissionsmengen in Rheinland-Pfalz



**Tab. A 2.18: Klimarelevante Emissionen aus ungedüngten Kulturen<sup>1</sup> für Rheinland-Pfalz und Deutschland (Quelle: Nationaler Inventarbericht (NIR) 2006; LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE, SH 291 A)**

Stickstoffemissionen aus ungedüngten Kulturen in Rheinland-Pfalz in Gg/a									
		1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
N <sub>2</sub> O	Rheinland-Pfalz	1,7	1,7	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4	1,4
	CO <sub>2</sub> -Äqu. RLP	527	527	465	465	465	372	434	434
	Deutschland	58,4	50,9	46,8	48,9	49,1	50,9	48,5	48,4
	CO <sub>2</sub> -Äqu. D	18.104	15.779	14.508	15.159	15.221	15.779	15.035	15.004
NO	Rheinland-Pfalz	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
	Deutschland	12,8	11,2	10,4	10,9	11,0	10,7	10,6	10,5
N <sub>2</sub>	Rheinland-Pfalz	1,05	1,13	1,00	1,03	0,98	1,10	1,07	1,03
	Deutschland	24,5	22,7	20,4	21,2	20,8	21,0	20,6	20,1
NH <sub>3</sub>	Rheinland-Pfalz	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
	Deutschland	17,6	15,8	14,4	14,9	14,9	14,8	14,5	14,1

Die Emissionswerte für Lachgas sinken zwischen den Jahren 1992 und 1994 um 200 Mg N<sub>2</sub>O bzw. um 62.000 Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Danach verlaufen sie bis zum Jahr 2004 nur noch gering rückläufig. Der deutlich niedrigere Emissionswert im Jahr 2000 resultiert aus statistischen Unsicherheiten (vgl. Treibhausgasinventar der deutschen Landwirtschaft, 2006). Die Vorläufersubstanzen NO, N<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> stagnieren in gleicher Größenordnung. Im Jahr 2004 betragen die CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus den Lachgasemissionen in Rheinland-Pfalz 434.000 Mg.

<sup>1</sup> Ungedüngte Kulturen: Leguminosenanbau (N<sub>2</sub>O, NO, NH<sub>3</sub>); Weidegang (N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>); Ernterückstände (N<sub>2</sub>O, NO); Deposition von reaktivem N und ausgewaschenem N (N<sub>2</sub>O indirekt)

## A 2.7 Zusammenfassung klimarelevanter Emissionen in Rheinland-Pfalz

Die Gesamtbilanz klimarelevanter Emissionen in Rheinland-Pfalz ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

<b>Berechnetes Mengengerüst der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen 2004 in Rheinland-Pfalz</b>			
<b>Gesamt: 30,3 Mio Mg CO<sub>2</sub> aus den Hauptsektoren</b>			
<b>Gesamt: 37,1 Mio. Mg CO<sub>2</sub> aus Hauptsektoren und Äquivalente aus Nebensektoren und Industrie</b>			
<b>Energie und Industrie</b> 7,4 + 4,3= 11,7 Mio Mg CO <sub>2</sub>	<b>Private Haushalte/ GHD</b> 8,8 Mio Mg CO <sub>2</sub>	<b>Verkehr</b> 9,8 Mio Mg CO <sub>2</sub>	AWS: 0,98 Mio. LWS: 1,48 Mio. Industrie: 4,3 Mio = 6,76 Mio. Mg (Äqu.)
<b>Mengengerüst der CO<sub>2</sub>-Emissionen 2006 in Rheinland-Pfalz (hochgerechnet)</b>			
<b>Gesamt: 28,6 Mio Mg CO<sub>2</sub> aus den Hauptsektoren</b>			
<b>Gesamt: 35,2 Mio. Mg CO<sub>2</sub> aus Hauptsektoren und Äquivalente aus Nebensektoren und Industrie</b>			
<b>Energie und Industrie</b> 6,4 + 4,3= 10,7 Mio Mg CO <sub>2</sub>	<b>Private Haushalte/ GHD</b> 8,5 Mio Mg CO <sub>2</sub>	<b>Verkehr</b> 9,4 Mio Mg CO <sub>2</sub>	AWS: 0,78 Mio. LWS: 1,48 Mio. Industrie: 4,3 Mio = 6,58 Mio. Mg (Äqu.)

**Abb. A 2.3: Gesamtbilanz klimarelevanter Emissionen in Rheinland-Pfalz<sup>1</sup>**

Bei der Betrachtung der Abbildung A 2.3 ist zu berücksichtigen, dass die Werte für das Jahr 2006 gemäß den Ausführungen aus den vorhergehenden Kapiteln hochgerechnet wurden.

Generell gilt, dass die angegebenen Werte nicht direkt mit den Angaben der CO<sub>2</sub>-Bilanzen des 7. Energieberichtes Rheinland-Pfalz verglichen werden können, da u.a. beim Sektor Energie und Industrie methodenbedingt höhere Werte hergeleitet wurden. Dies liegt daran, dass hier zusätzlich zu den rein energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auch solche in die Betrachtung mit eingingen, die beispielsweise prozessbedingt entstehen. Basis der hier dargestellten Werte waren im wesentlichen Angaben zu emissionshandlungspflichtigen und emissionserklärungspflichtigen Anlagen.

<sup>1</sup> AWS = Abfallwirtschaft, LWS = Landwirtschaft. Die Angaben zu CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus den Nebensektoren AWS, LWS und Industrie, die im Wesentlichen auf den Emissionen von Methan und Lachgas beruhen, sind in Abb. A 2.3 rechts angegeben.

## Anhang A 3 Zusätzliche Grunddaten sowie methodische Erläuterungen

### Anhang A 3.1

#### Herkunft der Emissionsdaten klimarelevanter Gase bezogen auf die Sektoren und Teilsektoren im Klimabericht Rheinland-Pfalz

Hauptsektoren			
Teilsektor	Untersektor	Datenherkunft (hauptsächlich)	Erfassungsjahr
Industrie	Emissionshandelspflichtige Anlagen	Emissionshandelsberichterstattung	2006
	Anlagen, die nach der 11. BImSchV emissionserklärungs-pflichtig sind	Emissionserklärungen	2004
Private Haushalte/Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Wärme- und Strombedarf der privaten Haushalte	Energiebilanzen und CO <sub>2</sub> -Bilanzen der LAK Energiebilanzen, 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz (2007)	2004
	Anteile an den Brennstoffarten	Schornsteinfegerinnung, Statistisches Landesamt	2002 - 2006
	Endenergieverbräuche, CO <sub>2</sub> -Emissionen	Berechnungen Heinz& Feier	2006
Verkehr		Energiebilanzen und CO <sub>2</sub> -Bilanzen der LAK Energiebilanzen, 7. Energiebericht RP	2004
		Kraftfahrzeugbundesamt	2000 - 2006
		Statistisches Bundesamt	2004
		Berechnungen IFEU	2006
Nebensektoren			
Abfallwirtschaft	Deponien	UBA-Berechnungsansatz/eigene Berechnungen bzw. Ermittlungen/ Abfallbilanzen Rheinland-Pfalz	2004/2006
	MBA'n	BMBF-Forschungsvorhaben „Emissionen von Treibhausgasen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung“/Abfallbilanzen Rheinland-Pfalz	2004/2006
	Kompostierungsanlagen	Berechnung nach Studie DBK, 2002/Abfallbilanzen Rheinland-Pfalz	2004/2006
	Müllheizkraftwerke/ind. Abfallverbrennungsanlagen	Abfallbilanzen Rheinland-Pfalz/Angaben aus den Emissionserklärungen	2004/2006

Landwirtschaft (LWS)	Viehhaltung	Nationaler Inventarbericht 2006 – Emissionen aus der deutschen LWS	2005
	Mineraldünger	Nationaler Inventarbericht 2006 – Emissionen aus der deutschen LWS	2005
Forstwirtschaft		./ (Die Forstwirtschaft wird in 1. Linie als CO <sub>2</sub> -Senke betrachtet und nicht als CO <sub>2</sub> - Emissionsquelle)	

## Anhang A 3.2

**Gebiets- und Bevölkerungsmerkmale Rheinland-Pfalz**

Die Energieverbrauchsdaten und die damit zusammenhängenden CO<sub>2</sub>-Emissionen in Rheinland-Pfalz hängen eng mit Gebietsmerkmalen wie Bevölkerungsdichte, Flächennutzung, PKW-Dichte, Art der Energieträger in Gebäuden u.ä. zusammen. Aus diesem Grunde werden in diesem Abschnitt einige diesbezügliche Daten vorgestellt<sup>1</sup>.

Rheinland-Pfalz ist mit einer Bevölkerungszahl von rd. 4,1<sup>2</sup> Mio. Einwohnern das siebtgrößte Bundesland. Auf einer Gesamtfläche von knapp 20.000<sup>3</sup> km<sup>2</sup> liegt die Bevölkerungsdichte mit 204 EW/km<sup>2</sup> unter dem Bundesdurchschnitt von 236 EW/km<sup>2</sup>. Rheinland-Pfalz gilt damit als eher dünn besiedelt.

**Flächen, Flächennutzung**

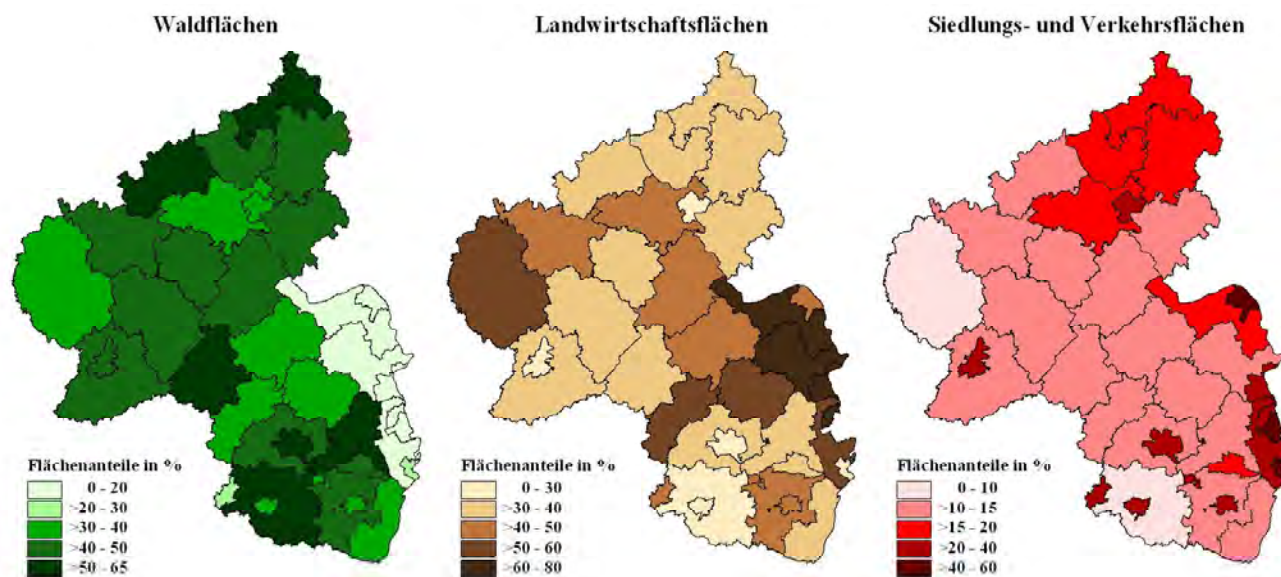
Die Flächennutzung in Rheinland-Pfalz hat sich in den letzten Jahren wie folgt entwickelt:

	<b>1980</b>	<b>1992</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>
Siedlungs- und Verkehrsfläche:	10,2 %	12,6 %	13,9 %	14,1 %
Landwirtschaftliche Fläche:	48,1 %	43,8 %	42,6 %	42,4 %
Waldfläche:	38,8 %	40,5 %	41,5 %	41,6 %
Sonstige Flächen:	1,7 %	1,7 %	2,0 %	2,0 %

<sup>1</sup> Die Gebiets- und Bevölkerungsmerkmale wurden größtenteils aus dem Ländervergleich des Statistischen Landesamtes Bad Ems 2005 zusammengestellt. Darüber hinaus wurde das Bevölkerungsszenario des Statistischen Landesamtes hinsichtlich der Entwicklungen in Rheinland-Pfalz bis zum Jahr 2050 herangezogen; vgl. „Rheinland-Pfalz 2050 – Band I“ sowie „Die Bundesländer – Strukturen und Entwicklungen“, erstellt durch DESTATIS/Statistisches Bundesamt, Februar 2006.

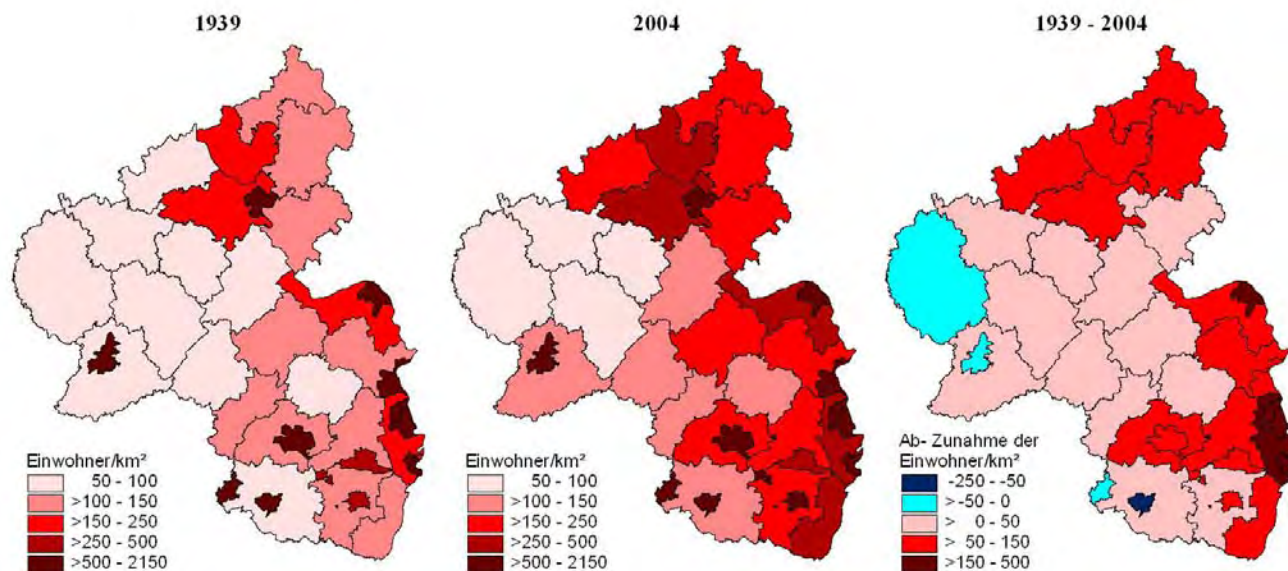
<sup>2</sup> Genau sind es 4.058.800 zum 31.12.2005. Damit leben rd. 5 % der Einwohner Deutschlands in Rheinland-Pfalz

<sup>3</sup> Zum Vergleich: Gesamtdeutschland umfasst eine Bodenfläche von rd. 357.000 km<sup>2</sup>



**Abb. A 3.2.1**Anteile der Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Siedlungs- und Verkehrsflächen in Landkreisen und kreisfreien Städten in Rheinland-Pfalz im Jahr 2004

Rheinland-Pfalz hat mit insgesamt 932 lfm<sup>1</sup> je km<sup>2</sup> Fläche (gegenüber 649 lfm für Deutschland<sup>2</sup>) das dichteste Straßennetz in Deutschland, was vor allem an der geographischen Lage als Ost-West-Verbindung und Nord-Süd-Achse liegt.



**Abb. A 3.2.2**Zu- und Abnahme der Bevölkerungsdichte in Landkreisen und kreisfreien Städten in Rheinland-Pfalz im Jahr 1939 und 2004

<sup>1</sup> lfm = laufende Meter

<sup>2</sup> und z.B. 870 lfm in NRW, 426 lfm in Brandenburg



Hinsichtlich der Bevölkerungsdichte konnte in Rheinland-Pfalz in fast allen Gebietskörperschaften eine moderate Steigerung ermittelt werden. Lediglich im Westen von Rheinland-Pfalz sind Abnahmen zu verzeichnen, wohingegen sich die „Rheinschiene“ mit Zunahmen der Bevölkerungsdichte im entwickelt hat.

## **Kenndaten der Privaten Haushalte**

### **Bevölkerung in Rheinland-Pfalz**

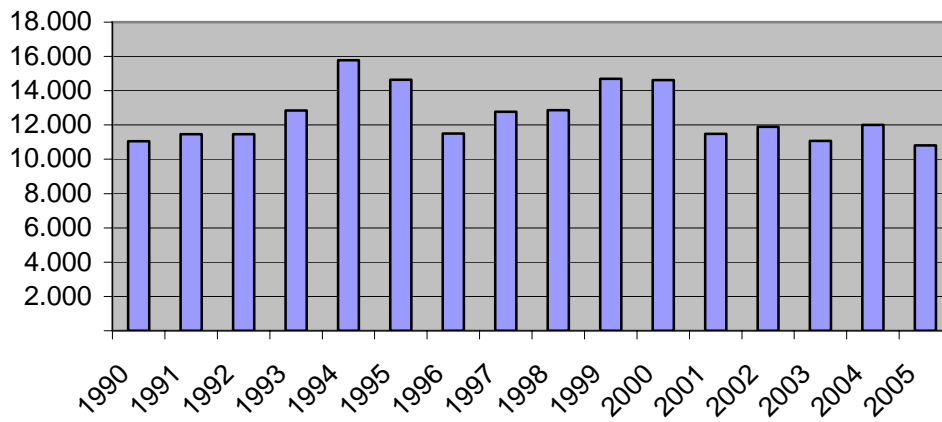
Die Bevölkerung in Rheinland-Pfalz zählte Ende 2003 4,1 Mio. Einwohner und erreichte damit den höchsten Bevölkerungsstand seit Gründung des Landes Rheinland-Pfalz im Jahr 1947. Im Jahr 2006 fand erstmalig eine Abnahme der Bevölkerung um 6.000 statt. Vor allem die 90er Jahre brachten Rheinland-Pfalz hohe Wanderungsüberschüsse, wofür die Wiedervereinigung und die Öffnung Mittel- und Osteuropas ursächlich waren. Seit 2000 geht das Wachstumstempo jedoch zurück. 2003 war noch eine Bevölkerungszunahme gegenüber 2002 von +2 Einwohnern auf 10.000 Einwohnern.

### **Haushalte, Gebäude und Wohnflächen**

Die Anzahl der Wohnungen steigt in Rheinland-Pfalz nach wie vor an, so dass auch der Quotient „Bevölkerung: zu Anzahl der Wohnungen“ nach wie vor steigt, von 334 im Jahr 1970, über 444 im Jahr 1985, bis auf 465 auf 1.000 Einwohner zum 31.12.2004.

So lag die Anzahl der Wohnungen in Rheinland-Pfalz zum 31.12.2001 bei durchschnittlich 454 auf 1.000 Einwohner, wobei in kreisfreien Städten die Anzahl 507 auf 1.000 Einwohner zu verzeichnen war. In den Landkreisen hingegen war eine durchschnittliche Anzahl der Wohnungen von 437 auf 1.000 Einwohner gegeben. Den Einwohnern auf dem Lande stehen gegenüber den urbanen Einwohnern deutlich größere Wohnungen ( $102,7 \text{ m}^2$  gegenüber  $81,6 \text{ m}^2$ ) und auch eine größere Pro-Kopf-Wohnfläche ( $44,9 \text{ m}^2$  gegenüber  $41,4 \text{ m}^2$ ) zur Verfügung.

Die Anzahl der Wohnungen ist ein Indikator für einen steigenden Energiebedarf der Privaten Haushalte, da damit auch eine Zunahme der Pro-Kopf-Wohnfläche direkt verbunden ist.

**Anzahl der Neubauten in Rheinland-Pfalz von 1990 - 2005**

**Abb. A 3.2.3** Anzahl der Neubauten in Rheinland-Pfalz zwischen 1990 und 2005 (Quelle: Statisches Landesamt, Bad Ems<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> vgl. [www.statistik.rlp.de/woh/tabellen/baugenehmigungen.html](http://www.statistik.rlp.de/woh/tabellen/baugenehmigungen.html)

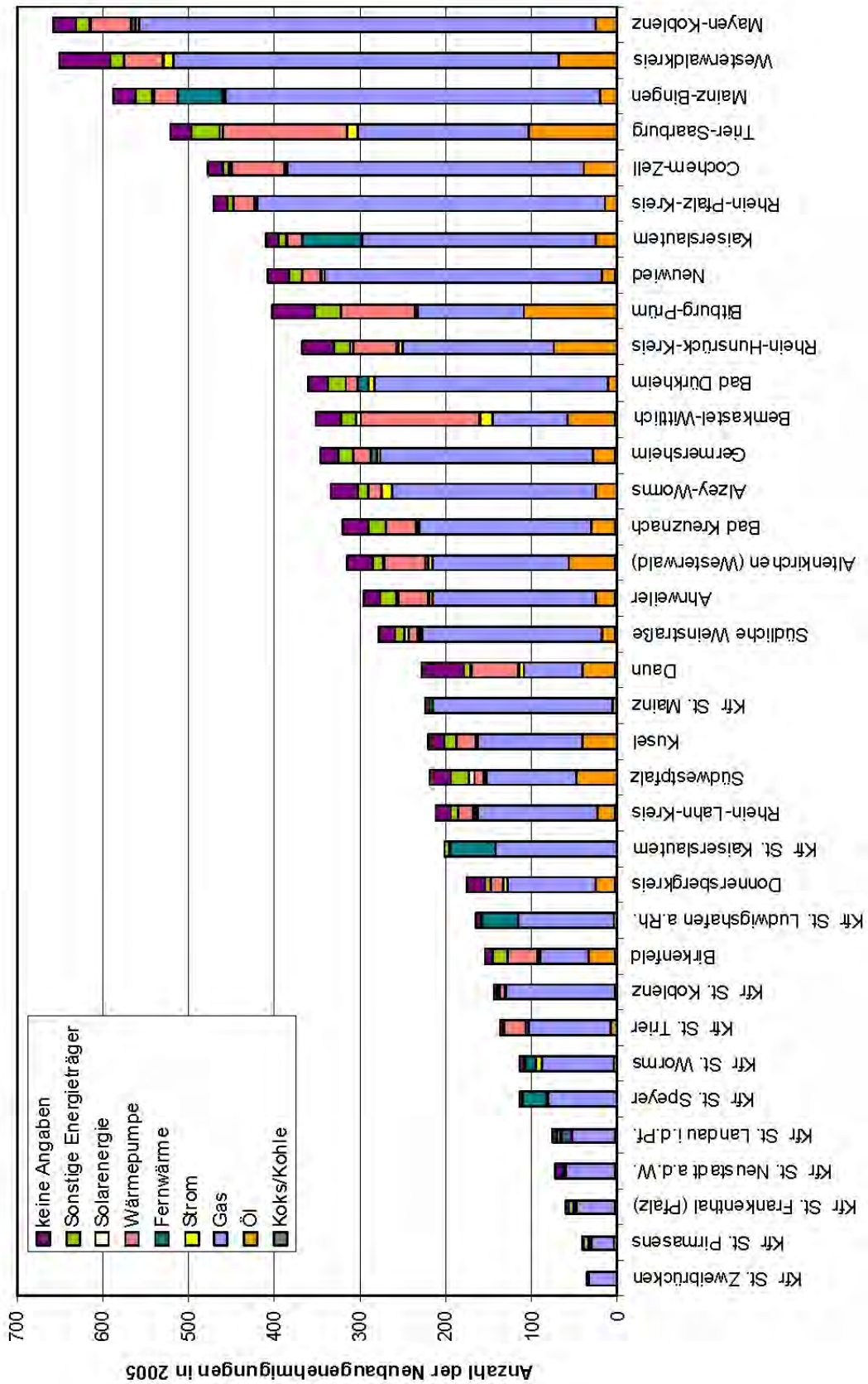


Abb. A 3.2.4 Art der Energieträger in Neubauten in den Landkreisen und kreisfreien Städten in Rheinland-Pfalz in 2005 (Daten des Statistischen Landesamtes, Bad Ems, nach eigener Darstellung)

Hinsichtlich der bei Neubauten (vgl. Abb. A 3.2.3) beantragten Energieträger ist festzustellen (vgl. Abb. A 3.2.4):

- In den Städten wird nahezu ausschließlich Erdgas als Energieträger zur Deckung des Wärmebedarfes eingesetzt.
- Einige Landkreise setzen noch in erkennbaren Anteilen auf Heizöl: Hierbei handelt es sich um eher dünn besiedelte Landkreise, in denen ein leitungsgebundenes Versorgungssystem nur mit unverhältnismäßigem Aufwand zu realisieren wäre.
- In den Gebietskörperschaften des ehemaligen Regierungsbezirkes Trier wurden 2005 besonders viele Wärmepumpenversorgungen beantragt.
- Fernwärmeversorgungen sind nur in wenigen städtischen Räumen anzutreffen, spielen dort aber eine durchaus relevante Rolle:

## **Kenndaten Verkehr**

Die Daten des Bereiches Verkehr mussten für die Ebene des Landes Rheinland-Pfalz und für aktuelle Jahre zu einem erheblichen Teil abgeleitet werden, da sie im Jahr 2006 nicht als statistische Daten zur Verfügung standen. Diese Aufgabenstellung wurde durch das IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH) bearbeitet, das derartige Herleitungen auch für andere Bundesländer und Bundesebene durchführt, so dass im Ergebnis vergleichbare Daten dargestellt werden konnten.

## **Verkehrsleistungen in Rheinland-Pfalz**

Zur Ermittlung der Verkehrsleistungen (in Personen-Kilometer - Pkm) in Rheinland-Pfalz wurden die auf Landes- und Bundesebene verfügbaren Verkehrs- und Energieverbrauchsstatistiken ausgewertet<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Die Verkehrsleistungen im Straßenverkehr wurden nach dem Energiebilanz-Prinzip abgeleitet. Hierzu wurden zunächst auf Basis von Verkehrszählungen und dem in der Energiebilanz erfassten statistischen Kraftstoffverbrauch des Straßenverkehrs die Fahrleistungen jeder Fahrzeugkategorie (Pkw, Leichte Nutzfahrzeuge, Lkw, Busse, motorisierte Zweiräder) berechnet. Anschließend wurden unter Verwendung deutschlandweit gültiger durchschnittlicher Auslastungsgrade aus den Fahrleistungen die Verkehrsleistungen abgeschätzt.

Die Verkehrsleistungen des Schienenpersonennahverkehrs liegen auf Landesebene vor. Dagegen enthalten die Statistiken für den Schienenpersonenfernverkehr und den Schienengüterverkehr keine landesspezifischen Daten. Auch auf Grundlage der Energiebilanz konnten keine Verkehrsleistungsangaben abgeleitet werden. Daher wurden die bundesdurchschnittlichen Verkehrsleistungsangaben auf Rheinland-Pfalz auf Basis des Bevölkerungsanteils heruntergerechnet.

Für die Binnenschifffahrt sind die Verkehrsleistungen in der Statistik relationsfein erfasst.

Beim Flugverkehr werden seit 2003 die Verkehrsleistungen des Flughafens Hahn vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht. Für frühere Jahre liegen keine Daten vor. Dargestellt sind die für alle Jahre über bundesdurchschnittliche Energieverbrauchs-faktoren aus der Energiebilanz zurückgerechneten Verkehrsleistungen.

Tab. A 3.2.1 Verkehrsleistungen des Personen- und Güterverkehrs in Rheinland-Pfalz

Verkehrsträger	Einheit	1990	1995	2000	2002	2004	2006*
Motorisierter Individualverkehr	Mio. Pkm	34.101	46.688	49.101	49.463	52.951	51.321
Busse	Mio. Pkm	5.046	6.014	5.143	4.731	4.682	4.654
Straßenbahnen	Mio. Pkm	197	158	167	140	151	157
Schienenpersonennahverkehr	Mio. Pkm	873	1.256	1.407	1.435	1.503	1.557
Schienenpersonenfernverkehr <sup>1</sup>	Mio. Pkm	1.551	1.758	1.777	1.629	1.590	1.688
Luftverkehr (National & Internat.)	Mio. Pkm	176	939	1.099	1.413	2.809	3.109
<b>Summe Personenverkehr</b>	<b>Mio. Pkm</b>	<b>41.945</b>	<b>56.813</b>	<b>58.694</b>	<b>58.811</b>	<b>63.686</b>	<b>62.485</b>
Straßengüterverkehr	Mio. tkm	13.063	17.133	21.515	21.148	21.758	22.559
Schienengüterverkehr <sup>1</sup>	Mio. tkm	5.192	3.636	3.993	3.778	4.249	4.441
Binnenschiffverkehr <sup>2</sup>	Mio. tkm	11.450	12.800	13.300	12.522	12.241	12.337
Luftverkehr (National & Internat.)	Mio. tkm	8	39	38	63	119	136
<b>Summe Güterverkehr</b>	<b>Mio. tkm</b>	<b>29.713</b>	<b>33.608</b>	<b>38.847</b>	<b>37.511</b>	<b>38.367</b>	<b>39.472</b>
* Schätzung							
<sup>1</sup> Berechnung aus den durchschnittlichen Verkehrsleistungen pro Einwohner in Deutschland.							
<sup>2</sup> 1990, 2002, 2004 und 2006 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes zur Binnenschifffahrt auf Rhein und Mosel. 1995 und 2000 interpolierte Werte gemäß der gesamtdeutschen Entwicklung.							

Daraus ergeben sich folgende Aussagen zu den Verkehrsleistungen in Rheinland-Pfalz:<sup>1</sup>

Der Personen- wie auch der Güterverkehr sind im Zeitraum 1990-2000 stark angestiegen. Dieser Trend setzte sich im Personenverkehr bis 2004 fort. Nach 2004 kam es dort zu einer leichten Abnahme, welche auf den Motorisierten Individualverkehr zurückzuführen ist. Beim Güterverkehr war eine entgegengesetzte Entwicklung zu verzeichnen. Zwischen 2000 und 2004 nahm der Güterverkehr leicht ab, bedingt durch einen Rückgang in der Binnenschifffahrt. Bis 2006 stieg die Güterverkehrsleistung wieder an.

<sup>1</sup> Die berechneten Verkehrsleistungen sind mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet. Das gilt insbesondere für den Straßenverkehr, für den keine landesspezifischen Verkehrsstatistiken verfügbar waren und die Verkehrsleistungsberechnung allein auf Grundlage der statistischen Energieverbräuche und bundesdurchschnittlicher Angaben zu Fahrleistungsaufteilung, spezifischen Verbrauchsgrößen und Fahrzeugauslastungsgraden erfolgen musste.

- Im Personenverkehr werden über 80 % der Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr (MIV = Pkw und motorisierte Zweiräder) erbracht. Insgesamt hat der Straßenverkehr (MIV sowie öffentlicher Verkehr) einen Anteil von etwa 90 % an der Personenverkehrsleistung.
- Im Güterverkehr werden rd. 55-60 % der gesamten Transportleistung im Straßenverkehr erbracht. Der Anteil der Binnenschifffahrt betrug im Jahr 2006 ca. 30 %.

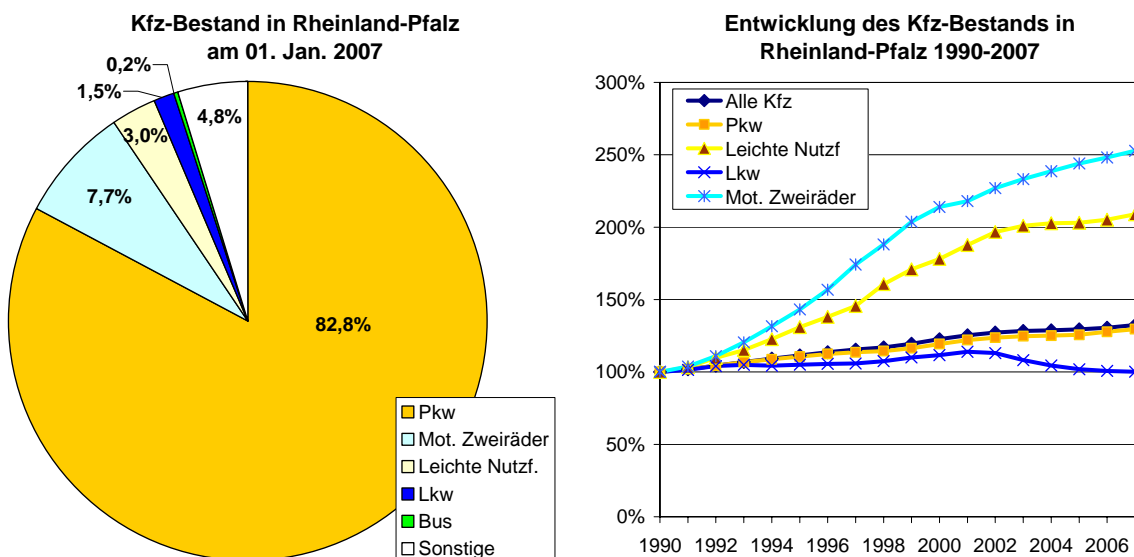
Einen Anhaltspunkt für den Personenverkehr bieten die Ergebnisse der Datenerhebung „MiD – Mobilität in Deutschland“ für das Jahr 2002<sup>1</sup>.

In Rheinland-Pfalz ergab die Befragung, dass 65 % der Wegezanzahl und 84 % der Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr (Pkw, Zweirad) als Fahrer oder Mitfahrer erbracht werden.

**Straßenverkehr**

Fahrzeugbestände

Zum Jahresbeginn 2007 waren in Rheinland-Pfalz insgesamt 2.975.990 Kfz zugelassen. Den größten Bestandsanteil hatten Pkw (83 %). Im Zeitraum 1990 bis 2007 ist der Kfz-Bestand in Rheinland-Pfalz insgesamt um 32 % angestiegen. Besonders stark stieg der Bestand an leichten Nutzfahrzeugen und motorisierten Zweirädern (um jeweils über 100 %), wogegen der Bestand an schweren Lkw mit zwischenzeitlichen Zu- und Abnahmen nahezu unverändert ist. Der Bestand an Pkw nahm insgesamt um 30 % zu.

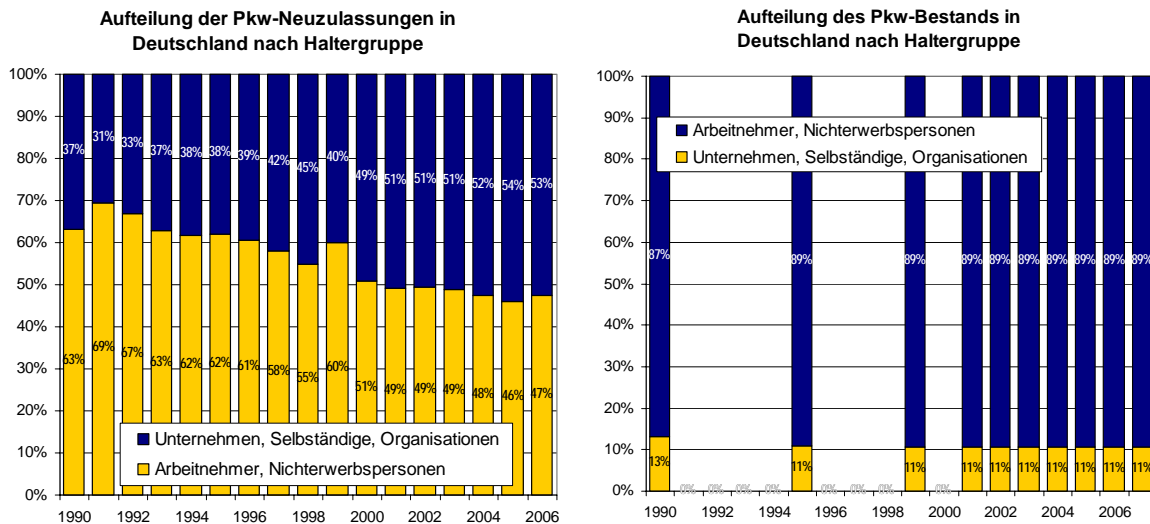


**Abb. A 3.2.5 Kfz-Bestand in Rheinland-Pfalz (Quelle: Kraftfahrzeugbundesamt (KBA), aufgearbeitet durch IFEU, Heidelberg, 2007)**

<sup>1</sup> DIW Berlin & Infas: Mobilität in Deutschland 2002 – Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten. Projektnummer 70.0681/2001 im Forschungsprogramm Stadtverkehr des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Berlin 2003.



Zugenommen hat der Anteil der Pkw, die von Unternehmen, Selbstständigen und anderen Organisationen neu zugelassen wurden: Ihr Anteil stieg bundesweit von 31% (1991) auf 53 % (2006). Da diese Fahrzeuge nach wenigen Jahren überwiegend an private Halter weitergegeben werden, liegt der Anteil der privat zugelassenen Pkw am Fahrzeugbestand bundesweit bei knapp 90 %, in Rheinland-Pfalz etwas über 90 %. Dies zeigt, dass Unternehmen und Organisationen einen relativ hohen Einfluss auf die Struktur des genutzten Pkw-Bestands haben.



**Abb. A 3.2.6Links: Aufteilung der Pkw-Neuzulassungen in Deutschland nach Haltergruppen.**  
**Rechts: Aufteilung des Pkw-Bestands in Deutschland nach Haltergruppen**  
 (Quelle: Kraftfahrzeugbundesamt (KBA), Bundesverkehrsministerium „Verkehr in Zahlen - ViZ“, aufgearbeitet durch IFEU, Heidelberg, 2007)

## Fahrleistungen

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs (in Fahrzeug-Kilometer – Fz-km) in Rheinland-Pfalz wurden für die Jahre 1990, 1995, 2000, 2002, 2004 und 2006 abgeleitet. Basis waren die in den Straßenverkehrszählungen für Rheinland-Pfalz ermittelten Fahrleistungen für Autobahnen und die überregionalen Außerortsstraßen (Bundes-, Landes- und Kreisstraßen). Berechnet man für diese Fahrleistungen den Kraftstoffverbrauch unter Verwendung der in TREMOD<sup>1</sup> (Quelle: IFEU 2005) enthaltenen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchswerte, bleibt eine Differenz zum Kraftstoffabsatz laut Energiebilanz des Landes. Diese Differenz wurde den Gemeinde- und Innerortsstraßen zugerechnet und die Fahrleistungen auf Gemeinde- und Innerortsstraßen rückgerechnet. Diese Vorgehensweise entspricht der auch auf anderer Ebene (national) üblichen Vorgehensweise.

<sup>1</sup> TREMOD = TRansport Emissions MODell

Auf diese Weise konnte für den Straßenverkehr eine Gesamtfahrleistung in der Abgrenzung der Energiebilanz berechnet werden. Die statistischen Differenzen zwischen dem tatsächlichen Kraftstoffverbrauch im Land und dem Kraftstoffabsatz sind bei diesem Verfahren in der Fahrleistung der Gemeinde- und Innerortsstraßen enthalten. Solche Unterschiede ergeben sich z. B. durch Betankungsdifferenzen zwischen In- und Ausland bzw. zwischen den Bundesländern, aber auch durch vorgezogene Betankungen am Jahresende.

Insgesamt ergibt sich aus den Berechnungen folgende Entwicklung:

- Die Fahrleistung der Pkw nahm auf Autobahnen und Außerortsstraßen von 1990 bis 1995 um 13 % zu, von 1995 bis 2004 um weitere 7 %; danach blieb sie bis 2006 weitgehend konstant.
- Die Fahrleistung des Güterverkehrs auf Autobahnen und Außerortsstraßen nahm von 1990 bis 1995 um 9 % zu, von 1995 bis 2000 um 17 %. Zwischen 2000 und 2004 gab es eine weitere leichte Zunahme. Danach blieb das Niveau nahezu gleich.

Der Anteil der nicht direkt in Verkehrszählungen erfassten, sondern über den statistischen Kraftstoffverbrauch hergeleiteten Innerortsfahrleistungen entwickelte sich wie folgt:

- Bei Pkw steigt dieser Anteil von 1990 bis 2000 von 20 % auf 31 % und verringert sich danach leicht.
- Bei den Lkw >3,5t und Lastzügen steigt der nicht erfasste Fahrleistungsanteil von 0 % (1990) auf 18 % (2000). In den Folgejahren geht er zurück. Für 1990 wird der gesamte statistische Dieselverbrauch bereits über die in Verkehrszählungen erhobenen Fahrleistungen „aufgebraucht“, so dass kein Restverbrauch zur Anrechnung auf den Innerortsverkehr übrig bleibt.

Angesichts dieser Zahlen wird deutlich, dass die über die restlichen Energiemengen berechnete Innerortsfahrleistung nur teilweise den dortigen tatsächlichen Verkehr widerspiegeln kann. Die Angaben sind deshalb zwar zur Vervollständigung erforderlich, sollten jedoch nicht interpretiert werden.

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Rheinland-Pfalz sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Weitere Informationen zu den Fahrleistungen sind Anhang 3.2 zu diesem Bericht zu entnehmen.

**Tab. A 3.2.2 Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Rheinland-Pfalz in den Jahren 1990, 1995, 2000, 2002, 2004 und 2006 (Quellen: Bundesamt für Straßenverkehr – BASt, Landesbetrieb Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz - LSV, Energiebilanz, Berechnungen des IFEU)**

		1990	1995	2000	2002	2004	2006*
<b>Fahrleistungen auf Autobahnen sowie außerörtlichen Bundes-, Landes- und Kreisstraßen</b>							
Pkw	Mio. Fz-km	19.328	21.833	22.240	22.661	23.028	22.808
Zweiräder	Mio. Fz-km	503	483	480	483	488	517
Busse	Mio. Fz-km	222	217	168	167	165	162
Leichte Nutzfahrzeuge	Mio. Fz-km	726	725	917	977	1.084	1.076
Lkw >3,5t und Lastzüge	Mio. Fz-km	2.118	2.388	2.719	2.736	2.728	2.765
<b>Gesamt</b>	Mio. Fz-km	<b>22.898</b>	<b>25.645</b>	<b>26.523</b>	<b>27.025</b>	<b>27.493</b>	<b>27.327</b>
<b>Berechnete Gesamtfahrleistungen nach dem Energiebilanzprinzip</b>							
Pkw	Mio. Fz-km	24.256	29.894	32.461	32.682	34.761	33.809
Zweiräder	Mio. Fz-km	610	725	877	917	1.088	1.108
Busse	Mio. Fz-km	222	285	252	228	223	219
Leichte Nutzfahrzeuge	Mio. Fz-km	790	1.124	1.801	1.766	1.838	1.850
Lkw >3,5t und Lastzüge	Mio. Fz-km	2.119	2.854	3.329	3.176	3.087	3.131
<b>Gesamt</b>	Mio. Fz-km	<b>27.998</b>	<b>34.883</b>	<b>38.722</b>	<b>38.769</b>	<b>40.997</b>	<b>40.116</b>
Anmerkungen: *Werte für 2006 geschätzt							

## Kenndaten Industrie und Gewerbe

Die Wirtschaftsstruktur hat sich in Rheinland-Pfalz zwischen 1991 und 2002 wie folgt entwickelt (aus „Struktur und Entwicklung des produzierenden Gewerbes in Rheinland-Pfalz 1991 bis 2002“ in aktueller Version, in: Statistische Monatshefte Rheinland-Pfalz, 12/2005):

- Der Dienstleistungsbereich nimmt bei der realen Bruttowertschöpfung 2002 einen Anteil von 67 % ein, gegenüber 60,5 % im Jahre 1991. Ähnlich hat sich der Erwerbstätigenanteil im Dienstleistungsbereich entwickelt, von 60 % im Jahr 1991 auf 68,8 % im Jahr 2002.
- In entsprechender Höhe hat der Anteil des produzierenden Gewerbes abgenommen: bei der realen Bruttowertschöpfung von 37,9 % im Jahr 1991 auf 31,5 % in 2002, beim Anteil an den Erwerbstätigen von 35,3 % auf 28,2 %.

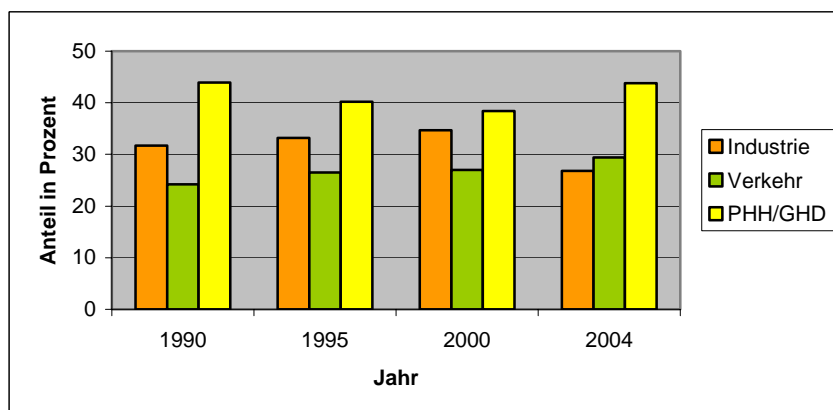
- Allerdings müssen die Besonderheiten festgehalten werden, die hinter diesen Zahlen stecken:
  - Eine Abnahme vor allem der realen Bruttowertschöpfung (-19,1 %), weniger der Anzahl der Erwerbstätigen (-7,5 %) hat das rheinland-pfälzische Baugewerbe zu verzeichnen.
  - Eine Zunahme insbesondere der realen Bruttowertschöpfung (+12 %), weniger der Anzahl der Erwerbstätigen (-27,7 %) hat der Bereich Energie- und Wasserversorgung zwischen 1991 und 2002 zu verzeichnen, was vor allem auf die Liberalisierung des Strommarktes zurückzuführen ist.
  - Deutliche Verluste bei der realen Bruttowertschöpfung hatten im produzierenden Gewerbe die Branchen Textil, Bekleidung, Leder (-53,5 %), Möbel, Schmuck, Sport- und Spielgeräte (-42,9 %), Papier, Verlags- und Druckgewerbe, der Fahrzeug-, wie auch der Maschinenbau (zwischen -24,8 % bis -21,8 %) zu verzeichnen.
  - Deutliche Zunahmen bei der realen Bruttowertschöpfung wurden in den für Rheinland-Pfalz so wichtigen Branchen Chemische Erzeugnisse (+17,5 %), Gummi- und Kunststoffwaren (+17,2 %) und Metallerzeugnisse (+16,6 %) erzielt.

Diese Ergebnisse spielen bei der Entscheidung für bestimmte Förderbereiche bei der Entwicklung energiesparender Produktionsmethoden eine wichtige Rolle.

### Kenndaten Energie

Die nachfolgenden Daten entstammen überwiegend dem 7. Energiebericht Rheinland-Pfalz.

In Rheinland-Pfalz haben sich die Anteile der Sektoren Industrie, Verkehr und Private Haushalte (PHH) entsprechend der nachfolgenden Abbildung entwickelt.



**Abb. A 3.2.7** Struktur des Endenergieverbrauchs in Rheinland-Pfalz in den Jahren 1990 bis 2004 zum Vergleich

Dem 7. Energiebericht sind einige ausgewählte Aussagen zu entnehmen, die für das Verständnis von Ursachen für Klimaveränderungen relevant sein können:

- Die Energieversorgung in Rheinland-Pfalz beruht auf einem breiten Energieträgermix.
- In den letzten Jahren ist eine zunehmende Hinwendung zu Erdgas als Energieträger zu beobachten, gegenüber einem Rückgang beim Einsatz von Heizöl.
- Vom Endenergieverbrauch<sup>1</sup> im Jahr 2004 in Höhe von insgesamt 470 PJ entfiel ein Anteil von 43,1 % auf Mineralöle, 27 % auf Erdgas, 22 % auf Strom, 5,6 % auf Fernwärme und Erneuerbare Energien, nur noch 1 % auf Kohle.
- Der Primärenergieverbrauch ohne den nichtenergetischen Verbrauch ist seit 1998 kontinuierlich gesunken.

---

<sup>1</sup> Als Endenergieverbrauch wird die Verwendung von Energieträgern in den einzelnen Verbrauchergruppen ausgewiesen, soweit sie unmittelbar der Erzeugung von Nutzenergie dienen

## Anhang A 3.3

## Energieträger in 2005 errichteten Gebäuden in Rheinland-Pfalz

Tab. A 3.3.1 Statistik der Baugenehmigungen im Wohn- und Nichtwohnbau, Neubauten 2005

Kreisebene	Energieträger	Gebäude	Wohnungen	Rauminhalt	Vollgeschosse	Wohnfläche	Nutzfläche	Wohnräume
		Anzahl	Anzahl	m <sup>3</sup>	Anzahl	1 000 m <sup>2</sup>	1 000 m <sup>2</sup>	Anzahl
Koblenz, kreisfreie Stadt	Öl	2	7	4.081	5	1		41
	Gas	128	276	218.420	215	28	19	1.233
	Strom	1		874	1			
	Fernwärme	1	8	3.746	2	1		36
	Wärmepumpe	5	5	4.346	9	1		33
	Solarenergie	2	3	1.555	3			14
	Sonstige Energieträger	1	1	1.282	2			10
	-	3		8.424	3		2	
	Summe	143	300	242.728	240	31	22	1.367
Ahrweiler	Koks/Kohle	2	2	747	3			8
	Öl	23	25	29.320	37	4	3	162
	Gas	191	250	343.677	318	31	39	1.299
	Strom	2		7.460	2		1	
	Fernwärme	2		15.954	4		2	
	Wärmepumpe	36	47	36.558	62	6	2	239
	Solarenergie	1	1	897	1			6
	Sonstige Energieträger	19	17	17.531	29	3	1	107
	-	20		82.944	21		12	
Summe	296	342	535.088	477	45	61	1.821	
Altenkirchen (Westerwald)	Koks/Kohle	2	2	933	2			7
	Öl	54	53	71.033	76	8	7	341
	Gas	159	163	290.861	218	22	28	976
	Strom	5	2	4.508	6		1	13
	Fernwärme	4	3	1.994	5			16
	Wärmepumpe	47	56	46.664	73	8	3	348
	Solarenergie	2	1	1.988	3			7
	Sonstige Energieträger	12	14	10.425	19	2	1	77
	-	30		68.566	30		10	
Summe	315	294	496.972	432	41	50	1.785	



Kreisebene	Energieträger	Gebäude	Wohnungen	Rauminhalt	Vollgeschosse	Wohnfläche	Nutzfläche	Wohnräume
		Anzahl	Anzahl	m <sup>3</sup>	Anzahl	1 000 m <sup>2</sup>	1 000 m <sup>2</sup>	Anzahl
Bad Kreuznach	Koks/Kohle	1		422	1			
	Öl	29	23	33.592	42	3	6	134
	Gas	201	227	239.308	298	30	25	1.266
	Strom	1	1	516	1			5
	Fernwärme	2	1	23.984	5		6	7
	Wärmepumpe	35	37	36.876	53	6	3	231
	Solarenergie	1	1	882	1			6
	Sonstige Energieträger	20	26	20.106	29	3	1	140
	-	30	1	143.738	33		26	3
	Summe	320	317	499.424	463	42	68	1.792
Birkenfeld	Koks/Kohle	1		765	1			
	Öl	33	35	37.181	45	5	3	192
	Gas	55	56	102.772	71	7	14	308
	Strom	3	2	2.030	3			13
	Fernwärme	1		6.035	1		1	
	Wärmepumpe	35	39	36.681	46	6	3	242
	Sonstige Energieträger	18	20	19.235	21	3	2	109
	-	9		22.197	9		4	
	Summe	155	152	226.896	197	20	27	864
	Cochem-Zell	Öl	38	41	38.109	60	6	4
Gas		347	346	251.923	374	37	20	2.793
Strom		4	4	3.635	6	1		26
Wärmepumpe		61	73	62.753	99	11	5	465
Solarenergie		3	2	2.309	6			15
Sonstige Energieträger		8	10	8.255	14	1	1	60
-		16		31.396	16		5	
Summe		477	476	398.380	575	56	34	3.647
Mayen-Koblenz		Öl	25	24	28.245	44	4	3
	Gas	533	677	601.884	865	87	51	3.610
	Strom	4	5	3.250	8	1		28
	Fernwärme	4	2	18.304	6		2	13
	Wärmepumpe	48	65	49.936	76	9	3	367
	Solarenergie	1	2	1.282	2			10
	Sonstige Energieträger	16	18	15.368	27	2	1	99
	-	27		391.149	28		33	
	Summe	658	793	1.109.418	1.056	103	94	4.277

Kreisebene	Energieträger	Gebäude	Wohnungen	Rauminhalt	Vollgeschosse	Wohnfläche	Nutzfläche	Wohnräume
		Anzahl	Anzahl	m <sup>3</sup>	Anzahl	1 000 m <sup>2</sup>	1 000 m <sup>2</sup>	Anzahl
Neuwied	Koks/Kohle	2	3	1.525	3			13
	Öl	15	19	25.233	27	2	4	120
	Gas	324	347	478.305	470	46	51	2.083
	Strom	4	3	3.466	4			26
	Fernwärme	1		459	1			
	Wärmepumpe	21	24	33.105	29	3	3	145
	Solarenergie	1	1	1.046	2			6
	Sonstige Energieträger	16	15	21.501	24	2	2	103
	-	24		49.705	24		9	
	Summe	408	412	614.345	584	55	70	2.496
Rhein-Hunsrück-Kreis	Öl	73	83	86.954	106	12	10	543
	Gas	178	228	236.298	275	27	33	1.232
	Strom	5	5	4.344	6	1		42
	Fernwärme	2		17.554	5		3	
	Wärmepumpe	50	51	53.580	81	7	5	325
	Solarenergie	3	4	2.813	4			19
	Sonstige Energieträger	20	20	17.650	29	3	1	155
	-	36		78.407	36		13	
	Summe	367	391	497.600	542	50	66	2.316
	Rhein-Lahn-Kreis	Koks/Kohle	1	1	1.054	1		
Öl		22	23	22.299	31	3	2	144
Gas		139	162	181.750	207	21	17	1.003
Strom		3	3	2.456	3			14
Fernwärme		3	14	13.208	3	1	2	40
Wärmepumpe		18	21	17.264	28	3	1	144
Sonstige Energieträger		9	12	10.814	14	2	1	78
-		17		26.887	18		5	
Summe		212	236	275.732	305	30	28	1.431
Westerwald-kreis		Öl	69	72	98.737	111	11	11
	Gas	449	504	514.543	688	67	42	2.831
	Strom	10	8	9.796	13	1	1	44
	Fernwärme	1	1	1.046	2			7
	Wärmepumpe	46	61	50.035	71	8	4	341
	Solarenergie	1	1	731	2			6
	Sonstige Energieträger	16	20	16.038	24	3	1	103
	-	59		264.682	61		35	
	Summe	651	667	955.608	972	91	95	3.769

Kreisebene	Energieträger	Gebäude	Wohnungen	Rauminhalt	Vollgeschosse	Wohnfläche	Nutzfläche	Wohnräume
		Anzahl	Anzahl	m <sup>3</sup>	Anzahl	1 000 qm	1 000 qm	Anzahl
Trier, kreisfreie Stadt	Öl	7	8	17.709	14	1	2	52
	Gas	96	286	241.191	186	25	25	1.033
	Strom	1	1	525	1			7
	Fernwärme	2	2	12.324	4		2	4
	Wärmepumpe	25	36	33.926	46	5	3	209
	Sonstige Energieträger	3	1	5.932	5		1	8
	-	2		1.867	2			
	Summe	136	334	313.474	258	31	32	1.313
Bernkastel-Wittlich	Koks/Kohle	1	1	339	1			4
	Öl	57	55	159.479	73	8	22	307
	Gas	88	90	402.264	117	11	42	492
	Strom	13	10	27.929	15	1	3	55
	Fernwärme	2	3	1.719	3			15
	Wärmepumpe	139	156	133.476	195	22	10	896
	Solarenergie	4	4	4.331	6	1		23
	Sonstige Energieträger	18	16	18.426	26	2	2	97
	-	29		72.788	29		12	
	Summe	351	335	820.751	465	46	90	1.889
Bitburg-Prüm	Öl	109	149	133.909	160	19	11	854
	Gas	123	137	279.227	160	17	27	792
	Strom	2	2	766	2			8
	Fernwärme	2	3	2.308	3			19
	Wärmepumpe	85	99	98.443	121	15	8	617
	Sonstige Energieträger	32	33	43.940	47	5	4	220
	-	49		201.083	49		31	
	Summe	402	423	759.676	542	57	82	2.510
Daun	Koks/Kohle	1	1	1.074	1			7
	Öl	39	47	71.085	56	5	9	248
	Gas	68	63	103.016	90	8	14	375
	Strom	6	6	3.122	6	1		25
	Fernwärme	2	2	1.443	3			12
	Wärmepumpe	53	59	58.027	78	8	5	375
	Solarenergie	2	3	2.383	2			19
	Sonstige Energieträger	8	13	8.009	12	2		65
	-	48		205.795	51		33	
	Summe	227	194	453.954	299	25	62	1.126

Kreisebene	Energieträger	Gebäude	Wohnungen	Rauminhalt	Vollgeschosse	Wohnfläche	Nutzfläche	Wohnräume
		Anzahl	Anzahl	m <sup>3</sup>	Anzahl	1 000 m <sup>2</sup>	1 000 m <sup>2</sup>	Anzahl
Trier-Saarburg	Öl	103	156	122.962	159	19	10	860
	Gas	200	221	165.060	283	30	10	1.384
	Strom	11	11	8.652	18	2	1	69
	Fernwärme	1	1	936	2			6
	Wärmepumpe	145	167	145.892	212	26	9	1.090
	Solarenergie	3	3	2.609	4			18
	Sonstige Energieträger	33	34	40.056	52	5	4	227
	-	26		42.831	27		8	
	Summe	522	593	528.998	757	82	42	3.654
Frankenthal (Pfalz), kreisfreie Stadt	Öl	1		408	1			
	Gas	47	70	136.044	88	9	17	386
	Strom	1		413	1			
	Wärmepumpe	2	4	3.445	3	1		21
	-	2		6.539	2		1	
	Summe	53	74	146.849	95	9	18	407
Kaiserslautern, kreisfreie Stadt	Gas	142	160	192.680	267	20	18	864
	Fernwärme	53	264	91.288	113	13	8	514
	Solarenergie	1	1	862	2			6
	Sonstige Energieträger	6	6	9.271	9	1	2	39
	Summe	202	431	294.101	391	34	27	1.423
Landau in der Pfalz, kreisfreie Stadt	Öl	1	2	1.485	2			10
	Gas	52	78	73.098	98	10	6	401
	Fernwärme	12	14	10.200	24	2	1	79
	Wärmepumpe	2	4	7.376	3	1		26
	Sonstige Energieträger	4	4	8.048	8	1	1	28
	-	4		9.942	4		2	
	Summe	75	102	110.149	139	14	11	544
Ludwigshafen am Rhein, kreisfreie Stadt	Öl	3	2	2.514	5			11
	Gas	112	130	161.802	218	16	20	683
	Fernwärme	42	50	45.763	64	7	3	296
	Wärmepumpe	1		42.082	4		8	
	Sonstige Energieträger	2	1	2.774	3			5
	-	4		2.947	4		1	
	Summe	164	183	257.882	298	22	33	995

Anhang A 3.4

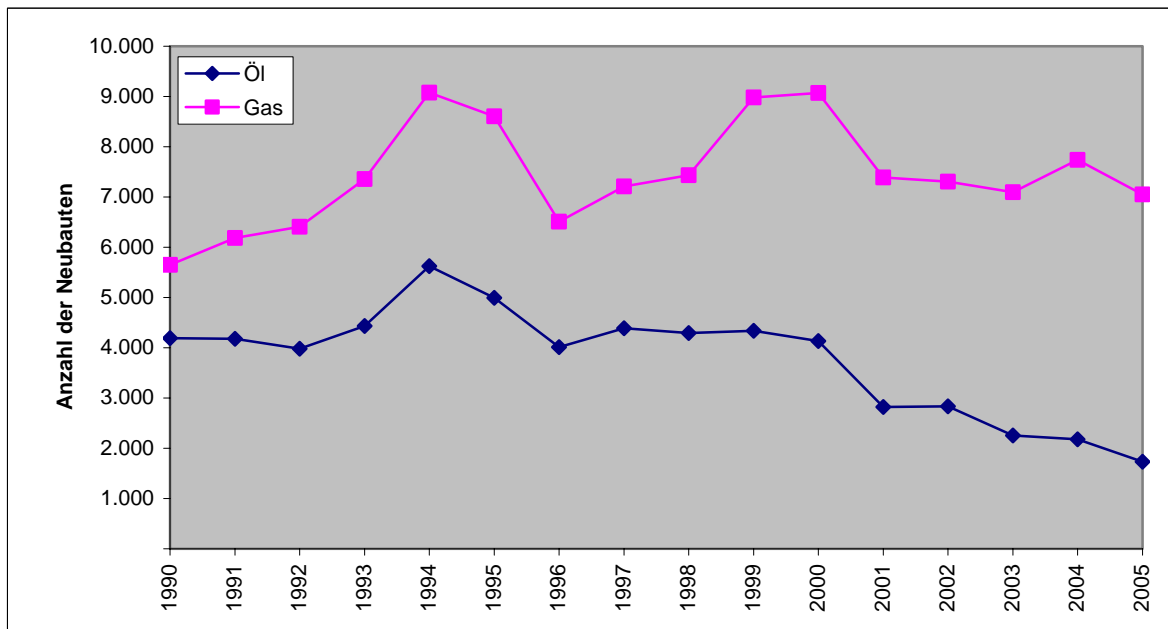


Abb. A 3.4.1 Entwicklung der in Neubauten eingesetzten Energieträger in Rheinland-Pfalz zwischen 1990 und 2005, hier: Gas und Heizöl

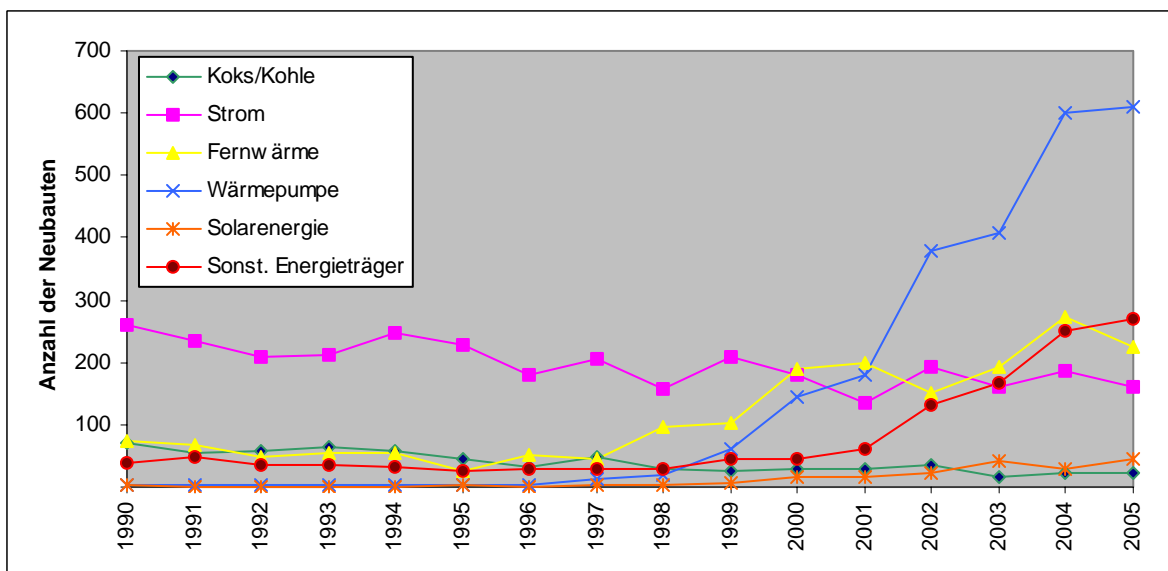
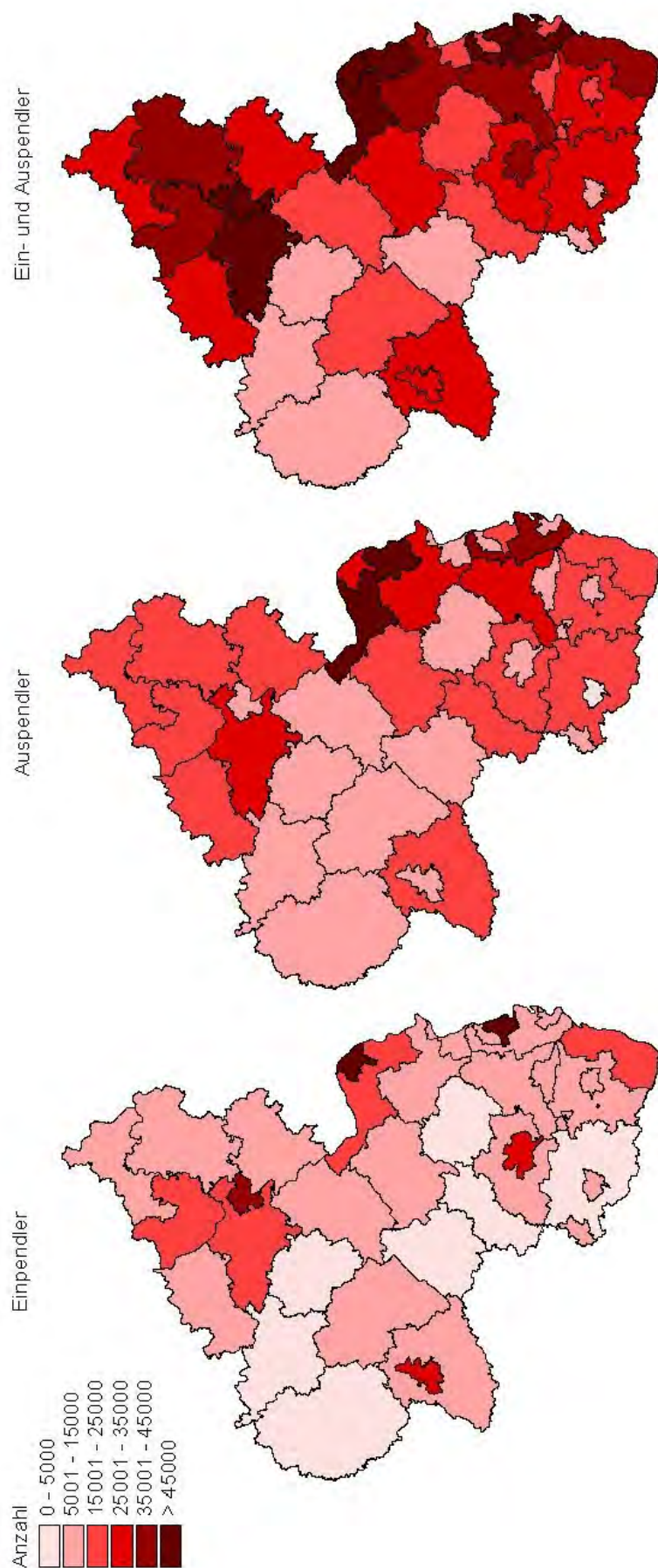


Abb. A 3.4.2 Entwicklung der in Neubauten eingesetzten Energieträger in Rheinland-Pfalz zwischen 1990 und 2005, hier: sonstige Energieträger

Anhang A 3.5

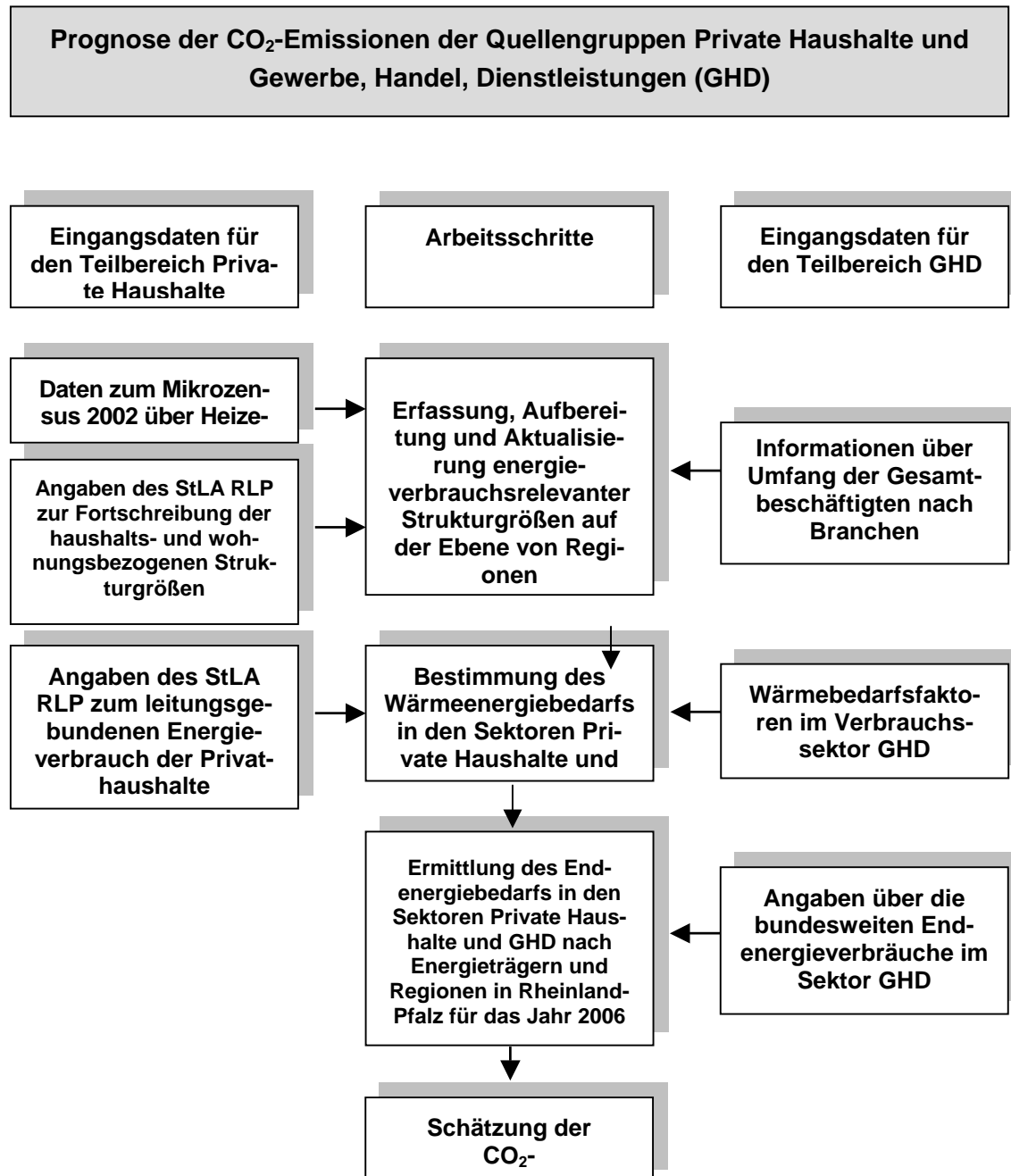
# Anzahl der Ein- und Auspendler in Rheinland-Pfalz



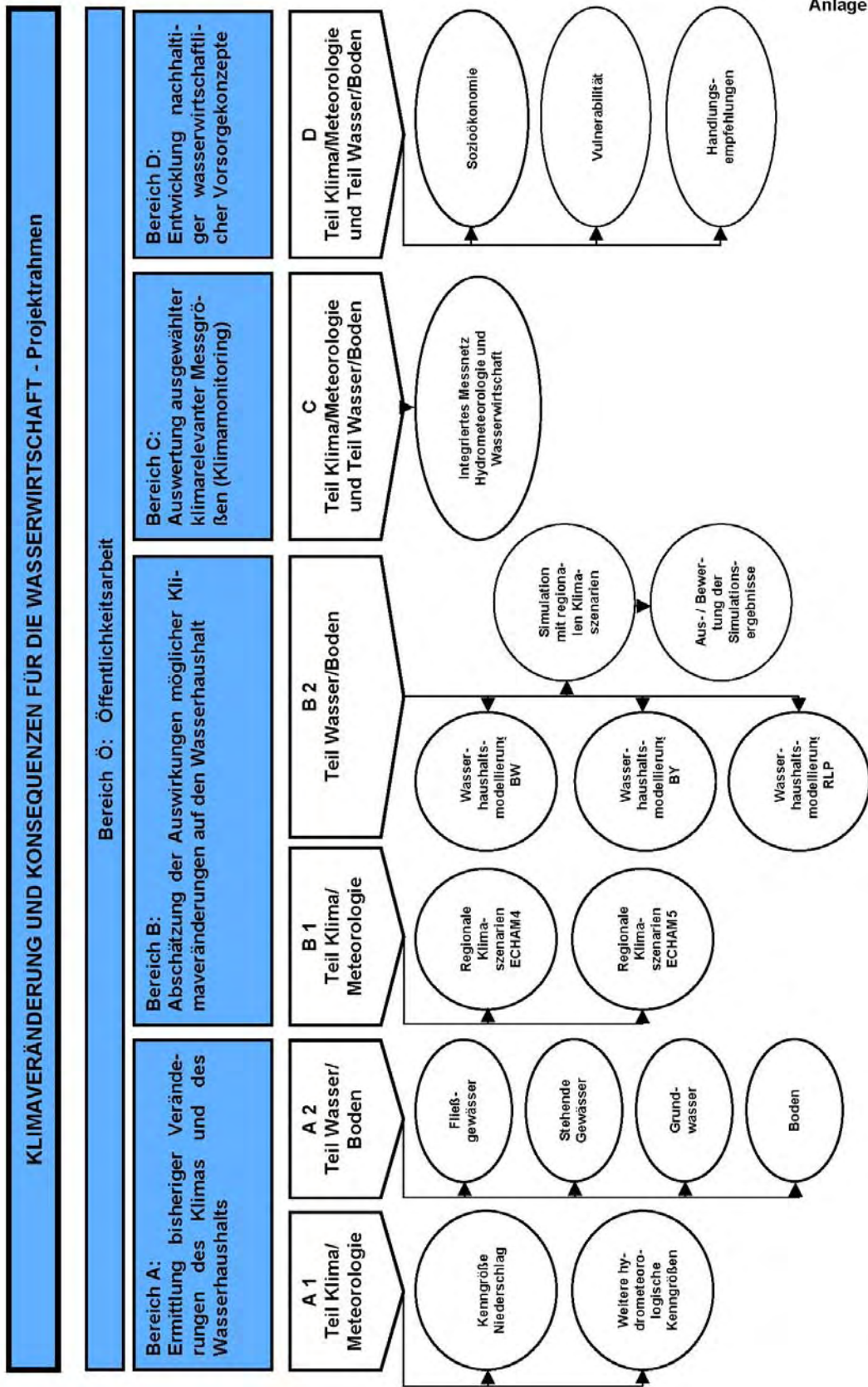


## Anhang A 3.6

**Ablaufschema des Schätzverfahrens (Quelle: Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz) zur Projektion der Daten aus 2002/2004 auf das Jahr 2006**



Anhang A 3.7



Anlage 1

