

Forschungsbericht KLIMOPASS

# Entwicklung eines Konzepts zum Monitoring von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen für einen Modellraum in Baden-Württemberg

von Peter Wattendorf, Frank Philipps, Petra Höldin & Werner Konold

Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

März 2012

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b>	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, <a href="mailto:Kai.Hoepker@lubw.bwl.de">Kai.Hoepker@lubw.bwl.de</a>
<b>AUFTRAGGEBER</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Forschungsprogramm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden- Württemberg (KLIMOPASS)
<b>BEARBEITUNG</b>	Dr. Peter Wattendorf, Frank Philipps, Petra Höldin, Prof. Dr. Werner Konold Institut für Landespflege, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg <a href="http://www.landespflege-freiburg.de">www.landespflege-freiburg.de</a>
<b>STAND</b>	März 2012, Internetausgabe Februar 2013

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>7</b>	
<b>1</b>	<b>AUSGANGSLAGE, ZIELE, VORGEHENSWEISE</b>	<b>9</b>
1.1	Ausgangslage	9
1.2	Ziele	15
1.3	Vorgehensweise	16
1.3.1	Datenerhebung	16
1.3.2	Datenaufbereitung und Aufbau des Berichts	17
<b>2</b>	<b>DER MODELLRAUM</b>	<b>19</b>
2.1	Auswahlkriterien und Auswahl des Modellraums	19
2.1.1	Landschaftsgliederung, Landschaftsausstattung und Landnutzung	23
2.1.1.1	Orographie und Gewässer des Modellraumes	23
2.1.1.2	Naturräumliche Gliederung	25
2.1.1.3	Landnutzung	29
<b>3</b>	<b>KLIMA UND KLIMAPROJEKTIONEN</b>	<b>31</b>
3.1	Ist-Zustand im Modellraum	31
3.1.1	Klima	31
3.1.2	Langfristige klimatische Trends im Gebiet	38
3.1.2.1	Niederschlag	38
3.1.2.2	Schneehöhen	42
3.1.2.3	Lufttemperatur	46
3.1.3	Extremereignisse	55
3.2	Projektionen des Klimawandels für den Modellraum	63
3.2.1	Lufttemperatur und Niederschlag	63
3.2.2	Extremereignisse	75
3.3	Fazit Kapitel 3	76
<b>4</b>	<b>BISHERIGE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAS, VULNERABILITÄT UND ANPASSUNGSMABNAHMEN</b>	<b>78</b>
4.1	Landwirtschaft	78
4.1.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	78

4.1.1.1	Extremereignisse	78
4.1.1.2	Langfristige Trends	79
4.1.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	82
4.1.3	Anpassungsmaßnahmen	85
4.1.3.1	Ackerbau	85
4.1.3.2	Obstbau und Weinbau	87
4.1.3.3	Tierhaltung	89
4.1.4	Indikatoren	90
4.1.4.1	Agrarmeteorologische, phänologische und ökologische Indikatoren	90
4.1.4.2	Anpassungsindikatoren	94
<b>4.2</b>	<b>Forstwirtschaft</b>	<b>95</b>
4.2.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	95
4.2.1.1	Extremereignisse	95
4.2.1.2	Langfristige Trends	98
4.2.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	99
4.2.3	Anpassungsmaßnahmen	102
4.2.4	Indikatoren	105
<b>4.3</b>	<b>Wasserwirtschaft</b>	<b>107</b>
4.3.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	107
4.3.1.1	Extremereignisse	107
4.3.1.2	Langfristige Trends	112
4.3.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	114
4.3.3	Anpassungsmaßnahmen	119
4.3.4	Indikatoren	122
<b>4.4</b>	<b>Naturschutz</b>	<b>124</b>
4.4.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	124
4.4.1.1	Extremereignisse	124
4.4.1.2	Langfristige Trends	125
4.4.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	130
4.4.3	Anpassungsmaßnahmen	132
4.4.4	Indikatoren	133
<b>4.5</b>	<b>Bodenschutz</b>	<b>137</b>
4.5.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	137

4.5.1.1	Extremereignisse: Starkniederschlag und Erosion	137
4.5.1.2	Langfristige Trends	138
4.5.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	139
4.5.3	Anpassungsmaßnahmen	139
<b>4.6</b>	<b>Gesundheit</b>	<b>141</b>
4.6.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	141
4.6.1.1	Extremereignisse	141
4.6.1.2	Langfristige Trends	142
4.6.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	143
4.6.3	Anpassungsmaßnahmen	145
4.6.4	Indikatoren	146
<b>4.7</b>	<b>Tourismuswirtschaft</b>	<b>148</b>
4.7.1	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	148
4.7.2	Anpassungsmaßnahmen	150
4.7.3	Indikatoren	150
<b>4.8</b>	<b>Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur</b>	<b>151</b>
4.8.1	Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima	151
4.8.1.1	Extremereignisse	151
4.8.2	Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität	152
4.8.3	Anpassungsmaßnahmen	153
4.8.4	Indikatoren	155
<b>4.9</b>	<b>Fazit Kapitel 4</b>	<b>156</b>
<b>5</b>	<b>MONITORING IM MODELLGEBIET</b>	<b>157</b>
<b>5.1</b>	<b>Landwirtschaft</b>	<b>157</b>
<b>5.2</b>	<b>Forstwirtschaft</b>	<b>159</b>
<b>5.3</b>	<b>Wasserwirtschaft</b>	<b>162</b>
<b>5.4</b>	<b>Naturschutz</b>	<b>163</b>
<b>5.5</b>	<b>Bodenschutz</b>	<b>164</b>
<b>5.6</b>	<b>Gesundheitswesen</b>	<b>165</b>
<b>5.7</b>	<b>Tourismuswirtschaft</b>	<b>166</b>
<b>5.8</b>	<b>Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur</b>	<b>166</b>
<b>6</b>	<b>KONZEPTION EINES REGIONALEN MONITORING</b>	<b>167</b>

<b>6.1</b>	<b>Das Indikatoren-system</b>	<b>167</b>
6.1.1.1	Landwirtschaft	168
6.1.1.2	Forstwirtschaft	170
6.1.1.3	Wasserwirtschaft	171
6.1.1.4	Naturschutz	173
6.1.1.5	Bodenschutz	173
6.1.1.6	Gesundheit	174
6.1.1.7	Tourismus	176
6.1.1.8	Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur	177
<b>6.2</b>	<b>Organisation des Monitoring</b>	<b>178</b>
<b>6.3</b>	<b>Übertragbarkeit des Konzepts</b>	<b>180</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>181</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b>	<b>186</b>

# Zusammenfassung

Die Anpassungsstrategien des Bundes und der Länder sehen als eine Grundlage erfolgreicher Anpassung an den Klimawandel ein konsequentes Monitoring der Klimafolgen sowie der Anpassungsmaßnahmen. Anpassungsstrategien müssen so angelegt sein, dass sie zur Berücksichtigung zukünftiger ökologischer, ökonomischer und sozialer Entwicklungen und möglicher Veränderungen hinsichtlich der Dynamik und der Ausmaße des Klimawandels bei Bedarf nachjustiert werden können, ein Monitoring als Prüf- und Kontrollsystem ist deshalb notwendig.

Für einen vom Gipfel des Feldberges entlang des Flusses Dreisam bis zur Rheinaue reichenden Modellraum, der Teile des Stadtgebiets Freiburg und der Landkreise Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald beinhaltet, wird ein regionalspezifisches Monitoringsystem entwickelt. Der Modellraum ist durch viele Gradienten (Höhenlage, Klima, ...) gekennzeichnet und ist aufgrund des Klimas, der Naturausstattung und weiterer natürlicher Dispositionsfaktoren bereits heute von Extremereignissen betroffen. Betrachtet werden die im Modellraum wichtigsten Sektoren der Landnutzung: Land-, Forst und Wasserwirtschaft, Naturschutz, Bodenschutz, Siedlungen und Verkehr, Tourismus sowie die menschliche Gesundheit. Als Datengrundlage dienen neben der Auswertung von Literatur und Wetter-/Geodaten vor allem leitfadengestützte Experteninterviews mit Behördenvertretern der zuvor genannten Sektoren.

Die Auswertung der Daten u. a. von DWD-Wetterstationen belegt die großen Unterschiede innerhalb des Modellraumes und bereits im Ist-Zustand starke Einflüsse des Wetters und Klimas in Form von Extremereignissen in der jüngeren Vergangenheit. Aus den Wetterdaten lassen sich für einzelne Parameter, beispielsweise die Zunahme von Sommertagen oder Tropennächten in Freiburg, Trends aufzeigen. Die Projektionen für den Klimawandel bis 2050 (DWD-Ensemble) weisen nicht auf besondere und vom Land abweichende Entwicklungen im Modellraum hin; lediglich die überdurchschnittliche Zunahme der Anzahl heißer Tage könnte die Hitzebelastung im Oberrheintal stärker als in anderen Regionen verschärfen.

Auf Grundlage der Expertengespräche werden für jeden Sektor die bisherigen Auswirkungen von Wetter und Klima, sowohl als Extremereignisse wie als langfristige Tendenzen, herausgearbeitet und die von den Experten wahrgenommenen Gefährdungen und Chancen durch den Klimawandel gezeigt. So können Faktoren abgeleitet werden, die eine Vulnerabilität des jeweiligen Sektors bedingen. Entsprechend der Abhängigkeit des jeweiligen Sektors von klimatischen Einflüssen werden unterschiedlich viele und unterschiedlich wichtige Auswirkungen genannt. Naturgemäß sind vor allem Land- und Forstwirtschaft, aber auch Naturschutz und Wasserwirtschaft von Extremereignissen und - den von allen Experten dieser Sektoren wahrgenommenen - tendenziellen Klimaveränderungen betroffen. Insbesondere der Hitze-/Trockensommer des Jahres 2003 hat großen Einfluss auf diese Sektoren genommen. Lediglich die (Straßen-) Verkehrsinfrastruktur wird aufgrund relativ kurzer Erneuerungszyklen als relativ wenig anfällig gegenüber Klimaveränderungen beschrieben. Einige Aspekte, wie heutige und zukünftige Probleme bei der dezentralen Trinkwasserversorgung, Bodenerosion oder die Ausbreitung von Neobiota werden in mehreren Sektoren wahrgenommen. Die Einschätzungen und Bewertungen der Experten weichen hierbei aber nur bei der Erosion und der Wirkung von Wasserentnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung voneinander ab.

Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden in fast allen Sektoren bereits heute im Modellraum umgesetzt. Hierbei handelt es sich aber oft um Maßnahmen, die nicht mit dem primären oder ausschließ-

lichen Ziel der Anpassung an Klimaänderungen eingeleitet wurden. So ist beispielsweise der Waldumbau zu Mischbeständen nicht nur dem Klimawandel, sondern auch dem Konzept einer standortangepassten, naturnahen Waldbewirtschaftung geschuldet. Neben geplanten Maßnahmen im Rahmen einer Klimaanpassung wie Hochwasserschutz oder Niedrigwassermanagement werden auch „autonome“ Anpassungsmaßnahmen genannt, die von Betroffenen selbst initiiert wurden, wie beispielsweise das Installieren von Hagelschutznetzen, die Verschiebung von Bearbeitungsterminen oder das Ausweichen auf wärmetolerantere Feldfrüchte in der Landwirtschaft.

Für alle Sektoren werden die im Modellgebiet bestehenden Monitoringaktivitäten aufgezeigt. Es zeigt sich, dass vor allem in der Forstwirtschaft ein intensives und institutionalisiertes Monitoring betrieben wird, das fast alle Aspekte umfasst. Dementsprechend gering wird der Bedarf an weiteren Monitoringaktivitäten der Forstwirtschaft im Modellraum gesehen. Auch in der Landwirtschaft wird von den Experten kein Bedarf an zusätzlichen Monitoringaktivitäten gesehen. Der Naturschutz ist insofern als Sonderfall zu betrachten, dass es eine Reihe von nichtstaatlichen Organisationen gibt, die Monitoring oder zumindest Artenbeobachtung betreiben. Hier könnte der Wissenstand vor allem durch das systematische Erschließen dieser dezentralen Datenquellen erheblich vergrößert werden. Im Gesundheitswesen werden zwar viele Daten erhoben, jedoch sind diese nicht auf der räumlichen Ebene des Modellgebiets (oder der Landkreise) zugänglich. Mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass auch die Verknüpfung oder themenbezogene Auswertung vorhandener Datensätze zusätzliche Informationen liefern könnten.

Aus den Ergebnissen der Expertengespräche, ergänzt durch Literaturangaben wird ein regionalbezogenes Monitoring entwickelt. Für jeden der betrachteten Sektoren wird ein Satz Klimawandel- (Impact-) Indikatoren und ein Satz Anpassungs- (Response-) Indikatoren zur Diskussion gestellt. Es werden sowohl bereits heute erfasste Indikatoren aufgeführt als auch Vorschläge für im Hinblick auf den Klimawandel neu zu betrachtende Indikatoren aufgeführt. Insgesamt werden für das Modellgebiet 60 Klimawandel- (Impact-) Indikatoren und 33 Anpassungs- (Response-) Indikatoren benannt. Weitere Schritte für die modellhafte Umsetzung des Monitoringkonzeptes wären die Abstimmung des Indikatorensets durch eine Arbeitsgruppe aus Wissenschaftlern und regionale Experten sowie das Erstellen einer Modell-Datenbank, in der vorhandene Daten zusammengeführt werden können.

# 1 Ausgangslage, Ziele, Vorgehensweise

## 1.1 Ausgangslage

In der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS 2008) werden Klimafolgen unterschieden in:

- a. Folgen durch kontinuierliche Veränderungen wie die Verlängerung und/oder Verschiebung der Vegetationszeit, die Vorverlagerung des Brutbeginns von Vogelarten, langfristige Veränderungen der Grundwasserneubildung oder geringerer Heizaufwand. Die Folgen werden für die meisten Handlungsbereiche mittelfristig spürbar werden.
- b. Folgen von häufigeren und/oder stärkeren Extremereignissen, wie Starkregen, Stürme und Sturmfluten, Hitze- oder Trockenperioden mit nachgelagerten Effekten wie Waldbrände, oder Hoch- und Niedrigwasserereignisse<sup>1</sup>
- c. Folgen aufgrund zunehmender Klimavariabilität, beispielsweise dem Auftreten mehrerer Dürrejahre in kurzer zeitlicher Folge, die Anpassungsmöglichkeiten der Land- und Forstwirtschaft überfordern könnten.

Im Jahr 2005 wurde eine im Auftrag des UBA bearbeitete Studie publiziert (ZEBISCH et al 2005), die aktuelle und potenzielle zukünftige Auswirkungen des Klimawandels auf sieben Sektoren (Wasser-, Land-, Forstwirtschaft, Naturschutz, Gesundheit, Tourismus und Verkehr) analysierte und deren Anpassungsgrad und Anpassungskapazitäten untersuchte, um im Dialog mit Experten aus der Gegenüberstellung von Auswirkungen, Stand der Anpassung und Anpassungskapazität Schlussfolgerungen über die Vulnerabilität dieser Sektoren in Deutschland zu ziehen. Diese Studie betrachtet in dem größeren räumlichen Rahmen der Bundesrepublik Deutschland die gleichen Themenfelder wie Kapitel 4 und wird daher - teilweise ergänzt durch neuere und detailliertere Quellen - als Übersicht über den derzeitigen Wissensstand herangezogen.

**Wasserwirtschaft:** Als wichtige negative Auswirkungen des Klimawandels werden die zunehmende Hochwassergefahr vor allem im Winter und Frühjahr als Ergebnis der saisonalen Verlagerung der Niederschläge und der möglichen Zunahme von Starkregenereignissen gesehen. Das Fehlen einer echten Schneeschmelze wegen geringerer Schneeakkumulation könnte allerdings Hochwasserspitzen im Winter oder Frühling verhindern oder verringern. Höhere Evapotranspiration und saisonale Niederschlagsverlagerung können zur Verringerung des Wasserdargebots im Sommer und zum Rückgang der Grundwasserneubildungsrate führen. Die Verlängerung der Vegetationszeit und erhöhter Wasserverbrauch der Vegetation können diese Tendenzen noch verstärken.

---

<sup>1</sup> Das vielfach prognostizierte vermehrte Auftreten von Extremereignissen wie Stürme, Dürren, Starkregen wird als das eigentliche Problem des Klimawandels in Mitteleuropa gesehen (EULENSTEIN & GLEMNITZ 2008).

Unter den Anpassungsmaßnahmen im Hochwasserschutz ist die Rückbesinnung auf den Rückhalt von Hochwasser in der Fläche von großer Bedeutung: die Neuschaffung von Retentionsräumen und die Reaktivierung von Altarmen. Weiterhin ist eine Flächenvorsorge, welche Bebauung und ungeeignete Nutzung von Hochwasser gefährdeten Flächen fern hält, notwendig. Weitere Aspekte sind technischer Hochwasser- und Katastrophenschutz sowie hochwasserangepasstes Bauen.

Zur Anpassung an zunehmende (sommerliche) Niedrigwasser- und Wassermangelsituationen werden nachhaltige Landnutzungskonzepte mit dem Ziel einer möglichst langen Verweildauer des Wassers in der Landschaft, eine Infrastruktur zur Bevorratung von (Trink-)Wasser, angepasste Wasser sparende Techniken in der Industrie und bei landwirtschaftlicher Bewässerung sowie eine fachgerechte Auswahl der landwirtschaftlichen Kulturen gesehen. Naturnaher Ausbau und Bewirtschaftung der Oberflächengewässer kann dazu dienen, entsprechende Ökosystemleistungen sicherzustellen, hierzu gehört auch die Verbesserung der Wassergüte, da sonst mit Problemen bei sommerlichen Niedrigwasserständen zu rechnen ist.

**Landwirtschaft:** Hier werden sowohl positive als auch negative Effekte als Auswirkungen des Klimawandels gesehen. Auch sind die Aussagen nicht eindeutig: Bei höheren Temperaturen steigt die Photosyntheseleistung bis zum Optimum. Eine moderate Erhöhung der Temperatur soll daher bei guter Wasserversorgung die Ertragspotentiale steigern (z. B. bei Weizen um 1-3 dt/ha bis 2050 in Mitteleuropa). Sommerliche Einschränkungen in der Wasserversorgung könnten aber zu Ertragseinbußen führen. Bei Getreide ist jedoch auch wegen einer möglichen Verkürzung der Kornfüllungsphase ein Ertragsrückgang (10 % bei  $\Delta T = +1^\circ\text{C}$ ) möglich. Für Baden-Württemberg wird damit gerechnet, dass durch Überschreiten der optimalen Temperaturen mancher Kulturpflanzen Erträge eher zurückgehen können, bei Weizen bis 2055 um 14 %, weil die Sommer trockener werden (KLARA, PIK 2005). Mais ist hier wenig(er) sensitiv. Steigende Temperaturen verfrühen phänologische Phasen; so hat sich beispielsweise das Ährenschieben des Roggens seit 1960 um 7 Tage verfrüht (DWD 2004). Davon profitieren überwiegend mehrjährige Kulturen, die auch nach Erreichen der Reifephase weiter wachsen (Zuckerrübe, Grünland). Zwar werden weniger Frostschäden im Winter wahrscheinlich, andererseits braucht Wintergetreide zeitweise niedrige Temperaturen zur Vernalisation. Eine saisonal früher einsetzende Entwicklung erhöht die Spätfrostgefährdung. Größere Variabilität in Wetter und Witterung kann stärkere Ertragsschwankungen hervorrufen und eine Anpassung durch Wahl geeigneter Feldfrüchte (Sorten) erschweren. Das Jahr 2003 zeigte, dass die Standortbedingungen die Vulnerabilität stark beeinflussen, vor allem arme, schlecht Wasser speichernde Böden mit ungünstiger klimatischer Wasserbilanz und hohen Sommertemperaturen, wie sie lokal auch in Südwestdeutschland vorkommen, waren von Ertragsminderungen betroffen. Es wird angenommen, dass höhere Temperaturen die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten sowie das Einwandern neuer Schädlinge fördern. Es werden mehr Individuen, mehr Generationen und ein früheres Auftreten erwartet. So werden beispielsweise Apfelwickler und Apfelschorf bei wärmerem und leicht feuchterem Klima gefördert (PIK 2005).

Da die Landwirtschaft relativ kurzfristig reagieren kann, sind zurzeit Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel eher wenig bedeutend. Es stehen allerdings Maßnahmen wie der Anbau angepasster Sorten (Anpassung an Trockenstress, Schädlinge), angepasste Anbauverfahren, neue Fruchtarten und Fruchtfolgen oder Wasser sparende Bewässerungsverfahren zur Verfügung. So kann beispielsweise Sommergetreide früher ausgesät werden, weil verlängerte Wachstumsphase und bessere Ausnutzung der Bodenfeuchte im Frühjahr die Erträge erhöhen. Hierbei steigt aber die Spätfrostgefahr. Wintergetreide benötigt einen Kältereiz zur Vernalisation, deshalb muss es zukünftig möglicherweise später eingesät werden, damit die Kältephase nicht zu spät kommt. Boden schonende und Wasser sparende Bewirtschaftungsverfahren sind Mulchver-

fahren und pfluglose Bodenbearbeitung, die darüber hinaus die CO<sub>2</sub>-Freisetzung senken können. Eine Anpassung der Düngungs- und Pflanzenschutzpraxis wird notwendig. Höhere Kohlendioxidkonzentrationen in der Luft können einen größeren Stickstoffbedarf für optimales Wachstum nach sich ziehen, was wiederum den Wasserverbrauch steigern kann. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe kann als Alternative zur Nahrungsmittelproduktion gesehen werden, er könnte - bei niedrigeren Qualitätsanforderungen als in der Lebensmittelproduktion - auch Optionen auf zukünftig möglicherweise ungünstiger werdenden Standorten eröffnen.

**Forstwirtschaft:** Die Forstwirtschaft ist durch ihre langen Planungszeiträume in viel stärkerem Maß als die Landwirtschaft an die klimatischen Gegebenheiten gebunden. Diese beeinflussen das Baumartenspektrum und Ertragspotenziale der Baumarten maßgeblich. Die projizierten Veränderungen durch zusätzliche CO<sub>2</sub>-Düngung und Temperaturen näher am Optimum, sowie die Verlängerung der Vegetationszeit ermöglichen ein höheres Ertragspotenzial. Dieses hängt aber wesentlich von der Nährstoff- und vor allem Wasserversorgung ab. Es ist nicht eindeutig geklärt, ob die höheren Zuwächse der jüngeren Vergangenheit vom Klimawandel mit verursacht werden. Da der durchschnittliche Zuwachs (16 Vfm/a/ha) meist nicht abgeschöpft wird, werden die Wälder generell älter. Das hat Vor- (Naturschutz, CO<sub>2</sub>-Bindung) aber auch Nachteile (Kalamitäten, Stürme). Bei gegenüber heute um mehr als 2 °C ansteigender Temperatur überwiegen Nachteile für die Forstwirtschaft (HIRSCHBERG et al. 2003). Trockenstress wird als größtes Problem gesehen. Hier sind unter den Hauptbaumarten vor allem Fichte und Buche betroffen, weniger Kiefer, Eiche und Douglasie. 2003 traten deutliche Vitalitätsverluste und vorzeitiger Blatt- und Nadelabfall auf, solche Witterungsextreme können über 10 Jahre auf den Ertrag nachwirken (ANDERS et al. 2004). Tierische Schädlinge wie Borkenkäfer oder Nonne können bei wärmerer Witterung mehr(ere) Generationszyklen ausbilden, v. a. Fichtenschädlinge können vom Klimawandel profitieren. Es ist damit zu rechnen, dass auch neue Arten, die als Schädlinge auftreten, einwandern können. Auch die Waldbrandgefahr ist mit zunehmender Sommertrockenheit potenziell steigend, aber da überwiegend menschliches Handeln als Auslöser gilt, wird die Waldbrandgefahr auch zukünftig nicht sehr hoch gesehen. Stürme wirken standort- und artenspezifisch, besonders anfällig sind Fichte und Douglasie, Buche, Birke und Pappeln. Neben den eigentlichen Waldschäden sind auch die großen ökonomischen Risiken von Stürmen wichtig, weil beim Anfall großer Sturmholzmengen der Holzpreis drastisch sinkt.

Waldumbau mit dem Ziel der Erhöhung der Baumartenvielfalt wird als wichtigste Anpassungsmaßnahme gesehen, um den für den konkreten Standort kaum vorhersagbaren Veränderungen zu begegnen. Standortangepasste Baumarten und Mischwald sollen unter Beachtung der Standorteigenschaften gefördert werden, die Steigerung der genetischen Vielfalt, beispielsweise durch trockentolerantere Herkünfte wird positiv gesehen. Sehr wichtig ist der Umbau von Fichtenreinbeständen auf nicht geeigneten Standorten. Stärker umstritten ist die Frage, ob vermehrt nicht einheimische trockentolerante Arten verwendet werden sollen, v. a. Douglasie, Robinie. Unterstützend kann die Forstwirtschaft weitere Stressoren für die Bestände reduzieren, indem Stoffeinträge verringert und die Bodenfruchtbarkeit erhalten oder gefördert werden (Bodenschutzkalkung). Die Nährstoff- und Wasseraufnahme der Pflanzen kann durch reduzieren oder vermeiden von Verdichtungen (Befahren bei der Holzernte etc.) erhalten oder verbessert werden. Durch Beseitigen von Entwässerungsmaßnahmen und Drainagen kann die Wasserversorgung mancher Standorte verbessert werden.

**Biodiversität und Naturschutz:** Bereits zu beobachtende klimabedingte Trends sind Veränderungen in der Phänologie von Pflanzen und im Verhalten von Tieren sowie Arealverschiebungen von Arten nach Norden

und in höhere Lagen. Arten mit geringer Migrationsfähigkeit oder in Arealen mit geografischen Barrieren (Gebirge, Gewässer) sowie Arten mit enger ökologischer Amplitude (geringe Temperaturtoleranz, enge Habitatbindung) und Schwerpunkt auf kühl-feuchten Standorten werden als stärker bedroht eingestuft. Verschiebungen der Areale und Wanderungsbewegungen können auch die Artenzusammensetzung von Lebensgemeinschaften ändern, hiervon besonders betroffen sind azonale Biotope, Feuchtgebiete und montane (Stauden-, Fels-, Stein-) Fluren. Klima und Klimawandel können die Biodiversität auch indirekt über veränderte Landnutzung (Energiepflanzenanbau etc.), Nahrungsangebote oder Bodeneigenschaften beeinflussen. Wegen der dynamischen Reaktion von Arten auf den Klimawandel sind Anpassungsmaßnahmen notwendig, die diese Dynamik fördern oder zumindest zulassen. Der Prozessschutz gewinnt an Bedeutung, Wanderungsbewegungen müssen möglich werden, flexible(re) Schutzkonzepte und flexible Schutzgebietsgrenzen können notwendig werden. Mit Wasserhaushaltskonzepten zur Vernässung kann in Feuchtgebieten durch Erhalt oder Wiederherstellung der natürlichen Feuchtestufe den Auswirkungen des Klimawandels teilweise entgegengearbeitet werden.

**Gesundheit:** Klimabedingte Auswirkungen auf die Gesundheit äußern sich als direkte Belastung des Organismus durch Hitze, die vor allem das Herz-Kreislauf-System betreffen. Hierbei sind die Überschreitung eines Schwellenwertes, aber auch Dauer, Änderungsgeschwindigkeit und Zeitpunkt innerhalb der Saison (Akklimation) relevant. Personen mit gesundheitlicher Vorbelastung wie alte, geschwächte Personen oder Kinder sind besonders anfällig. Weiterhin erhöhen hohe Lufttemperaturen die Luftbelastung in Ballungsräumen (Ozon) und damit die Gesundheitsgefährdung. Fraglich ist, ob durch höhere Wintertemperaturen zukünftig weniger durch Unterkühlung ausgelöste Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen auftreten könnten. Indirekte Auswirkungen des Klimas, vor allem höherer Temperaturen, auf die Gesundheit können durch Veränderungen in Abundanz, Verbreitung und Infektionspotenzial von Krankheitsüberträgern (Insekten, Zecken, Nagetiere) entstehen. Insbesondere Zecken als Überträger von Lyme-Borreliose und FSME spielen hier eine Rolle, aber auch Stechmücken, Sandmücken und andere Insekten. Andererseits können veränderte Umweltbedingungen die Qualität von Wasser, Luft und Nahrungsmitteln negativ beeinflussen. So sind der Anstieg der Konzentration von Luftallergenen (Pollen) und die Verlängerung der Pollensaison (Phänologie) oder höhere Konzentrationen von Stickoxiden, Ozon und Staubpartikeln auch vom Klima, hier vor allem von Temperatur und Luftfeuchte, abhängig. Algenblüten von Cyanobakterien - darunter auch Arten die toxische Stoffe bilden - in Gewässern könnten bei Problemen mit der Abwasserreinigung (sommerliche Niedrigwasserphasen) und höheren Temperaturen vermehrt auftreten. Auch die Qualität bestimmter Nahrungsmittel kann beispielsweise aufgrund höheren Salmonellenbefalls bei Hitze leiden. Extremereignisse wie Hochwasser, Stürme und Starkregen können sowohl direkt (Verletzungen) als auch indirekt (Stress, Angst, Depressionen) die Gesundheit beeinflussen.

Da zum ersten Mal in Deutschland flächendeckende hitzebedingte Gesundheitsprobleme im Sommer 2003 auftraten, sind Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen des Klimawandels erst nach diesem Ereignis in Gang gekommen. Der DWD richtete 2005 einen Hitzewarndienst ein. Seitdem haben alle Bundesländer in Kooperation mit dem DWD Hitzewarnsysteme eingeführt. Allerdings wies eine Studie in Niedersachsen nach, dass ein ausreichender Zugang zu Hitzewarnungen nicht in vollem Umfang gewährleistet ist. Dies gelte insbesondere für eigenständig lebende ältere Menschen, die sich ihrer besonderen Vulnerabilität oft nicht bewusst sind. Die Warnungen führen in ihrer jetzigen Form nur teilweise zu verstärkten Hitzeschutzmaßnahmen (PAESEL & AUGUSTIN 2011). Einzelne Bundesländer, darunter auch Baden-Württemberg erarbeiteten Vorsorgekataloge „Hitze“. Als weitere Anpassungsmaßnahmen werden die Aufklärung über gesundheitliche Gefahren und Vorsorgemaßnahmen, Frühwarnsysteme mit zeitlich und räumlich differenzierten Warnungen, der Ausbau medizinischer Vorsorge und Versorgung, sowie die Berücksichtigung der

Gesundheitsprobleme in speziellen Programmen, Impfungen und Maßnahmen zum Eindämmen der Krankheitserreger genannt. Durch technische Schutzmaßnahmen (Isolierung, Kühlung) an exponierten Gebäuden, insbesondere Krankenhäuser, Heime etc. sowie durch eine klimaorientierte Stadtplanung und Architektur mit Schwerpunkt auf Erhaltung oder Schaffung von Frisch-/Kaltluftzufuhr, Kälteinseln, Kühlung (solare Kühlanlagen), Gehölzstrukturen, können Auswirkungen höherer Temperaturen vermindert werden.

**Tourismus:** Der Tourismus wird als grundsätzlich relativ sensibel gegenüber Veränderungen seiner Rahmenbedingungen angesehen, weil Reiseziele frei und freiwillig ausgewählt werden, und Wetter und Klima diese Entscheidung beeinflussen (ENDLER & MATZARAKIS 2010). Zwar werden Auswirkungen des Klimawandels von der Branche wahrgenommen, aber Anpassungsoptionen - mit Ausnahme der Schneesicherheit - werden kaum betrachtet und untersucht (JETZKOWITZ 2007). Er besitzt heute eine internationale Dimension, Ereignisse und Veränderungen können die Wettbewerbssituation zwischen Reisezielen in unterschiedlichen Regionen Europas oder der Erde verändern. Verschiedene Reiseformen sind unterschiedlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. So sind beispielsweise Bildungs-, Städtereisen oder Kulturreisen weniger anfällig, Bade- oder Wintertourismus dagegen stärker. Die meisten Winteraktivitäten sind an Schnee gebunden, Wintertourismus ist daher sensibel gegenüber Veränderungen der Schneeverhältnisse, zu wenig und zu viel Schnee sind von Nachteil. Für die Tieflagen der Alpen und viele Mittelgebirge ist seit 50 Jahren ein Rückgang der Schneesicherheit zu beobachten. Für die Zukunft werden in den Mittelgebirgen nur noch Lagen über 800 - 1000 m als einigermaßen sicher wintersportgeeignet eingeschätzt. Künstliche Beschneigung kommt nur kurz- bis mittelfristig als Lösung in Betracht. Der Sommertourismus in Deutschland könnte von steigender Luft- und Wassertemperatur und Sonnenscheindauer profitieren, vor allem, wenn es in den beliebten Mittelmeerländern im Sommer zu heiß wird. Höhere Temperaturen im Frühjahr und Herbst können die Badesaison deutlich verlängern. Zusammenhänge sind aber weniger eindeutig als beim Wintertourismus, auch bestehen Unterschiede zwischen den Sparten. So wurden in Baden-Württemberg 2003 deutlich weniger Besucher in Museen und Freizeitparks gezählt, dafür mehr in Biergärten und Bädern (IHK BADEN-WÜRTTEMBERG 2004). Indirekte Wirkungen können die Veränderungen auch dadurch auf den Tourismus entfalten, dass auch Landnutzung und Landschaftsstruktur („Eindruck intakter Natur“) die Akzeptanz von Tourismuszielen beeinflussen.

Die Auseinandersetzung mit Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Tourismus ist nicht prioritär. Reaktionen werden für relativ kurzfristig umsetzbar gehalten, der übliche Planungshorizont der Tourismusbranche beträgt 5 - 10 Jahre (ENDLER & MATZARAKIS 2010). Als Maßnahmen werden das Schaffen alternativer, weniger klima- und wetterabhängiger Angebote und das Erhöhen der Attraktivität von Destinationen durch Betonung von Herausstellungsmerkmalen wie der regionalen Identität (Kultur, Küche, ...) gesehen. Im Sommertourismus sind geeignete Maßnahmen wegen vielfältigerer Auswirkungen weniger gut vorhersehbar, hier wird insbesondere einer größeren Diversifizierung Bedeutung beigemessen. Der Wintertourismus sieht künstliche Beschneigung als Hauptstrategie gegen abnehmende Schneesicherheit. Sie kann aber wirtschaftlich nur an gut besuchten Orten mit hoher Beförderungskapazität und bei Temperaturen unter -4°C sinnvoll eingesetzt werden und wird damit langfristig für niedrigere Lagen keine Lösung bieten. Hinzu kommt, dass sie auch mit Naturschutzproblemen und negativen ökologischen Wirkungen (hoher Wasser- und Energieverbrauch) verbunden ist und damit umstritten ist. Als weitere Anpassungsstrategie wird auch hier die Diversifizierung, zum Beispiel geführte Wanderungen, Wellness- und Kulturangebote, gesehen.

**Verkehr:** Witterung und Wetter beeinflussen Sicherheit, Effizienz und Pünktlichkeit der Verkehrssysteme und wirken sowohl auf die Verkehrsmittel als auch auf die Infrastruktur. Allerdings spielen auch viele

weitere Einflussfaktoren eine wichtige Rolle, so dass Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen nur wenig thematisiert werden. Die von ZEBISCH et al (2005) befragten Experten sahen daher überwiegend keine besonderen Auswirkungen des Klima(wandel)s auf den Verkehrssektor und auch keine Notwendigkeit für besondere Anpassungsmaßnahmen.

Starkniederschläge können Hangrutschungen mit Straßenblockaden und Überflutung oder Unterspülung von Verkehrswegen auslösen. Hoch- und Niedrigwasserereignisse, behindern Schifffahrt auf nicht regulierten Wasserstraßen. Stürme können direkt (Oberleitungen) oder indirekt (umstürzende Bäume) den Verkehr behindern oder die Verkehrsinfrastruktur beschädigen. Die eventuell zunehmende Zahl von Extremereignissen (Stürme, Hagel, Hochwasser) gefährdet alle Verkehrssparten. Bei extremer Hitze sind Schäden an Straßenasphalt und Schienen möglich, an Hitzetagen ist mit höherer Unfallgefahr zu rechnen. Winterereignisse (Schnee, Eis, Nebel, Hagel) behindern den Verkehr und können auch Schäden an Straßen, Infrastruktur (blockierte Weichen etc.) und Brücken verursachen. In den prognostizierten Veränderungen für den Winter werden daher eher Chancen gesehen, weil mit steigenden Temperaturen weniger Frost- und Eistage auftreten. Im Sommer ist wegen der zunehmenden Zahl von Hitzetagen eher mit Problemen für den Straßenverkehr zu rechnen. Im Verkehrssektor überwiegen technische Anpassungsmaßnahmen wie beispielsweise neue Materialien für Straßenbeläge, Schutzeinrichtung und Trassenverlegungen (z. B. aus hochwassergefährdeten Gebieten). Gegen Wasserstandsschwankungen in Wasserstraßen könnten als Maßnahmen weitere Flussregulierungen angestrebt werden, diese stehen aber in starkem Widerspruch zu anderen Landnutzungszielen, insbesondere dem Naturschutz.

### **Notwendigkeit regionaler Anpassungsstrategien**

Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erscheinen beim derzeitigen Stand der Kenntnisse unumgänglich. Da deutsche Regionen in unterschiedlichem Ausmaß vom Klimawandel und seinen Folgen betroffen sind, sollten auch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auf regionaler Ebene ansetzen (CHRISCHILLES et al. 2010). Gerade Baden-Württemberg ist geprägt durch erhebliche regionale Unterschiede hinsichtlich Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen und naturräumlicher Gliederung (Relief, Böden, Klima, ...). Deshalb wird eine Anpassungsstrategie benötigt, die aus raumangepassten „Bausteinen“ mit Maßnahmen unterschiedlicher Priorität besteht. Diese können beispielsweise im Oberrheintal anders als im Schwarzwald aussehen. Was in einem Raum an Anpassungsmaßnahmen zwingend notwendig ist, kann im anderen vielleicht fehl am Platz sein oder über das Ziel hinauschießen, so dass ohne regionalen Bezug an falscher Stelle unnötig Ressourcen verbraucht werden könnten.

Projektionen zukünftiger Entwicklungen sind stets mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten beschränken sich nicht nur auf die Projektionen des Klimas, sondern auch auf kulturelle, gesellschaftliche, ökonomische oder politische Entwicklungen (z. B. KUHLCHE 2011). Es wäre vermessen – und gefährlich – anzunehmen, dass diese Unsicherheiten in absehbarer Zeit beseitigt werden könnten. Hinzu kommen weitere Unsicherheiten, die aus den Anpassungsmaßnahmen selbst resultieren können, beispielsweise können Hochwasserschutzmaßnahmen nicht nur das Abflussregime eines Gewässers, sondern auch den Naturschutzwert verändern. Sinnvolle Anpassungsstrategien sollten deshalb diese Unsicherheiten nicht als überwindbar betrachten, sondern die Unsicherheiten als immanenten Bestandteil des Systems sehen und integrieren (KUHLCHE 2011). Unter dieser Annahme müssen auch Anpassungsstrategien mit konkretem Raumbezug so angelegt sein, dass sie flexibel auf unvorhergesehene – unvorhersehbare? – Entwicklungen reagieren können und zur Berücksichtigung zukünftiger ökologischer, ökonomischer und sozialer Entwicklungen (Mensch und Natur) und möglicher Veränderungen hinsichtlich der Dynamik und der Ausmaße des Klimawandels und

seiner Auswirkungen gegebenenfalls nachjustiert werden können. Anpassungsstrategien müssen daher Anpassungsprozesse sein. Ein Prüf- und Kontrollsystem (Monitoringsystem) der Anpassungsmaßnahmen ist deshalb unbedingt notwendig. Eine Anpassungsstrategie, deren einzelne Maßnahmen mit einem Monitoringssystem gekoppelt sind, kann in ihrer Effizienz und Wirkung validiert und gegebenenfalls den sich wandelnden Erfordernissen angepasst werden. So können knappe Ressourcen zielorientiert eingesetzt werden.

### **Zustandekommen des Forschungsprojekts**

Vor dem Hintergrund dieser Ausgangslage wurde vom Referat 23 - Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel - der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) die Konzeption für ein entsprechendes Forschungsvorhaben an das Institut für Landespflege herangetragen. Auf Antrag konnte im Rahmen des Forschungsprogramms „Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS) – Teil 2 Angewandte Forschung und Modellprojekte“ eine Förderung des Vorhabens mit Landesmitteln realisiert werden.

## 1.2 Ziele

Ziel des Projekts „Entwicklung eines Konzepts zum Monitoring von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen für einen Modellraum in Baden-Württemberg“ war es, zur Entwicklung der Anpassungsstrategie Baden-Württemberg beizutragen und die Umsetzung der Anpassungsstrategie in den regionalen und naturräumlichen Strukturen und den damit verbundenen Prozess zu fördern. Es sollten die notwendigen Parameter (Indikatoren) eines Monitorings für Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen erarbeitet werden.

## 1.3 Vorgehensweise

### 1.3.1 Datenerhebung

Neben einer allgemeinen Literaturlauswertung zur Thematik der Auswirkungen von Wetter, Witterung, Klima und Klimawandel auf die betrachteten Sektoren der Landnutzung wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit Vertretern von Behörden in der Modellregion geführt, um gebietspezifische Besonderheiten herauszufinden. Weiterhin wurden von öffentlichen und (wenigen) nichtöffentlichen Institutionen mündlich und schriftlich Informationen eingeholt und Daten erhoben.

Es wurden Experteninterviews mit Vertretern mit folgenden Institutionen geführt:

Regierungspräsidium Freiburg	Ref. 83 - Fachbereich Waldbau, Klimawandel, Forsteinrichtung und FGeo Ref. 53.1 - Gewässer I. Ordnung, Hochwasserschutz, Planung und Bau Ref. 56 - Naturschutz und Landschaftspflege Ref. 93 - Landesbodenkunde
Stadt Freiburg	Städtisches Forstamt Umweltschutzamt: Umweltplanung, Landschaftsökologie und Naturschutz Stadtplanungsamt
Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald Landratsamt	FB 580 - Landwirtschaft FB 440 - Wasser & Boden FB 680 - Straßenplanung und Bau
Landkreis Emmendingen Landratsamt	21 - Landwirtschaftsamt 51 - Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz 50 - Amt für Bauen und Naturschutz 43 - Gesundheitsamt

Informationen aus den Experteninterviews sind im Text (Kapitel 4 und 5) stets *kursiv* gedruckt, um sie von Angaben aus der allgemeinen Literatur oder anderen Quellen abzuheben.

Von folgenden weiteren Institutionen im Modellgebiet haben wir Daten und Literatur erhalten:

- Staatliches Weinbauinstitut
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
- Schutzgemeinschaft Libellen

Die in Kapitel 3. verwendeten Wetterdaten von insgesamt 11 Wetterstationen im Modellgebiet wurden vom DWD im Rahmen des Dienstes Webwerdis zur Verfügung gestellt.

## 1.3.2 Datenaufbereitung und Aufbau des Berichts

Der folgende Bericht charakterisiert in Kapitel 2 kurz den Modellraum anhand seiner Landschaftsausstattung, der naturräumlichen Gliederung und der vorherrschenden Landnutzung. Dies geschieht überwiegend mit einer Reihe von Karten, die aus öffentlich zugänglichen Quellen wie dem Räumlichen Informations- und Planungssystem RIPS der LUBW erstellt wurden.

In Kapitel 3 werden das rezente Klima und die Projektionen des Klimawandels für den Zeitrahmen bis 2050 beschrieben. Die Aussagen zum Wetter und Klima der letzten Dekaden in Abschnitt 3.1 basieren auf den Wetterdaten von 8 der 11 im Modellraum liegenden Wetterstationen des DWD und dienen der weiteren Charakterisierung des Modellraums. Es wurde einerseits versucht, möglichst lange Datenreihen zu verwenden, andererseits sollten die ausgewählten Stationen die unterschiedlichen Naturräume des Modellgebiets repräsentieren. Nach einem allgemeinen Überblick folgt eine Auswertung langfristiger klimatischer Trends, soweit diese aus den vorhandenen Wetterdaten ableitbar sind. Diese Auswertung soll nicht als Grundlage für Projektionen dienen, sondern lediglich verdeutlichen, ob und in welchem Ausmaß anhand der Wetterdaten Veränderungen relevanter Parameter (Schneehöhe, ...) oder Kenntage (Sommertage, Hitzetage, ...) erkennbar werden. Weiterhin werden Wetter-Extremereignisse der letzten Dekaden im Modellraum aufgezeigt. Hier sind auf Grund der Seltenheit solcher Ereignisse und der relativen Kürze der Wetter-Datenreihen keine Aussagen zu Tendenzen möglich. Erst in Abschnitt 3.2 werden auf Grundlage eines Ensembles von 17 - 19 regionalen Klimamodellierungen die Klimaprojektionen für den Modellraum dargestellt. Es wird außerdem versucht, die klimatischen Veränderungen im Modellraum mit dem übrigen Land in Beziehung zu setzen.

Kapitel 4 stützt sich überwiegend auf die Ergebnisse der Expertenbefragungen und stellt das für den Modellraum zusammengetragene Datenmaterial über die einzelnen Sektoren der Landnutzung dar. Schwerpunkte der Betrachtung sind

- die von den Experten im Modellgebiet wahrgenommenen bisherigen Auswirkungen von Wetter und Klima auf den jeweiligen Sektor, also reale Wirkungen, die nicht zwangsläufig mit Veränderungen des Klimas verbunden sein müssen
- die Gefährdungen und Chancen, die sich nach Meinung der Experten aus den zurzeit diskutierten Klimaveränderungen sowie auch teilweise von den Experten wahrgenommener Tendenzen in der Modellregion ergeben könnten, also eher Projektionen
- die aus den Expertengesprächen abgeleitete Vulnerabilität des Sektors im Modellraum  
Vulnerabilität kann ganz allgemein als Verletzbarkeit, im Zusammenhang mit dem Klimawandel auch als Empfindlichkeit von Systemen gegenüber Veränderungen bezeichnet werden. ZEBISCH et al. (2005, 16) definieren Vulnerabilität (gegenüber dem Globalen Wandel) als Wahrscheinlichkeit, mit der ein System durch „Veränderungen in der Gesellschaft oder der Umwelt und unter Berücksichtigung seiner Anpassungskapazität“ Schaden nehmen kann. Als Beispiele werden genannt: „Siedlungsgebiete die in Überflutungspoldern liegen, ... gegenüber Starkniederschlägen; Menschen, die natürliche Flussläufe für Rekreation und Inspiration nutzen, ... gegen Landnutzungswandel wie Flussbegradigungen. Ältere Menschen, die außerhalb eines sozialen Pflegenetzes leben, ... gegenüber sommerlichen Hitzewellen“. ZEBISCH et al. unterscheiden eine aktuelle Vulnerabilität ohne Anpassungsmaßnahmen und eine Vulnerabilität mit beziehungsweise nach Umsetzung von Maßnahmen. Im vorliegenden Bericht wird die Vulnerabilität der behandelten Landnutzungssektoren im Modellraum

aus den in Expertengesprächen aufgezeigten Gefährdungen abgeleitet. Es handelt sich dabei in der Regel um die aktuelle Vulnerabilität. Nach BIRKMANN et al. (2010) bezieht sich Vulnerabilität auf potenziell besonders vom Klimawandel betroffene Regionen mit Häufung anfälliger Strukturen wie Landnutzungsformen oder Wirtschaftsbereichen.

- welche Anpassungsmaßnahmen nach Informationen der Experten aus Fachbehörden bereits im Modellraum umgesetzt worden sind

Dies betrifft in erster Linie geplante und gesteuerte Maßnahmen<sup>2</sup>; dabei kann es sich durchaus um Maßnahmen handeln, die ursprünglich nicht mit dem Ziel der Anpassung an Klimaänderungen eingeleitet wurden oder auch heute nicht primär zu diesem Zweck umgesetzt werden. Es können aber auch autonome Anpassungsmaßnahmen sein, die spontan und ohne behördliche Koordination von betroffenen Akteuren (Landwirte etc.) umgesetzt werden. Weiterhin sind auch indirekt auf den Klimawandel zurückzuführende Effekte zu betrachten, wie veränderte Fruchtfolgen in der Landwirtschaft zur Produktion von Energiepflanzen.

- welche Indikatoren für den jeweiligen Landnutzungssektor im Modellraum in Verbindung mit Klimaveränderungen von Bedeutung sein können

Hier ist von einem Indikatorensystem mit mehreren Hierarchieebenen auszugehen. Indikatoren sind Merkmale, die auf bestimmte Sachverhalte oder Ereignisse hinweisen oder (statistisch) verwertbare Anzeichen für bestimmte Entwicklungen liefern können<sup>3</sup>. Indikatoren für den Klimawandel sind demnach Anzeiger für klimawandelbedingte Veränderungen, beispielsweise die Lufttemperatur oder phänologische Ereignisse. In einer Rangfolge weiter unten angesiedelt wären abhängige Indikatoren, wie die Grünland-Temperatursumme, der Huglin-Index (siehe 4.1.4) oder in der Forstwirtschaft die Menge sogenannter „zufälliger Nutzungen“, die aufgrund klima- oder klimawandelbedingter Ereignisse (z. B. Stürme, Käferkalamitäten, Trockenheit) anfällt (siehe 4.2.4). Ein Anpassungsindikator hingegen ist ein Merkmal, das zeigt, ob und in welchem Maß ein Raum oder ein bestimmter Sektor an die Herausforderungen des Klimawandels schon heute angepasst ist.<sup>4</sup> Hier wären beispielsweise der Anteil von Mischwald an der gesamten Waldfläche oder auch der oben beschriebene Anteil zufälliger Nutzungen mit Ursachen in Wetterereignissen zu nennen.

Kapitel 5 stellt die im Modellgebiet bestehenden Monitoringsysteme zusammen, die von den Experten genannt oder aus der Literatur (z. B. Waldzustandsberichte) entnommen wurden. Außerdem werden Anregungen der Experten zu weiteren Monitoringaktivitäten dargestellt.

In Kapitel 6 werden die Grundzüge eines regionalen Monitoring für das Modellgebiet entworfen und Vorschläge für ein Set von Indikatoren gemacht. Weiterhin wird die Übertragbarkeit des regionalen Monitoringsystems auf andere Regionen betrachtet.

---

<sup>2</sup> Die Anpassung natürlicher und menschlicher Systeme an Klimaauswirkungen wird als Reaktion auf tatsächliche oder erwartete Veränderungen verstanden, um die Gefahr von Schäden oder Nachteilen zu verringern (nach IPCC 2001).

<sup>3</sup> Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Indikator>, <http://www.duden.de/rechtschreibung/Indikator>; 5.10.2011

<sup>4</sup> SCHÖNTHALER et al. (2011) bezeichnen diese als Impact- und Response-Indikatoren.

# 2 Der Modellraum

## 2.1 Auswahlkriterien und Auswahl des Modellraums

Folgende Auswahlkriterien wurden an den zu untersuchenden Modellraum gestellt. Er sollte

- aufgrund des Klimas, der Naturausstattung und weiterer natürlicher Dispositionsfaktoren bereits heute von Extremereignissen (Hochwasser, Hagel- und Sturmereignisse, Hitzestress etc.) überdurchschnittlich betroffen sein,
- durch viele und starke Gradienten (Höhenlage, Klima, ...) gekennzeichnet sein,
- Transektcharakter auf der Grundlage unterschiedlicher Höhenlagen aufweisen,
- gefährdete Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen besitzen,
- schützenswerte Lebensräume und Lebensgemeinschaften an Tieren und Pflanzen enthalten sowie
- gut dokumentiert sein. So sollten beispielsweise Daten von Wald-, Grünland- und Fließgewässer-Dauerbeobachtungsflächen oder Dauerbeobachtungsstellen der LUBW, eines hydrologischen Pegelnetzes und von einer ausreichenden Anzahl DWD- Wetterstationen verfügbar sein.

Auf Grundlage dieses Anforderungsprofils wurden bereits bei der Antragstellung und bei Vorgesprächen vom Oberrheintal bis auf die Schwarzwaldhöhen reichende Modellräume favorisiert. ZEBISCH et al. (2005) stellen fest: „In Südwestdeutschland (Oberrheingraben) stellen vor allem die hohen Temperaturen ein Problem dar. Hier, wo schon aktuell die höchsten Temperaturen in Deutschland gemessen werden, wird in Zukunft mit der stärksten Erwärmung innerhalb Deutschlands gerechnet<sup>5</sup>. Das bringt „hohe“ Vulnerabilitäten ohne weitere Maßnahmen im Bereich Gesundheit mit sich. Auch Land- und Forstwirtschaft sind aktuell „hoch“ vulnerabel gegenüber einer schnellen Erwärmung. Hinzu kommt eine steigende Gefahr von Hochwasser im frühen Frühjahr, ausgelöst durch eine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter sowie eine Zunahme von Starkregenereignissen“.

In die nähere Auswahl wurden schließlich folgende drei Gewässer-Einzugsgebiete aufgenommen (Abbildung 2-1):

- Gebiet Renchtal von der Hornisgrinde (1.055 m + NN) bis zur Mündung der Rench bei Helmlingen (125 m + NN)
- Gebiet Dreisamtal vom Feldberg (1.493 m + NN) bis zur Mündung des Leopoldskanals in den Rhein (165 m + NN)
- Gebiet Münstertal mit den Gewässern Neumagen und Möhlin vom Belchen (1.414 m + NN) bis zur Mündung der Möhlin bei Breisach (200 m + NN)

---

<sup>5</sup> siehe hierzu 3.2.1

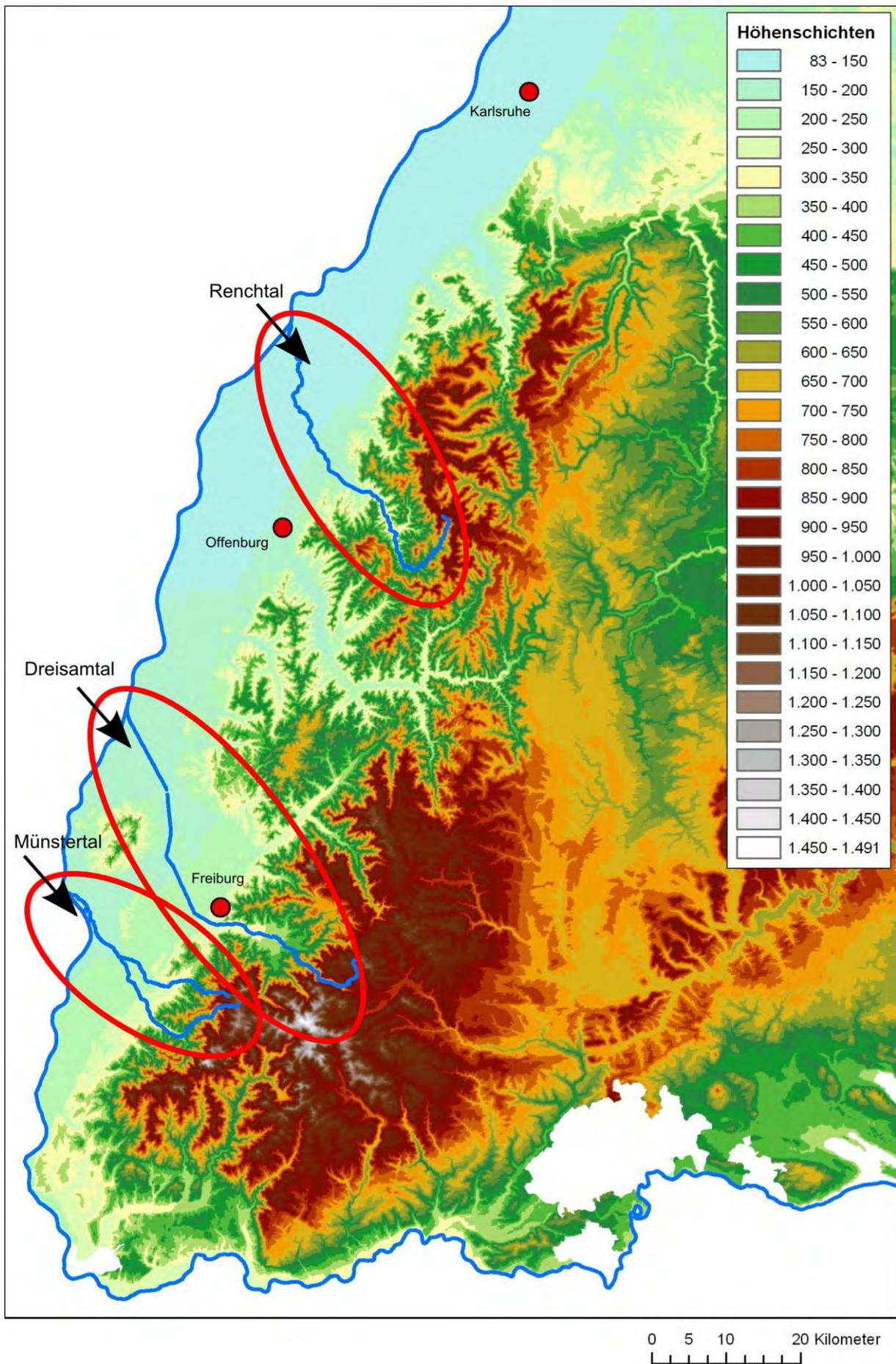


Abbildung 2-1: Potenzielle Modellräume in Baden-Württemberg (Kartengrundlage: Räumliches Informations- und Planungssystem, LUBW)

Wesentliche Vorteile des Modellgebiets Dreisamtal gegenüber den beiden anderen in Frage kommenden Gebieten sind der große Höhenunterschied vom Feldberg bis zur Rheinebene, die – vor allem im Vergleich zu Neumagen/Möhlin – ausgeprägteren Hochwasserereignisse in der Vergangenheit, der größere Anteil von Industrie- und Infrastrukturflächen sowie die zeitnahe Verfügbarkeit der Hochwassergefahrenkarten (RP Freiburg). Die Schwarzwaldhöhen im Bereich des Renchtals erreichen kaum mehr als 1.000 m. Im Münsterthal waren in jüngerer Zeit keine außergewöhnlichen Hochwasserereignisse aufgetreten. Die Fertigstellung der Hochwassergefahrenkarten für das Renchtal war im Projektzeitraum nicht zu erwarten.

Als größter Nachteil des Modellraums Dreisamtal muss vor allem angesehen werden, dass er den Landkreisen Emmendingen und Breisgau-Hochschwarzwald sowie der Stadt Freiburg zugeordnet ist. Die Datenerhebung ist hier im Vergleich zu einem Gebiet innerhalb einer einzigen Verwaltungseinheit mit einem deutlichen Mehraufwand verbunden.

Nachdem die Auswahl des Modellgebietes abgeschlossen war, musste eine konkrete Abgrenzung des Modellraumes erfolgen. Zu diesem Zwecke wurde im GIS eine Linie vom Gipfel des Feldberges über die Innenstadt Freiburgs (genauer über den Freiburger Münster) bis zur Mündung des Leopoldskanals in den Rhein gezogen. Diese gedachte Linie hat eine Länge von knapp 49 Kilometern. Durch eine beidseitige Pufferung von 6 Kilometer um diese Linie wurde ein Transekt erstellt. Das so ermittelte Transekt reicht von den höchsten Erhebungen des Schwarzwaldes bis an den Rhein (Abbildung 2-2).

Anschließend wurde das Transekt unter Zuhilfenahme der topografischen Karte im Maßstab 1:200.000 weiter bearbeitet. Ziel war es einen Modellraum zu schaffen, der konkret hauptsächlich durch Straßen aber auch durch die Bahnlinie im Höllental begrenzt ist. Im Westen endet der Modellraum am Rhein. Dies bietet den Vorteil, dass die Abgrenzung des Modellraumes anhand eines sichtbaren (realen) Objektes (Straßen, Bahnlinie, Fluss) auch im Gelände real leicht bestimmbar ist. Eine Ausnahme von dieser Vorgehensweise wurde dann gemacht, wenn Naturschutzgebiete den 6-km-Puffer nach Außen überragten. Hier wurde die gesamte Fläche der betroffenen NSG's beibehalten, so dass in einigen Fällen auch diese die äußere Umrandung des Modellraumes darstellen (Abbildung 2-2). Insgesamt ergibt sich eine Flächengröße von etwa 670 km<sup>2</sup> für den Modellraum.

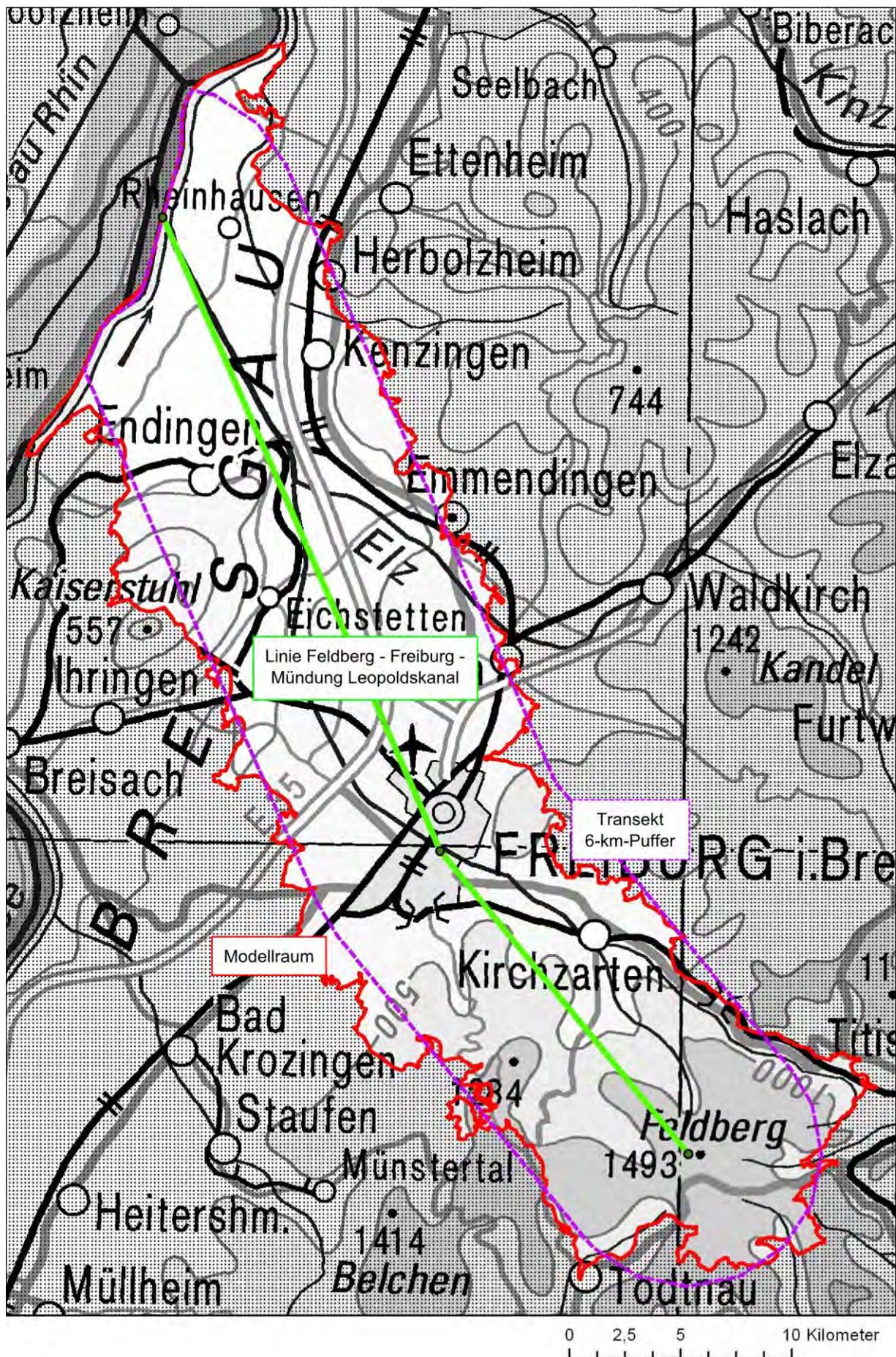


Abbildung 2-2: Transekt des Modellraums Dreisamtal (Kartengrundlage: Räumliches Informations- und Planungssystem, LUBW)

## 2.1.1 Landschaftsgliederung, Landschaftsausstattung und Landnutzung

### 2.1.1.1 Orographie und Gewässer des Modellraumes

In Abbildung 2-3 sind die orographischen Verhältnisse und die größeren Gewässer des Modellraumes dargestellt. Höchster Punkt im Modellraum ist der Gipfel des Feldberges mit 1.493 m ü. NN, der tiefste Punkt mit 156 m ü. NN liegt in der Rheinniederung an der nördlichen Begrenzung des Modellraumes. Aus Abbildung 2-4 gehen die Flächenanteile von Höhenklassen in 50-Höhenmeter-Schritten hervor. Knapp 59 % der Fläche des Modellraumes liegt unterhalb 300 m im Bereich der planaren und kollinen Höhenstufen. Die sich anschließende submontane Stufe bis 450 m hat einen Flächenanteil von ca. 10 %. 31 % der Fläche des Modellraumes befindet sich in der montanen Höhenstufe über 450 m ü. NN.

Die Dreisam entsteht durch den Zusammenfluss mehrerer Schwarzwaldtäler im Zartener Becken. Der aus dem Höllental kommende Rotbach wird als Oberlauf der Dreisam angesehen. Ihm fließen Wagensteigbach (mit Ibenbach), Zastler Bach, Brugga und in FR-Ebnet der Eschbach zu. Oberhalb Riegel, kurz vor dem Beginn des Leopoldskanals münden die Glotter und die Alte Dreisam ein (RP FREIBURG 2007).

Die Dreisam wurde von 1817-1846 von Freiburg bis Riegel korrigiert und ist auf dieser Strecke von 27 km Länge massiv ausgebaut, vorwiegend im Doppeltrapezprofil. Der Abfluss im Jahresgang ist typisch für ein Gewässer des Schwarzwaldes: Im Winter und Frühjahr werden die größten Wassermengen abgeführt (höchster registrierter Abfluss 155 m<sup>3</sup>/s, Pegel Ebnet), im Sommer und Herbst herrscht Niedrigwasser. Der mittlere Jahresabfluss MQ am Pegel Ebnet beträgt circa 6,4 m<sup>3</sup>/s (RP FREIBURG 2007).

Die Elz entspringt unterhalb des Rohrhardsbergs, fließt zuerst in Richtung Norden und ab Oberprechtal nach Südwesten bis Waldkirch. Sie hat eine Länge von insgesamt 56,2 km. Nach der Einmündung in die Breisgauer Bucht ist sie seit Mitte des 19. Jahrhunderts im Doppeltrapezprofil gefasst, hier beträgt das Gefälle noch 3-4 ‰. Der mittlere Abfluss am Pegel Gutach beträgt circa 11 m<sup>3</sup>/s, der niedrigste Abfluss 0,5 m<sup>3</sup>/s. Das HQ<sub>100</sub> der Elz liegt bei 350 m<sup>3</sup>/s (RP FREIBURG 2007).

Bei Riegel mündet die Dreisam in die Elz. Hier beginnt der im Jahr 1842 fertig gestellte Hochwasserentlastungskanal „Leopoldskanal“. Mittlere und niedrige Abflüsse bis 8 m<sup>3</sup>/s werden im Bett der 24,9 km langen Alten Elz, Hochwasserabflüsse im Leopoldskanal dem Rhein zugeführt. Der Leopoldskanal wird nur mit einer Restwassermenge von 450-600 l/s gespeist und springt als Flutkanal erst an, wenn Elz und Dreisam mehr als 8 m<sup>3</sup>/s führen. Er ist für ein HQ<sub>100</sub> von 512 m<sup>3</sup>/s ausgelegt. Der Leopoldskanal ist 12,5 km lang und als Doppeltrapezprofil ausgebaut. Sohlschwellen im Abstand von 30 m bis 200 m sollen Tiefenerosion verhindern.

Das Teileinzugsgebiet der Dreisam umfasst 597 km<sup>2</sup>, das der Elz 503 km<sup>2</sup>. Das Einzugsgebiet des Flussgebietes Elz/Dreisam ist insgesamt 1.314 km<sup>2</sup> groß. Der Leopoldskanal hat als Hochsystem kein natürliches Einzugsgebiet (RP FREIBURG 2007).

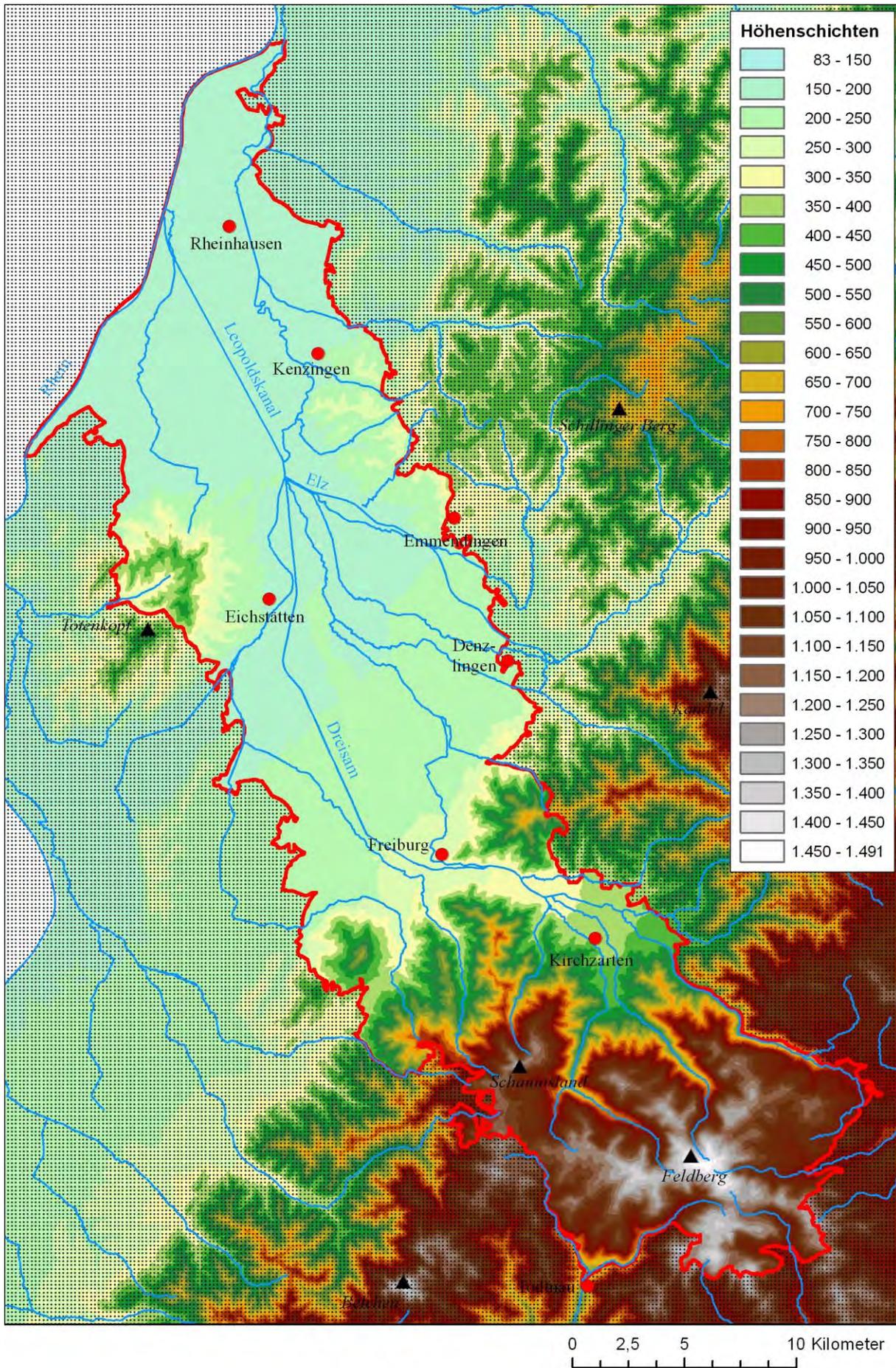
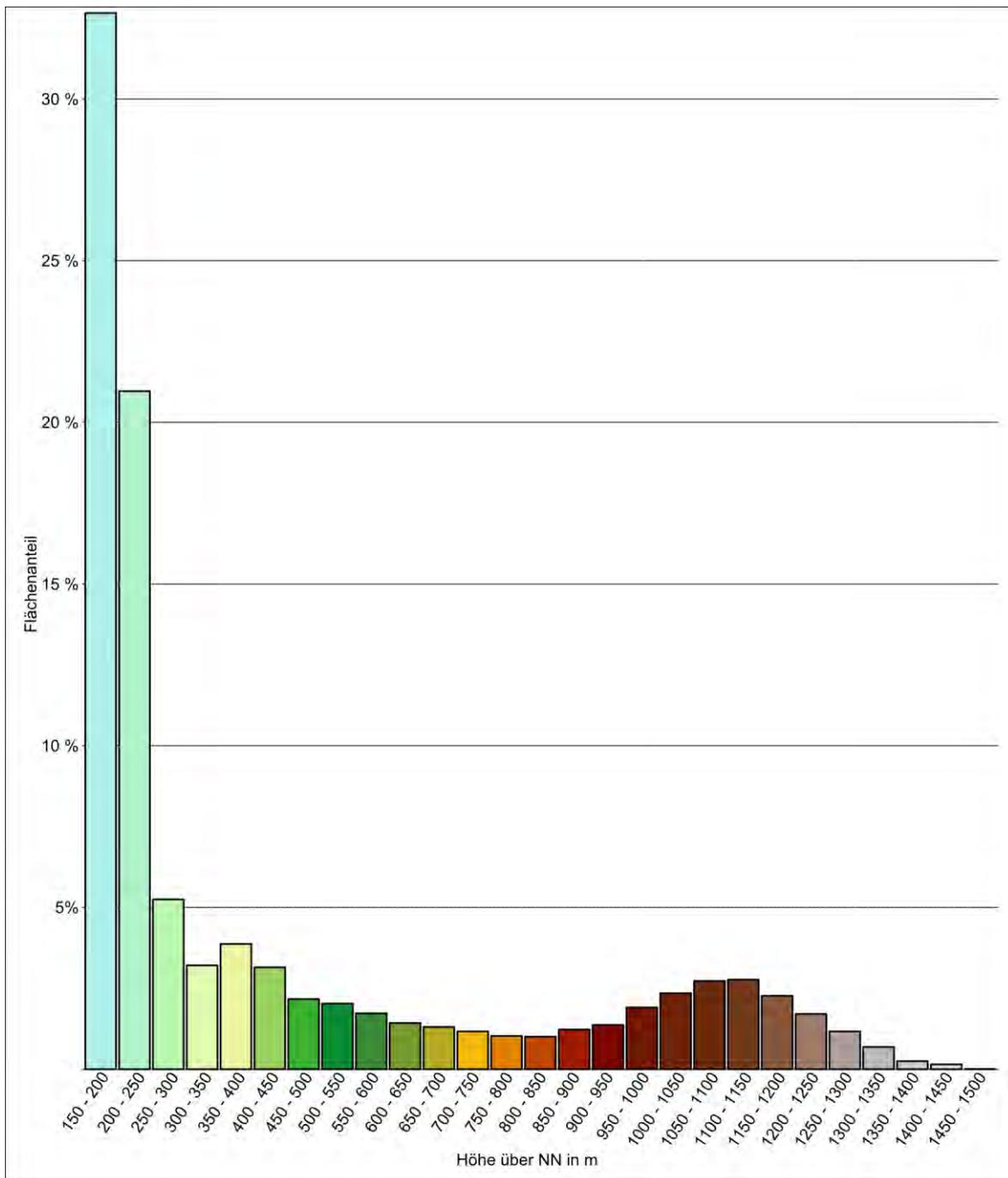


Abbildung 2-3: Höhenmodell und Gewässernetz des Modellraums (Quelle: Räumliches Informations- und Planungssystem, LUBW)



**Abbildung 2-4. Flächenanteile der Höhenschichten im Modellraum**

### 2.1.1.2 Naturräumliche Gliederung

Bedingt durch seinen Transektcharakter mit einem möglichst ausgeprägten Höhengradienten liegt der Modellraum Dreisamtal im Schnittpunkt zweier oder dreier Großlandschaften: Schwarzwald (15), südliches (20) und mittleres (21) Oberrhein-Tiefland nach der Gliederung in FISCHER & KLINK (1967) und REICHEL (1964). Nach SSYMANK (1994) liegt der Modellraum in den Raumeinheiten Schwarzwald (D 54) und Oberrheinisches Tiefland/Rhein-Main-Tiefland (D 53) Er hat Anteil an den Naturräumen Hochschwarzwald, Freiburger Bucht, Lahr-Emmendinger Vorberge, Kaiserstuhl und Offenburger Rheinebene.

Um den Modellraum hinsichtlich seiner naturräumlichen Ausstattung detaillierter zu differenzieren wurden die Kartierungen im Maßstab 1:200.000 Blatt 177, Offenburg (FISCHER & KLINK 1967) und Blatt 185, Frei-

burg i. Br. (REICHELT 1964) sowie die Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg im Maßstab 1:200.000 herangezogen. Es ergibt sich daraus die in Abbildung 2-5 dargestellte naturräumliche Gliederung. In Tabelle 2-1 sind die Höhenlage und die Größe der in Abbildung 2-5 dargestellten Raumeinheiten zusammengefasst.

**Tabelle 2-1: Naturräumliche Gliederung des Modellraumes HE = Haupt-, UE = Untereinheit**

HE	UE	Untereinheit	Bezeichnung der Teileinheit	Höhe Ø	Höhe Spanne	Größe km <sup>2</sup>
15	153	Mittlerer Schwarzwald	Ottoschwandener Buntsandsteingebiet	326 m	261-374 m	0,7
	155	Südlicher Schwarzwald (Hochschwarzwald)	Südlicher Hochflächenschwarzwald	1.112 m	623-1.491 m	75,6
			Oberrieder Täler und Höllental	905 m	407-1.480 m	76,1
			Schauinsland-Freiburger Kämmen	619 m	278-1.279 m	66,4
			Zartner Becken	380 m	316-519 m	16,4
			Roskopf-Flaunser Kamm	413 m	235-729 m	20,3
20	201	Markgräfer Hügelland	Schönberg	378 m	223-635 m	14,0
	202	Freiburger Bucht	Mooswald- und Elz-Dreisam-Niederung	204 m	177-274 m	137,2
			Nimburger Rücken	213 m	183-250 m	7,8
	203	Kaiserstuhl mit Sasbach-Jechtinger Höhen und Limberg	Kaiserstuhl	276 m	178-512 m	44,8
-	-	-	Großraum Freiburg	260 m	211-429 m	36,5
21	210	Straßburg-Offenburger Rheinebene	Forchheimer Niederterrassenplatte	174 m	164-189 m	47,9
			Whyler- und Elzniederung	169 m	156-192 m	54,8
			Mahlberg-Kippenheimweiler Platte	168 m	159-173 m	9,1
			Weisweiler Wald- und Mooraue	166 m	156-178 m	22,4
	211	Lahr-Emmending. Vorberge	Emmendinger Vorberge	220 m	169-334 m	31,2
-	-	-	Großraum Emmendingen	202 m	189-267 m	7,2

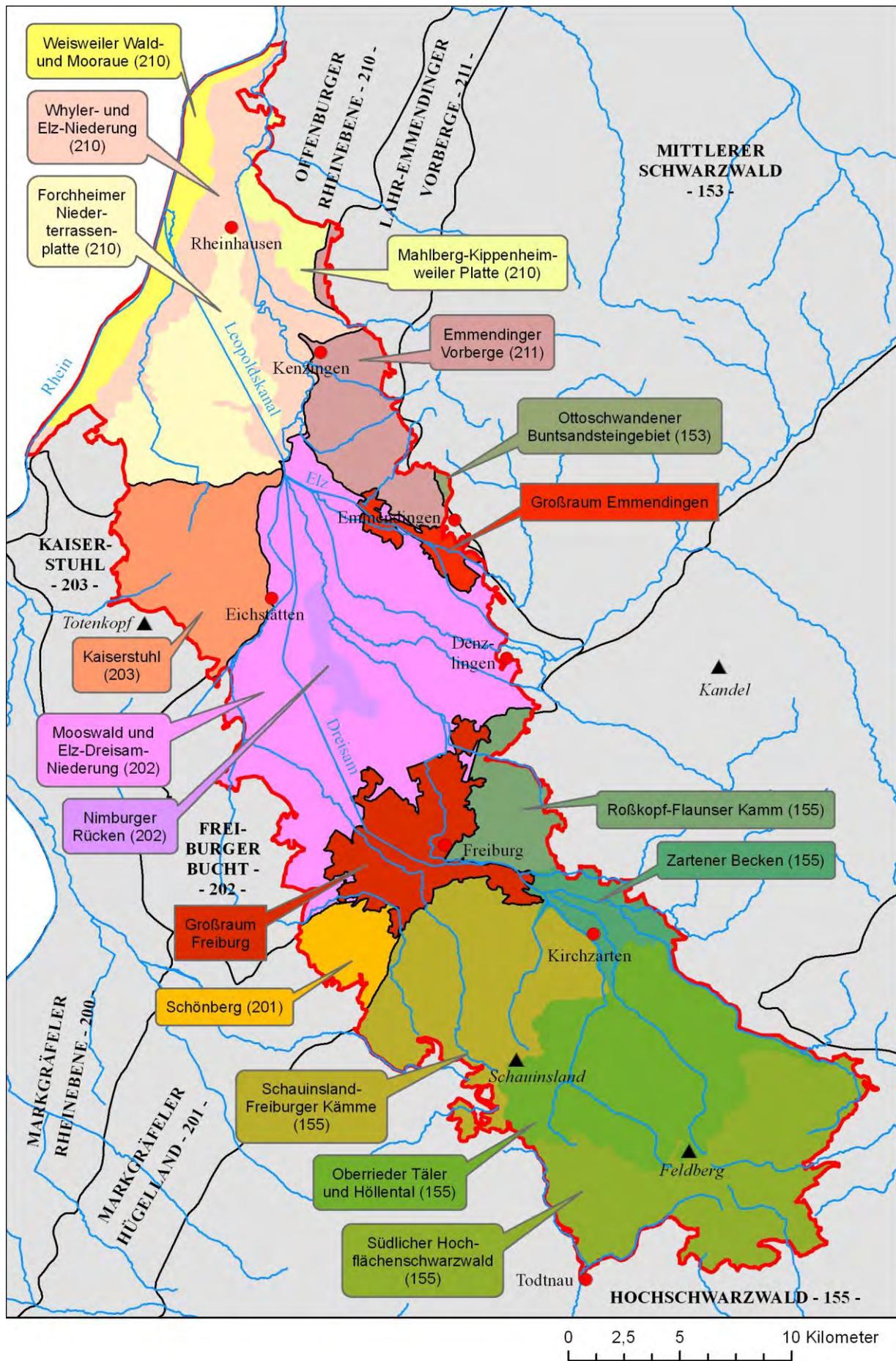


Abbildung 2-5: Naturraumgliederung im Modellraum nach FISCHER & KLINK, REICHELT und BÜK 200

## **Südlicher Schwarzwald (Hochschwarzwald)**

Im Modellraum befinden sich fünf Teileinheiten, die mit weiteren Teileinheiten den Südlichen Schwarzwald oder Hochschwarzwald bilden. Die höchsten Erhebungen liegen im Bereich des Südlichen Hochflächenschwarzwaldes. Es handelt sich um eine in zahlreiche Kämmen aufgelöste Firstlandschaft, die im Wesentlichen aus Gneisen aufgebaut ist. Durch einen scharfen Geländeknick gekennzeichnet schließen sich westlich davon die hängigen Oberrieder Täler und das streckenweise klammartige Höllental sowie die Teileinheit Schauinsland Freiburger Kämmen an (REICHEL 1964).

Das Zartener Becken ist eine von steilen Waldkämmen umgebene Schotterfläche auf 300-400 m ü. NN, die durch Bäche zerschnitten und dadurch in trockenere Acker-Schotterfelder und Wiesenauen gegliedert ist (REICHEL 1964). Der sich nordwestlich an das Zartener Becken anschließende aus Gneisgestein aufgebaute Roskopf-Flaunser Kamm bildet die fünfte Teileinheit des Südlichen Schwarzwaldes im Modellraum.

## **Schönberg**

Der zur Untereinheit Markgräfer Hügelland gehörende Schönberg ist eine von Verwerfungen durchsetzte Bruchscholle mit vollständiger Schichtserie vom Buntsandstein bis zum Oligozän. Der Schönberg setzt sich besonders deutlich vom angrenzenden Schwarzwald ab und erscheint daher als einheitliches Vorbergmassiv (REICHEL 1964).

## **Freiburger Bucht**

Die Freiburger Bucht ist ein von wärmzeitlichen Schottern aus dem Schwarzwald bedecktes Bruchfeld. Die Schotterflächen sind nach NW geneigt und wird von zahlreichen lößbedeckten mesozoischen Schollen durchragt (FISCHER & KLINK 1967, REICHEL 1964).

Eine Reihe von Untereinheiten des Naturraums Freiburger Bucht liegen ganz oder teilweise im Untersuchungsgebiet. Anteil haben vor allem die Elz-Dreisam-Niederung, der Mooswald, der Nimburger Rücken, sowie das besiedelte Gebiet der Stadt Freiburg sowie Teile des Emmendinger Siedlungsgebietes, die zwar in der Literatur nicht als eigene naturräumliche Einheiten ausgewiesen sind, aufgrund ihrer urbanen Struktur aber einen eigenständigen Charakter besitzen.

## **Kaiserstuhl**

Der Untersuchungsraum berührt den nordöstlichen Kaiserstuhl mit den Gemarkungen Bötzingen, Eichstetten, Bahlingen, Riegel und Edingen. Im Untergrund besteht der Kaiserstuhl aus vulkanischen Gesteinen, z. T. auch aus Kalken und Mergeln, die von einer bis zu 20 m mächtigen Lößdecke verhüllt werden (FISCHER & KLINK 1967).

## **Offenburger Rheinebene**

Stromabwärts von Riegel fließen Dreisam, Elz und Glotter im Leopoldskanal zum Rhein. Die Forchheimer Niederterrasse, das untere Elztal mit dem Flusslauf der alten Elz und den Elzwiesen zwischen Rheinhausen und Herbolzheim, die Whyler Niederung, der südliche Teil der Mahlberg-Kippenheimweiler Platte sowie die Weisweiler Rheinaue gehören hier zum Untersuchungsgebiet. Die Rheinebene ist hier eine von feuchten Niederungen durchzogene und dadurch aufgelöste Niederterrassenfläche. Charakteristisch ist der Gegensatz zwischen Aue, teilweise überschwemmten und stark aufgeschotterten Niederungen der Nebenflüsse und höher gelegenen, teilweise bewaldeten Resten der Niederterrassenplatte (FISCHER & KLINK 1967).

## Emmendinger Vorberge

Die Emmendinger Vorberge erheben sich zwischen circa 200 und 300 m ü. NN zwischen Schwarzwald und Rheinebene nördlich der Elz. Die Hügel sind teilweise lössüberlagert, stellenweise prägen aber auch Jura- oder Trias-Gesteine die Oberflächenformen (FISCHER & KLINK 1967). Auf Grund der südwestlichen Exposition und der günstigen Hügellage nehmen Weinberge große Flächen ein, die (schwemm-) lössbedeckten Talmulden werden meist ackerbaulich genutzt, geringe Anteile auch als Grünland, darunter auch Streuobstwiesen.

### 2.1.1.3 Landnutzung

Die dominierenden Landnutzungsformen im Modellraum sind Wald mit über 40 % und Acker mit etwas mehr als 23 % Flächenanteilen (Abbildung 2-6). Differenziert man die Waldnutzung im Modellraum ergibt sich folgendes Bild: Nadelwälder haben mit 17 % den größten Flächenanteil, gefolgt von Laub- (13 %) und Mischwald (10 %). Die Nadel- und Mischwälder befinden sich im Modellraum ausschließlich im Bereich des Schwarzwaldes, Laubwälder hingegen findet man nur in tieferen Lagen der Breisgauer Bucht (Mooswald) und der Oberrheinniederung (Abbildung 2-7). In diesen tieferen Lagen dominiert der Ackerbau. Wiesen und Weiden mit einem Flächenanteil von 9 % haben im Modellraum ihre Hauptverbreitung im Schwarzwald. Weinbauflächen finden sich in den Hanglagen des Kaiserstuhls, der Emmendinger Vorberge, des Schönbergs und im Bereich des Nimburger Rückens. Insgesamt wird auf 5,6 % der Fläche des Modellraumes Wein angebaut. Siedlungsräume (= Flächen nicht-durchgängig städtischer Prägung) haben einen Anteil von knapp 10 %; zum überwiegenden Teil in den Ballungsräumen Freiburg und Emmendingen.

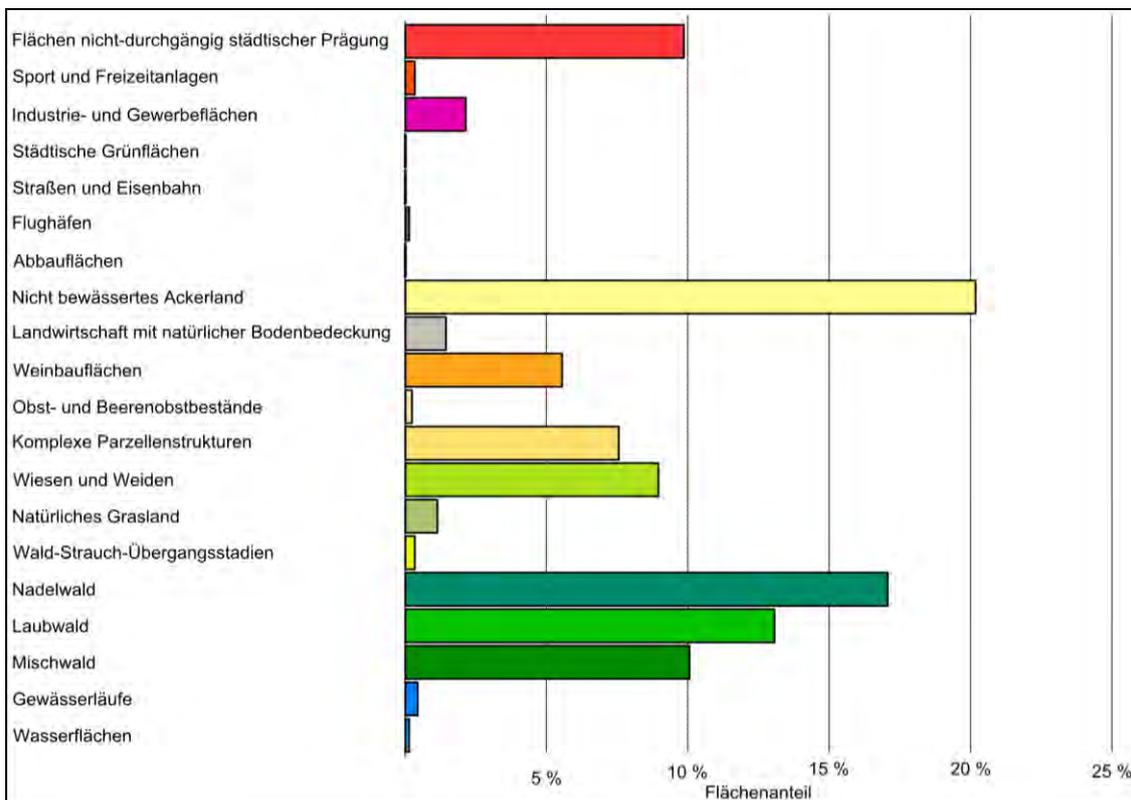


Abbildung 2-6: Flächenanteile der Landnutzungsclassen im Modellraum im Jahr 2006 (Quelle: CORINE Land Cover (CLC2006); Umweltbundesamt, DLR-DFD 2009)

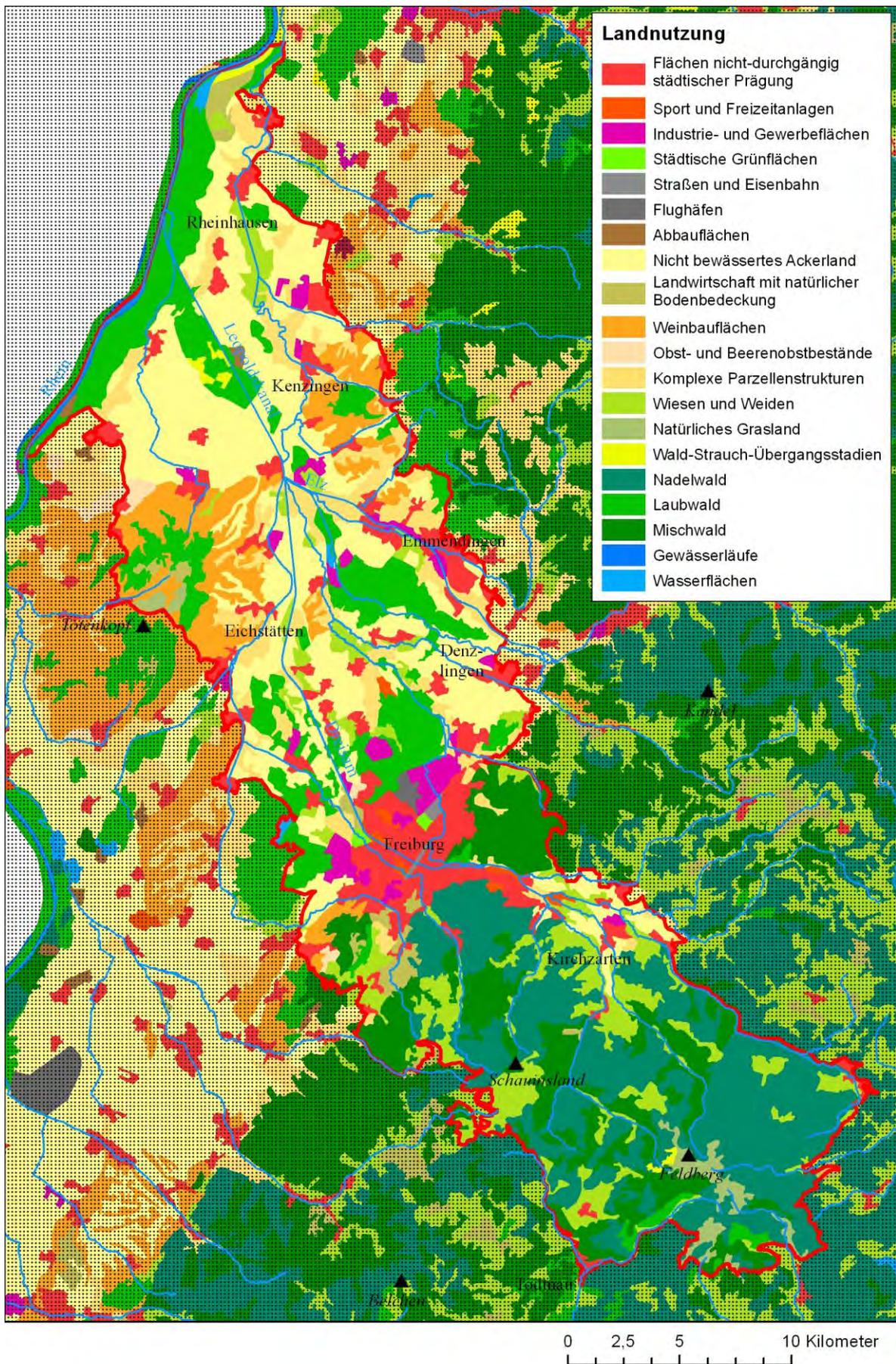


Abbildung 2-7: Landnutzungsverteilung im Jahr 2006 (Quelle: CORINE Land Cover (CLC2006); Umweltbundesamt, DLR-DFD 2009)

# 3 Klima und Klimaprojektionen

## 3.1 Ist-Zustand im Modellraum

### 3.1.1 Klima

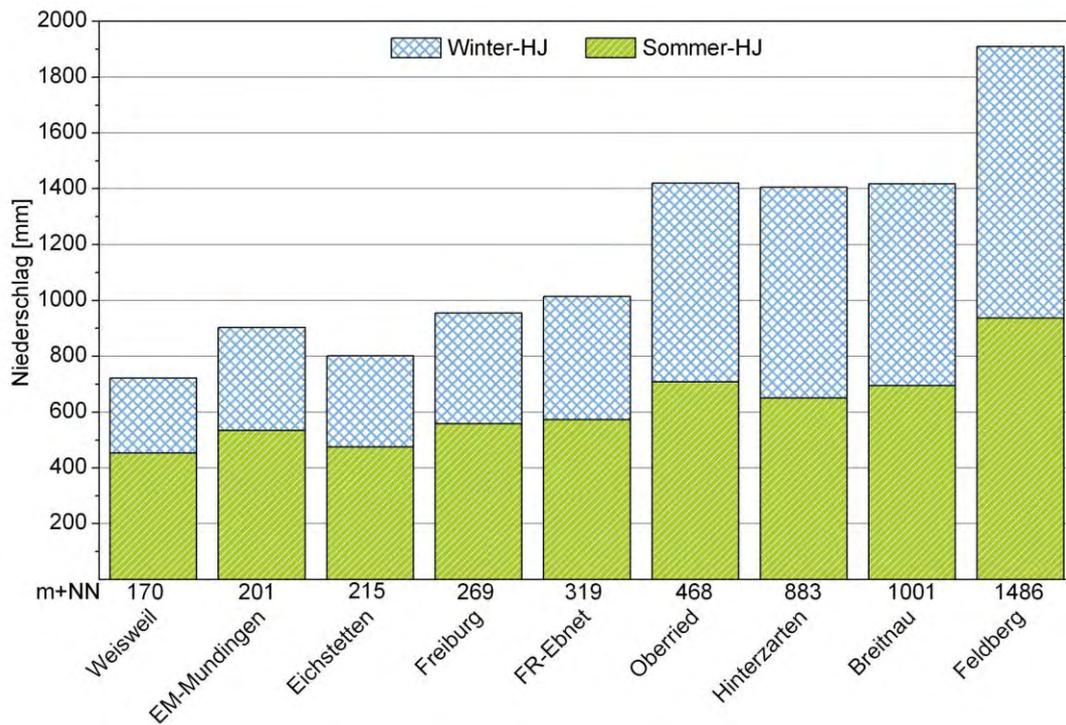
Alle Angaben in diesem Abschnitt beruhen - soweit nicht anders vermerkt - auf den Datensätzen der Wetterstationen des DWD im Modellraum. Es wurden Tageswerte (Tabelle 3-1) und 30jährige Mittelwerte des Zeitraums 1961-1990 herangezogen.

**Tabelle 3-1: Datensätze der DWD-Wetterstationen im Modellraum; N = Niederschlag und Schneehöhe, T = Lufttemperatur**

Station		von	bis	größere Datenlücken	a	m + NN
<b>Feldberg</b>	N	1.1.1941	2010	1945	69	1490
	T	1.7.1945		-	64	
<b>Breitnau</b>	N	1.1.1912	2010	1.2.1942 - 31.12.1950	82	1001
<b>Hinterzarten</b>	N	1.1.1961	31.12.2005	-	45	883
	T	1.1.1946				
<b>Oberried</b>	N	1.1.1951	2010	1971 - 1977	53	468
<b>Freiburg</b>	N	1.1.1921	2010	1.8.1935 - 31.12.1949	62	236
	T	1.5.1949	2010	-	61	
<b>Eichstetten</b>	N	1.1.1951	2010	-	60	215
<b>Emmendingen-Mundingen</b>	N	1.1.1961	2010	-	50	201
	T	1.1.1976			35	
<b>Weisweil</b>	N	1.1.1978	2010	-	33	170
	T	1.6.1992	31.12.2003		11	

### Niederschlag

Die Jahres-Niederschlagssummen steigen von der Oberrheinebene - Weisweil 722 mm/a - über die Vorbergzone zum Schwarzwald hin an, wo sie am Feldberggipfel 1992 mm/a erreichen. Eichstetten liegt im schwachen Regenschatten des Kaiserstuhls und erhält daher ähnlich niedrige Niederschlagsmengen wie die Oberrheinebene.



**Abbildung 3-1: Jahressummen des Niederschlags und saisonale Verteilung an ausgewählten Wetterstationen des Modellraums, Zeitraum 1961-1990 (Quelle: DWD)**

Abbildung 3-2 zeigt flächenhaft die Jahresniederschlagssummen im Modellraum für den Zeitraum 1971-2000. Den minimalen Werten von weniger als 750 mm des Modellraumes im Bereich der Oberrheinniederung stehen über 2.000 mm Niederschlag pro Jahr in den Gipfelregionen des Südschwarzwaldes gegenüber. Auffällig ist auch, dass das Niederschlagsmaximum im Jahresverlauf in den höheren Gebieten des Schwarzwaldes im Winter liegt, während in den Tieflagen ein ausgesprochenes Sommermaximum des Niederschlags vorherrscht. Dies wird aus Abbildung 3-3, in der die Niederschlagsbedingungen für die im Modellraum vorkommenden naturräumlichen Einheiten sortiert nach ihrer Höhenlage dargestellt sind, deutlich: Proportional mit der Höhenlage steigt auch der Anteil mit Tagen >1 mm bzw. >10 mm mit der Höhe über NN. Der Unterschied zwischen der am tiefsten gelegenen Raumeinheit „Weisweiler Wald- und Mooraue“ und der am höchsten gelegenen naturräumlichen Einheit „Südlicher Hochflächenschwarzwald“ beträgt jeweils deutlich mehr als 30 Tage.

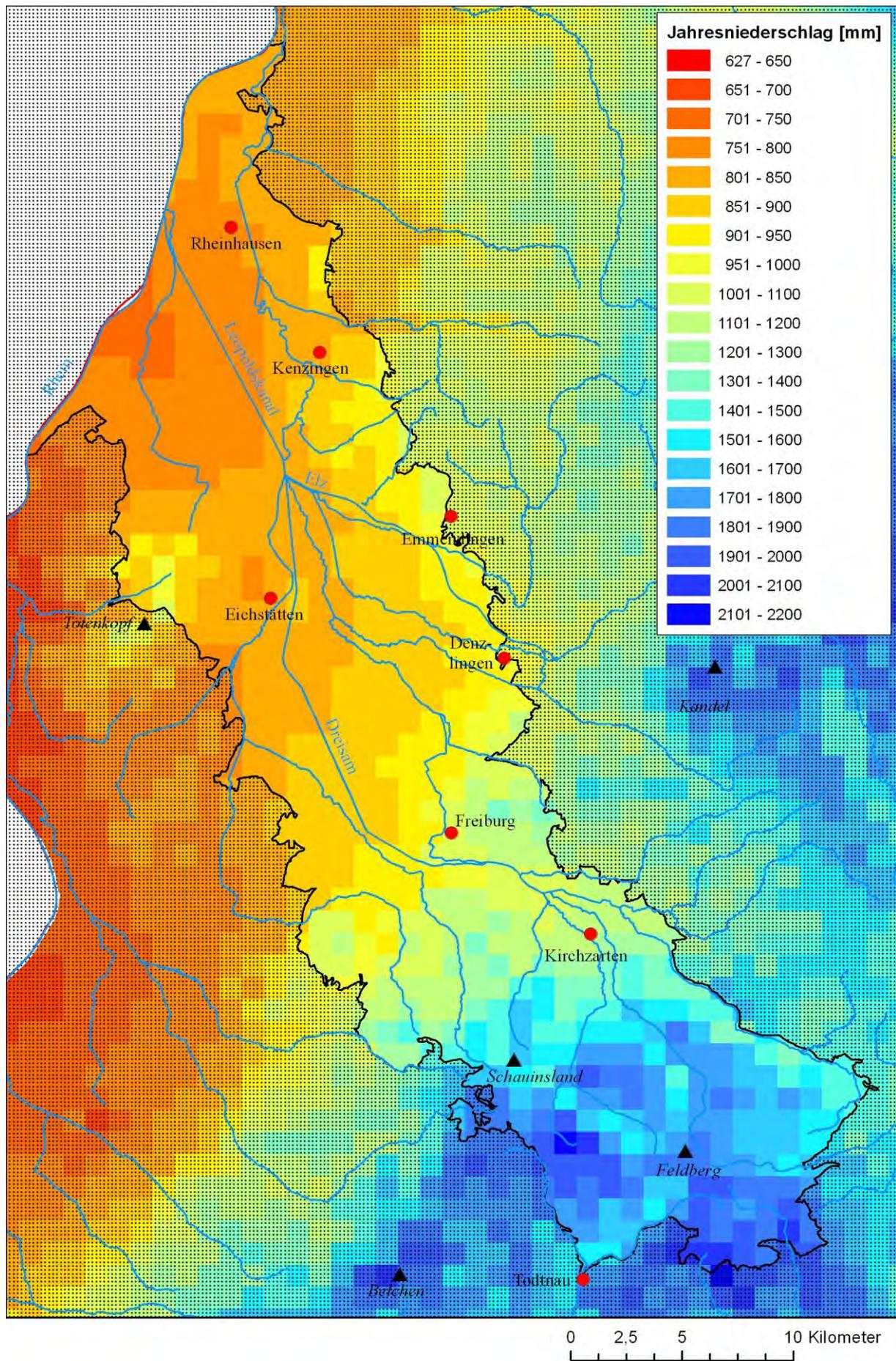


Abbildung 3-2: Jahressummen des Niederschlags im Zeitraum 1971-2000 (Quelle: LUBW-KlimaAtlas 2006)

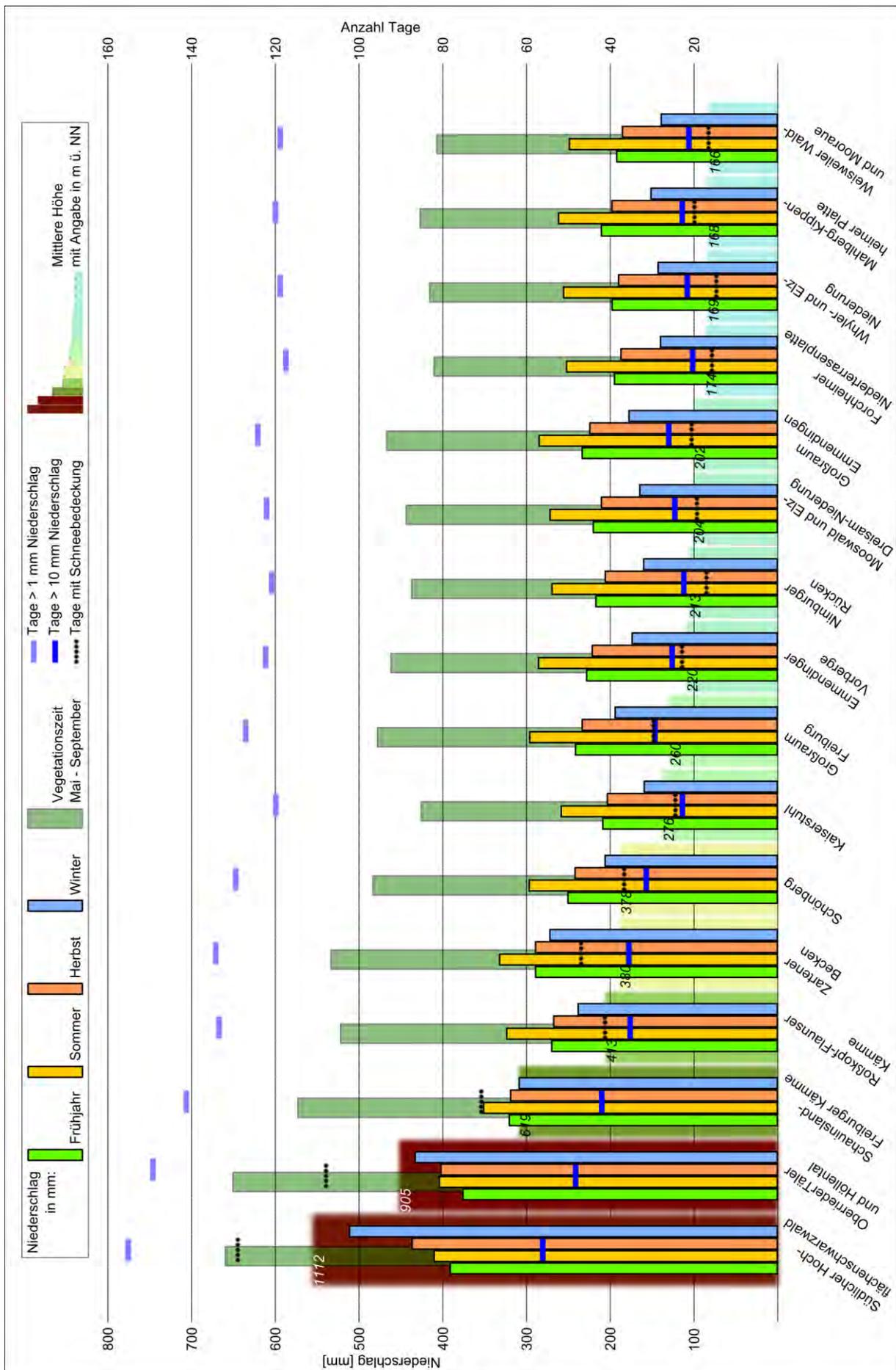
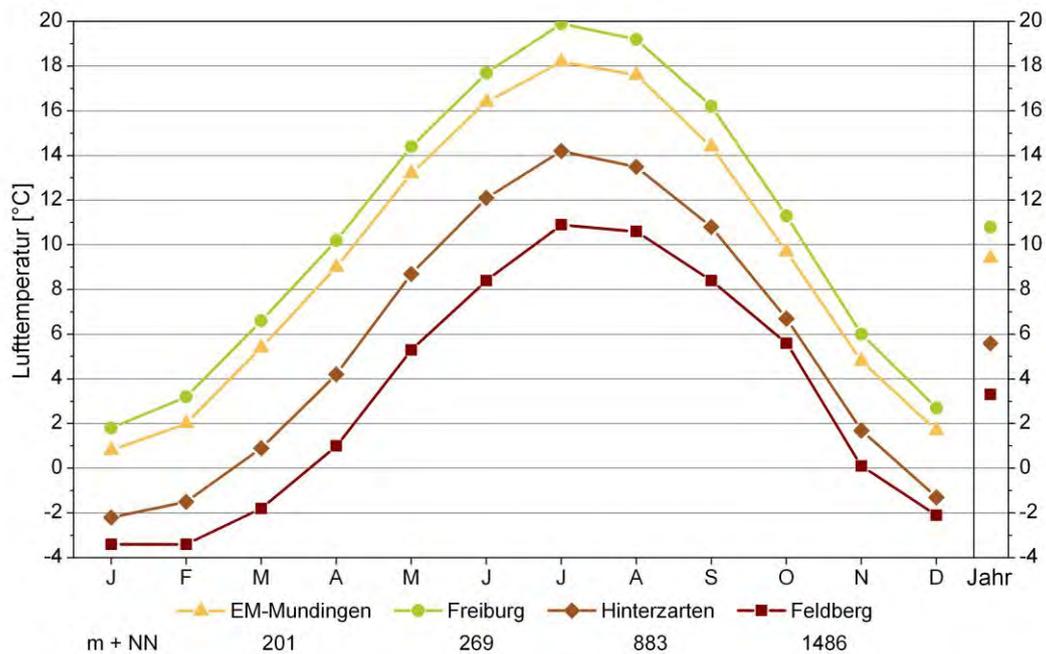


Abbildung 3-3: Jahreszeitliche Niederschlagsverteilung in den Naturräumen des Modellraumes

## Lufttemperatur



**Abbildung 3-4: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in Emmendingen-Mundigen, Freiburg, Hinterzarten und am Feldberg, Zeitraum 1961-1990 (Quelle: DWD)**

Die Jahresmittel der Lufttemperaturen sind im Prinzip mit der Höhenlage korreliert, allerdings zeigt sich auch die Wärmebegünstigung der Großstadt Freiburg gegenüber dem Umland deutlich.

Die Jahresmitteltemperaturen für die Klimaperiode 1971 - 2000 im Modellraum sind in Abbildung 3-5 dargestellt. Die Jahresmittel sinken von der Rheinebene mit maximal 11,5° C bis auf 3,3° C in den höchsten Gipfellagen des Schwarzwaldes ab, der Unterschied beträgt über 7 °C. Eine geringe Anomalie ist im südöstlichen Mooswald sowie im Stadtgebiet Freiburg zu verzeichnen, hier ist es trotz der höheren Lage wärmer als im Gebiet der Elz-Dreisam-Niederung und der Forchheimer Platte nördlich und nordöstlich des Kaiserstuhls.

Der DWD definiert eine Reihe von klimatologischen Kenntagen, die dadurch charakterisiert sind, dass bestimmte Schwellenwerte erreicht werden. So beträgt die Lufttemperatur an einem Sommertag mindestens 25 °C und an einem heißen Tag mindestens 30 °C. Frosttage sind Tage, an denen Frost auftritt, also die Tagesminimumtemperatur unter 0° C sinkt. An Eistagen herrscht durchgehend Frost, die Tageshöchsttemperatur bleibt unter 0° C. Auch die Anzahl dieser besonderen Tage verhält sich entsprechend der Höhenlage: Während der Hochflächenschwarzwald mehr als 150 Frost- und 40 Eistage aufweist, sind in der Rheinebene nur um die 60 Frosttage und deutlich unter 20 Eistage zu verzeichnen. Umgekehrt ist die Situation der Sommertage, hier werden circa 50 Tage pro Jahr mit Tagesmaxima >25 °C in der Rheinebene gezählt, in den Hochlagen dagegen nur 8 Sommertage pro Jahr (Abbildung 3-6). Heiße Tage sind im Hochflächenschwarzwald sehr selten und treten nur vereinzelt auf.

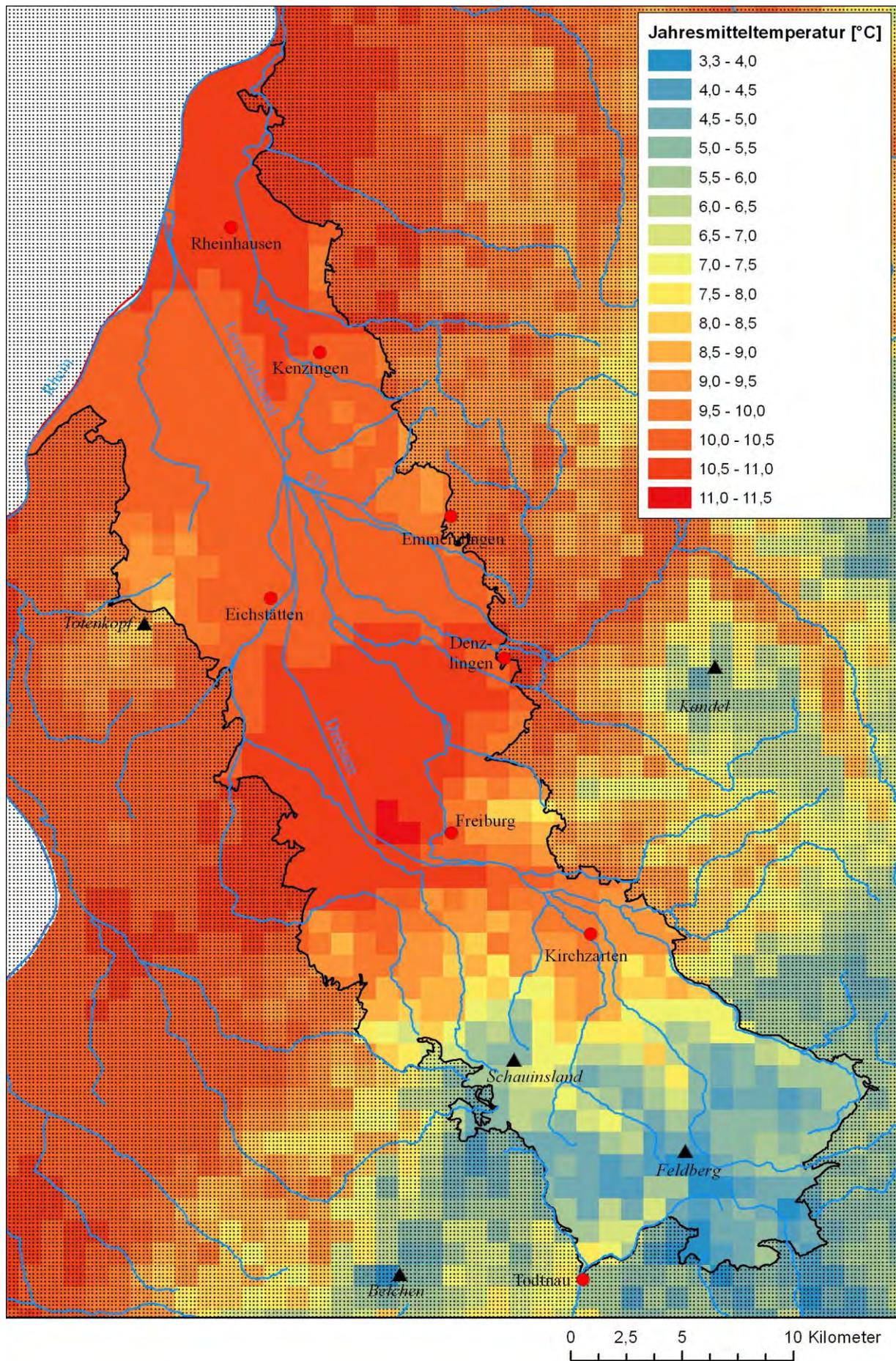


Abbildung 3-5: Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1971-2000 (Quelle: LUBW-Klimaatlas)

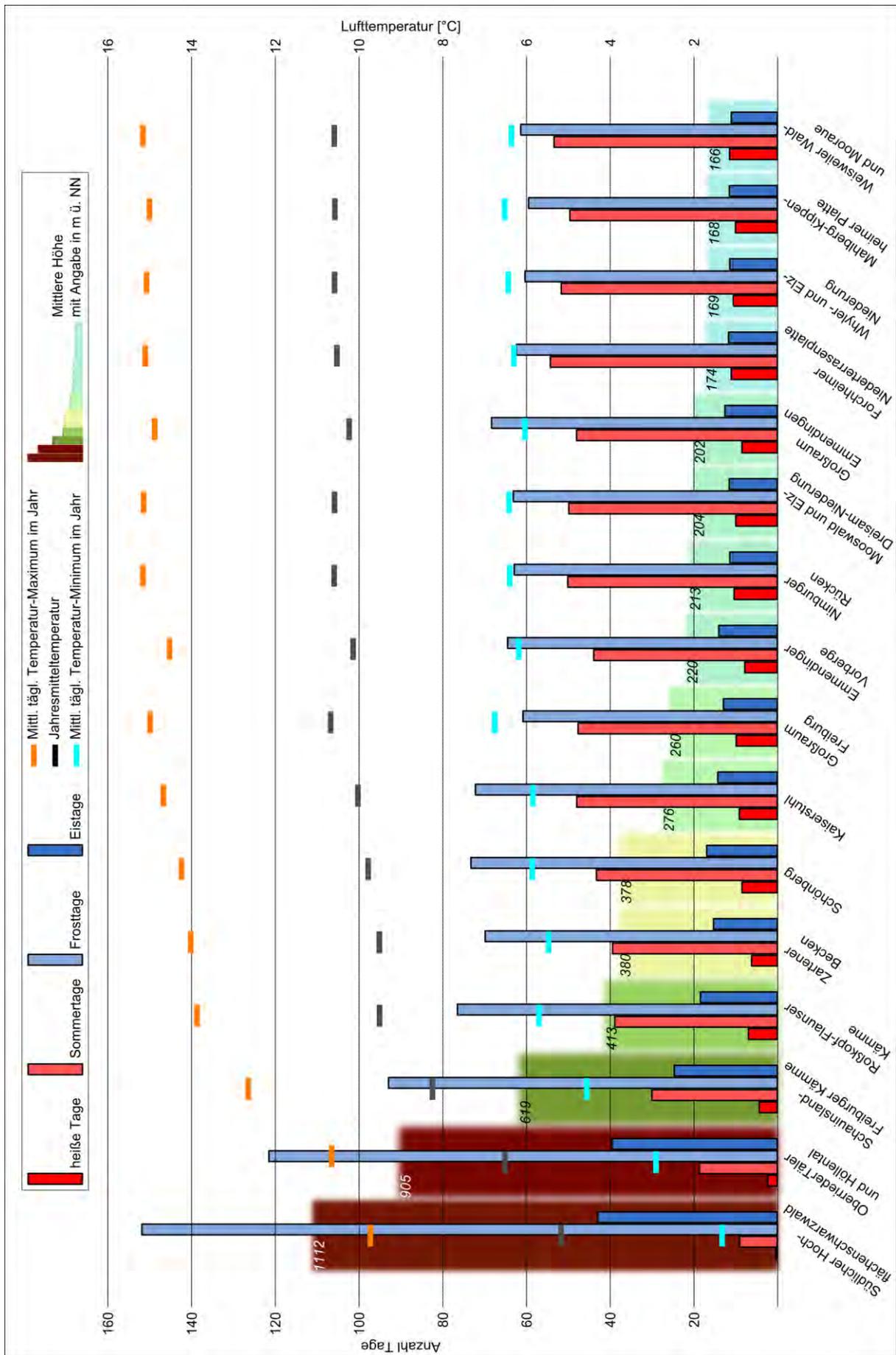


Abbildung 3-6: Lufttemperatur und besondere Tage in den Naturräumen des Modellraumes (Quelle: LUBW Klimaatlas)

### 3.1.2 Langfristige klimatische Trends im Gebiet

Anhand der Wetterdaten (Tageswerte) der im Gebiet liegenden Wetterstationen des DWD sollen klimatische Trends für das Modellgebiet herausgearbeitet werden. Da langfristige Trends mit dem vorhandenen Datenmaterial (siehe 3.1.1) - wenn überhaupt - nur beim Vorliegen entsprechend langer Datenreihen nachgewiesen werden können, beschränken sich die folgenden Betrachtungen vorwiegend auf die Stationen Feldberg (1490 m + NN), Breitnau (1001 m + NN), Freiburg (236 m + NN) sowie eingeschränkt Eichstetten (215 m + NN).

#### 3.1.2.1 Niederschlag

##### Jährliche Niederschlagsmengen und saisonale Verteilung

Nach den Projektionen in KLIWA (2006) sollen bis 2050 in den meisten Regionen Baden-Württembergs die Niederschläge im Sommerhalbjahr ab- und im Winterhalbjahr zunehmen (siehe auch 3.2.1). In Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 sind die Jahressummen und die saisonale Niederschlagsverteilung der Jahre von 1921 (Breitnau, Freiburg) beziehungsweise 1941 (Feldberg) und 1951 (Eichstetten) bis 2010 dargestellt.

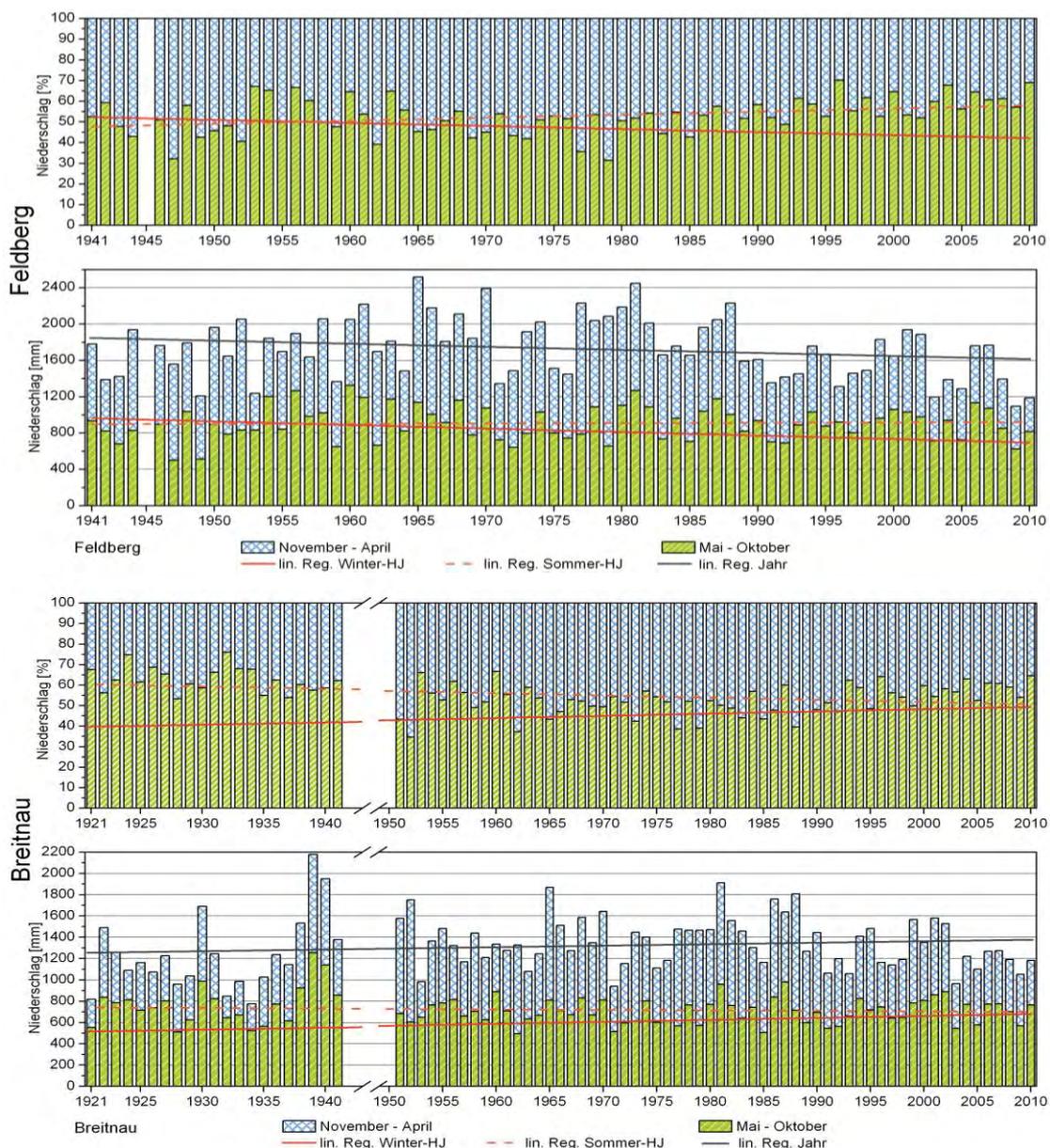
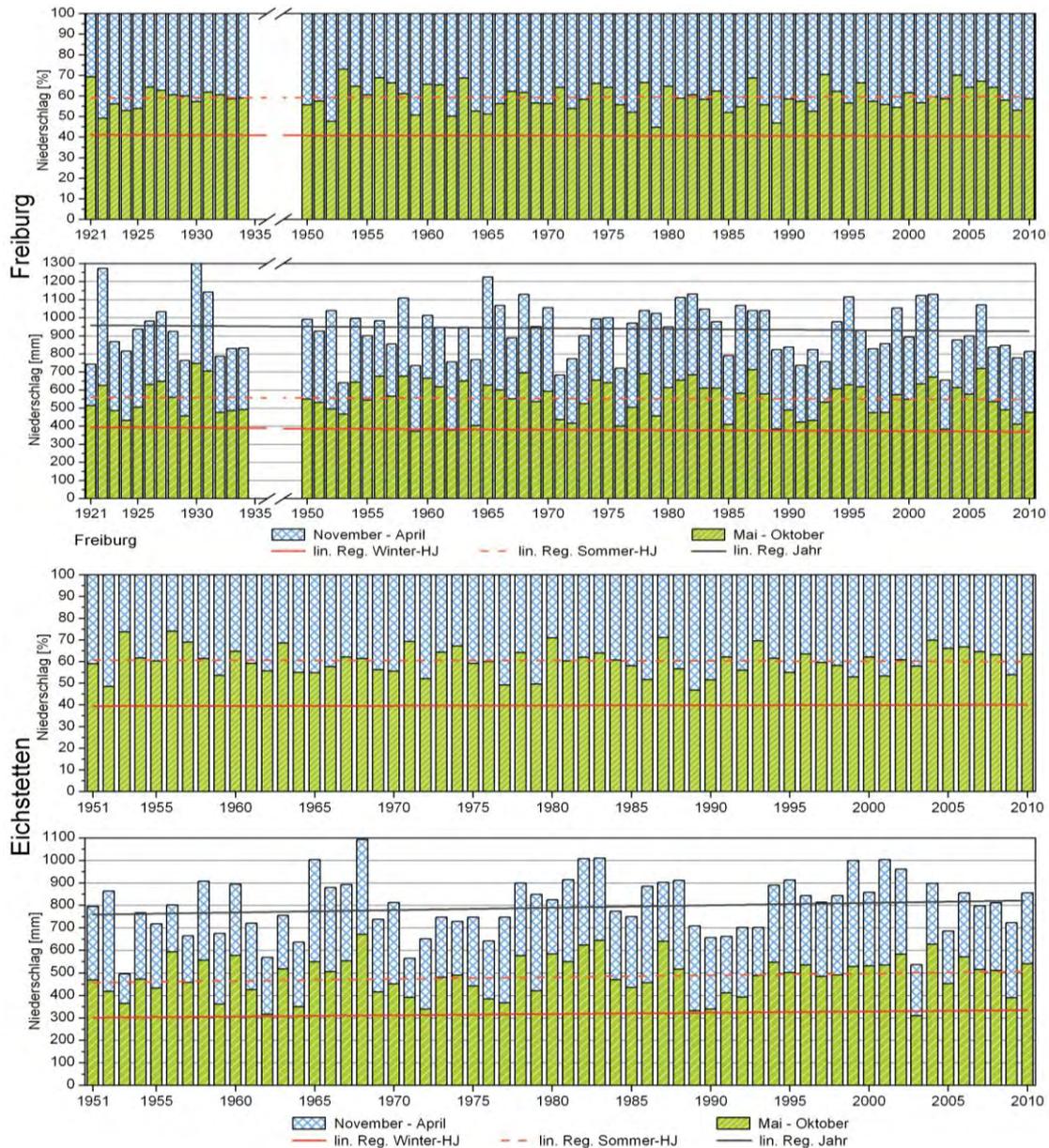


Abbildung 3-7: Jahres-Niederschlagssummen und Niederschlagsverteilung, Stationen Feldberg, und Breitnau (Quelle: Wetterdaten des DWD)

Die für die gemessenen Wetterdaten der Stationen im Modellgebiet berechneten Trends zeigen teilweise ein ähnliches Bild wie die Projektionen. So sinken am Feldberg (Abbildung 3-7) und in Freiburg (Abbildung 3-8) sowohl die Jahres- als auch die Winterniederschläge geringfügig und die Sommerniederschläge steigen sehr schwach an. In Breitnau und Eichstetten kann ein mehr (Breitnau) oder weniger (Eichstetten) deutlicher Anstieg der Winterniederschläge als Trend aus den Wetterdaten berechnet werden, allerdings steigen auch an beiden Stationen die Jahressummen, so dass sich nur in Breitnau eine sehr geringe Abnahme der Sommerniederschläge abzeichnet.

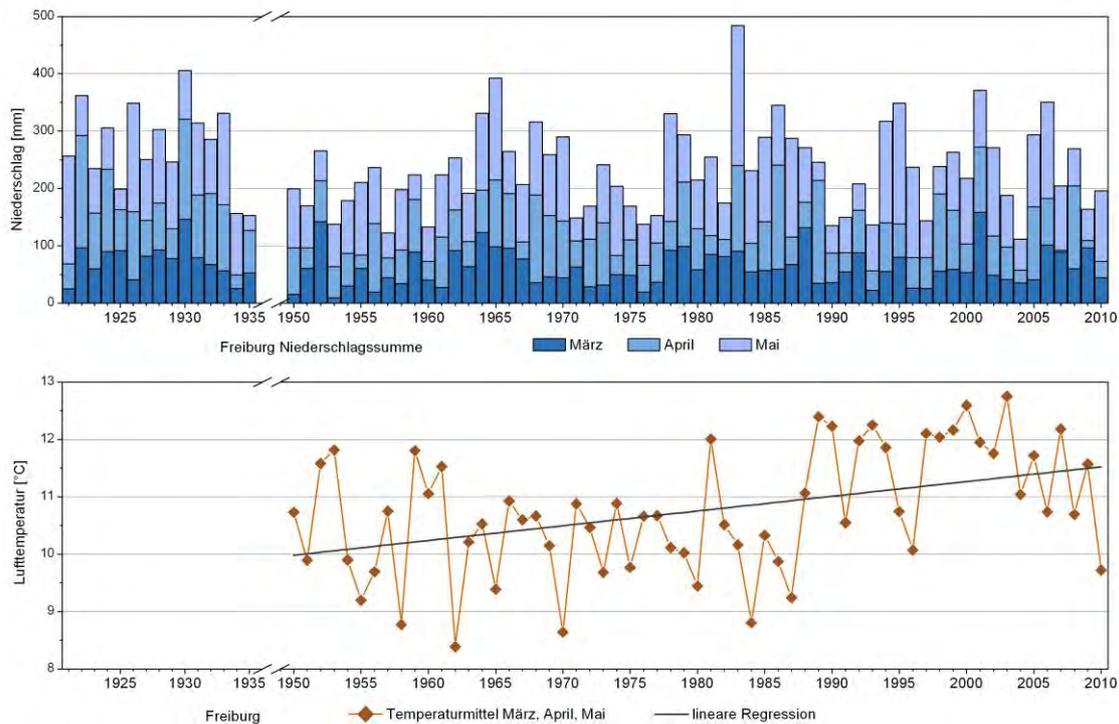


**Abbildung 3-8: Jahres-Niederschlagssummen und Niederschlagsverteilung, Stationen Eichstetten und Freiburg (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

### Trockeneres Frühjahr

Zu den klimatischen Veränderungen, die während der Gespräche mit Behördenvertretern im Untersuchungsgebiet als heute schon wahrgenommene mögliche Auswirkungen des Klimawandels angesprochen wurden, zählen auch zunehmend trockenere, das heißt sowohl regenärmere als auch wärmere Frühlinge, insbesondere in den Monaten April und Mai. Eine Auswertung auf Grundlage von Wetterdaten der DWD-Station Freiburg

ist in Abbildung 3-9 dargestellt. Hier wurden die saisonalen Niederschlagssummen der Monate März, April und Mai und außerdem die Monatsmittel der Lufttemperaturen im gleichen Zeitraum aufgetragen. Hinsichtlich der Niederschlagsmengen ergibt sich aus den Wetterdaten keine Tendenz. Die genannten Monate, vor allem der April, waren in den Jahren 2004 und 2009 relativ regenarm und 2004 hatte auch die niedrigste Regenmenge im Frühjahr seit Beginn der Messungen. Vergleichbare Ereignisse finden sich aber immer wieder in den Datenreihen, beispielsweise 1957 und 1960 oder 1990, 1991 und 1993. Allerdings sind seit Mitte der 1980er Jahre die Temperaturen der Frühlingsmonate deutlich angestiegen, so dass bei gleichbleibenden Niederschlagsmengen die höhere Verdunstung eine größere Trockenheit verursachen kann.

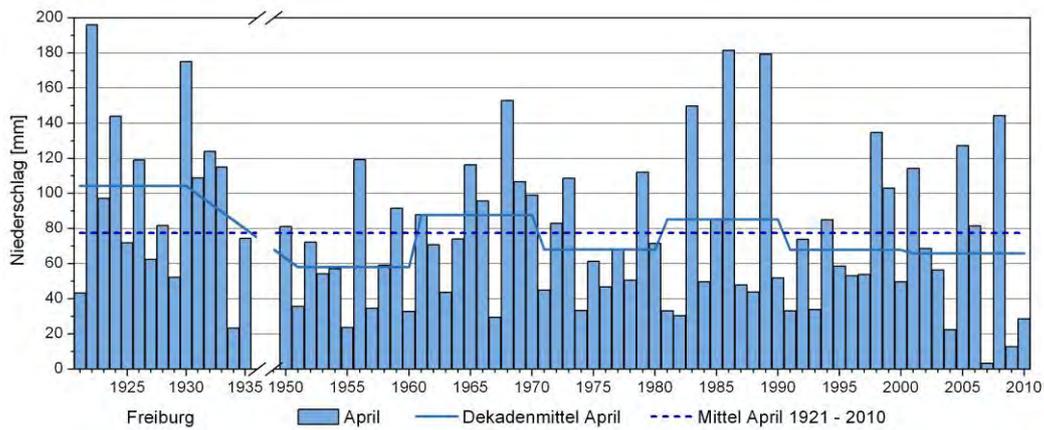


**Abbildung 3-9: Niederschläge und Lufttemperaturen (Trend:  $r^2 = 0,16$ ) in Freiburg in den Monaten März bis Mai (Wetterdaten: DWD)**

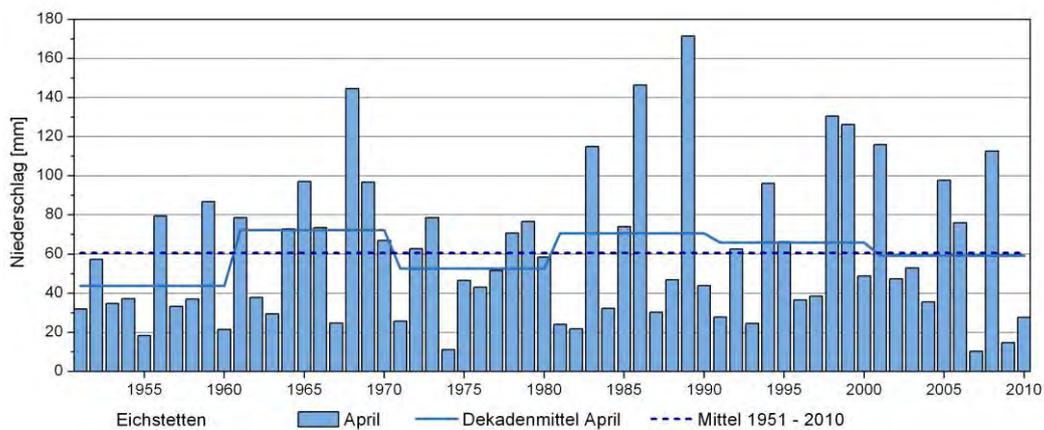
In Abbildung 3-10 und Abbildung 3-11 sind die Monatssummen des Regens im April dargestellt. Für Freiburg wurde ein schwach abnehmender Trend seit 1921, für Eichstetten seit 1951 eher eine geringe Zunahme berechnet<sup>6</sup>. Es wird aus den Diagrammen aber deutlich, dass an beiden Stationen in 2007 und 2009 mit die niedrigsten April-Niederschläge seit Beginn der Messungen verzeichnet wurden.

In Freiburg fallen die drei niedrigsten jemals gemessenen April-Niederschläge auf die Jahre 2007 (3,2 mm), 2009 (12,8 mm) und 2004 (22,4 mm). 2010 mit 28,5 mm belegt Platz 6. Damit liegen vier der sechs niedrigsten April-Niederschläge aus 80 Messjahren in der Dekade 2001-2010. Andererseits liegen mit 2005 (127,1 mm) und 2008 (144,2 mm) aber auch zwei der höchsten April-Niederschlagssummen in dieser Dekade. Insgesamt liegt das Dekadenmittel ungefähr auf gleichem Niveau wie 1971-1980 und 1991-2000 sowie deutlich höher als 1951-1960.

<sup>6</sup> Beides mit sehr niedriger Korrelation; die Regressionsgeraden sind deshalb nicht dargestellt.



**Abbildung 3-10: April-Niederschläge in Freiburg (Wetterdaten: DWD)**



**Abbildung 3-11: April-Niederschläge in Eichstetten (Wetterdaten: DWD)**

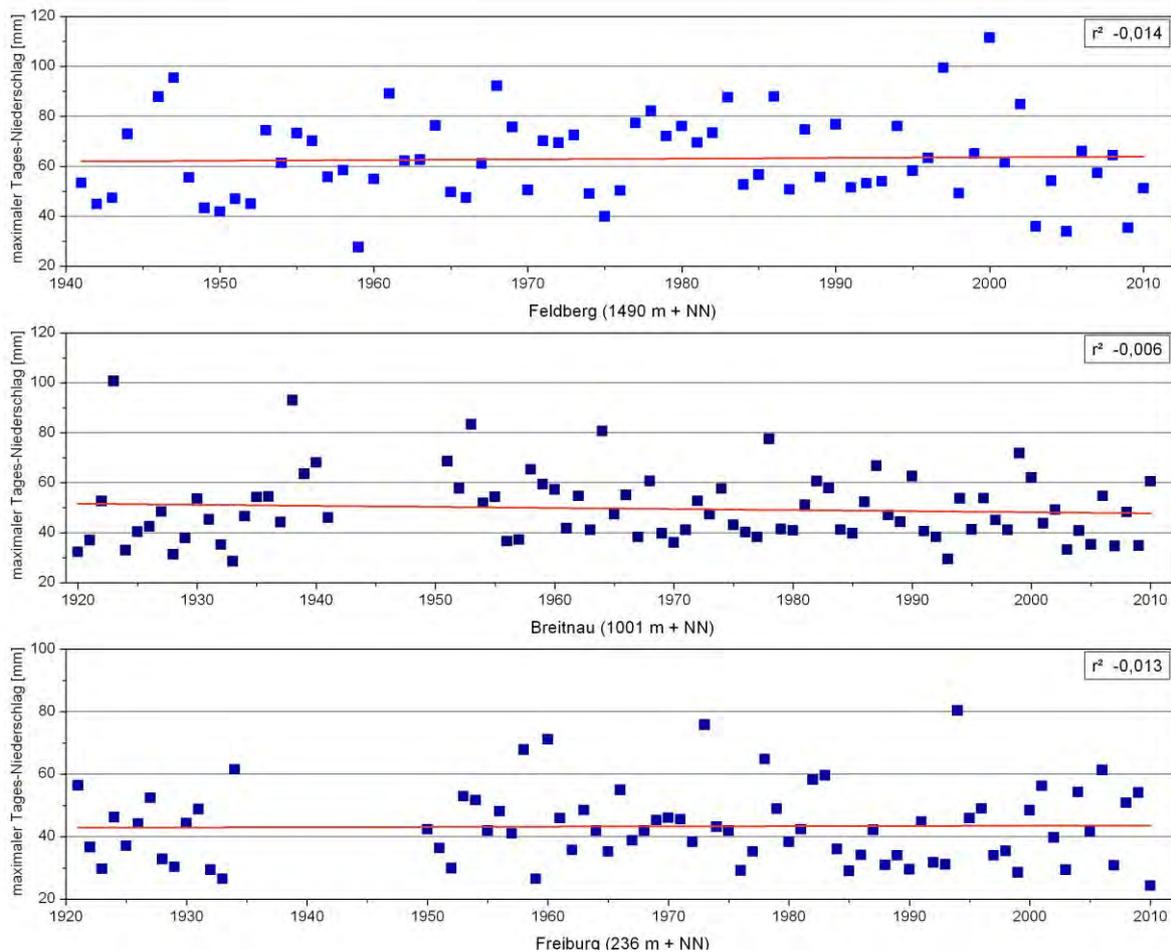
Ähnliches gilt auch für Eichstetten; hier waren der April 2007 mit 10,3 mm und der April 2009 mit 14,7 extrem niederschlagsarm. Nur in den Jahren 1955 (18,4 mm) und 1974 (11,1 mm) war es im April ähnlich trocken. In Eichstetten war auch der hier nicht mehr dargestellte April 2011 mit 17,2 mm sehr trocken und läge damit in der Statistik an vierter Stelle.

Somit zeigt sich, dass - bedingt durch mehrere Jahre mit relativ hohen Regenmengen - die April-Niederschläge der letzten Dekade nicht unterdurchschnittlich waren. Allerdings gab es seit der Jahrtausendwende - insbesondere aber seit 2004 – mehrere Frühjahre mit außergewöhnlich niederschlagsarmem April. Vergleichbare Häufungen von Jahren mit derart extrem geringen Regenmengen im April sind im Datensatz in keinem anderen Zeitraum zu erkennen. Der Wechsel zwischen einerseits sehr geringen und andererseits sehr hohen Niederschlagsmengen im April macht sowohl die Bandbreite des heute schon Möglichen deutlich, weist aber auch auf eine mögliche Häufung von Extremen hin.

### Maximale Tagesniederschläge

Die maximalen täglichen Niederschlagsmengen (höchste Tageswerte im Jahr) streuen über einen weiten Bereich (Abbildung 3-12). Der höchste Tageswert im betrachteten Zeitraum wurde am 30.5.2000 am Feldberg registriert und beträgt 111,4 mm, Werte zwischen 90 und 100 mm wurden auch in anderen Jahren erreicht. In Breitnau betrug der maximale Tagesniederschlag 100,7 mm (21.10.1923). In Freiburg liegen die maximalen Werte deutlich niedriger, hier wurde am 18.5.1994 eine Tagesmenge von 80,3 mm registriert. Tendenzielle Veränderung der maximalen Niederschlagsmengen sind nicht festzustellen, die linearen

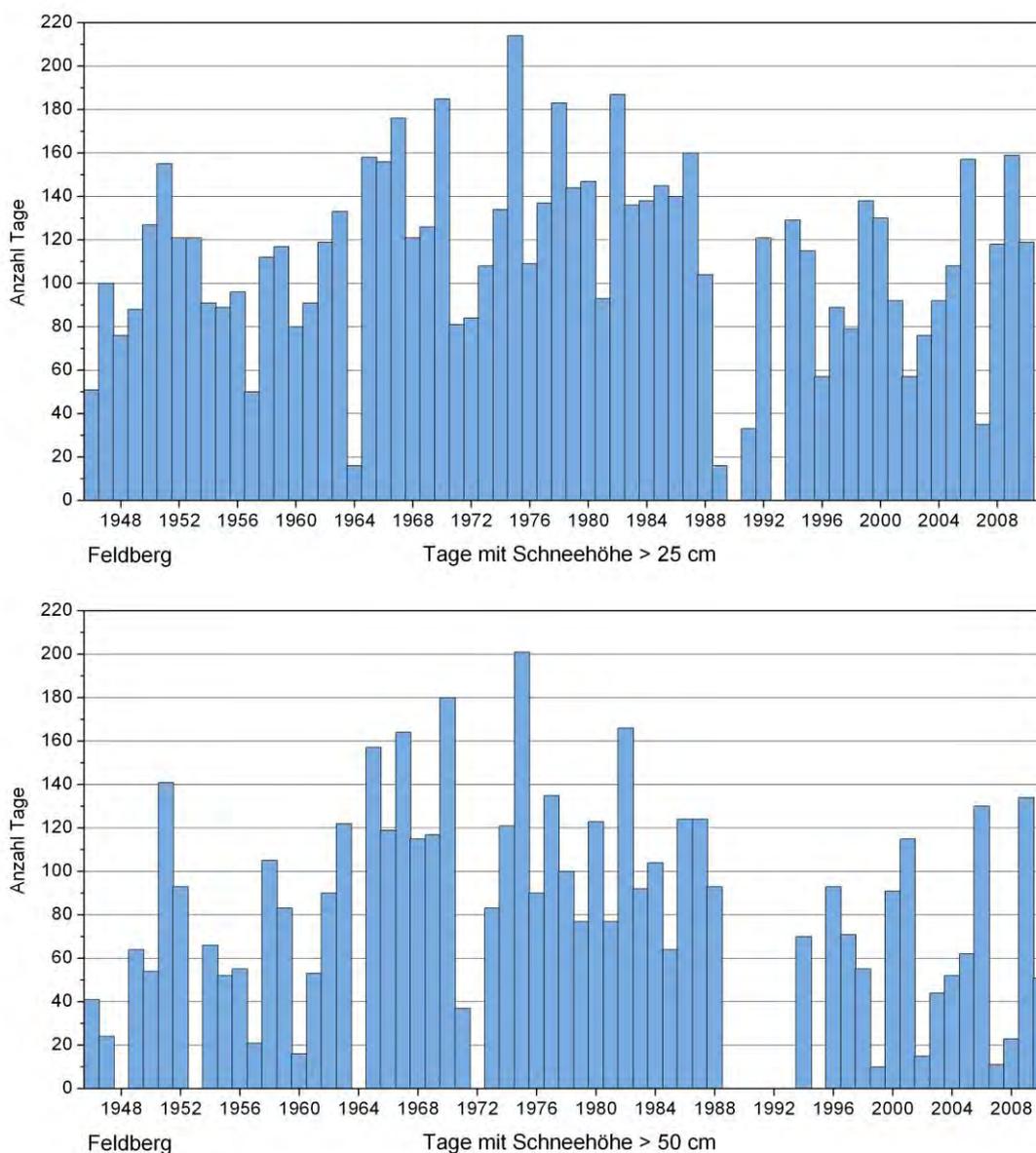
Regressionen weisen nur minimale Steigungen aus, für Breitnau sogar mit negativem Vorzeichen.



**Abbildung 3-12: Jährliche Serien der maximalen Tagesniederschlagsmengen (jeweils höchster Tageswert im Jahr) der Stationen Feldberg, Breitnau und Freiburg seit Beginn der kontinuierlichen Aufzeichnungen; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

### 3.1.2.2 Schneehöhen

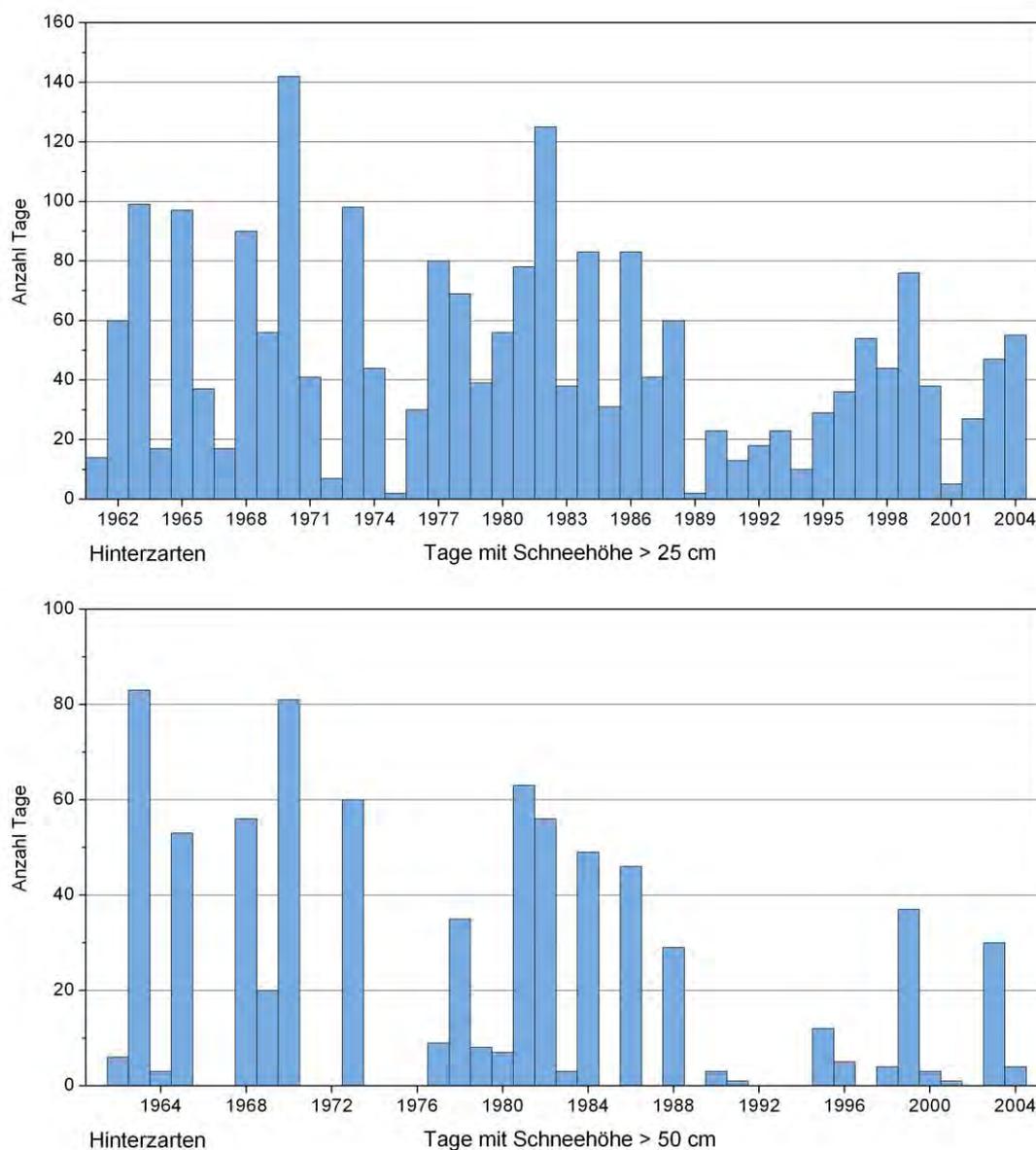
Schnee ist trotz der technischen Möglichkeiten der Kunstschneeherstellung, die beispielsweise am Feldberg eingesetzt werden, ein wesentlicher Aspekt für den Tourismus im Schwarzwald (siehe 4.6.3). Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Definitionen für Schneesicherheit und damit für die Eignung von Orten für den Wintersport. Nur bei einer Auslastung von mindestens 100 Tagen pro Saison kann von ökonomisch tragfähigen Bedingungen für den Skitourismus ausgegangen werden (ABEGG 1996). Natürlich liegt eine möglichst lange Wintersportsaison im Interesse der Tourismusanbieter, neben der Anzahl der Schneetage spielt auch die Schneemenge/-höhe eine Rolle. Für den alpinen Skisport werden Schneehöhen von circa 30 (-50) cm und für nordischen von circa 15 cm als erforderlich angesehen. Ein für den Skisport günstiger Winter liegt vor, wenn zwischen dem 16. Dezember und dem 15. April an wenigstens 100 Tagen eine ausreichende Schneedecke von mindestens 30 - 50 cm vorhanden ist. Liegt an weniger als 40 Tagen ausreichend Schnee, kann von einem schlechten Winter gesprochen werden (ABEGG 1996). Nach ENDLER & MATZARAKIS (2010) variiert die Definition der Höhe der erforderlichen Schneedecke für schneesichere Skigebiete von 10 cm - aus touristischer Sicht für Mittelgebirge - bis über 30 cm. Für die folgenden Darstellungen wurden Schneehöhen von 25 cm und 50 cm gewählt.



**Abbildung 3-13: Anzahl der Tage pro Jahr mit Schneehöhen über 25 cm (oben) und über 50 cm (unten) am Feldberg im Zeitraum von 1946 - 2010 (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

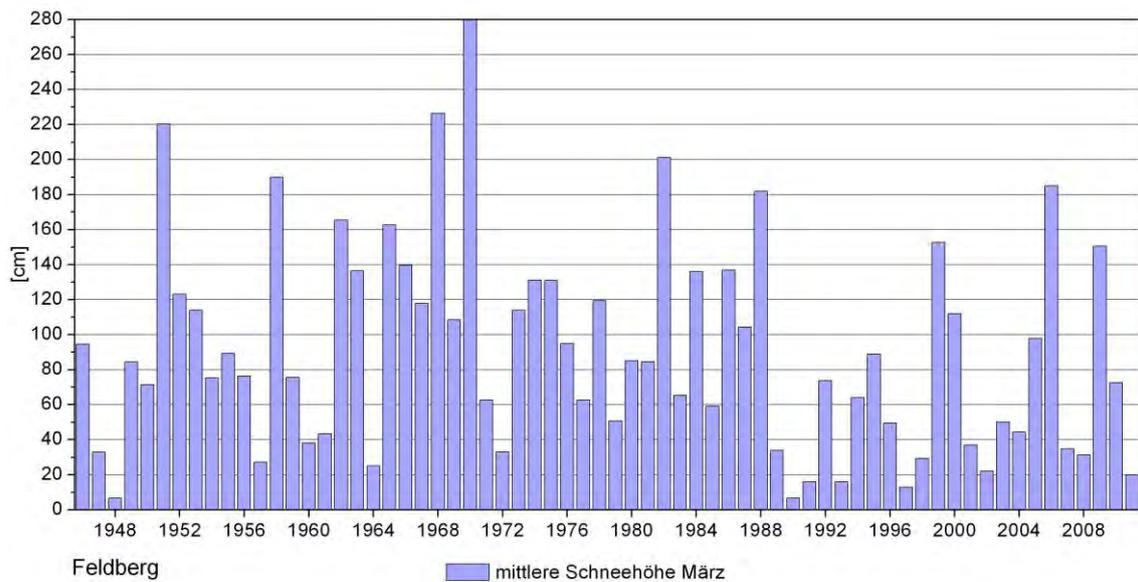
Am Feldberg (Abbildung 3-13) wechseln schneereiche Winter im Zeitraum 1965 bis circa 1988 und schneeärmere Winter in den 1950er Jahren sowie seit 1989 ab. Bezüglich der Anzahl von Tagen mit Schneehöhen über 25 cm und über 50 cm ist somit kein linearer gerichteter Trend erkennbar. In tieferen Lagen - Beispiel Hinterzarten - (Abbildung 3-14) scheint die Schneedeckendauer dagegen deutlicher rückläufig zu sein. In Hinterzarten ist sowohl bei der Anzahl der Tage mit Schneehöhen über 25 cm als auch über 50 cm eine abnehmende Tendenz<sup>7</sup> zu erkennen, die mit den allgemeinen Aussagen zum Klimawandel überein stimmt. Demnach ist die mittlere Zahl der Tage mit mehr als 25 cm hohem Schnee von über 60 zu Beginn der 1960er Jahre auf unter 40 im 21. Jahrhundert abgesunken.

<sup>7</sup> Allerdings aufgrund der starken Streuung der Einzelwerte ohne ausreichende Korrelation.



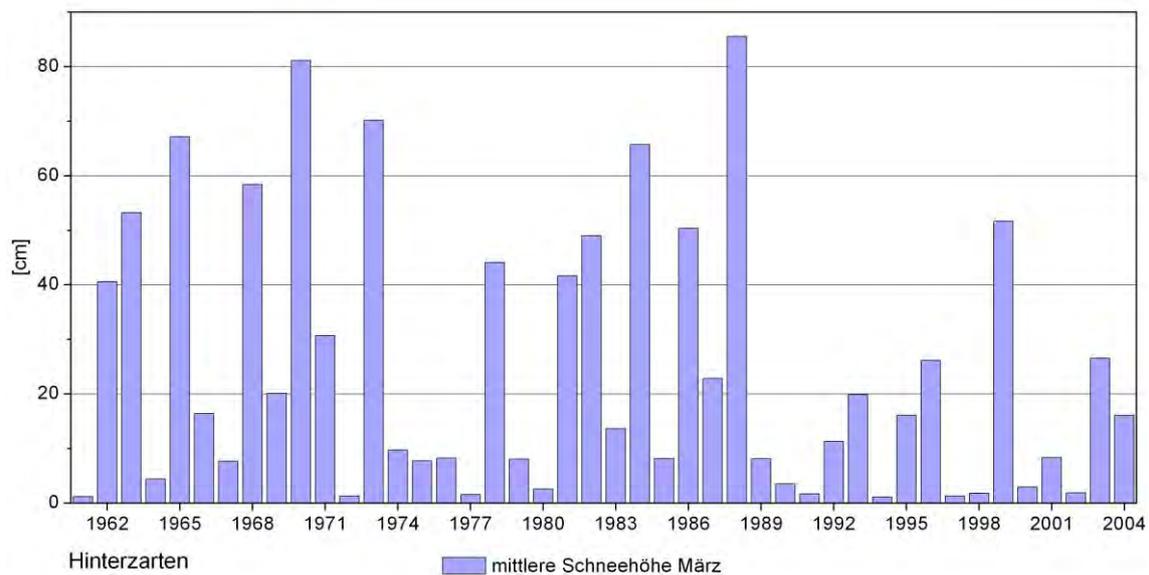
**Abbildung 3-14: Anzahl der Tage pro Jahr mit Schneehöhen über 25 cm (oben) und über 50 cm (unten) in Hinterzarten im Zeitraum von 1961 - 2004 (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

Die Dauer der Skisaison (s. o.) im Schwarzwald hängt oft weniger von den Monaten Januar und Februar, sondern mehr vom März ab, denn dieser Monat bietet nicht in jedem Jahr ausreichende Schneehöhen für den Wintersport. Am Feldberg scheint im Zeitraum seit 1989 die Schneehöhe im März deutlich niedriger zu werden (Abbildung 3-15). Während in den früheren Jahren mittlere Schneehöhen über 60 cm sehr häufig vorkamen und dieser Wert nur in einzelnen Jahren unterschritten wurde, ist die Situation nun umgekehrt. Seit 1989 werden nur noch selten Schneehöhen über 60 cm erreicht. Tendenziell gehen die mittleren Schneehöhen im März zurück, während bis Ende der 1980er Jahre Schneehöhen unter 60 cm eher ausnahmen waren, überwiegen diese heute .



**Abbildung 3-15: Mittlere Schneehöhen im Monat März am Feldberg im Zeitraum von 1946 - 2010 (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich auch in Hinterzarten ab (Abbildung 3-16). Im März traten seit Beginn der 1990er Jahre nur noch geringe mittlere Schneehöhen von meist unter 10 cm auf. Ausnahmen bilden lediglich die Jahre 1996, 1999 und 2003.



**Abbildung 3-16: Mittlere Schneehöhen im Monat März in Hinterzarten im Zeitraum von 1961 - 2004 (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

Aus den letzten beiden Abbildungen wird der entscheidende Einfluss der Höhenlage auf die Schneesicherheit und die Andauer einer für den Wintersport notwendigen Schneedecke deutlich (siehe hierzu 4.7.1). Während trotz tendenziell zurückgehender Schneehöhen am Feldberg auch heute noch fast in jedem März mit einer für den Wintersport ausreichenden Schneedecke gerechnet werden kann, ist dies in Hinterzarten nur noch in einzelnen Jahren der Fall.

### 3.1.2.3 Lufttemperatur

#### Jahresmittel und saisonale Mittelwerte

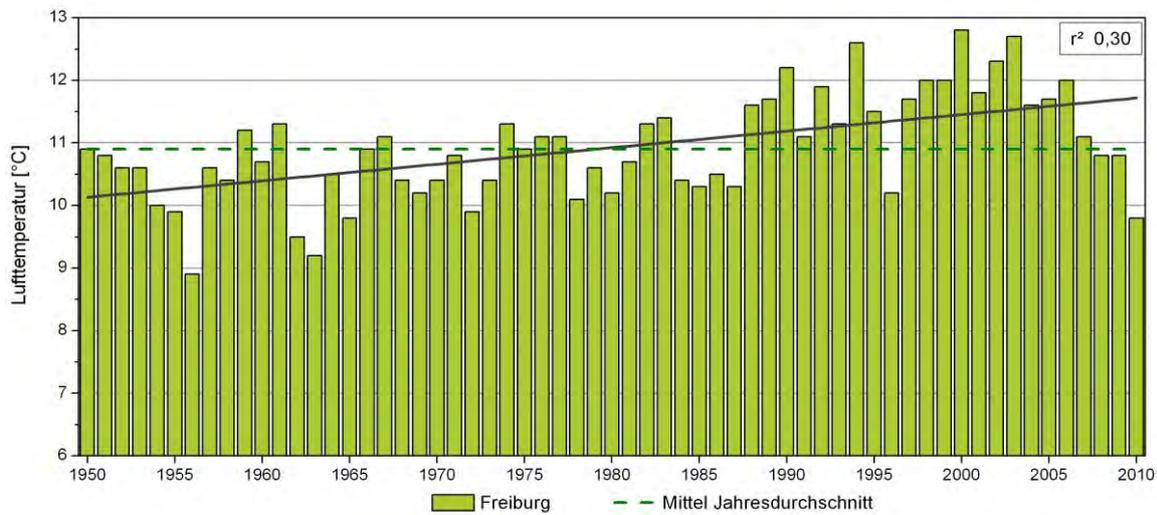


Abbildung 3-17: Jahresmittel der Lufttemperatur in Freiburg (269 m + NN)<sup>8</sup> im Zeitraum 1950 bis 2010; graue Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)

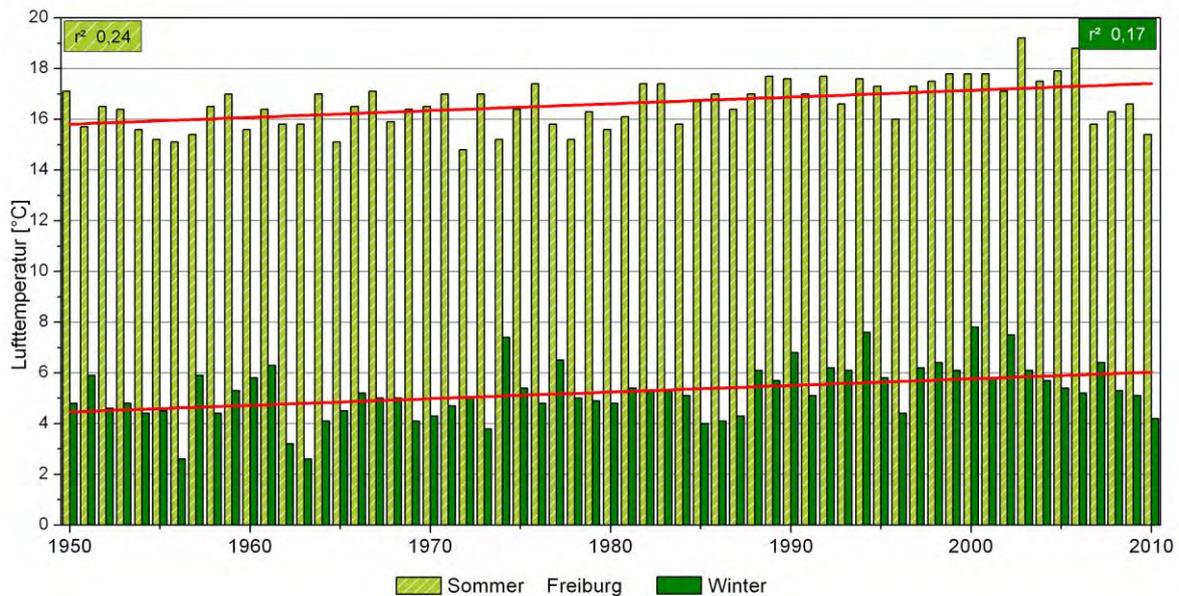


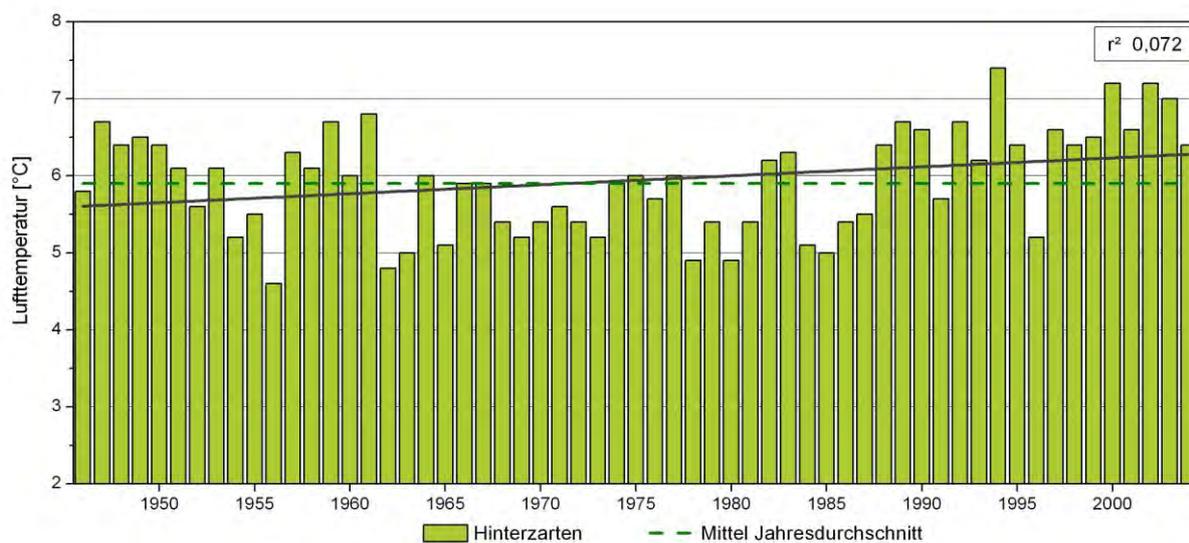
Abbildung 3-18: Lufttemperaturen des Sommer- und Winterhalbjahrs in Freiburg 1950 bis 2010; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)

In Abbildung 3-17 sind die Jahresmitteltemperaturen für Freiburg von 1950 bis 2010 aufgetragen, Abbildung 3-18 zeigt die Mittel der Winter- und Sommerhalbjahre. Das Mittel der Jahresdurchschnittstemperaturen im

<sup>8</sup> Die DWD-Station Freiburg wurde im November 2006 vom Stadtzentrum zum Flugplatz verlegt. Nach Mitteilung von H. AMANN (WBI Freiburg) ließ sich die Temperaturreihe nicht homogenisieren. Die Jahresmitteltemperatur am neuen Standort liegt circa 1 K niedriger, aber je nach Monat und Witterungsverhältnissen betragen die Differenzen zwischen alter und neuer Station beim Monatsmittel 0,3 - 2,0 K (AMANN, schriftl. Mitteilung, Januar 2012).

Zeitraum 1950 bis 2010 liegt in Freiburg bei 10,9 °C. Bis 1987 gab es nur einzelne Jahresmittel über 11,0° C und erst seit 1990 treten Jahre mit Durchschnittstemperaturen über 12,0° C auf. Wärmstes Jahr des betrachteten Zeitraums war 2000 mit 12,8° C, erst an zweiter Stelle rangiert 2003 (12,7° C). Zwar war der Sommer 2003 heißer, aber die Wintermonate waren im Jahr 2000 deutlich wärmer als 2003 (Abbildung 3-18). Die Temperaturen der Jahre 2008 bis 2010 waren - möglicherweise methodisch bedingt (siehe Fußnote 8) - unterdurchschnittlich. Trotz dieser Abweichungen zeigt die Regressionsgerade einen deutlich ansteigenden Trend für die Temperatur um 1,5° C von circa 10,2° C auf 11,7° C.

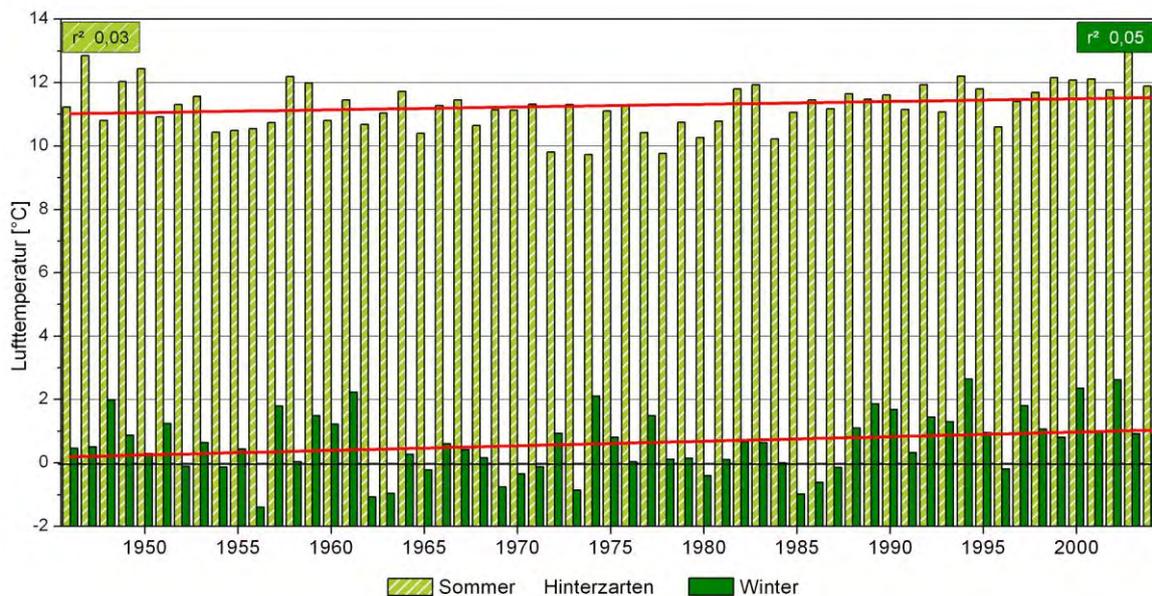
Die Freiburger Mittelwerte im Zeitraum 1950 - 2010 betragen für den Sommer (Mai - Oktober) 16,6° C und für den Winter 5,3° C (Abbildung 3-18). Ebenso wie für das ganze Jahr steigen auch die saisonalen Werte in diesem Zeitraum tendenziell an, im Winter um circa 1,8° C und im Sommer um 1,7° C.



**Abbildung 3-19: Jahresmittel der Lufttemperatur in Hinterzarten (883 m + NN) im Zeitraum 1946 bis 2004; graue Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)**

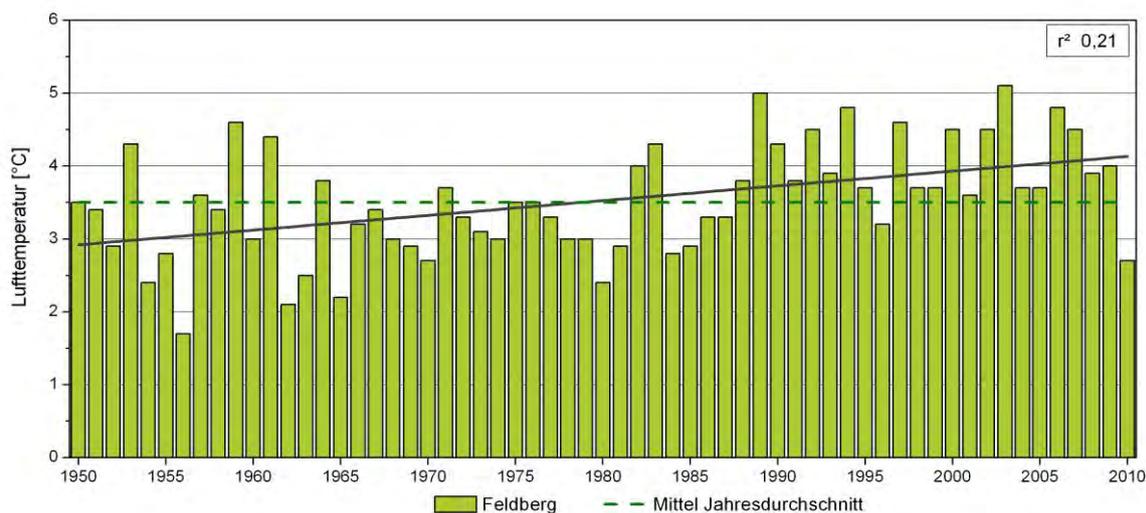
In Hinterzarten beträgt der Durchschnitt der Jahresmitteltemperaturen im Betrachtungszeitraum 5,9 °C. Seit 1988 waren nur noch die beiden Jahre 1991 und 1996 im Mittel unterdurchschnittlich warm. Eine, allerdings auf niedrigerem Niveau, ähnliche wärmere Phase mit häufigen überdurchschnittlichen Jahrestemperaturen gab es bereits in der Zeit von 1947 bis 1961. Im Jahr 1994 stieg die Jahresmitteltemperatur erstmals über 7° C, seitdem wurde diese Marke aber schon in vier Jahren erreicht oder überschritten. Das wärmste Jahr war nicht 2003 (7,0° C), sondern 1994 mit 7,4° C. Die Tendenz der Lufttemperatur ist in geringerem Maß als in Freiburg ansteigend.

Auch die saisonalen Temperaturmittel, die in Hinterzarten (1946 - 2004) im Sommer 11,3° C und im Winter 0,6° C betragen, steigen tendenziell an (Abbildung 3-20).



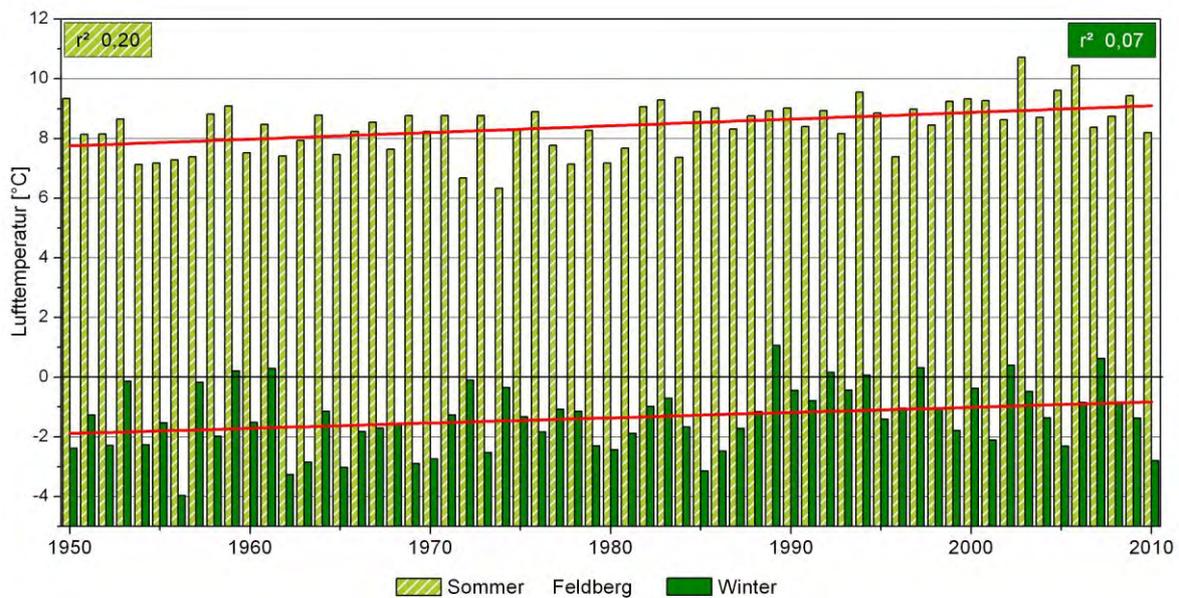
**Abbildung 3-20: Lufttemperaturen des Sommer- und Winterhalbjahrs in Hinterzarten 1946 bis 2004; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)**

Auf dem Feldberg liegt der Mittelwert der Jahrestemperaturen im Betrachtungszeitraum bei 3,5 °C (Abbildung 3-21). Auch hier sind überdurchschnittlich warme Jahre verstärkt seit den 1980er Jahren zu beobachten. Am wärmsten waren bisher 2003 (5,1° C), 1989 (5,0° C) und 2006 (4,8° C). Seit 1988 gab es mit 1996 und 2010 nur zwei unterdurchschnittlich warme Jahre. 2010 war das kälteste Jahr seit 1980. Der Trend der Jahresmitteltemperatur ist von 2,9° C (1950) auf 4,1° C deutlich ansteigend. Eine Jahresmitteltemperatur von 5 °C trat erstmals im Jahr 1989 auf.



**Abbildung 3-21: Jahresmittel der Lufttemperatur auf dem Feldberg (1486 m + NN) im Zeitraum 1950 bis 2010; graue Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)**

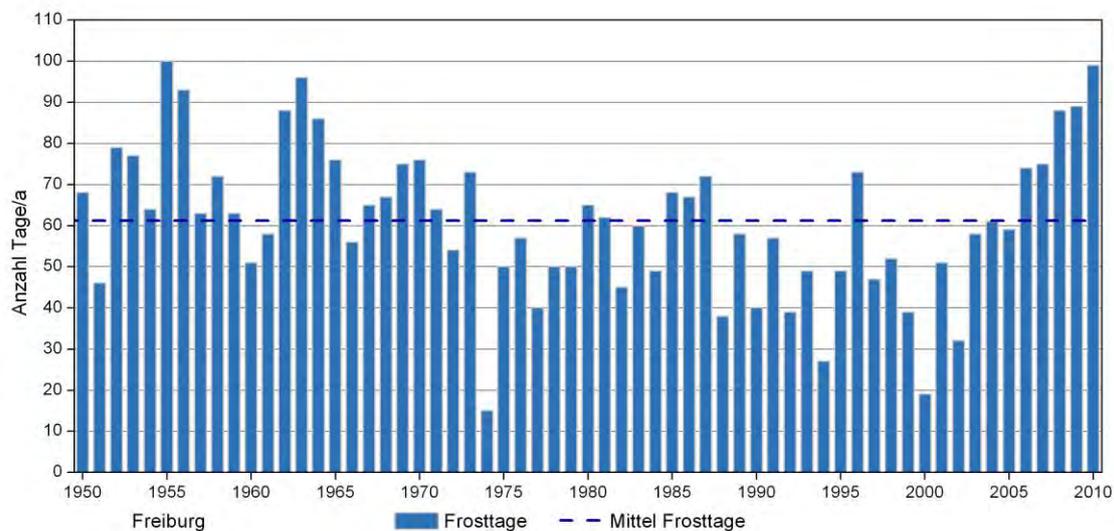
Auf dem Feldberg herrscht im Winterhalbjahr mit -1,4° C Mitteltemperatur Frost, im Sommer beträgt die durchschnittliche Lufttemperatur 8,4° C (1950 - 2010). Sowohl Sommer- (von 7,8° C auf 9,1° C) als auch Wintermitteltemperaturen (von -1,9° C auf -0,8° C) steigen im Zeitraum seit 1950 tendenziell an.



**Abbildung 3-22: Lufttemperaturen des Sommer- und Winterhalbjahrs auf dem Feldberg 1950 bis 2010; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)**

### Frosttage und Eistage

Im Mittel der Jahre 1950 bis 2010 treten in Freiburg 61,2 Frosttage (Tagesminimumtemperatur < 0° C) jährlich auf (Abbildung 3-23). Das Maximum mit 100 Frosttagen wurde 1955 erreicht. In diesem Jahr lag die Durchschnittstemperatur mit 9,9 °C nicht außergewöhnlich niedrig. Nur im Januar (25) und im März (22) war eine überdurchschnittliche Häufung von Frosttagen zu verzeichnen. Seit 1974 überwiegen Jahre mit unterdurchschnittlichen Frosttagen, insbesondere von Mitte der 1980er Jahre bis 2002 gab es in Freiburg eine Phase mit sehr wenigen Frosttagen, außer 1996 mit durchgehend unterdurchschnittlichen Werten. Danach ist ihre Zahl wieder deutlich ansteigend, 2008 und 2009 waren es 88 beziehungsweise 89 Frosttage und 2010 ist mit 99 der zweithöchste Wert im Betrachtungszeitraum festzustellen. Die Veränderungen seit 2006 sind möglicherweise methodisch bedingt (s. o.).



**Abbildung 3-23: Anzahl der Frosttage pro Jahr in Freiburg im Zeitraum 1950 bis 2010 (Wetterdaten: DWD)**

Naturgemäß liegt die Zahl der Frosttage am Feldberggipfel erheblich höher als in Freiburg, sie beträgt im Zeitraum 1946 bis 2010 durchschnittlich 158 pro Jahr (Abbildung 3-24). Die Anzahl streut zwischen 129 Tagen in den Jahren 1948 und 1953 und 194 Tagen in 1962. Seit 1988 sind fast nur noch unterdurchschnittliche Werte zu verzeichnen, lediglich 2001 und wiederum vor allem 2010 - mit 175 Tagen - liegen über dem Mittel.

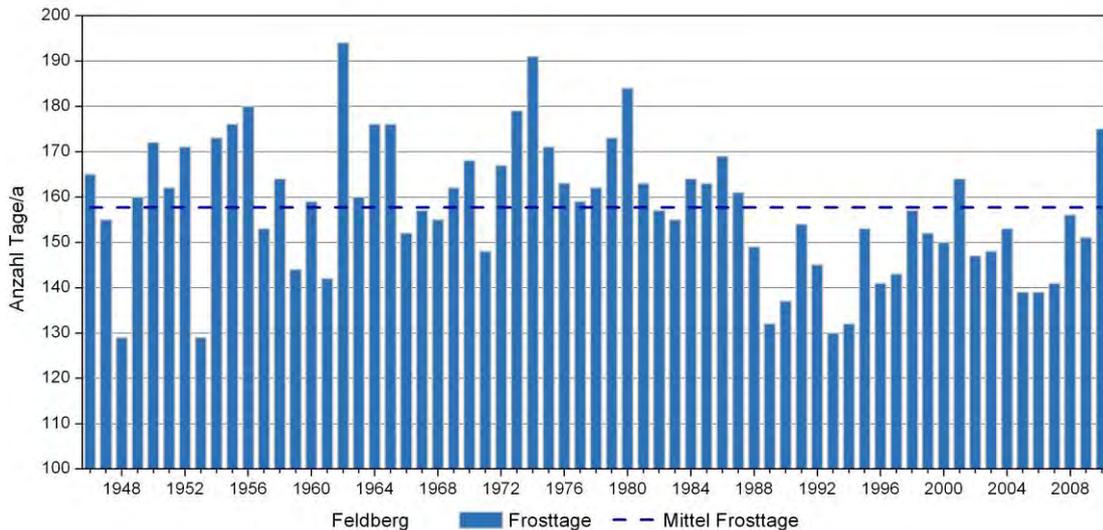


Abbildung 3-24: Anzahl der Frosttage auf dem Feldberg im Zeitraum 1946 bis 2010 (Wetterdaten: DWD)

Eistage, an denen die Temperaturen  $0^{\circ}\text{C}$  nicht übersteigen und es überhaupt nicht taut, sind seltener als Frosttage. In Freiburg treten im Mittel über den jeweiligen Betrachtungszeitraum circa 14 und auf dem Feldberg 80 Eistage auf (Abbildung 3-25, Abbildung 3-26).

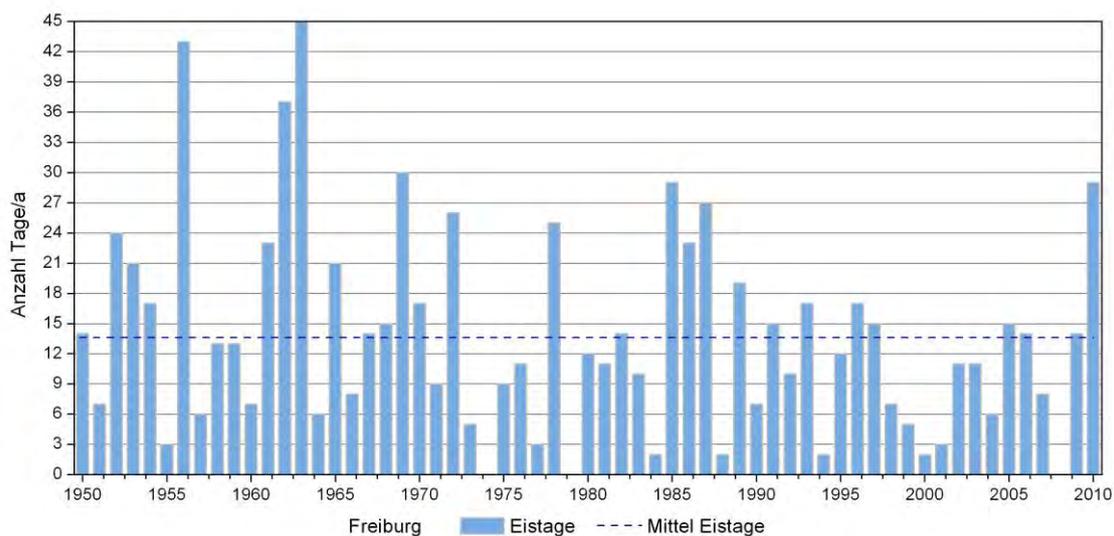


Abbildung 3-25: Anzahl der Eistage pro Jahr in Freiburg im Zeitraum 1950 bis 2010 (Wetterdaten: DWD)

Die jährliche Zahl der Eistage schwankt stärker als die der Frosttage, anhaltende Phasen mit über- oder unterdurchschnittlichen Werten sind weniger ausgeprägt. In Freiburg sind seit 1996 eher unterdurchschnittliche Werte festzustellen, auch hier mit der Ausnahme des Jahres 2010. Am Feldberg ist der Zeitraum von 1965 bis 1988 vorwiegend von überdurchschnittlichen Frosttagen gekennzeichnet.

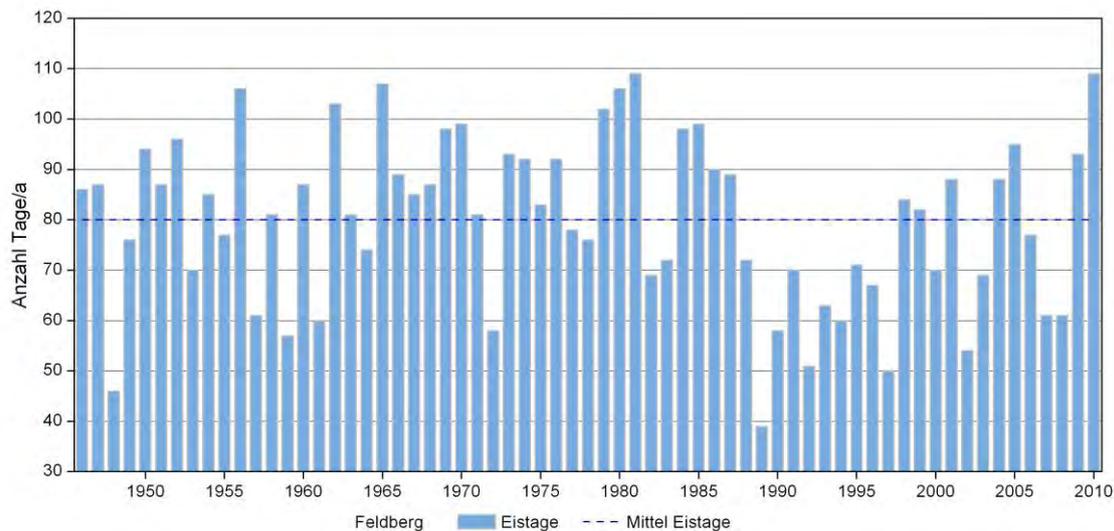


Abbildung 3-26: Anzahl der Eistage auf dem Feldberg im Zeitraum 1946 bis 2010 (Wetterdaten: DWD)

### Sommertage, heißen Tage und Tropennächte

Der DWD definiert neben den oben bereits genannten klimatologischen Kenntagen auch die Tropennacht, in der die Lufttemperatur nicht unter 20 °C absinkt. Wie schon in Abbildung 3-5 gezeigt, sind Sommertage, heiße Tage und Tropennächte vor allem in den tieferen Lagen des Modellraums zu erwarten. Die folgende Auswertung beschränkt sich deshalb auf die Datenreihe der Wetterstation in Freiburg von 1949 bis 2010. Der Mittelwert der Sommertage liegt in dieser Zeitspanne bei 53,5 Tagen pro Jahr, durchschnittlich 13 Tage sind heiße Tage, aber es kommen nur 3,5 Tropennächte jährlich vor (Abbildung 3-28). Die höchsten Werte wurden stets für 2003 ermittelt; so betrug die Zahl der Sommertage dieses Jahres mit 107 genau das Doppelte des langjährigen Durchschnitts und bei den heißen Tagen mit 55 sogar mehr als das Vierfache.

Die Tendenzen der Zahlen heißer Tage und Sommertage sind zunehmend (Abbildung 3-27, siehe auch 3.2.1), diese Zunahme fällt deutlicher aus als die Abnahme der Frost- und Eistage. Vor allem seit 1980 scheint die jeweilige Anzahl solcher Wärme-Kenntage deutlich anzusteigen. So lagen beispielsweise die Mittelwerte der Sommertage in den letzten Dekaden bei

- 46,2 d/a (1960-1969),
- 43,2 d/a (1970-1979),
- 54,5 d/a (1980-1989),
- 63,0 d/a (1990 - 1999) und
- 66,5 d/a (2000 - 2009).

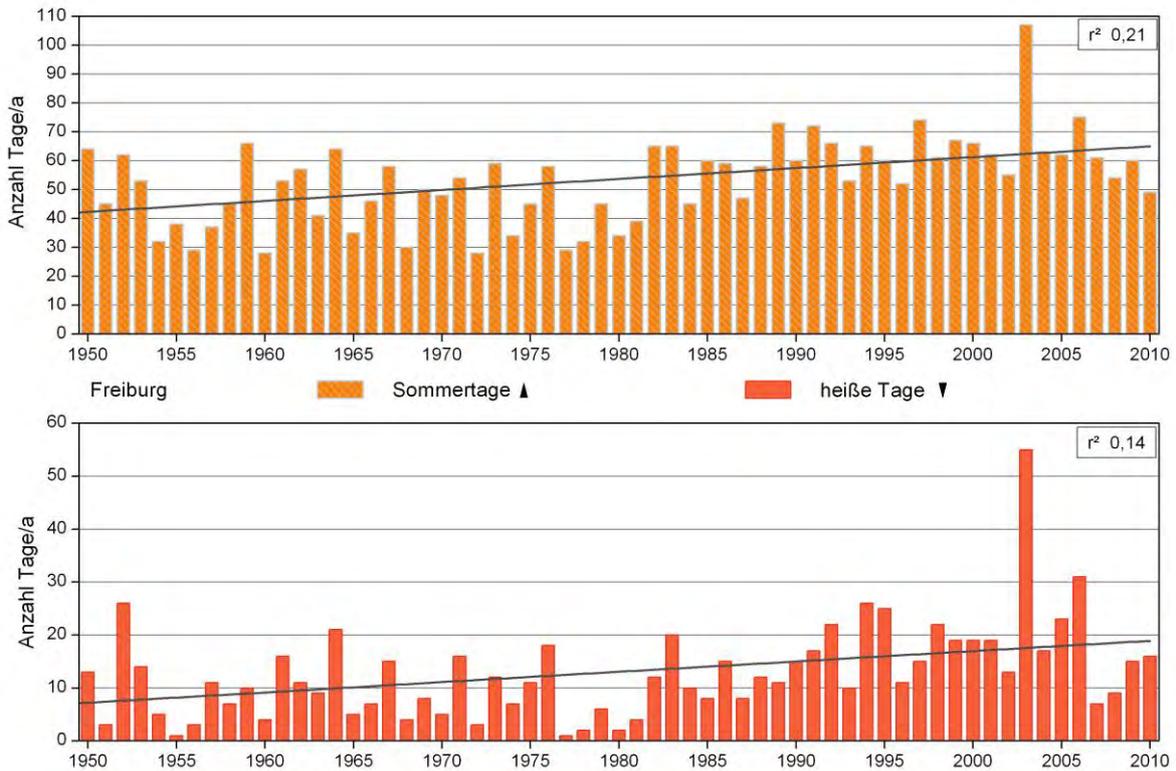


Abbildung 3-27: Anzahl der Sommertage und heißen Tage pro Jahr in Freiburg im Zeitraum 1950 bis 2010; graue Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)

Das Gleiche gilt für die Tropennächte, auch hier steigt seit 1982 in vielen Jahren die Anzahl der warmen Nächte deutlich über den langjährigen Mittelwert an (Abbildung 3-28). 2003 wurde mit 27 Tropennächten der höchste Wert im Betrachtungszeitraum erreicht. Auffällig ist allerdings, dass seit 2006 in Freiburg die Zahl der Tropennächte deutlich zurückging und nach 2007 keine Tropennächte mehr registriert wurden. Die spricht für eine Veränderung der Bedingungen auf Grund der Verlegung der Wetterstation aus dem Stadtzentrum ins Freiland, wo die Wärmespeicherung und nächtliche Wärmerückstrahlung (Gebäude etc.) deutlich geringer sein dürfte.

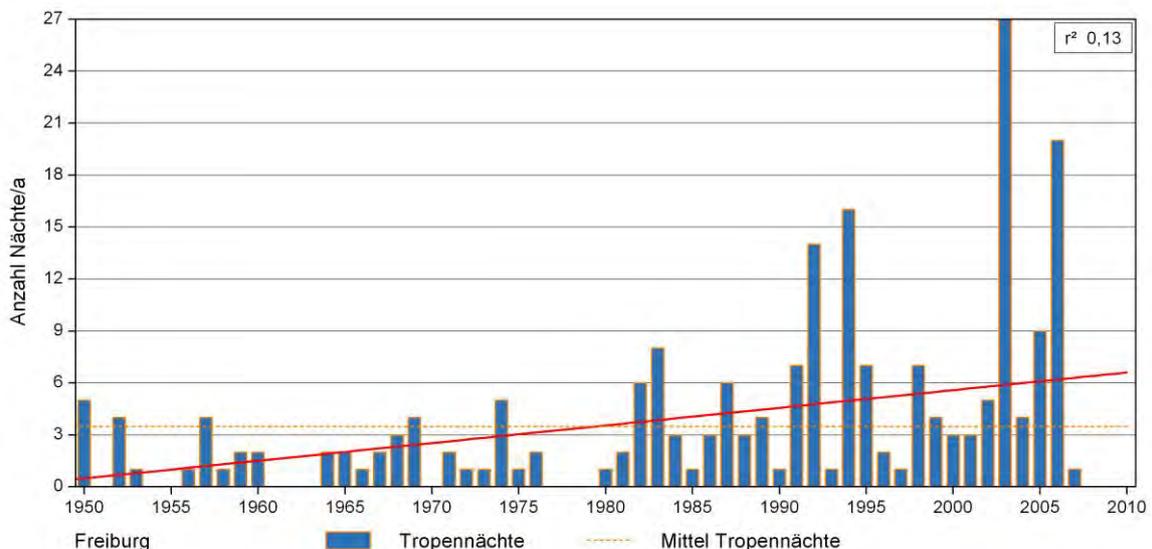
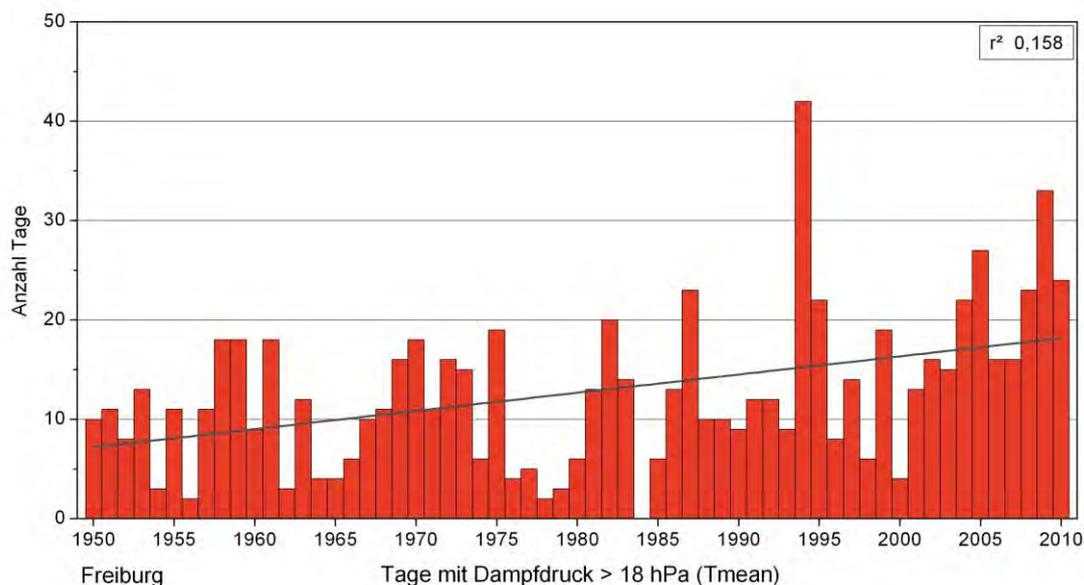


Abbildung 3-28: Anzahl der Tropennächte pro Jahr in Freiburg im Zeitraum 1950 bis 2010; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)

## Tage mit Schwüle

Schwüle oder schwüle Hitze tritt bei der Kombination der Merkmale hohe Lufttemperatur und hohe Luftfeuchte auf. Für das menschliche Empfinden ist Schwüle vor allem deshalb unangenehm, weil die hohe Wassersättigung der Luft das Schwitzen und damit die Temperaturregulation des menschlichen Körpers behindert. Schwüle Hitze wird daher als wesentlich unangenehmer und auch wärmer empfunden als Hitze mit niedriger relativer Luftfeuchtigkeit. Die Kombination aus hoher Luftfeuchte und hoher Temperatur ruft beim Menschen ein Gefühl des Unbehagens hervor und kann bei anstrengenden Arbeiten oder Freizeitaktivitäten auch zum Kollaps führen<sup>9</sup>.

Aus den verfügbaren allgemeinen Wetterdaten der DWD-Stationen lässt sich aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Dampfdruck berechnen (DVWK 1996). Dieser dient als Indikator für schwüles Wetter: Schwüle Wetterbedingungen können angenommen werden, wenn der Dampfdruck der Luft den Wert von 18 hPa übersteigt (MATZARAKIS 2007).

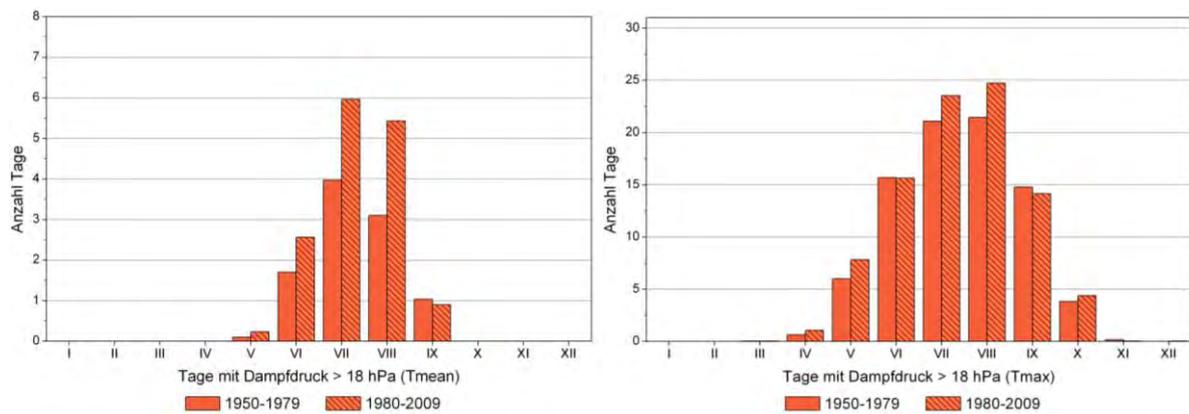


**Abbildung 3-29: Anzahl schwüler Tage pro Jahr in Freiburg im Zeitraum 1950 bis 2010; graue Gerade = lineare Regression (Trend); (Wetterdaten: DWD)**

In Abbildung 3-29 zeigt die Anzahl solcher schwülheier Tage mit einem Dampfdruck > 18 hPa, berechnet auf Grundlage der Tagesmitteltemperatur. Die mittlere jährliche Anzahl der schwülen Tage in Freiburg hat sich damit seit 1950 von 7 auf über 18 Tage/Jahr mehr als verdoppelt (lineare Regression). Bei der Berechnung aus dem Tagesmittel der Lufttemperatur ist davon auszugehen, dass über mehrere Stunden schwlheie Bedingungen herrschen. Berechnet man den Dampfdruck aus der Tagesmaximumtemperatur, so steigt die Zahl der schwülen Tage zwar (Abbildung 3-30), aber es sind eher kurzzeitig schwüle Bedingungen anzunehmen. In den letzten Dekaden stieg der Mittelwert von 11,5 d/a (1980 - 89) ber 15,3 d/a (1990 - 99) auf 18,5 d/a (2000 - 09) deutlich an.

<sup>9</sup> [<http://de.wikipedia.org/wiki/Schwüle>] 6.7.2011

Erwartungsgemäß tritt schwüle Hitze vor allem im Hochsommer auf, die Maxima liegen in den Monaten Juli und August (Abbildung 3-30). Es zeigt sich, dass die Anzahl der schwülen Tage im Zeitraum 1980-2009 gegenüber 1950-1989 deutlich zugenommen hat. So stieg das Mittel im Juli von 4,0 auf 6,0 Tage und im August von 3,1 auf 5,4 Tage an.



**Abbildung 3-30: Monatliche Verteilung von Tagen mit Dampfdruck > 18 hPa in Freiburg, berechnet auf Tagesmittel der Lufttemperatur (links) und Tagesmaximum der Lufttemperatur (rechts) für die Zeiträume 1950 - 1979 und 1980 - 2009; (Wetterdaten: DWD)**

### 3.1.3 Extremereignisse

Extremereignisse sind in der Regel im Zusammenhang mit einem Sektor der Landnutzung von Bedeutung, beispielsweise Spätfröste und Landwirtschaft. Es finden sich deshalb weitere Informationen über Extremereignisse bei den Kapiteln der betroffenen Landnutzungssektoren (z. B. 4.1.1, 4.2.1).

#### Stürme

Der Modellraum war in den letzten Jahrzehnten von mehreren Sturmereignissen<sup>10</sup> wie „Wiebke“ (1990), „Lothar“ (1999), und „Kyrill“ (2007) betroffen, von denen vor allem der Orkan „Lothar“ beispielsweise in der Forstwirtschaft zu erheblichen Schäden geführt hat.

Das Orkantief „Lothar“ zog am 26.12.1999 in nordöstlicher Richtung über West- und Mitteleuropa. Der Orkan richtete in Süddeutschland die höchsten Sturmschäden der jüngeren Geschichte an. Die stärksten Böen wurden mit 272 km/h auf dem Hohentwiel bei Singen gemessen<sup>11</sup>. In Freiburg betrug die maximale Windgeschwindigkeit 131 km/h (Wetterdaten des DWD), das war der seit Beginn der Messungen im Jahr 1955 höchste registrierte Wert<sup>12</sup>. Eine ähnlich große Windgeschwindigkeit in Freiburg wurde nur noch am 30.11.1976 mit 127,8 km/h gemessen. In Baden-Württemberg wurde durch „Lothar“ ungefähr die dreifache Menge des üblichen Jahreseinschlages (30 Mio. Fm) an Holz vom Sturm gefällt. Im Freiburger Stadtwald betrug im Jahr 2000 der Anfall an Schadholz durch den Sturm 60.000 Fm, was mindestens dem doppelten planmäßigen Jahreseinschlag entspricht (siehe 4.2.1, Abbildung 4-6).

#### Starkregen: Niederschläge über 40 mm/d und über 20 mm/d

Bei einem der Gespräche mit der Landwirtschaftsverwaltung wurde bemerkt, dass eine Häufung von Gewittern mit Sturm und Starkregenereignissen von 40 - 50 mm anstatt wie früher von 20 - 30 mm zu verzeichnen sei. Hierbei handele es sich um sehr lokale Ereignisse. In Abbildung 3-31 bis Abbildung 3-33 ist die Anzahl der jährlichen Starkniederschlagsereignisse mit mehr als 40 mm/d dargestellt. Solche Starkniederschläge sind an allen Standorten von Wetterstationen im Gebiet relativ selten. Sie treten im Mittel weniger als einmal jährlich in Eichstetten (0,6) und Freiburg (0,8) auf, in Breitenau gibt es ungefähr 1,5 Ereignisse pro Jahr.

In Eichstetten (Abbildung 3-31) gab es nur in sechs Jahren mehr als einen Starkniederschlag; lediglich das Jahr 1983 fällt mit vier Starkregenereignissen aus dem Rahmen. Zwei dieser vier Regentage sind dabei allerdings praktisch einem Ereignis zuzurechnen: am 24. Mai fielen 64,1 mm und am 25. Mai 47,5 mm.

Bedingt durch die Schwarzwaldrandlage treten in Freiburg Starkniederschläge häufiger auf als am Kaiserstuhl, jedoch überwiegen auch hier Jahre mit nur einem Starkniederschlagsereignis. Nur in den Jahren 1981 und 2006 gab es drei Regenereignisse mit Niederschlagsmengen über 40 mm/d. Auch hier sind solche

---

<sup>10</sup> Als Stürme werden Windereignisse mit einer Mindestgeschwindigkeit von 75 km/h (20,8 m/s = Windstärke 9 Beaufort) bezeichnet, bei Windgeschwindigkeiten über 117 km/h (32,7 m/s) spricht man von einem Orkan (ALBRECHT 2009).

<sup>11</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan\\_Lothar](http://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Lothar)

<sup>12</sup> Die Windmessung am Feldberg fiel während des Orkans leider aus, so dass von dort keine maximalen Werte vorliegen.

Starkniederschläge im Winterhalbjahr die Ausnahme, im Zeitraum von 66 Jahren gab es lediglich fünf Tage, drei davon im April.

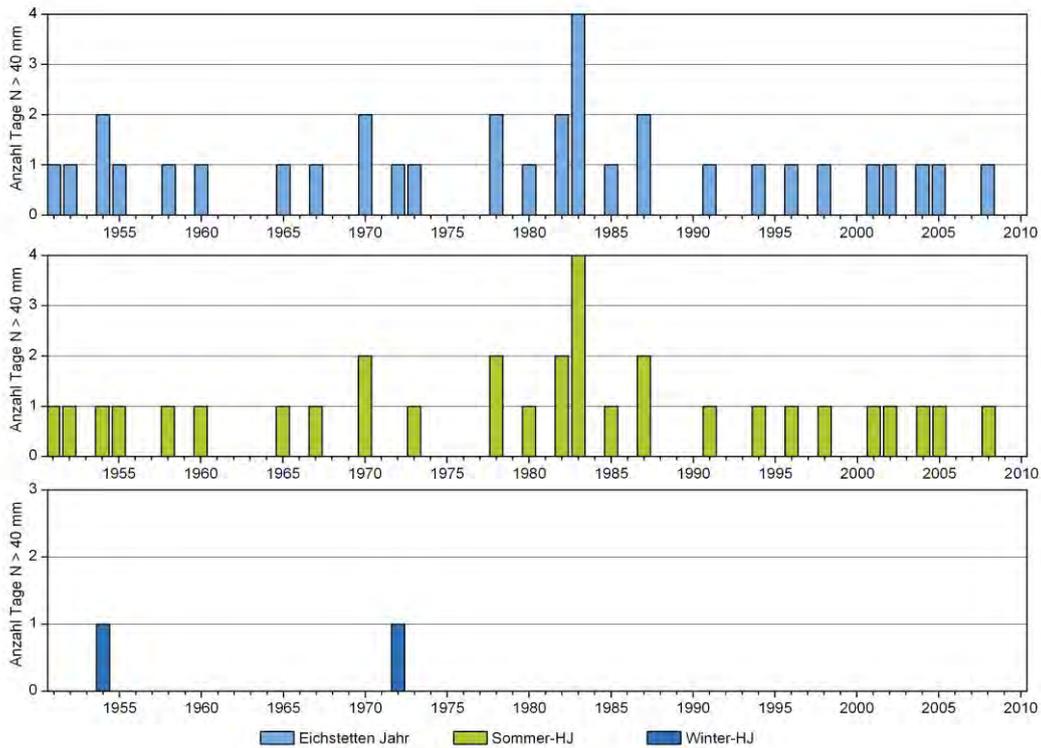


Abbildung 3-31: Starkregenereignisse in Eichstetten am Kaiserstuhl: Tage mit Niederschlagsmengen über 40 mm im Zeitraum 1951 bis 2010, Sommer-Halbjahr = Mai – Oktober, Winter-Halbjahr = November - April (Wetterdaten: DWD)

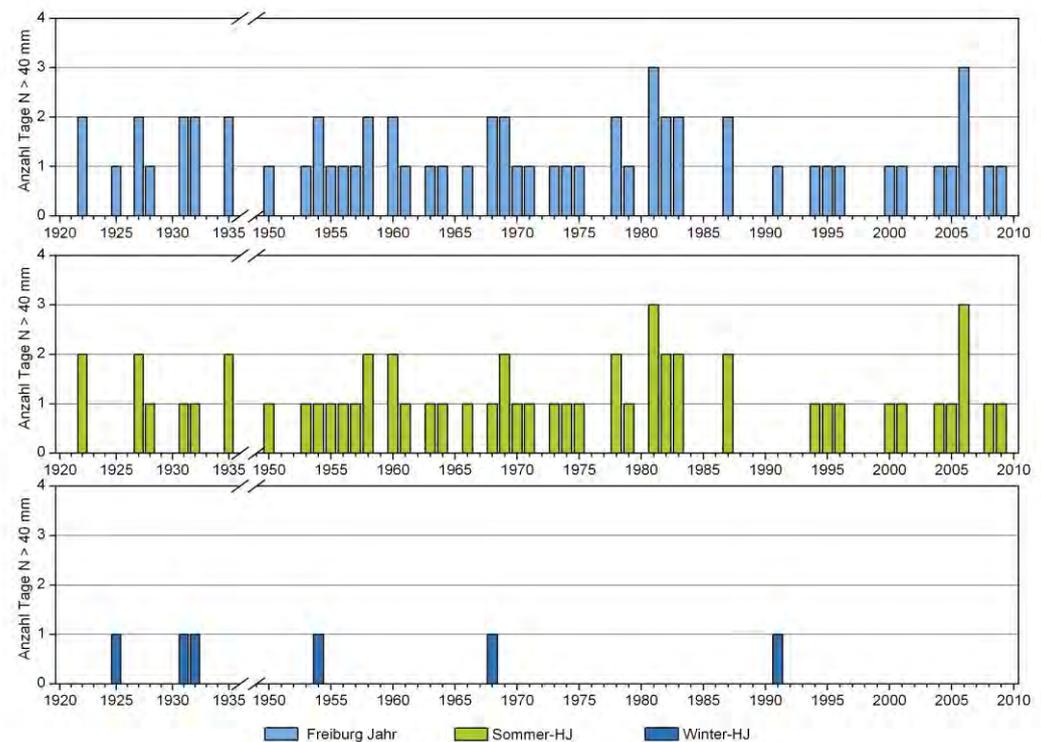
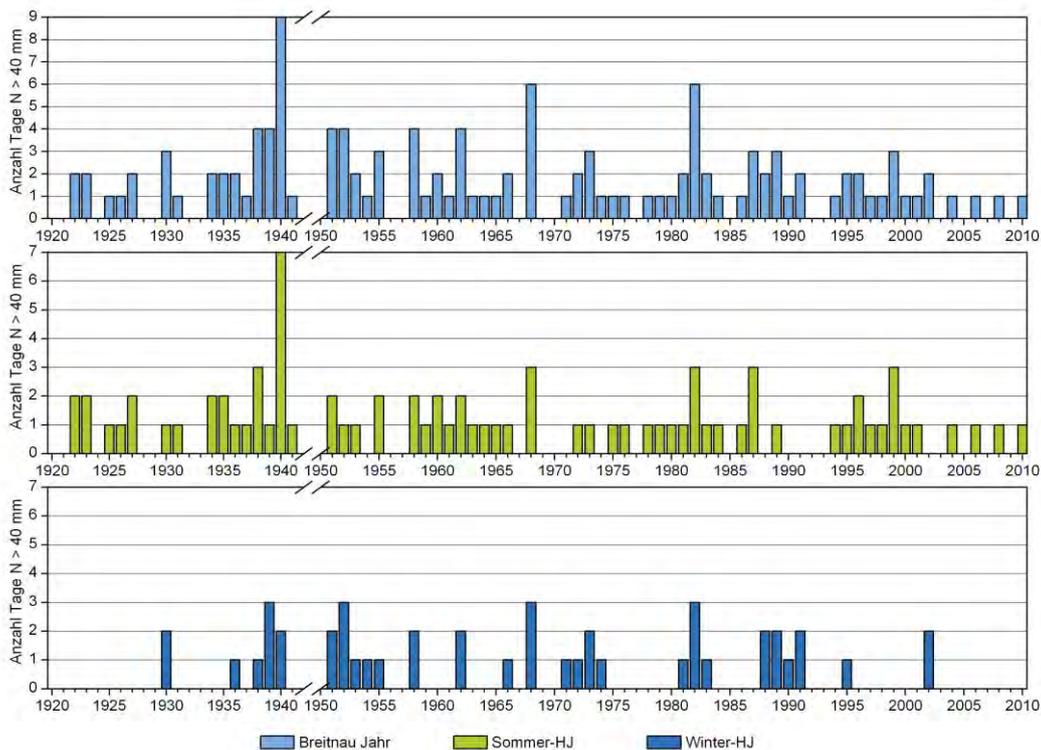


Abbildung 3-32: Starkregenereignisse in Freiburg: Tage mit Niederschlagsmengen über 40 mm im Zeitraum 1920 bis 2010; Datenlücke von 1936-1949 (Wetterdaten: DWD)



**Abbildung 3-33: Starkregenereignisse in Breitnau: Tage mit Niederschlagsmengen über 40 mm im Zeitraum 1920 bis 2010; Datenlücke von 1941-1950 (Wetterdaten: DWD)**

Im Zeitraum 1978 bis 1987 traten gehäuft Starkniederschläge in Eichstetten und Freiburg auf. In Breitnau gab es im Zeitraum 1934-1940 insgesamt 24 Tage mit Niederschlag über 40 mm, auch zwischen 1950 und 1955 häuften sich Starkniederschläge. Seit 2002 gab es keine Jahre mit mehr als einem Starkniederschlagsereignis mehr. Starkniederschläge konzentrieren sich bei allen drei Stationen auf das Sommerhalbjahr; in Eichstetten traten lediglich zwei Ereignisse in 60 Jahren im Winterhalbjahr auf. Mit zunehmender Nähe zum Schwarzwaldkamm und Niederschlagsmenge nehmen solche Ereignisse zwar zu, sie gehören aber auch in Freiburg noch zu den seltenen Ausnahmen. In Breitnau dagegen treten in manchen Jahren bis zu drei Winterniederschlagsereignisse über 40 mm/d auf, aber auch hier gab es seit 2002 keinen winterlichen Starkniederschlag mehr. Starkregen im Sommer sind meist auf Gewitter zurückzuführen, hier können lokal sehr große Unterschiede in Häufigkeit und Niederschlagsmenge vorkommen. Daher sind die Daten der Wetterstationen möglicherweise nicht immer für den jeweiligen Naturraum im Ganzen repräsentativ. Jedenfalls ist aus den Wetterdaten keine Zunahme von Starkregenereignissen in der jüngeren Zeit erkennbar; eine Häufung in den letzten Jahren kann aber ausgeschlossen werden. Auf Grund der Seltenheit der Ereignisse wurde auf Trendberechnungen verzichtet.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung von Tagen mit Niederschlagsmengen über 20 mm an den Wetterstationen. Hier zeigen sich unterschiedliche, insgesamt aber in jedem Fall sehr schwach ausgeprägte Trends (keine Korrelation). In Eichstetten am Kaiserstuhl (Abbildung 3-34) und -weniger ausgeprägt- in Freiburg (Abbildung 3-35) ist eine eher zunehmende Tendenz erkennbar, die sowohl für Ereignisse im Winter- als auch im Sommerhalbjahr gilt. In Breitnau (Abbildung 3-36) nehmen Tage mit Winterniederschlag über 20 mm/d tendenziell leicht zu, am Feldberg (Abbildung 3-37) deutlicher ab. Für beide Schwarzwald-Stationen ist für die Anzahl der Sommerregen über 20 mm/d keine Veränderungstendenz erkennbar.

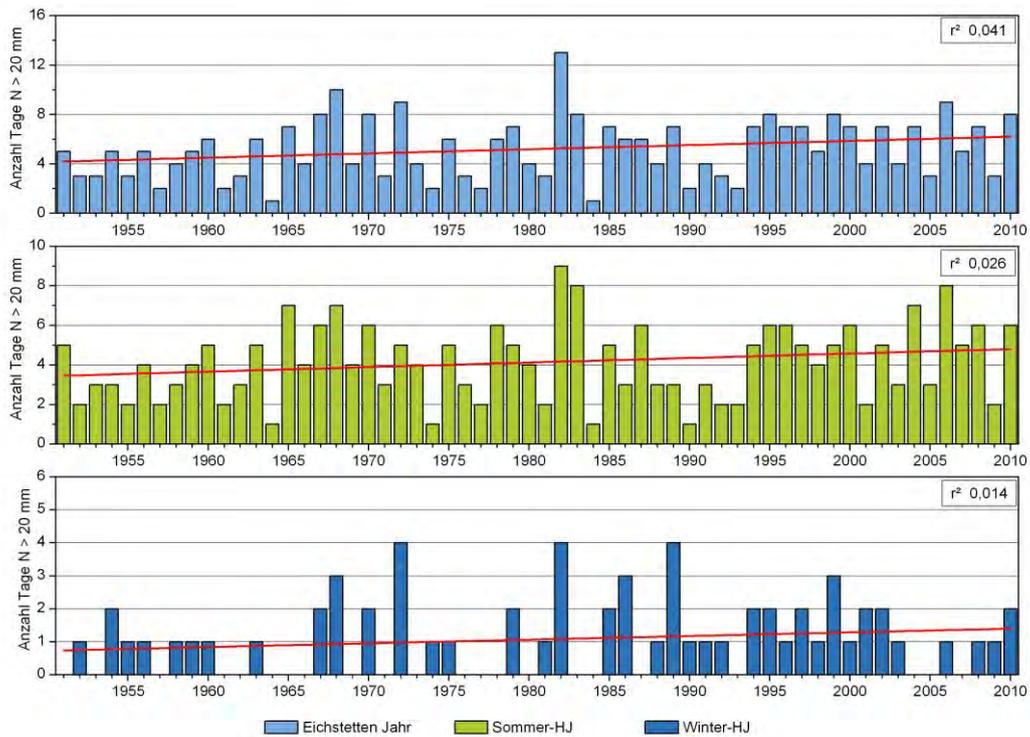


Abbildung 3-34: Anzahl der Tage mit Überschreitung einer Niederschlagsmenge von 20 mm in Eichstetten im Jahr sowie im Sommer- und Winterhalbjahr; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Quelle: Wetterdaten des DWD)

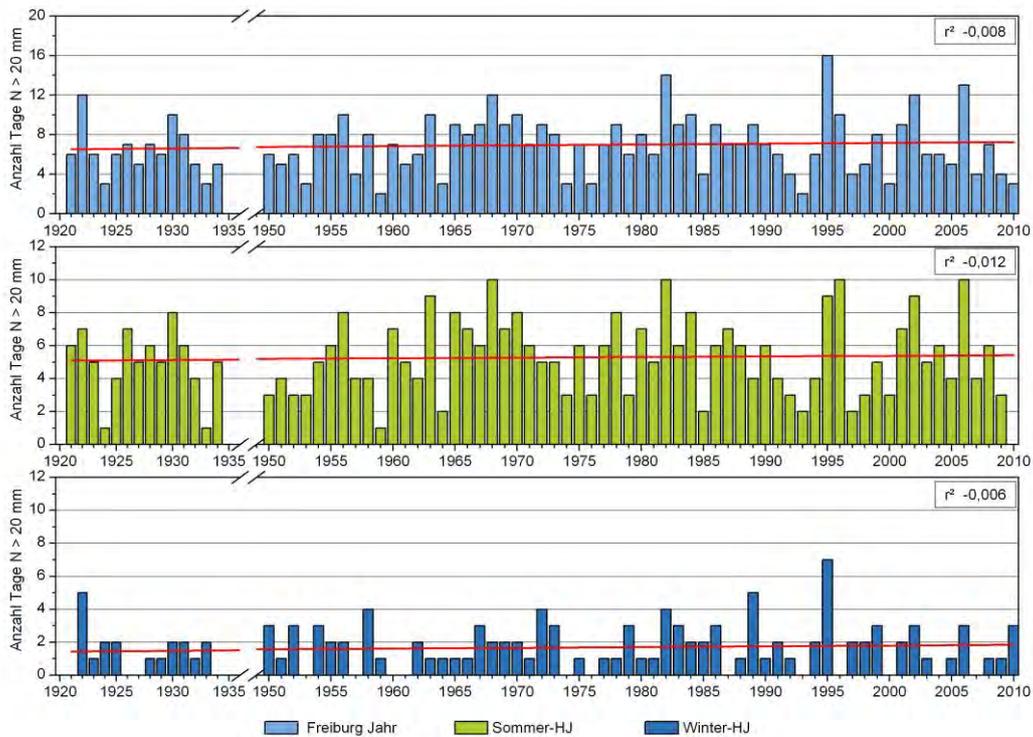
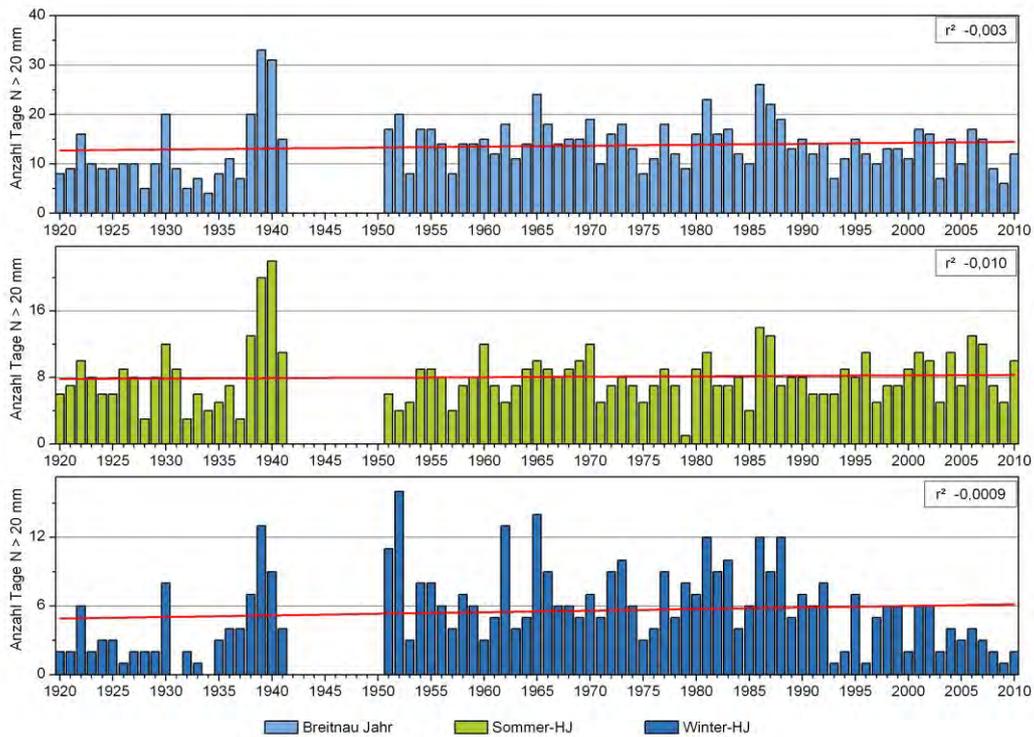
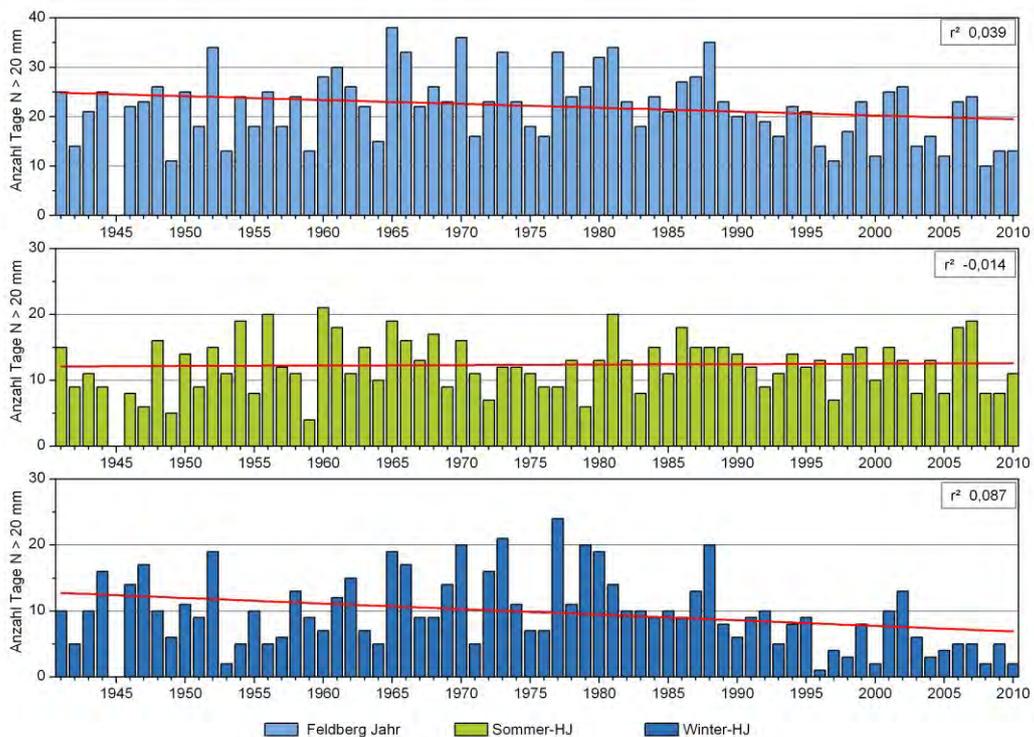


Abbildung 3-35: Anzahl der Tage mit Überschreitung einer Niederschlagsmenge von 20 mm in Freiburg im Jahr sowie im Sommer- und Winterhalbjahr; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Quelle: Wetterdaten des DWD)



**Abbildung 3-36:** Anzahl der Tage mit Überschreitung einer Niederschlagsmenge von 20 mm in Breitnau im Jahr sowie im Sommer- und Winterhalbjahr; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Quelle: Wetterdaten des DWD)



**Abbildung 3-37:** Anzahl der Tage mit Überschreitung einer Niederschlagsmenge von 20 mm auf dem Feldberg im Jahr sowie im Sommer- und Winterhalbjahr; rote Gerade = lineare Regression (Trend); (Quelle: Wetterdaten des DWD)

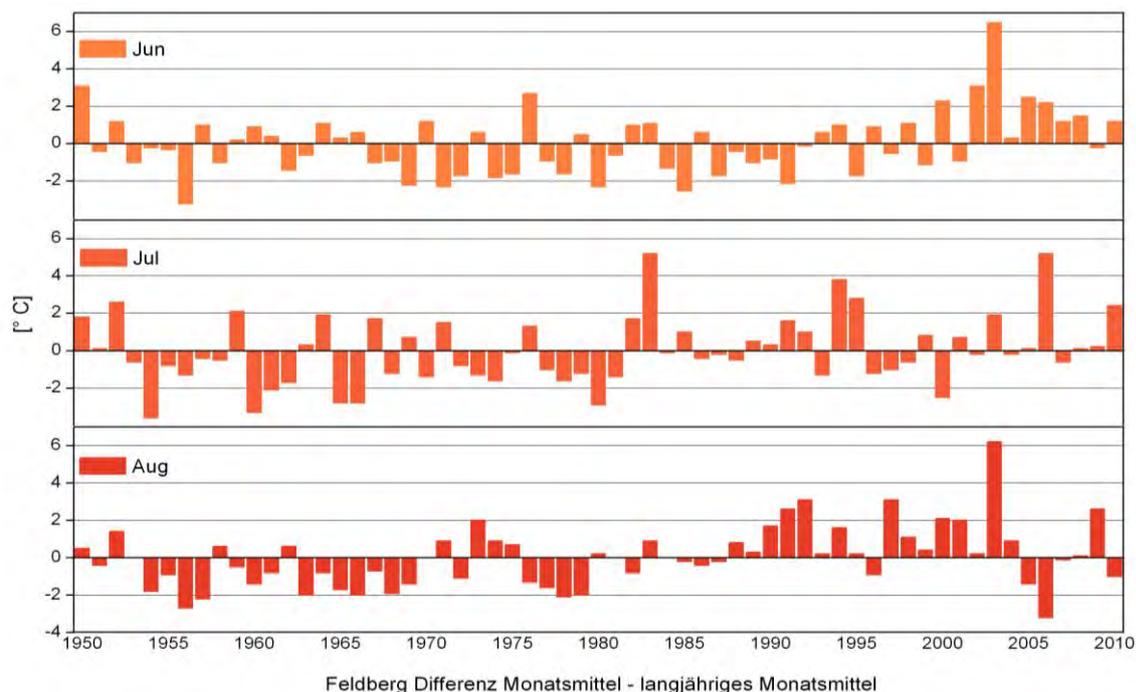
## Hitze und Trockenheit

Bei der Betrachtung von Hitze-Extremen wird - dies kam auch bei den Expertengesprächen (Kapitel 4) immer wieder zum Ausdruck - fast stets auf das Jahr 2003 verwiesen. Der „Jahrhundertsommer“ 2003 ist offensichtlich überall noch in sehr guter Erinnerung und wird als geradezu beispielhaft für den Einfluss des Klimawandels angesehen. Bereits in Kapitel 3.1.2.3 wurde anhand der weit überdurchschnittlichen Anzahl jährlicher Sommertage, heißer Tage und Tropennächte in Freiburg die besondere Situation im Sommer 2003 deutlich gemacht. So war in Freiburg im August 2003 eine ununterbrochene Reihe von 14 heißen Tagen (1.8.-14.8.) zu verzeichnen. Eine vergleichbare Situation gab es bisher nur im Jahr 1975 mit 15 heißen Tagen in Folge. Allerdings waren 2003 bereits 19 heiße Tage im Juni vorangegangen und es folgten nochmals 10 heiße Tage zwischen dem 16. und 31. August. Der Juli 2003 war mit „nur“ 11 heißen Tagen zwar noch überdurchschnittlich, aber nicht so herausragend warm wie Juni und August. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei der Betrachtung der Lufttemperaturen in Freiburg (Abbildung 3-38): Beim Vergleich der Jahresmittel ist 2003 mit 12,7° C nach 2000 (12,8° C) nur das zweitheißeste Jahr der Freiburger Zeitreihe. Ebenfalls um oder über 12° C Jahresmittel lagen auch 1990, 1994 (12,6° C), 1998, 1999, 2002 und 2006. Die mit deutlichem Abstand wärmsten Sommermonate, vor allem bei Juni und August, weniger deutlich ausgeprägt beim Juli, finden sich aber stets in 2003.



**Abbildung 3-38: Jahresmittel und Monatsmittel der Lufttemperatur der Monate Juni, Juli und August in Freiburg (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

Noch ausgeprägter stellt sich die Situation im Hochschwarzwald dar. Auch auf dem Feldberggipfel traten im Sommer 2003 außergewöhnlich hohe Temperaturen auf (Abbildung 3-39). Im Juni und August lagen die mittleren Lufttemperaturen jeweils um mehr als 6° C über dem langjährigen Mittel dieser Monate. Eine vergleichbare Situation hatte es im Juni und August zuvor noch nie gegeben. Wie auch in Freiburg war der Juli 2003 nicht so herausragend warm wie Juni und August, vergleichbare Temperaturen wurden am Feldberg bereits im Juli 1983 gemessen.



**Abbildung 3-39: Sommer auf dem Feldberg: Abweichung der Monatsmittel der Lufttemperatur von den jeweiligen langjährigen Monatsmitteln der Jahre 1950-2010 (Quelle: Wetterdaten des DWD)**

Auch bezüglich außergewöhnlicher Trockenheit wird stets das Jahr beziehungsweise der Sommer 2003 hervorgehoben. Betrachtet man die aber Jahres- oder Sommer-Niederschlagsmengen, dann ist 2003 oft nicht das Jahr mit den niedrigsten Werten. So wurde beispielsweise in Freiburg 1953 mit 641,0 mm (2003: 654,3 mm) die niedrigste Jahressumme gemessen und im Sommer 1959 fiel mit 372,9 mm (2003: 383,9 mm) der wenigste Regen. Allerdings ist die Kombination aus geringen Niederschlagsmengen und hohen Lufttemperaturen, die zu einer großen Trockenheit führt, im Jahr 2003 außergewöhnlich. So betrug 1959 die mittlere Lufttemperatur im Hochsommer (Juni, Juli und August) 19,8° C, im Jahr 2003 dagegen 24,1° C.

### Spätfröste

In württembergischen Weinbau sind im Jahr 2011 die stärksten Spätfrostschäden entstanden. Im Modellgebiet gab es 2011 im Gegensatz dazu keine Spätfrostergebnisse. Weitere extreme Spätfrostergebnisse werden von RUPP (2011) für die Jahre 1991, 1981 (17. - 24. April) und 1953 (10. - 12. Mai) genannt. 1991 wurden Ende April Temperaturen bis zu -7° C gemessen. Weitaus größere Schäden verursachten allerdings die Kälteeinbrüche der Jahre 1953 und 1981. Im Untersuchungsgebiet zeichnen die Messungen der Wetterstation Freiburg für den 11.5.1953 eine minimale Temperatur von -0,8 °C auf. 1981 bleiben die Temperaturen in Freiburg im genannten Zeitraum durchweg positiv und 1991 sinkt die Lufttemperatur nur am 21.4. auf -1,2 °C ab. Im Gegensatz dazu wurden 1981 und 1991 in Emmendingen-Mundingen folgende Lufttemperaturen gemessen:

19.04.1981	-3,3	21.04.1991	-4,5
20.04.1981	-2,8	22.04.1991	-3,7
21.04.1981	-2,6	23.04.1991	2,6
22.04.1981	-3,3	24.04.1991	2,1
23.04.1981	-3,8	25.04.1991	-1,9
24.04.1981	-0,2	26.04.1991	-1
25.04.1981	-1,6		

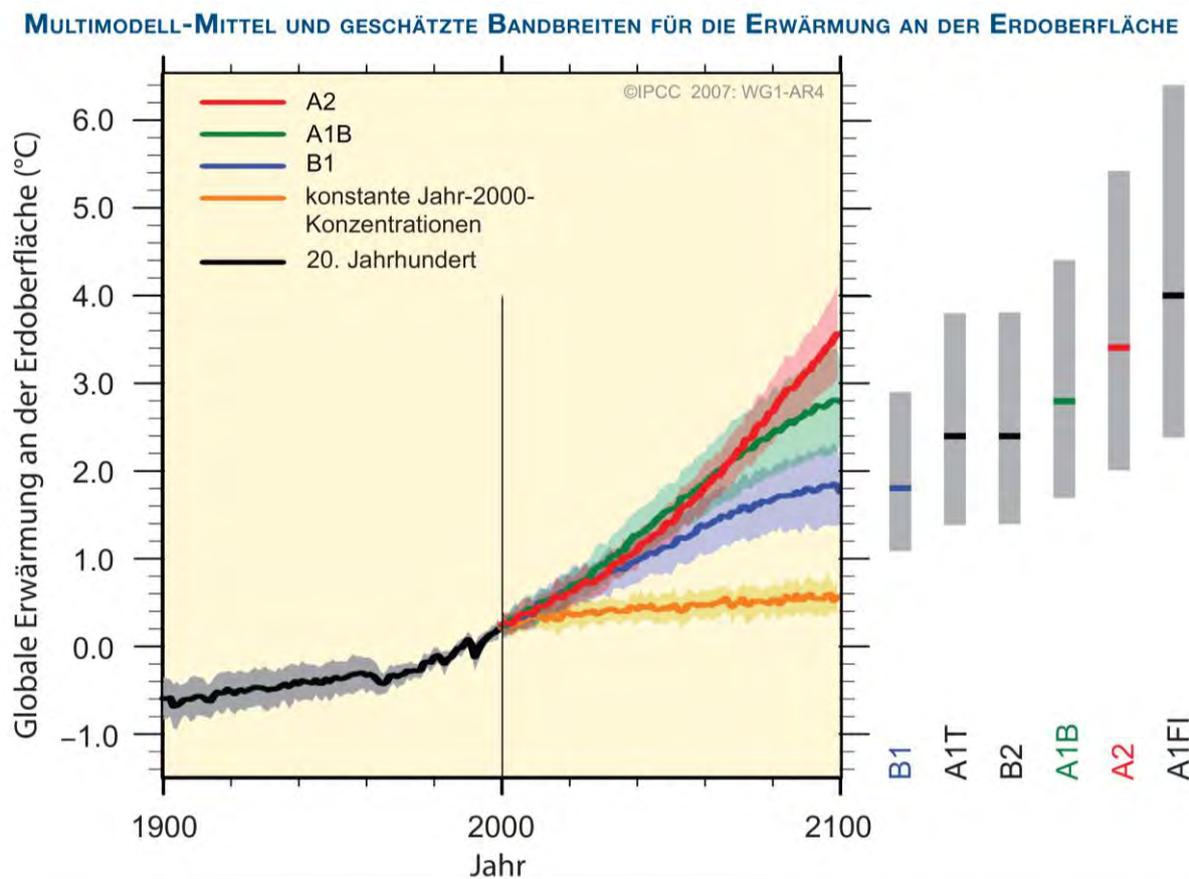
Mit dem zunehmend früheren Vegetationsbeginn durch die Klimaerwärmung sinkt das Risiko von Spätfrösten nicht, sondern es nimmt eher zu (RUPP 2011). Sowohl in den Jahren 1991 als auch Anfang Mai 2011 war mit einem sehr frühen Austrieb die wichtigste Voraussetzung für das Auftreten von Schäden erfüllt. Voraussetzungen für Schäden durch Strahlungsfröste sind nach RUPP:

- Pflanzen in empfindlichem Stadium
- vorherige Kaltluftzufuhr bzw. starke Abkühlung
- geringe nächtliche Bewölkung
- geringe Luftfeuchtigkeit
- Windstille
- geringe Wärmenachlieferung des Bodens
- starke Verdunstung nach Regenfall
- örtliche Kaltluftansammlung (Topografie, Relief)
- Fehlen von Ausstrahlungsschutz

## 3.2 Projektionen des Klimawandels für den Modellraum

### 3.2.1 Lufttemperatur und Niederschlag

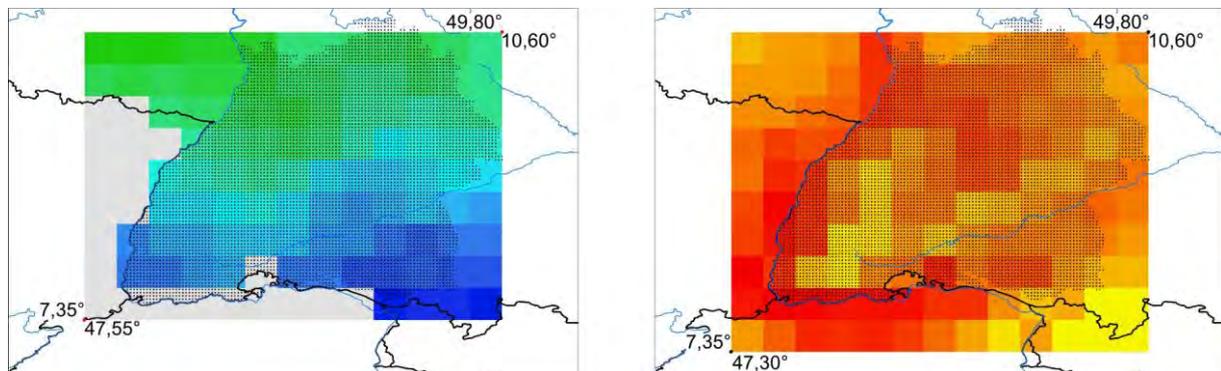
Die hier vorgestellten Ergebnisse zur Entwicklung des Klimas in Baden-Württemberg und im Modellraum beruhen auf den Auswertungen von 19<sup>13</sup> regionalen Klimamodellen, welche der Deutsche Wetterdienst im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) im Jahr 2010 bearbeitet hat. Allen verwendeten Klimamodellen liegt das sogenannte A1B-Emissions-Szenario zugrunde. Das A1B-Szenario geht von einem weiterhin rasch steigendem Wirtschaftswachstum und einer bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts wachsenden und danach abnehmenden Erdbevölkerung aus. Es wird eine rasche Einführung von effizienten Technologien und eine Energiegewinnung aus fossilen und nichtfossilen Energiequellen („balanced“) angenommen (IPCC 2007). Im vierten Sachstandsbericht des IPCC aus dem Jahr 2007 geht man bei Anwendung des A1B-Szenarios von einer globalen Erwärmung von 2,8 °C – bei einer wahrscheinlichen Bandbreite von 1,7 - 4,4 °C – bis zum Jahr 2100 gegenüber der Durchschnitts-Temperatur des Zeitraums 1980 - 1999 aus (siehe Abbildung 3-40).



**Abbildung 3-40: Durchschnitte und Bandbreiten der globalen Erwärmung auf Grundlage verschiedener Emissions-Szenarios. Durchgezogene Linien zeigen die Multi-Modell-Durchschnittswerte der globalen Erwärmung relativ zum Zeitraum 1980-1999 für die Szenarien A2, A1B und B1. Schattierte Bereiche geben die Bandbreite ( $\pm 1$  Standardabweichung) der individuellen Modell-Jahresdurchschnitte an (IPCC 2007a)**

<sup>13</sup> Die Auswertung der Frosttage beruht auf 17 regionalen Klimamodellen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Veränderungen für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber der Klimanormalperiode<sup>14</sup> 1961-1990 für die Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, heiße Tage, Sommertage, Frosttage und Eistage. Dargestellt sind jeweils das 15., 50. (Median, Zentralwert) und 85. Perzentil der Verteilung. Die hier betrachteten Raumausschnitte liegen im Südwesten Deutschlands und sind Abbildung 2-2 zu entnehmen. Die Rasterzellen des DWD-Ensembles haben eine Ausdehnung von 0,25°.



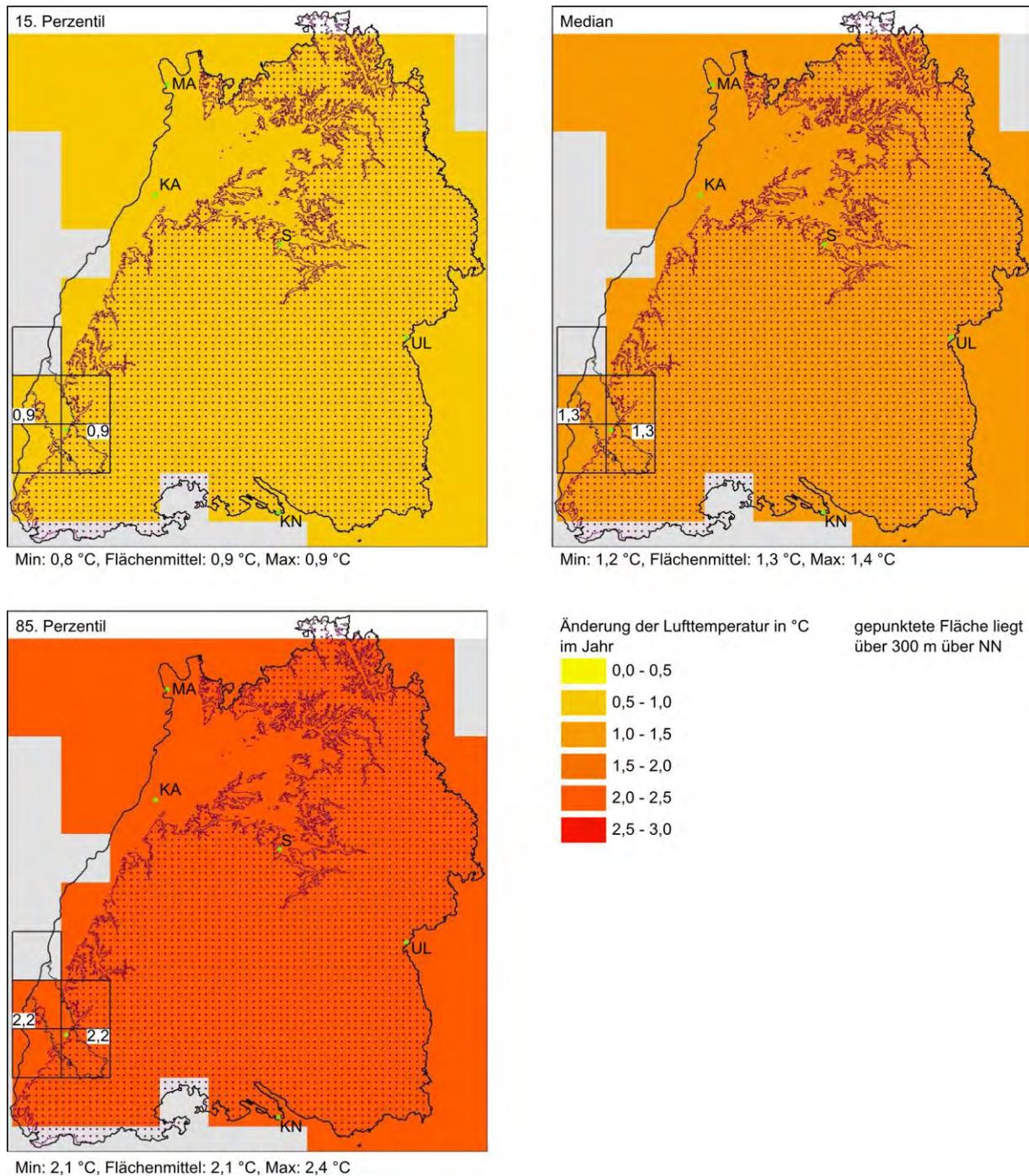
**Abbildung 3-41: Betrachtungsraum mit Angabe der geografischen Länge und Breite links unten und rechts oben (Latitude, Longitude) für die Parameter Lufttemperatur und Niederschlag (linke Seite) sowie heiße Tage, Sommertage, Frosttage und Eistage (rechte Seite)**

Durch Anwendung der Gauß-Krüger-Projektion auf die Original-Daten des DWD ergibt sich eine Rasterzellengröße von etwa 23 x 23 km. In Abbildung 3-42 bis Abbildung 3-51 sind die Klima-Projektionen für das Land Baden-Württemberg und den Modellraum dargestellt. Zur besseren Orientierung ist die Lage einiger größerer Städte Baden-Württembergs zusätzlich eingezeichnet. Der Modellraum liegt mit unterschiedlichen Flächenanteilen in 5 Rasterzellen. Für die beiden Rasterzellen mit dem höchsten Anteil am Modellraum (westliche Rasterzelle: Oberrheinniederung, östliche Rasterzelle: überwiegend Schwarzwald in der Höhenlage > 300 m ü. NN) sind jeweils die Werte angegeben.

<sup>14</sup> Unter der Klimanormalperiode versteht man den von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) festgelegten jeweils 30-jährigen Bezugszeitraum für die standardmäßige Auswertung von weltweiten Klimadaten.

## Lufttemperatur in 2 m Höhe

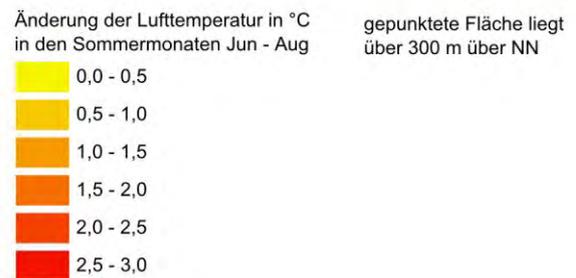
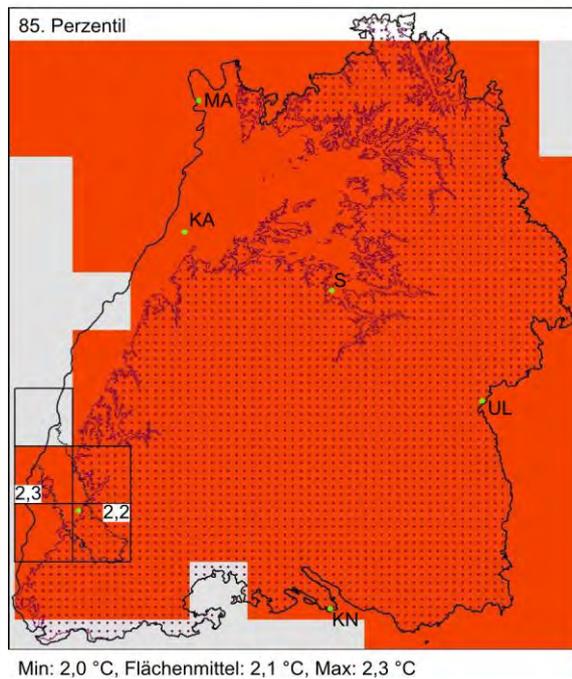
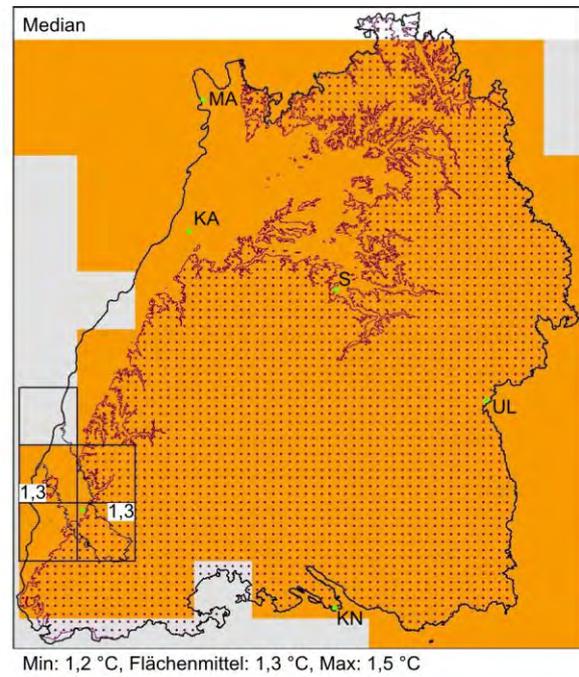
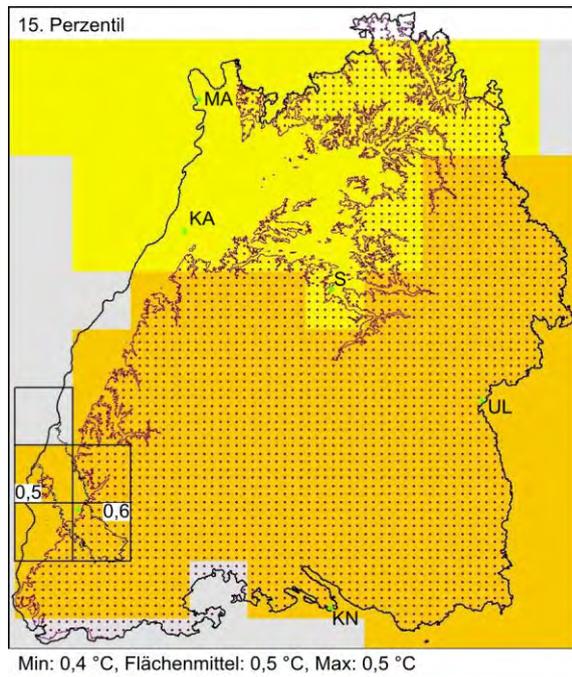
Gegenüber der Klimanormalperiode 1960-1991 steigt die Lufttemperatur im Projektionszeitraum 2021-2050 sowohl jahreszeitlich als auch über das gesamte Jahr betrachtet an (Abbildung 3-42 bis Abbildung 3-44). Das Flächenmittel des Medians im Betrachtungsraum für das gesamte Jahr liegt bei 1,3 °C (Abbildung 3-42). Die projizierte Veränderung der Lufttemperatur weist landesweit keine Uneinheitlichkeiten auf. D. h. in allen Landesteilen kann demnach von der gleichen Erwärmung ausgegangen werden.



**Abbildung 3-42: Änderung der Lufttemperatur in 2 m Höhe im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

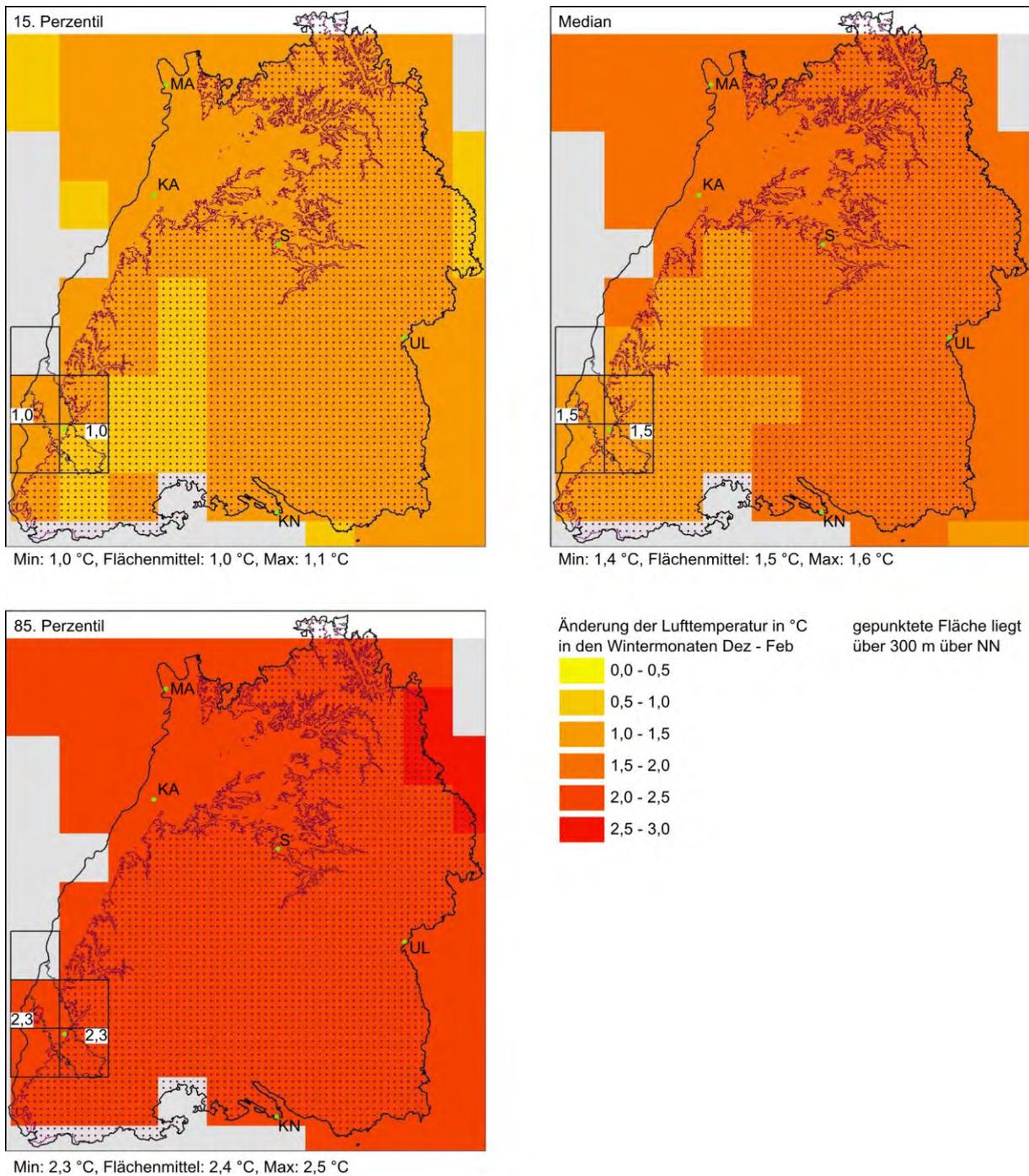
Ähnlich wie die Jahresmitteltemperatur verhält sich auch Lufttemperatur in den Sommermonaten: Flächenmittel des Medians (1,3 °C) und des 85. Perzentils (2,1 °C) sind einheitlich für das gesamte Gebiet.

Lediglich das 15. Perzentil weist ein leichtes Nord-Süd-Gefälle im Betrachtungsraum auf. Die Erwärmung könnte demnach in den nördlichen Landesteilen etwas geringer ausfallen, als in den südlicheren Bereichen.



**Abbildung 3-43: Änderung der Lufttemperatur in 2 m Höhe in den Sommermonaten Juni bis August für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

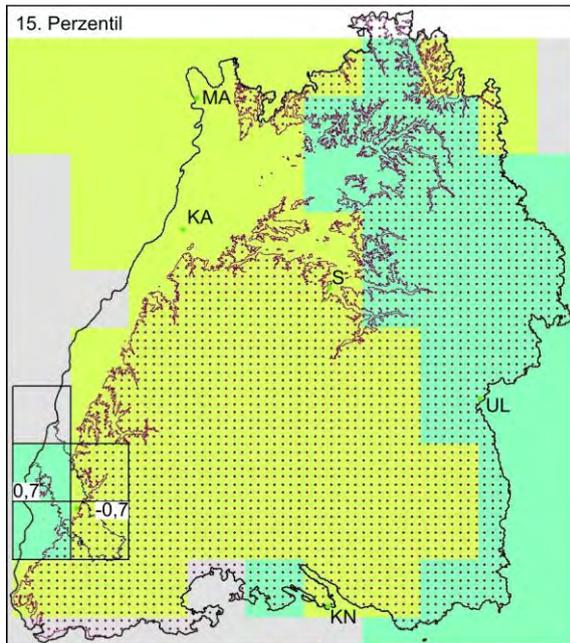
In den Wintermonaten Dezember bis Februar liegt der Median mit 1,5 °C leicht über Jahres- und Sommer-Median. Gleichzeitig ergibt sich für die Wintermonate ein leichtes SW-NO-Gefälle: Die südwestlichen Landesteile (Südlicher Oberrhein, Schwarzwald, Baar) inklusive des Modellraumes erwärmen sich im Winter etwas weniger als die übrigen Landesteile.



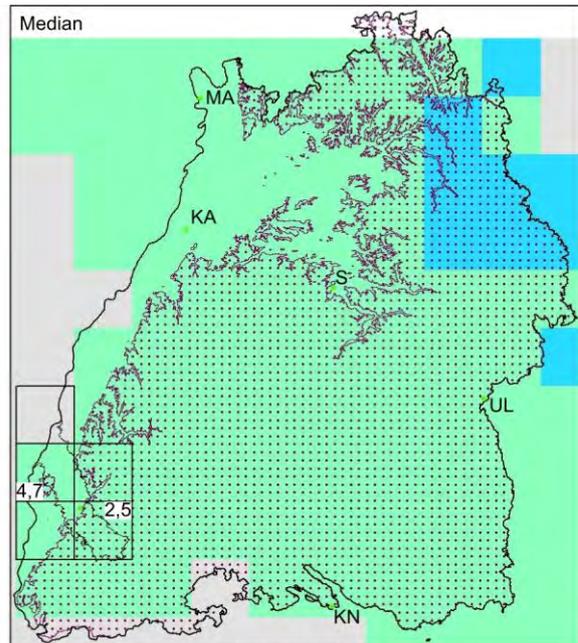
**Abbildung 3-44: Änderung der Lufttemperatur in 2 m Höhe in den Wintermonaten Dezember bis Februar für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

## Niederschlag

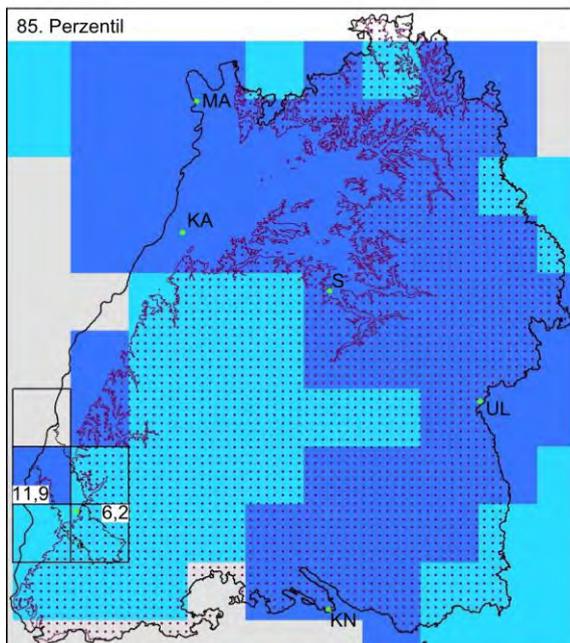
Für den überwiegenden Teil Baden-Württembergs zeigt die Jahresniederschlagssumme eine Zunahme unter 5 % an. Dieser sehr geringe Median ist für Baden-Württemberg recht einheitlich, nur im Nordosten des Landes scheint die Niederschlagszunahme leicht erhöht. Das 15. Perzentil schwankt um den Wert 0. Median und 85. Perzentil fallen für die Hochlagen des Modellraums deutlich niedriger aus als für das Rheintal und den Kaiserstuhl.



Min: -2,6 %, Flächenmittel: -0,4 %, Max: +1,4 %

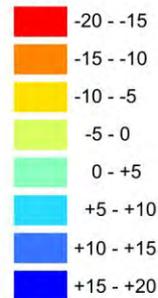


Min: +2,2 %, Flächenmittel: +3,8 %, Max: 6,1 %



Min: +5,7 %, Flächenmittel: +10,5 %, Max: +15,0 %

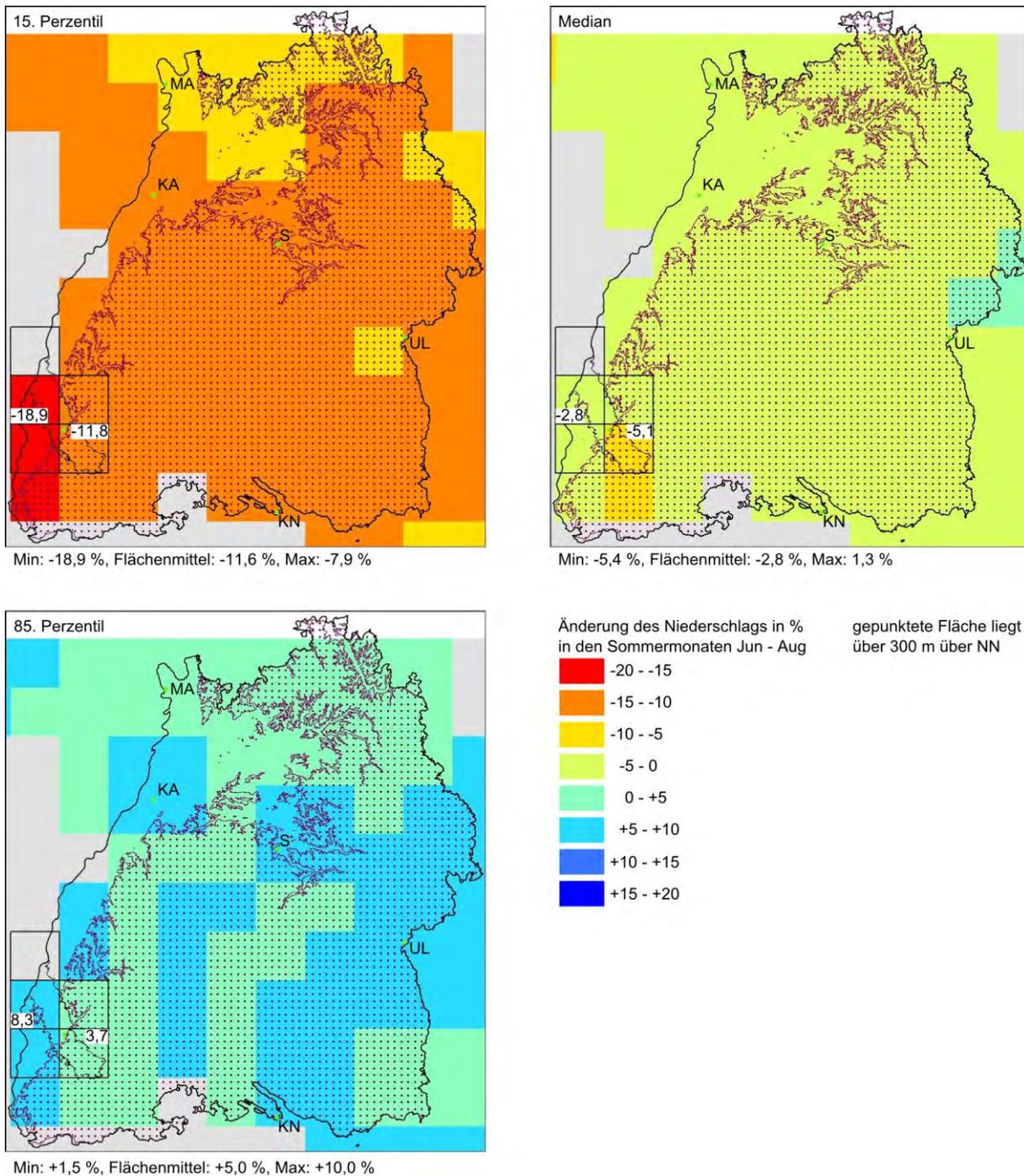
Änderung des Niederschlags in %  
im Jahr



gepunktete Fläche liegt  
über 300 m über NN

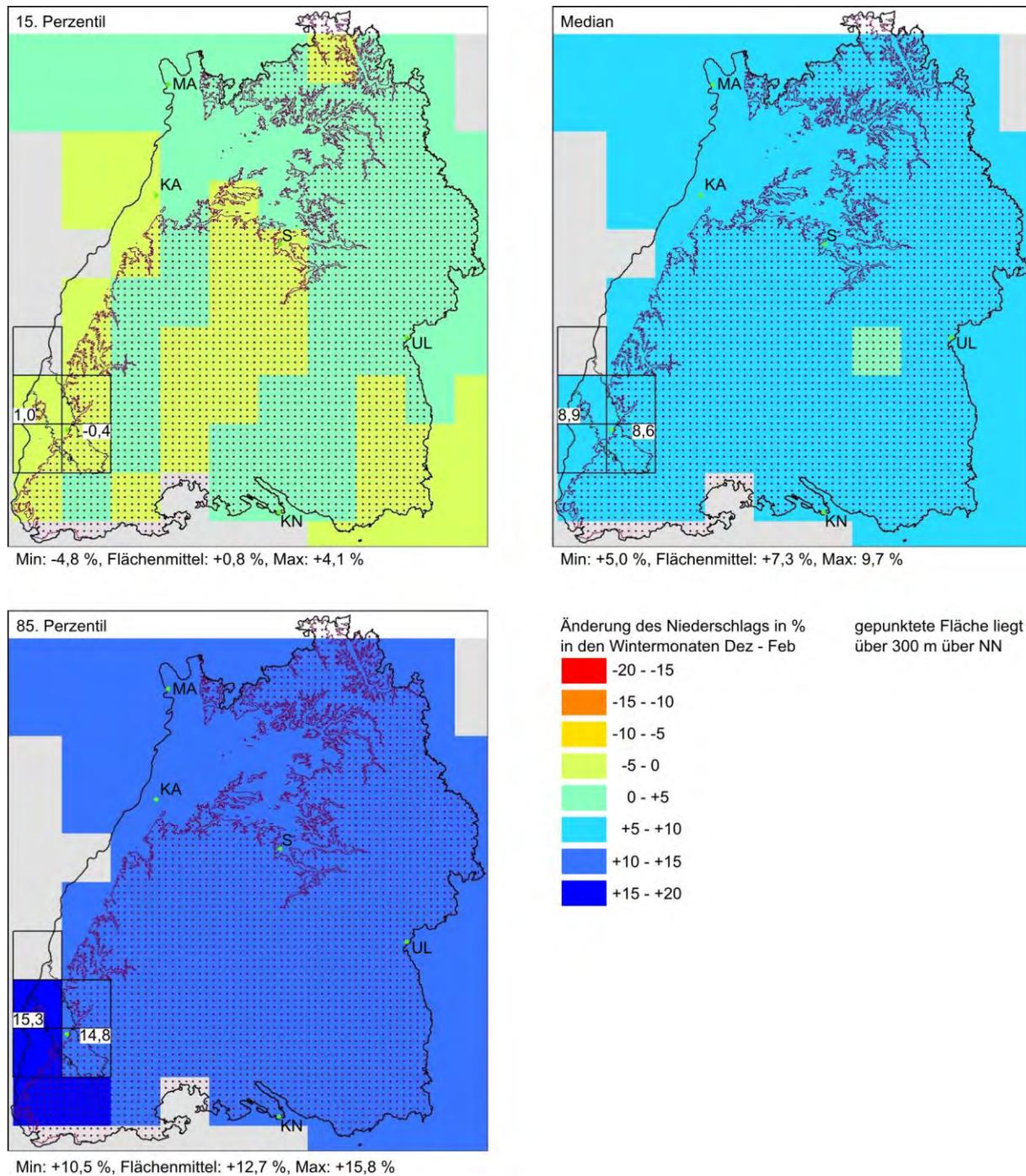
**Abbildung 3-45: Änderung des Niederschlags im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

Für den Sommer (Juni bis August) ergibt sich eine leicht rückläufige Niederschlagssumme (Abnahme gegenüber der Periode 1961-1990 um 2,8 % im Flächenmittel Baden-Württemberg). Es deutet sich für den Sommer eine stärkere abnehmende Tendenz des Niederschlags in den Hochlagen des Modellraumes von 5,1 % gegenüber dem Rheintal mit -2,8 % an. Das 15. Perzentil des Sommerniederschlags weist in Baden-Württemberg die höchste Abnahme für die Tieflagen des Modellraumes auf (Rückgang des Niederschlags um fast 19 %).



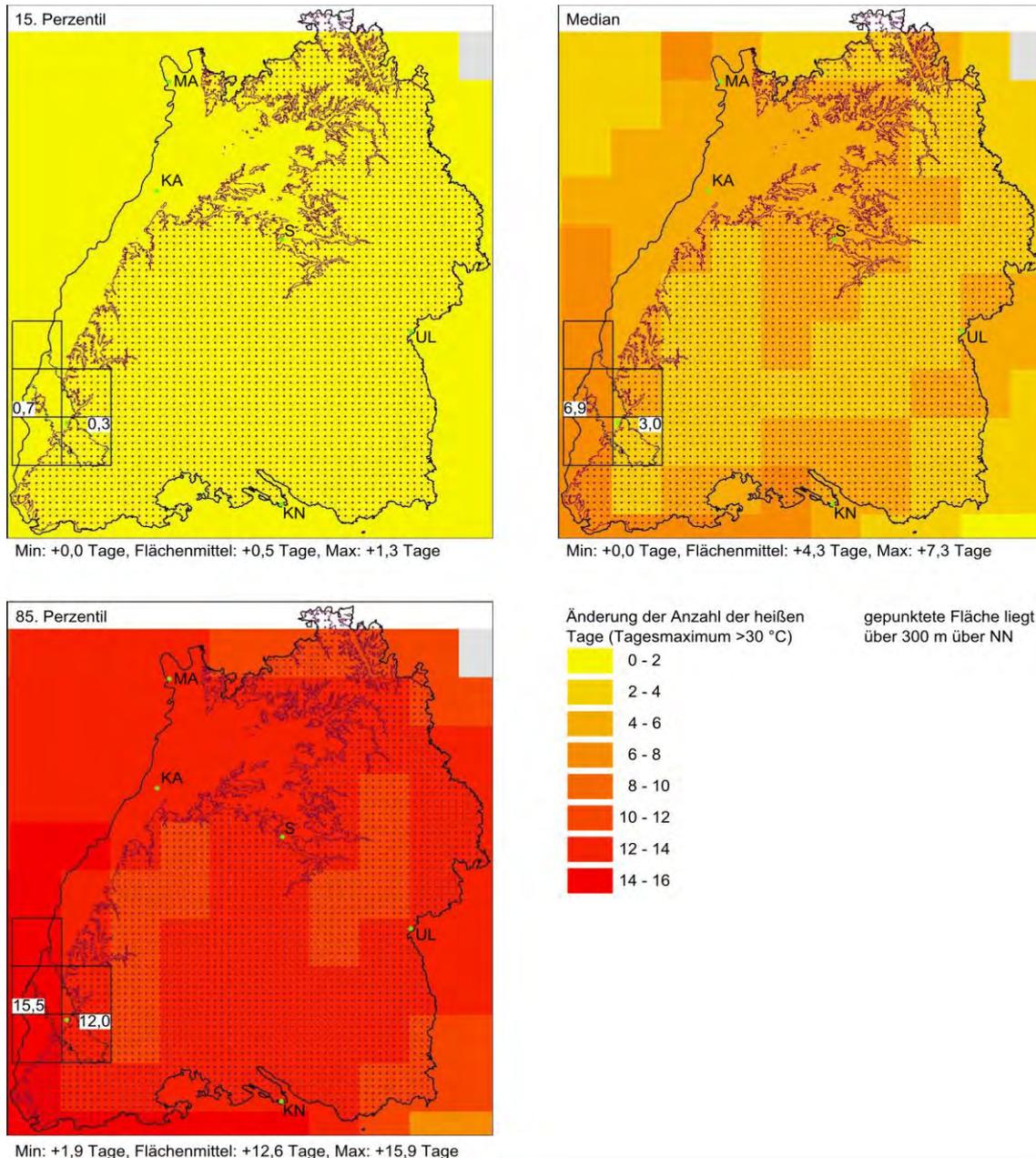
**Abbildung 3-46: Änderung des Niederschlags in den Sommermonaten Juni bis August für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

Im Gegensatz zu den rückläufigen Niederschlägen im Sommer (Juni bis August) weisen die Wintermonate (Dezember bis Februar) überwiegend - Ausnahmen Hochlagen 15. Perzentil - steigende Niederschlags-  
summen auf (Zunahme des Flächenmittels um mehr als 7 %). Die Änderungen im Modellraum in dieser Jahreszeit übertreffen diese mittleren Zunahmen, es wurden Werte zwischen 8,6 und 8,9 % berechnet.



**Abbildung 3-47: Änderung des Niederschlags in den Wintermonaten Dezember bis Februar für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

## Heiße Tage



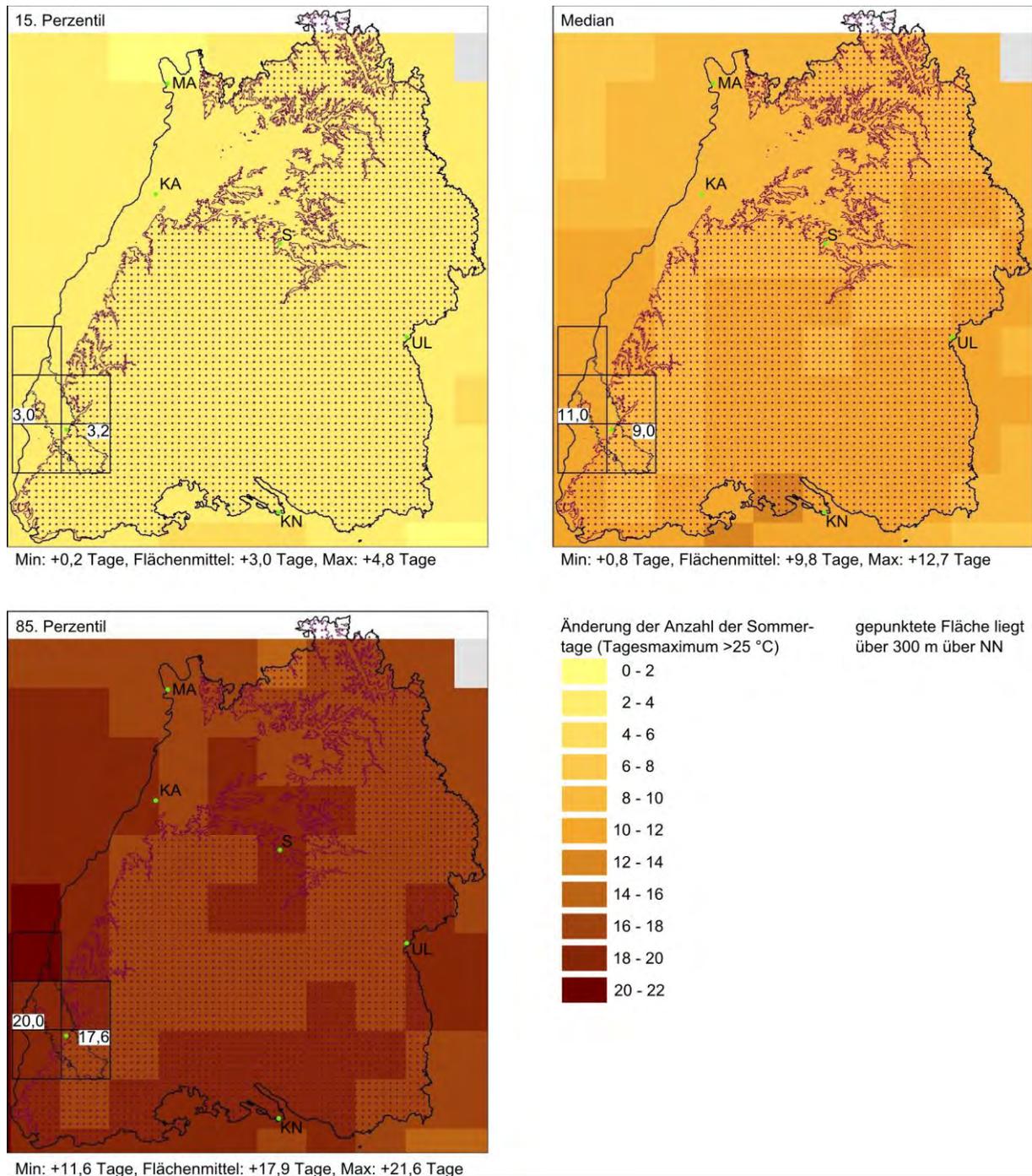
**Abbildung 3-48: Änderung der Anzahl der heißen Tage im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

Die Zahl der heißen Tage (Tagesmaximum > 30 °C) wird den DWD-Ensemble-Berechnungen zufolge in Baden-Württemberg um 2 - 8 Tage zunehmen. Besonders betroffen von der Zunahme könnten die südwestlichsten Landesteile sein. So könnte auch im Modellraum in der Oberrheinebene – also einem Gebiet, welches heute schon zu den wärmsten Räumen in Baden-Württemberg zählt<sup>15</sup> – die Anzahl der heißen Tage um knapp 7 Tage überdurchschnittlich hoch ausfallen. Aber auch die Hochlagen des Modellraumes hätten demnach noch ein - allerdings unterdurchschnittliches - Plus von drei Tagen zu verzeichnen.

<sup>15</sup> Für den Zeitraum 1971-2000 weist der Klimaatlas der LUBW für diesen Raum 10 bis 12 heiße Tage pro Jahr auf (siehe 3.1.2.3).

## Sommertage

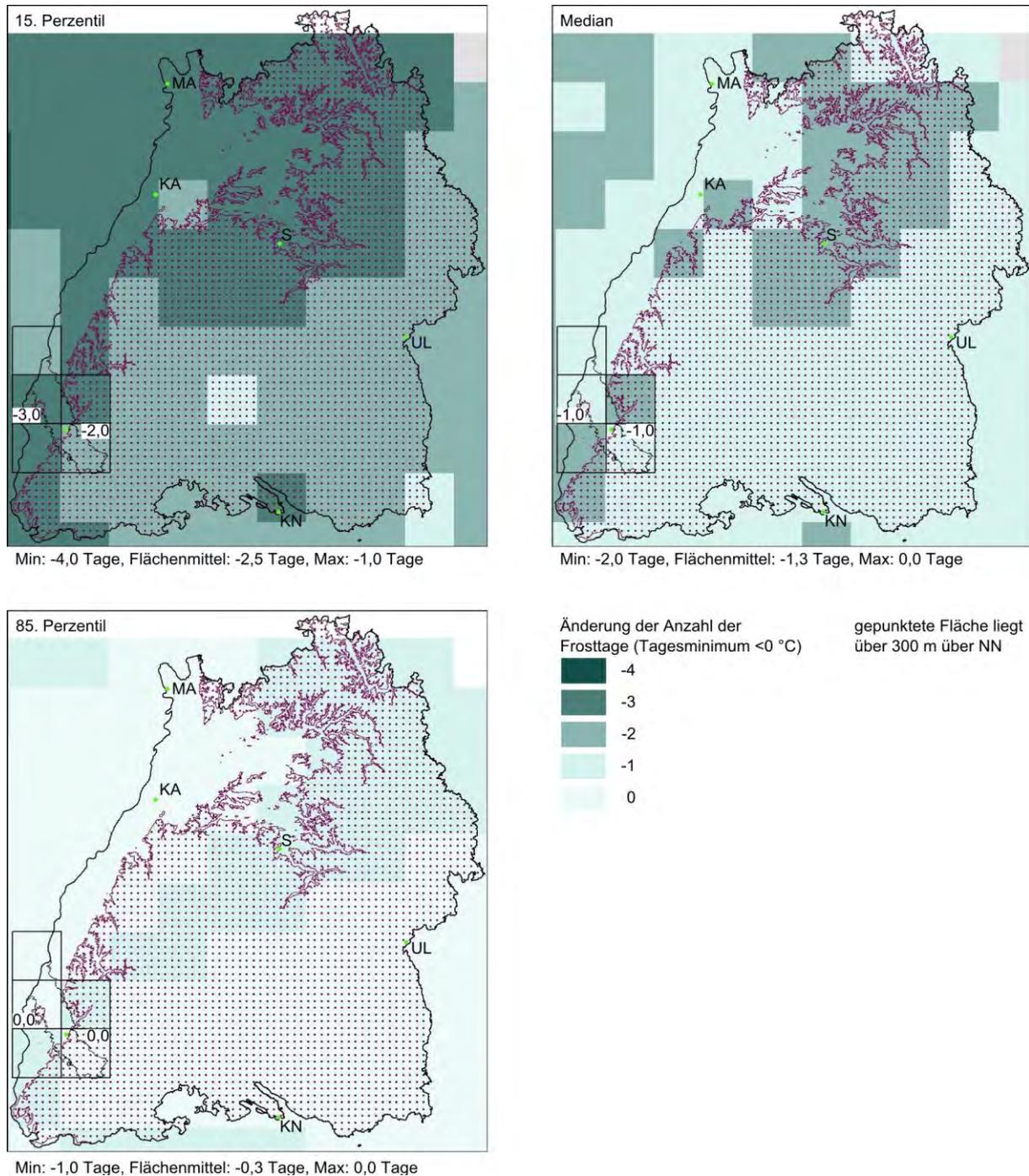
Die Anzahl der Sommertage (Tagesmaximum > 25 °C) dürften sich nach der Projektion des DWD im Zeitraum 2021-2050 in Baden-Württemberg um knapp 10 Tage (Flächenmittel des Medians) erhöhen. Der südliche Oberrhein ist auch hier wieder überproportional betroffen. So zeigen die Tieflagen des Modellraums eine Zunahme um 11 Sommertage, während in den höheren Lagen (> 300m ü. NN) wohl immerhin mit einer leicht unterdurchschnittlichen Erhöhung um 9 Sommertage zu rechnen ist.



**Abbildung 3-49: Änderung der Anzahl der Sommertage im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

## Frosttage

Die Abnahme der Anzahl der Frosttage (Tagesminimum  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ist bis zur Periode 2021-2050 nur geringfügig und weitgehend unabhängig von der Höhenlage. Selbst in den wärmsten Lagen Baden-Württembergs werden bislang 50 Frosttage verzeichnet, so dass sich eine Abnahme um 1-2 Tage kaum bemerkbar machen wird.

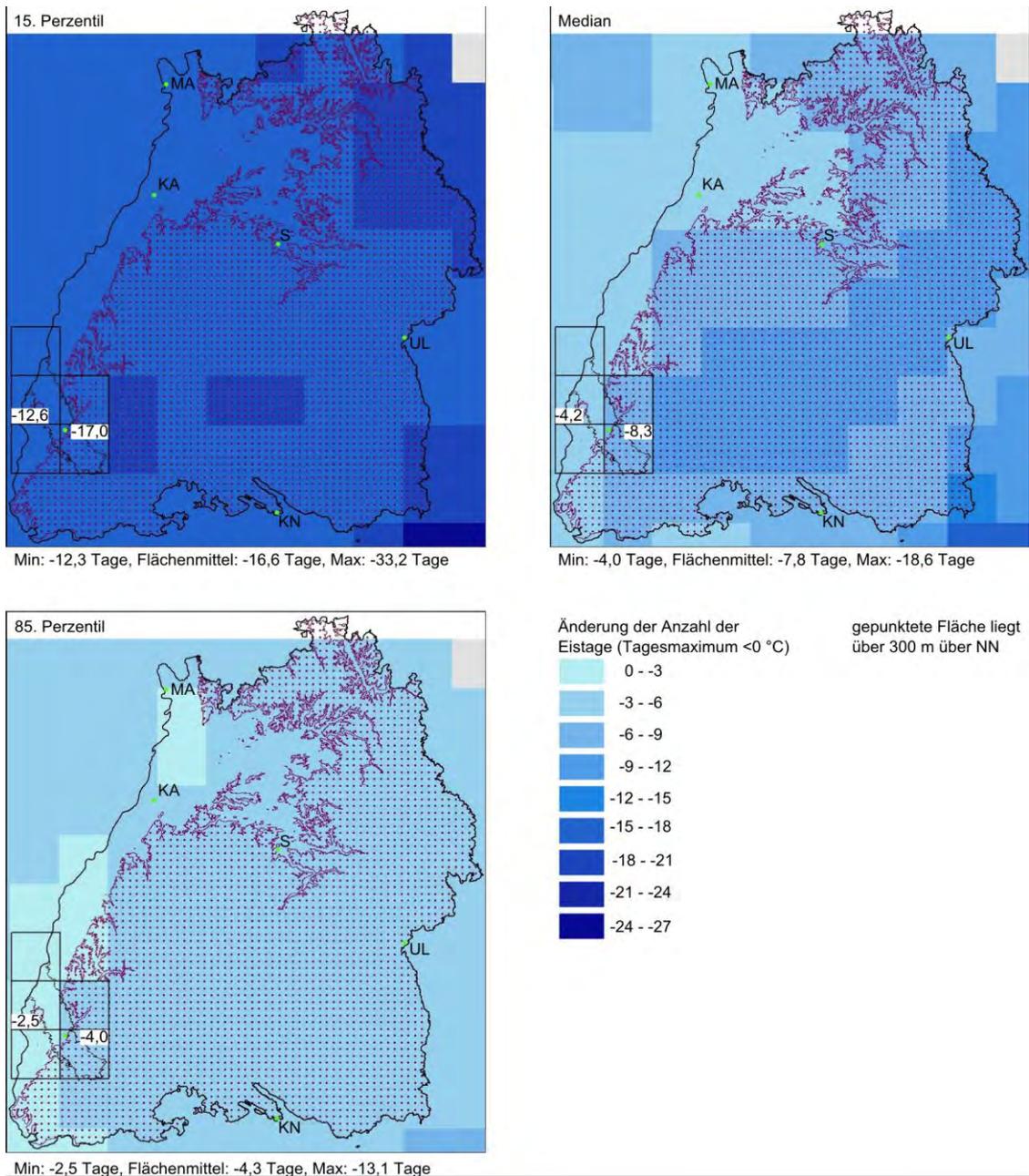


**Abbildung 3-50: Änderung der Anzahl der Frosttage im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

## Eistage

Sehr viel stärker macht sich – im Gegensatz zu den Frosttagen – die Abnahme der Eistage (Temperaturmaximum  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in Baden-Württemberg bemerkbar. Sie vermindern sich um 9 bis 12 Tage dort am stärksten,

wo kontinentalere Bedingungen herrschen. In den tieferen Lagen Baden-Württembergs wie dem Oberrheintal und dem Kraichgau ist die Verringerung mit 3 bis 6 Tagen schwächer ausgeprägt. Im Modellraum ist dem DWD-Ensemble nach gegenüber der Klimanormalperiode 1960-1991 von einer Reduzierung um mehr als 4 Tage in den Tieflagen und mehr als 8 Tage in den Lagen über 300 m zu rechnen<sup>16</sup>.



**Abbildung 3-51: Änderung der Anzahl der Eistage im Jahr für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber dem Zeitraum 1961-1990.**

<sup>16</sup> In den Jahren 1971-2000 wurden für das südliche Oberrheintal 10-12 Eistage verzeichnet. Die Höhenlagen über 300 m bis in die Gipfelbereiche des Feldberges weisen im gleichen Zeitraum 15-60 Eistage auf (Klimaatlas LUBW).

### 3.2.2 Extremereignisse

Die Entwicklung von Extremereignissen wurde im Forschungsprogramm Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg<sup>17</sup> ausführlich untersucht. Im Teilprojekt RESTER (Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder) wurde u. a. der Frage nachgegangen, ob sich im Zeitraum 2031 - 2050 die Wahrscheinlichkeit für Winterstürme erhöht. Das Teilprojekt „Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg (ReSiPrec) beschäftigte sich insbesondere mit der Entwicklung von Starkniederschlägen in den kommenden Dekaden. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Forschungsprojekte werden im Folgenden dargestellt.

#### **Winterstürme<sup>18</sup>**

Über Nordwestdeutschland ist mit einer Zunahme der Böengeschwindigkeit zwischen 2 und 8 % (Ensemblemittel) bei einer Wiederkehrperiode von 10 Jahren zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür liegt bei über 85 %. Für Baden-Württemberg ist das Ergebnis ebenfalls verhältnismäßig robust, zeigt aber eine geringfügige Abnahme der Böengeschwindigkeit für schadenrelevante und damit selten auftretende Winterstürme. Nach dem Ensemblemittel beträgt hier die Änderung der 10-jährlichen Böengeschwindigkeit zwischen -4,0 und +2,5 % mit einem Median von -2 %. Lediglich rund 10 % der Gitterpunkte zeigen dagegen eine geringe Zunahme. Diese sind ausschließlich auf das Rheintal und das nordöstliche Ufer des Bodensees beschränkt. Für alle übrigen Landesteile ist eine geringe Abnahme der Böengeschwindigkeit zu erwarten.

Obwohl die für Baden-Württemberg projizierte Abnahme verhältnismäßig robust ist, sollte sie aufgrund des geringen Änderungssignals von im Mittel 2 % nicht überinterpretiert werden. Die Kontrollperiode 1970-2000 war hier verglichen mit anderen Zeitabschnitten des 19. und 20. Jahrhunderts relativ stürmisch. Die Ergebnisse des Projekts legen nahe, dass auf ähnlich hohem Niveau mit zukünftigen Stürmen zu rechnen ist. Außerdem bedeutet eine geringfügige Abnahme der Geschwindigkeit, dass extreme Sturmereignisse wie „Vivian/Wiebke“, „Lothar“, „Kyrill“ (2007) und „Emma“ (2009), die in der Vergangenheit zu erheblichen Schäden in der Forstwirtschaft geführt haben (siehe 4.2.1), auch in Zukunft auftreten können.

#### **Starkniederschläge und Trockenperioden<sup>19</sup>**

Die im Rahmen des Projektes ReSiPrec untersuchten Änderungssignale in den Klimamodellen deuten auf einen Anstieg der zeitlichen Streubreite des Niederschlags, insbesondere im Sommer hin. Ein solches Verhalten führt zu einem extremeren Niederschlagsklima, trotz leicht abnehmender mittlerer Niederschlagssummen. Das heißt, dass sowohl längere sommerliche Trockenphasen als auch die Intensität von Starkniederschlags-Ereignissen zunehmen können. Die Änderungen bei den Starkniederschlägen dürften deutlicher ausfallen als die der mittleren Niederschläge, da die Enden der Häufigkeitsverteilung sensitiver reagieren als die Mittelwerte. Die Anzahl längerer Trockenperioden im Sommerhalbjahr dürfte bis Mitte des 21. Jahrhunderts zunehmen. Da sich die Zahl der trockenen Tage aber nur leicht ändert, nimmt die Anzahl der kurzen Trockenperioden ab.

---

<sup>17</sup> Unter der Webadresse <http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/> können detaillierte Informationen des Forschungsprogramms abgerufen werden.

<sup>18</sup> zitiert aus dem Abschlussbericht des Projektes RESTER, siehe <http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/>

<sup>19</sup> zitiert aus dem Abschlussbericht des Projektes ReSiPrec, siehe <http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/>

## 3.3 Fazit Kapitel 3

### **Klimatische Trends und Extremereignisse im Modellraum bis 2010**

Die in Kapitel 3.1.2 gezeigten und aus den Wetterdaten der DWD-Stationen im Gebiet berechneten Trends sollen die anhand langjähriger Datenreihen belegbaren Veränderungen des Klimas im Modellraum herausarbeiten, sie sollen nicht zur Projektion in die Zukunft dienen. Dies ist notwendig, da in den Experteninterviews im 4. Kapitel immer wieder auf Klimaeinflüsse Bezug genommen wird. Einige der in den Expertengesprächen angesprochenen Tendenzen können gut mit dem vorhandenen Zahlenmaterial hinterlegt werden. Hier sind beispielsweise die allgemeine Erwärmung der Lufttemperatur, die in Freiburg seit 1950 circa 1,5° C beträgt (Abbildung 3-17), oder der Rückgang der Schneebedeckung (Kapitel 3.1.2.2) zu nennen. Andere Aussagen, wie beispielsweise die Zunahme von Starkniederschlägen oder die Tendenz zu trockenem Frühlingswetter spiegeln sich nur bedingt oder überhaupt nicht in den Wetterdaten wider.

Mit dem Datenmaterial der DWD-Wetterstationen im Modellgebiet gut zu belegen ist die oben schon angesprochene allgemeine Erwärmung anhand der Lufttemperaturen. Dies gilt für das gesamte Modellgebiet vom Rheintal bis zum Feldberg (Abbildung 3-21). So ist die mittlere Lufttemperatur in Freiburg zwischen 1950 und 2010 um circa 1,5 °C angestiegen. Die Auswirkungen dieser Erwärmung führten im Rheintal zu einer stärkeren Hitzebelastung, was sich auch an der Zunahme der Sommertage, heißen Tage, Tropennächte und Tage mit schwüler Hitze in Freiburg belegen lässt. In Freiburg lag 1990 erstmals seit Beginn der Messungen die mittlere Lufttemperatur über 12° C, seitdem wurde diese Marke achtmal erreicht oder überschritten. Eine mit dem Rheintal vergleichbare Hitzebelastung (siehe auch 4.6.1.1) ist in den mittleren und höheren Lagen des Schwarzwaldes trotz steigender Temperaturen nicht zu erwarten. Hier kann eine gewisse Erwärmung durchaus als vorteilhaft angesehen werden, weiterhin stehen eher die Auswirkungen der Erwärmung auf die landwirtschaftliche Nutzbarkeit, die Wintersportmöglichkeiten sowie auf Flora und Fauna im Vordergrund.

Am Beispiel der April-Niederschläge konnte gezeigt werden, dass einerseits die mehrfach geäußerte (subjektive) Wahrnehmung trockenerer Frühjahre offensichtlich mehr an außergewöhnliche Einzelereignisse als an eine belegbare Tendenz gekoppelt ist. Andererseits sind im Frühjahr seit circa 2000 extreme Witterungen mit sehr hohen und sehr niedrigen Regenmengen praktisch im jährlichen Wechsel aufgetreten. Im Rheintal mit eher geringen Niederschlagsmengen und hohen (Frühjahrs-)Temperaturen wirkt sich dies drastischer aus, als in den höheren Lagen des Modellgebiets, die einerseits kühler, andererseits besser mit Regen versorgt sind. Dies gilt in ähnlichem Maß auch für andere Regionen des Landes.

Veränderungen im Auftreten von Extremereignissen sind wegen deren Seltenheit grundsätzlich schwer zu quantifizieren; am Beispiel der vergleichsweise häufig auftretenden Starkniederschläge (in Kapitel 3.1.3 als Tage mit  $N > 40$  mm/d definiert) zeigt sich, dass keine Zunahme aus den Wetterdaten erkennbar ist. Allerdings sind die Daten der wenigen Wetterstationen nicht unbedingt repräsentativ für die gesamte Modellregion, dies dürfte vor allem für sommerliche Starkniederschläge (Gewitter) gelten.

Als Beispiel für eine extreme Hitzeperiode kann der in den Expertengesprächen immer wieder erwähnte „Jahrhundert“-Sommer 2003 dienen. Die Jahresmitteltemperaturen 2003 waren in der Modellregion zwar durchweg hoch, aber keineswegs singulär herausragend. Außergewöhnlich warm waren vor allem die Monate Juni und August, in denen beispielsweise in Freiburg und auf dem Feldberg die höchsten Monatsmittel seit Beginn der Aufzeichnungen gemessen wurden.

## Klimaprojektionen bis 2050

Bis zum Jahr 2050 ist nach dem DWD-Ensemble in allen Landesteilen mit nahezu gleichmäßig ansteigenden Temperaturen (Median 1,2 - 1,4°C) zu rechnen. Im Modellraum beträgt der mittlere projizierte Anstieg gegenüber dem Zeitraum 1960 - 1991 1,3° C (Median, Abbildung 3-42), was in der Größenordnung recht genau der Tendenz der gemessenen Erwärmung innerhalb der letzten 60 Jahre entspricht (DWD-Station Freiburg, Abbildung 3-17). In den Wintermonaten (Dezember bis Februar) steigen die Lufttemperaturen etwas stärker an. Dies äußert sich auch in der Abnahme von Frost- und vor allem Eistagen. Die südwestlichen Bereiche von Baden-Württemberg und damit auch der Modellraum sind von dieser Entwicklung offenbar weniger stark betroffen (siehe Abbildung 3-44, Median) als die zentralen und nordöstlichen Landesteile.

Die Erwärmung in den Sommermonaten wird wegen der häufigen Überschreitung der Schwellenwerte eine deutliche Erhöhung der Anzahl der Sommertage und heißen Tage nach sich ziehen. Die Zunahme um fast 7 heiße Tage (Median, Abbildung 3-48) bis zum Jahr 2050 ist für Baden-Württemberg ein Spitzenwert. Heiße Tage und Sommertage werden somit im Oberrheintal im Vergleich zum Land Baden-Württemberg überdurchschnittlich ansteigen. Dieser projizierte prägnante Anstieg ist vor allem deshalb von großer Bedeutung, weil im Oberrheintal bereits heute überdurchschnittlich viele heiße Tage auftreten, in Freiburg beispielsweise 13 pro Jahr (Mittel 1949 – 2010). In den höheren Lagen der Modellregion, in denen aktuell keine oder nur sehr wenige heiße Tage und auch wenige Sommertage zu verzeichnen sind (siehe Abbildung 3-6), ist eher mit einer unterdurchschnittlichen Erhöhung der Wärme-Kenntage zu rechnen. Die Unterschiede innerhalb der Modellregion können sich demnach gegenüber heute deutlich verstärken. Während im Oberrheintal von einer zukünftig stärkeren Wärme-/Hitzebelastung (siehe hierzu 4.6.1) ausgegangen werden kann, könnte das Klima im Hochschwarzwald - zumindest hinsichtlich des menschlichen Wohlbefindens – günstiger werden.

Für die Niederschlagsverhältnisse ergeben sich jahreszeitenspezifisch betrachtet deutlichere Unterschiede: In den Sommermonaten ist in tieferen Lagen mit knapp 3 % und in den höheren Lagen mit circa 5 % weniger Niederschlag zu rechnen, während für die Wintermonate ein Anstieg um fast 9 % errechnet wurde (beides Median-Werte). Deutlich regional unterschiedliche Entwicklungen lassen sich aus den Projektionen des DWD für die Winterniederschläge nicht ablesen, die Projektionen der Sommerniederschläge streuen stärker (Abbildung 3-46, Abbildung 3-47).

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung von Extremereignissen zeichnet sich für das Modellgebiet ab, dass Winterstürme ebenso wie im ganzen Land eher geringfügig ab- als zunehmen sollen. Eine Ausnahme macht hier der Rheingraben, für den als eine von nur zwei Regionen in Baden-Württemberg ein leichter Anstieg berechnet wurde. Hier könnten also zukünftig Winterstürme eine noch größere Rolle spielen als in der schon recht stürmischen Vergangenheit der letzten 40 Jahre. Eine zukünftig weniger ausgeglichene Verteilung der Niederschläge und Trockenphasen ist nach den Ensemble-Modellrechnungen zu erwarten, außerdem könnten Extremereignisse wie Starkniederschläge und Trockenphasen zunehmen. Diese Entwicklung dürfte vor allem im Oberrheintal die heute schon bestehenden Probleme mit Sommertrockenheit (z. B. für die Landwirtschaft, siehe 4.1.1) weiter verschärfen.

# 4 Bisherige Auswirkungen des Klimas, Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen

## 4.1 Landwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft werden hinsichtlich ihrer Betroffenheit durch den Klimawandel allgemein als Schlüsselbereiche gesehen (CHRISCHILLES et al. 2010). Wichtige Aspekte sind hier

- die Beschleunigung biologischer Prozesse wie Zersetzung, Bodenatmung oder Humusabbau mit steigender Temperatur (GEBHARDT 2000); diese hängt jedoch auch von Bodenwasserhaushalt ab, so dass standortabhängig unterschiedliche Tendenzen möglich sind (z. B. WATTENDORF et al. 2010)
- vor allem im Ackerbau zunehmender Bedarf an Be-/Entwässerung, sowie höhere Erosionsanfälligkeit infolge Humusabbaus und zunehmender Winterniederschläge
- Zunahme von Extremereignissen wie Hagel oder Starkniederschlagsereignisse
- klimawandelinduzierte Zunahme von Pathogenen, beispielsweise im Obstbau durch eine zweite Larvengeneration des Apfelwickler, neue Schadpilze wie z. B. die schwarze Sommerfäule, oder Hallimasch an Süßkirschen

### 4.1.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.1.1.1 Extremereignisse

Die Landwirtschaft betreffende extreme Witterungsereignisse wie Hagel, Nässe, Spät- oder Frühfröste gibt es regelmäßig überall im Modellgebiet. Die befragten Experten erleben eine Zunahme und Verstärkung der Extremereignisse und werten dies als Auswirkung des Klimawandels.

*Stürme stellen ein großes Problem für die Landwirtschaft dar, da sie in allen Kulturen Schäden verursachen können. So haben Sturmereignisse im Getreidebau durch das Umlegen der Halme eine Verschlechterung der Qualität zur Folge. Auch im Obstbau entstehen Probleme durch Astbruch.<sup>20</sup> Es wurden jedoch keine konkreten Angaben zu Schäden, beispielsweise durch die großen Sturmereignisse der letzten Jahre (siehe 3.1.3), gemacht.*

*Durch Starkregenereignisse entstehen in der Landwirtschaft - abgesehen vom Freispülen der Wurzeln - keine mechanischen Schäden. Das größte Problem stellt die Erosion auf Flächen ohne Bewuchs im Winter oder mit Reinkulturen wie Mais. Durch Bodenabtrag geht Phosphat verloren, welches an anderer Stelle wieder abgelagert wird. Hierdurch können noch kleine Kulturen geschädigt werden. Es ist aber fraglich, ob dies auch statistisch belegbar ist.*

---

<sup>20</sup> Aussagen der Experten in den Interviews sind in Kapitel 4 und 5 *kursiv* gedruckt.

*In Folge der lokalen **Hagel**ereignisse im Jahr 2009 war ein Totalausfall bei einzelnen Betrieben und Kulturen zu verzeichnen. Totalausfälle sind früher nicht aufgetreten. Auch im Juni/Juli 2010 kam es im Weinbau vereinzelt zu Ausfällen zwischen 15 und 35 Prozent am Tuniberg und im Breisgau.*

Die **Hitze und Trockenheit** in den Jahren 2003 und 2006 hatten extreme Ertragsminderungen bis hin zu Totalausfällen in der Landwirtschaft zur Folge. Starke Auswirkungen waren besonders bei Ackerkulturen, Getreide und Mais zu verzeichnen. Vor allem das Rheintal war stark von der Hitze betroffen. *Im Sommer 2003 trockneten gesunde Weintrauben am Stock wie Rosinen ein. In der Wasserversorgung der Reben bestehen innerhalb der Region erhebliche Unterschiede zwischen tiefgründigen Lössböden mit äußerst hoher Wasserspeicherkapazität (östlicher Kaiserstuhl, Tuniberg) und flach gründigen Böden des westlichen Kaiserstuhls und der Vorbergzone. 2003 wurden im Gebiet außergewöhnlich hohe Mostgewichte (Zucker-gehalt) und zu niedrige Säureanteile gemessen (AMANN 2008). Extrem heiße Sommer wie 2003 und 2006 brachten verfrühte Reife und damit einhergehend oft verstärkten Botrytisbefall (Grauschimmel). Auch der Entwicklungsvorsprung 2011 mit circa 3 Wochen verursachte einen hohen Fäulnisdruck, da die Nachttemperaturen im September höher waren als im Oktober. Fäulnisvermeidung spielt seit einigen Jahren die größte Rolle in der weinbaulichen Arbeit.*

Auch das in der Literatur häufig prognostizierte stärkere Auftreten von Schadorganismen wurde registriert, denn *in Folge der Wärmephase im Mai/Juni 2011 konnten sich Insekten wie der Maiswurzelbohrer stark vermehren.*

#### 4.1.1.2 Langfristige Trends

##### **Belegbare Trends**

**Vegetationszeitverlängerung:** *In Bezug auf die Vegetationszeit sind auffällige Änderungen zu verzeichnen. So benötigt die Maissaussaat eine Bodentemperatur von circa 8° C. Früher fand eine frühe Maissaussaat um den 20. April statt, heute teilweise schon Anfang April, so dass sich die Vegetationszeit deutlich verlängert hat. Sie beginnt früher und endet später. Dieses Phänomen kann im gesamten Modellgebiet sowohl im Schwarzwald als auch im Rheintal beobachtet und mit phänologischen Daten belegt werden (z. B. Rebbüte oder Reifebeginn der Trauben, siehe Abbildung 4-1). Insgesamt ist eine frühere Reife der Kulturen festzustellen.*

*Die Traubenlese 2011 hat so früh stattgefunden wie noch nie. Die höheren Durchschnittstemperaturen in der Vegetationszeit und die beschleunigte Reifeentwicklung der Trauben sind keinesfalls nur positiv für den Weinbau zu sehen (AMANN 2006). So besteht beispielsweise eine Entwicklung zu geringeren Säuregehalten in den Trauben, was zu Risiken von Fehlentwicklungen bei der Gärung führen kann (SIGLER 2008).*

*Auch in den höheren Lagen ist die Vegetationszeit länger geworden. Das Grünland bleibt mittlerweile sehr lange grün - bis in den Winter -, was früher eher selten der Fall war. Dadurch ist auch ein Weidegang sehr lange möglich. In den unteren Lagen ist dieses Phänomen weniger extrem ausgeprägt. In den Höhenlagen gibt es auch dahingehend Veränderungen, dass eine Grünland-Intensivierung früher nicht so einfach möglich war wie dies mittlerweile der Fall ist.*

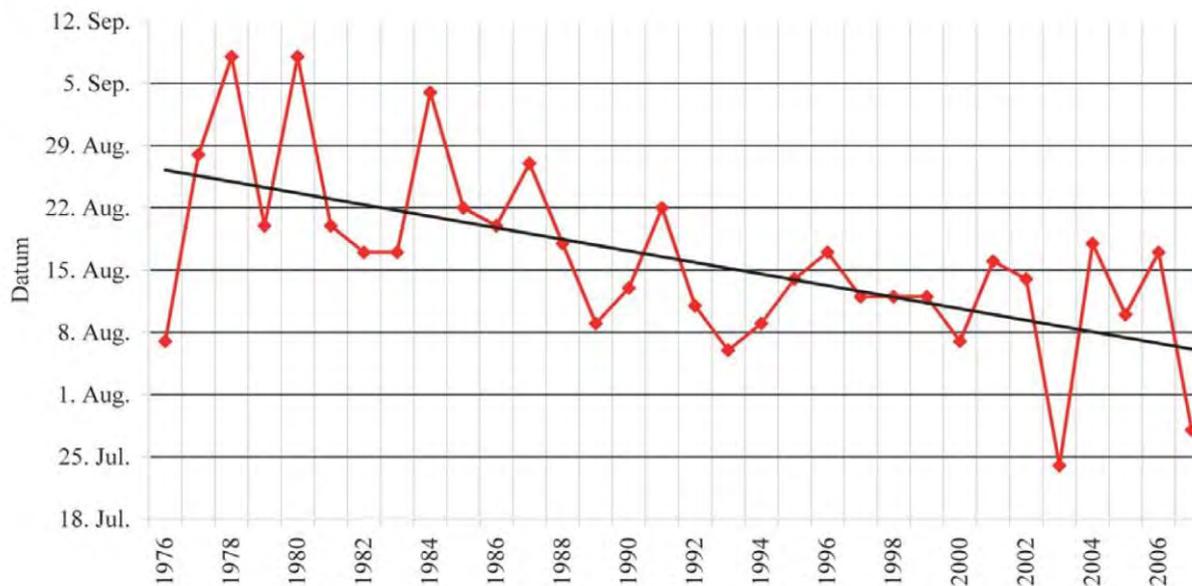


Abbildung 4-1: Reifebeginn von Spätburgunder-Trauben im Markgräflerland (AMANN 2008)

Es ist eine **Veränderung der Phänologie** mancher **Schädlinge** zu verzeichnen. Es gibt mittlerweile von vielen Schädlingen mehrere Generationen. Ein Beispiel hierfür ist der Maiszünsler. Durch die besseren Bedingungen mit längerer Vegetationszeit und früherer Aussaat hat sich vor circa fünf Jahren eine bivoltine Rasse ausgebildet, so dass es mittlerweile zwei Flughöhepunkte statt einem gibt. Die früher übliche biologische Bekämpfung mit Schlupfwespen im Saatmais ist aufgrund dessen mittlerweile nicht mehr wirksam. Anfang August 2011 wurde deshalb zum ersten Mal ein Mittel gespritzt, welches sowohl gegen den Maiswurzelbohrer als auch den Maiszünsler wirkt, um einen zweifachen Insektizideinsatz zu vermeiden.

Eine **Zunahme der Beregnungsfläche** ist im Zeitraum der letzten 20 Jahre zu verzeichnen. Landwirte, die mit Intensivkulturen und auf Böden mit mittlerer und niedriger nutzbarer Feldkapazität arbeiten, versuchen Rechte zur Wasserentnahme zu erhalten, viele Landwirte stellen diesbezügliche Anträge. Im Gemüsebau ist auch auf Böden mit hoher Feldkapazität eine Absicherung durch Beregnung notwendig. Bei Saatmais gab es früher alle vier bis fünf Jahre Ausfälle wegen fehlender Niederschläge, in den letzten 10 Jahren jedoch alle drei Jahre. Die Saatmaisproduktion findet mittlerweile nur noch auf beregneten Flächen statt. Dies ist ein Resultat der geänderten Anbaubedingungen und hat einen höheren Aufwand zur Folge. Es muss heute mehr beregnet werden, um optimale Erträge erzielen zu können.

**Häufung, verstärkte Ausprägung und Verschiebung von Extremereignissen:** Die Wetterdynamik hat nach Ansicht der Landwirtschaftsexperten deutlich zugenommen. Es gab im Gebiet schon immer Hagelereignisse, Häufigkeit und Intensität haben sich in den letzten Jahren jedoch verstärkt. Früher waren die Gebiete mit Hagelrisiko mehr oder weniger bekannt und die Betroffenen waren hagelversichert. Mittlerweile treten Hagelereignisse jedoch auch an anderen Stellen und auch viel häufiger - unter Umständen jährlich - statt alle 4 - 6 Jahre auf. Im Modellgebiet ist die Häufung etwas weniger stark ausgeprägt, aber zumindest eine geringe Zunahme ist zu verzeichnen.

Weiter wird eine Häufung von Gewittern mit Sturm und Starkregenereignissen von 40 - 50 mm anstatt früher 20 - 30 mm wahrgenommen. Hierbei handelt es sich um sehr lokale Ereignisse. Solche nur kleinräumig auftretenden Ereignisse können über die Wetterdaten der DWD-Stationen nur zufällig und damit sehr unzureichend erfasst werden.

*Die Aussage der Klimaforscher, dass die Winter nasser werden, wird von den Landwirtschaftsexperten nicht bestätigt. Auffallend war in den letzten Jahren, dass es im April und Mai kein oder nur wenig Regen gab. Innerhalb der letzten Jahre gab es in 3 Jahren im April und auch im Mai nur sehr wenig Regen (vergleiche Abbildung 3-10 und Abbildung 3-11). Landwirte müssen mittlerweile teilweise schon im April nach der Aussaat beregnen.*

### **Weitere wahrnehmbare (nicht unbedingt belegte) Trends**

*Die Erwärmung bringt auch **neue Unkräuter, Krankheiten und Schädlinge** (z. B. Maulbeerschildlaus) mit sich. Es treten verstärkt neue Unkräuter aus dem Mittelmeerraum bei uns auf, die sich bisher nicht so gut durchsetzen konnten. Auch deutet ein langfristig stärkeres Auftreten von wärmeabhängigen Schädlingen auf eine Klimaveränderung hin. Im Weinbau tritt beispielsweise der bekreuzte Traubenwickler (*Lobesia botrana*) nun stärker auf. Er benötigt mehr Wärme als der „normale“ einbindige Traubenwickler (*Eupoecilia ambiguella*). Auch der Maiswurzelbohrer kommt mittlerweile vermehrt vor. Dies ist allerdings nicht nur auf die veränderten Temperaturen zurückzuführen, sondern auch auf Globalisierung. Der Maiswurzelbohrer kann durch Fruchtfolgen (z. B. mit Hirse) bekämpft werden. In Bezug auf Pflanzengesellschaften sind keine großen Veränderungen zu verzeichnen. Im Weinbau ist auch mit vermehrtem Auftreten von Essigbakterien und Schimmelpilzen (*Penicillium expansum*) wegen des Klimawandels zu rechnen (PEISELER-SUTTER 2009)*

*Im Weinbau ist eine **Zunahme tierischer Schädlinge** zu verzeichnen (mehr Milbenarten, Ohrwürmer, Zikaden). Es gibt allerdings auch ein größeres Nahrungsangebot für Raubmilben, die zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden. Der Druck durch pilzliche Schädlinge nimmt im Jahresverlauf bei Unwetterereignissen zu und bedingt eine gute fachliche Umsetzung der Pflanzenschutzmittel-Strategie.*

*Die **Nitratwerte** ( $N_{min}$ -Werte) sind dem Gefühl nach im Frühjahr durchschnittlich höher als früher. Eigentlich haben die Landwirte es geschafft, den Bodenvorrat an Stickstoff in den meisten Kulturen zu reduzieren. Wenn im Frühjahr die Werte dann trotzdem höher sind, spricht dies dafür, dass im Winter wärmere Bedingungen herrschten, weil die mineralisierenden Mikroorganismen Temperaturen über 4 - 5°C brauchen. Je höher die Temperatur, desto mehr wird - ausreichende Wasserversorgung vorausgesetzt - umgesetzt und mineralisiert. Bodenmanagement und Stickstoffdynamisierung spielen eine immer größere Rolle, vor allem wenn die Verfügbarkeit und das Angebot durch trockene, heiße Frühjahre (wie 2011) verzögert oder verringert wird.*

***Sonnenbrand** an Blättern und an Früchten (z. B. Äpfeln) gab es schon immer. An Tomaten, Paprika, Gurken und auch an Freilandgemüse wie Bohnen, Erbsen, Zucchini und Salatarten nimmt er aber immer mehr zu. Diese Zunahme ist aber nicht direkt auf höhere Temperaturen infolge des Klimawandels zurückzuführen. Die Abnahme der Ozonschicht spielt hierbei eine Rolle, es kommt mehr UV-Strahlung an. Allerdings werden Pflanzen bei hohen Temperaturen anfälliger für Sonnenbrand.*

*Aufgrund des frühen **Trockenstresses** und vieler **bewässerungswürdiger Tage im Frühjahr** bekommen Rebveredlungsbetriebe und Rebschulen Probleme, gute Ware zu produzieren.*

*In Bezug auf **Spät- und Frühfrost** sind keine gravierenden Änderungen zu verzeichnen.*

## 4.1.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

Folgende Gefährdungen und Chancen der Landwirtschaft im Modellraum durch Veränderungen des Klimas werden von den Landwirtschaftsexperten gesehen und als wichtig erachtet.

### **Gefährdungen für die Landwirtschaft**

**Zunahme von Insekten, Auftreten neuer Schädlinge:** *Durch Erwärmung haben pathogene Insekten zugenommen (Maiswurzelbohrer, Käfer). Auch neue Schädlinge wie z. B. Zikaden, Zitronenlaus und gekreuzter Traubenwickler treten auf.*

**Hagelschäden:** *Obst- und Gemüsebau werden als empfindlicher gegenüber Wetter und Witterung sowie Veränderungen durch den Klimawandel als die Ackerbaukulturen eingeschätzt. Hagelereignisse sind für alle Bereiche problematisch. Bei sehr großen Hagelkörnern (bis 700 g) nützen Hagelnetze nichts. Bei kleineren Hagelkörnern sind Hagelnetze sinnvoll, allerdings sind sie sehr aufwändig und teuer (siehe 4.1.3.2).*

**Sehr starke Gefährdung durch Erosion:** *Sand ist am wenigsten und Ton nur gering anfällig für Erosion. In der Region gibt es aber viele Böden aus Löss, die schluffreich sind und keine Struktur (mehr) haben. Dies führt zu Erosionsproblemen in den Reben, wo vor allem bei Neupflanzungen der Löss aufgewirbelt und vom Wind verfrachtet wird. Bei Maisanbau in leichter Hanglage wird der Boden durch Wassererosion abgetragen, beispielsweise in March-Buchheim bis in die Ortslage hinein. Das Erosionsproblem besteht überwiegend ab April/Mai, kaum im Winter.*

**Mindererträge durch Hitze:** *Hohe Temperaturen stellen für die meisten Kulturen ein Problem dar. Die Pflanzen kühlen sich, was aufgrund der höheren Verdunstung einen höheren unproduktiven Wasserverbrauch zur Folge hat und der Ertrag geht zurück. Dieses Problem besteht beispielsweise im Getreide bei Nachttemperaturen über 20°C und Tagestemperaturen über 30°C. Beim Mais stellt dies ein geringeres Problem dar, da er als C4-Pflanze an höhere Temperaturen angepasst ist. Ab 35°C wird jedoch auch der Mais unproduktiv. Bei zukünftig weiter ausgedehntem Maisanbau wird aber auch die Gefahr der „Vermaisung“ der Landschaft gesehen.*

**Probleme der Phosphatversorgung:** *Wenn nicht beregnet werden kann, entsteht in Trockenphasen das Problem der Phosphatversorgung der Pflanzen. Die Pflanzenwurzeln müssen das wenig mobile Phosphat im Boden aktiv aufsuchen, was bei großer Trockenheit kaum möglich ist.*

**Probleme in der Tierhaltung durch hohe Temperaturen:** *Im Rheintal gibt es nur noch wenige Betriebe mit Tierhaltung. Bei höheren Temperaturen müssen die Ställe gut durchlüftet und gekühlt werden. Modernere Laufställe werden benötigt. Klimaanlage verursachen hohe Energiekosten, z. B. bei der Schweinehaltung.*

**Problem durch zu schnelle Reifung der Früchte im Obstbau.** *Die Lesetermine müssen folglich neu ausgerichtet werden. Auch die Gefahr von Sonnenbrand an verschiedenem Obst (z. B. an Stachelbeeren) und Gemüse nimmt zu.*

*In Bezug auf das **Wasserdargebot** sind Lössböden besser gestellt als Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität, wo es im Rheintal heute schon Probleme bezüglich der Wasserversorgung der Kulturen gibt. Auf solchen Standorten wird Beregnung zukünftig ausgeweitet werden müssen. Im Moment besteht kein Problem in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit. Da sich in Zukunft nur die Niederschlagsverteilung ändern soll, nicht*

die Niederschlagsmenge, sollte es angesichts der enormen Wasserreserven im Rheintal in der Region nicht zu einem Wassermangel für die Landwirtschaft kommen. Die meisten Gemüsebaubetriebe verfügen über ausreichend Beregnungsmöglichkeiten aus Tiefbrunnen. Eigene oder gemeinschaftlich genutzte Tiefbrunnen werden wichtiger, da eine Wasserentnahme aus Oberflächengewässern schwieriger wird. In Trockenzeiten - die zukünftig wohl eher zunehmen werden - ist sie zeitweise verboten.

**Verfälschung des Gebietscharakters:** Wenn aufgrund des Klimawandels Weinsorten beispielsweise aus der Toskana angepflanzt werden, könnte der Gebietscharakter verfälscht werden.

## **Chancen für die Landwirtschaft**

**Verstärkter Anbau von Sonderkulturen:** Der Klimawandel bringt mehr Gestaltungsmöglichkeiten für den Ackerbau. So kann auf die Veränderungen des Klimawandels mit einem vermehrten Anbau von Sonderkulturen (Erdbeere, Spargel, Beerenobst, usw.) reagiert werden, da diese fast immer Wärme benötigen. Mehr Wärme ermöglicht es, mit beispielsweise Erdbeeren und Spargel viel früher auf den Markt zu gehen. Durch geschützten Anbau unter Folie oder Glas sind Erdbeeren bereits Anfang April und Spargel teilweise Ende März bis Anfang April marktreif. Dies erfordert jedoch auch neue Marketingmaßnahmen. Es besteht die Möglichkeit der steigenden Wettbewerbsmöglichkeit von Saatmais.

**Anbau neuer Arten und Sorten:** Der Anbau anderer, wärmeliebender Kulturen wie beispielsweise Hirse oder regionales Soja als Gentechnik freies Futtermittel wird verstärkt möglich. Unter wärmerem Klima könnten auch neue Rebsorten angebaut werden (siehe Huglin-Index, Kap. 4.1.4). Allerdings stellt sich die Frage, ob diese auch vermarktet werden können. Beim Landratsamt/Landwirtschaftsamt Emmendingen wird die Meinung vertreten, dass man im Weinbau eher bei den traditionellen Sorten bleiben sollte.

Durch die **längeren Vegetationszeiten** können leichter zwei Kulturen angebaut werden. Die Winterfeuchte kann genutzt werden durch Anbau von Winterkulturen.

Die **Ganzjahresweide** im Schwarzwald profitiert von milden Wintern.

## **Vulnerabilität der Landwirtschaft im Modellgebiet**

Aus den vorausgehenden Kapiteln kann eine Vulnerabilität der Landwirtschaft im Modellgebiet vor allem gegenüber folgenden Wetterphänomenen/Veränderungen durch den Klimawandel angenommen werden:

- **Stürme**  
Sowohl der Obstbau als auch der Getreidebau sind vulnerabel gegenüber Sturmereignissen.
- **Hagel**  
Im Allgemeinen sind der Obst- und Gemüsebau noch empfindlicher gegenüber dem Wetter, der Witterung und dem Klimawandel als die normalen Ackerbaukulturen. Gegenüber Hagelereignissen besteht jedoch für alle Sparten eine hohe Vulnerabilität.
- **Hitze und Trockenheit**  
Insbesondere Ackerbaukulturen auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität im Rheintal sind vulnerabel gegenüber Hitze und Trockenheit, die Ertragsminderungen bewirken können. Auch der

Weinbau bekommt durch frühen Trockenstress der Reben und größeren Fäulnisdruck bei früher Reifung infolge hoher Temperaturen Probleme, gute Ware zu produzieren.

- Zunehmende Sonneneinstrahlung  
an viele Gemüse- und Obstarten sind zunehmend Schäden durch Sonnenbrand zu verzeichnen.
- Starkniederschläge  
Vor allem die schluffreichen Lössböden des Kaiserstuhls, des Tunibergs und der Vorbergzone sind vulnerabel gegenüber Wind- und Wassererosion.

## 4.1.3 Anpassungsmaßnahmen

### 4.1.3.1 Ackerbau

In der Literatur werden vielfältige Anpassungsmaßnahmen für die Landwirtschaft genannt. Allgemein stehen dabei die folgende Aspekte im Vordergrund (DAS 2008, CHRISCHILLES et al. 2010). Eine Anpassung der Bearbeitungstermine für Aussaat oder Ernte an die zukünftig veränderten Witterungs- und Klimabedingungen wird notwendig werden. Beispielsweise kann durch frühere Aussaat der Sömmerung die Winterfeuchte des Bodens und die höhere Frühlingstemperatur besser genutzt werden. Es wird ein Wechsel im Spektrum der Kulturarten und Sorten erforderlich sein. Widerstandsfähigere, klimatolerantere, an die jeweiligen Standortbedingungen der Zukunft besser angepasste und gegen Schädlingsbefall weniger anfälligen Kulturen und Sorten wie z. B. früh reifende Getreidesorten oder mehr Soja (in der Rheinebene) werden zum Einsatz kommen. Fruchtfolgen müssen an die neuen Bedingungen in ihrer Zusammensetzung angepasst und auch vielfältiger werden, um Ausfallrisiken zu verringern. Durch Boden schonende, konservierende Bearbeitungsverfahren kann die Bodenfeuchte länger gehalten und der Boden besser vor Erosion bei starken Niederschlägen geschützt werden. Um Wasserkonkurrenz zu vermeiden, kann weniger dicht gesät werden, was allerdings die Flächenerträge senken würde. Die Düngung muss an veränderte Wettersituationen und Phänologie (Entzug) angepasst werden. Ein höherer Befallsdruck durch Wärme liebende Schädlinge oder Krankheiten ist wahrscheinlich, auch die Etablierung neuer Schädlingsarten (auch Unkräuter). Durch vermehrte Anwendung von Bewässerung kann die Ertragssicherheit gesteigert werden, hierbei ist die Ressourceneffizienz durch Wasser sparende Techniken zu optimieren.

WENKEL et al. (2011) empfehlen vor allem solche Anpassungsmaßnahmen, die flexibel und reversibel in der Anwendung sowie offen gegenüber unsicheren Trends sind, wie beispielsweise die Erhöhung der Arten- und Sortenvielfalt, Boden schonende Verfahren (ganzjährige Bodenbedeckung, Zwischenfruchtanbau, organische Düngung, schonende Bodenbearbeitung), auch, um eine tief reichende Durchwurzelung sicherzustellen sowie das Nutzen aller Möglichkeiten zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts.

Bezogen auf den Modellraum sind - auf der Grundlage von Expertengesprächen - vor allem die folgenden Aspekte der Anpassung hervorzuheben. Betont wurde ebenfalls der Anspruch an die wissenschaftliche Forschung, für die Landwirtschaft praktikable Lösungen entwickeln. Er reicht von der Agrar-Ökologie (Erarbeiten gebietstypischer Profile unter den Bedingungen des Klimawandels) über die Genetik (z. B. Saatmaiserzeugung) bis hin zum Pflanzenschutz (Bekämpfung neuer Schädlinge).

#### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet**

*Durch Intensivierung und Ausweitung des Anbaus von Sonderkulturen wie beispielsweise Spargel kann einerseits durch Diversifizierung mehr Sicherheit in der Produktion geschaffen werden. Auch kann gerade bei Spargel durch Anbaumaßnahmen (Folienbedeckung) sowohl der Verlauf der Saison in gewissem Rahmen gesteuert als auch ein Schutz vor Wetterextremen erreicht werden.*

**Vermeidung von Erosion:** Maßnahmen zur Erosionsvermeidung gibt es schon seit längerer Zeit und sie sind nicht auf den Klimawandel bezogen, zukünftig könnte Erosionsschutz aber eine größere Bedeutung erlangen, beispielsweise bei einer Zunahme der Starkniederschläge. *Seit Jahren werden vom Umweltamt der Stadt Freiburg die Spargelanbauer am Tuniberg mit Spargelfeldern an Hängen aufgefordert, die Streifen zwischen den Dämmen mit Einsaaten oder Strohabdeckung vor Erosion zu schützen, weil dies erhebliche Verschlammungen mit hohen Kosten für das Tiefbauamt verursacht. Verstärkt wird die Problematik durch*

den Einsatz von Folien auf den Dämmen. Deshalb soll in die Spargelkulturen Stroh als Erosionsschutz aufgebracht werden, die Umsetzung geht allerdings sehr schleppend voran (siehe auch BZ 2008).

Im Maisanbau gibt es seit 6 bis 8 Jahren Ansätze, durch Pflanzungen von Getreidestreifen die Erde aufzufangen und Erosion zu reduzieren. Aus dem Mais wird zwar Erde herausgeschwemmt, diese wird jedoch vom Getreide aufgefangen. Auch im Rahmen der CC-Regelung (Cross-Compliance-Vorgaben der EU) gibt es je nach Geländeneigung bestimmte Auflagen bis hin zum Pflugverbot, insbesondere bei Reihenkulturen.

**Verstärkte Bewässerung, effizientere Wassernutzung:** Im Wasserverband nördlicher Breisgau werden zurzeit circa 500 ha Fläche beregnet. Dies lohnt sich nur bei Sonderkulturen und hochwertigen Kulturen. Der Wasserbedarf beträgt bei Mais 150 mm, bei Gemüse und Beerenobst 200 mm und im Weinbau 100 - 150 mm, im Mittel der beregnungsfähigen Flächen also circa 150 mm. Es ist davon auszugehen und wird auch dahingehend beraten, dass die beregneten Flächen ausgedehnt werden. Um eine effizientere Wassernutzung - vor allem allerdings aus wirtschaftlichen Gründen, nicht direkt aufgrund des Klimawandels - zu gewährleisten, soll, wo möglich, Tröpfchenbewässerung eingesetzt werden. Außerdem wird nachts beregnet, wenn die Verdunstung gering ist. Diese indirekte Anpassung könnte zukünftig größere Bedeutung erlangen. Auch zur Vermeidung von Probleme mit Pilzen, die meist viel Wärme und Feuchtigkeit zur Entwicklung benötigen, sollten effiziente Bewässerungsverfahren gewählt werden.

**Züchtung trockenheitsresistenterer Pflanzen:** Pflanzen wurden/werden auch in Bezug auf ihre Wasser- und Nährstoffaufnahme durch bessere Durchwurzelung des Bodens züchterisch bearbeitet. So bietet sich als Anpassung die Verwendung von Sorten mit einem möglichst intensiven und tief reichenden Wurzelwerk. Hierdurch wird eine bessere Wasser- und Nährstoffaufnahme und somit ein effektiverer Umgang mit Wasser - beispielsweise geringere Beregnungsmengen - ermöglicht. Für die Produktion nachwachsender Rohstoffe sollen mittlerweile italienische Sorten, die mehr Wärme brauchen und mehr Trockenmasse produzieren, in unsere Sorten eingekreuzt werden.

**Anbau von Pflanzen aus wärmeren, trockeneren Regionen:** Als Anpassung an die Sommertrockenheit und die hohen Temperaturen (siehe 3.1.1) haben Landwirte in der Region bereits Getreidesorten aus Südfrankreich (Côte d'Azur) angepflanzt. Diese reifen früher und sind in der Haupt-Trockenphase bereits abgeerntet. Allerdings werden geringere Erträge erzielt.

Der vermehrte **Anbau von Hirse** war ursprünglich eine Reaktion auf den Maiswurzelbohrer. Mais hat ein relativ gutes Wurzelwerk, er kommt aus relativ trockenen Regionen und ist als C4-Pflanze an sich gut an trockenwarme Bedingungen angepasst. Inwieweit die Ausbreitung des Maiswurzelbohrers eine Klimafolge ist, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Allerdings besteht nun ein Anbauverbot von Monomaisfruchtfolgen. Ab 2012 darf nur noch 2x Mais in Folge angebaut werden, dann muss ein Fruchtwechsel stattfinden. Als Alternativkulturen in der Rheinebene werden die Wärme liebenden und Trockenheit tolerierenden Arten Sojabohne, Körnerhirse und in der Bioenergieerzeugung auch Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) gesehen (NÜCKLES 2011).

## **Weitere mögliche Anpassungsmaßnahmen**

**Ausweitung des Anbaus Wärme liebender Kulturen** oder Pflanzen aus den Tropen und Subtropen: Bereits heute werden in der Rheinebene in meist kleinem Maßstab und an besonders geschützten Standorten sehr Wärme liebende Pflanzen angebaut, beispielsweise Kiwis. Dies könnte in Zukunft auf größerer Fläche der Fall sein. Wenn die klimawandelbedingte Erwärmung fortschreitet, wäre der Anbau von Pflanzenarten/-

sorten aus dem Mittelmeergebiet oder den Tropen und Subtropen möglich und könnte Alternativen zum heutigen Kulturartenspektrum bieten.

Auf heute schon trockenen (z. B. Kiesböden) und zukünftig nicht berechneten Standorten könnte eine Lebensmittelproduktion nicht mehr wirtschaftlich möglich sein. Hier wäre eine Entwicklung in Richtung Anbau von **Dauerkulturen zur Energiegewinnung** denkbar, z. B. Pappeln in Kurzumtriebsplantagen (KUP) oder C4-Pflanzen wie Sudangras und Hirse. Ob allerdings KUP auf sehr trockenen Standorten wirtschaftlich zu betreiben sind, dürfte vor allem von den zukünftigen Biomassepreisen abhängen.

**Beratung zum ökologischen Landbau:** Die erwartete zunehmende Trockenheit bieten einen guten Ansatz für die Ökologisierung der Landwirtschaft.

Eine **Reduzierung der Bodenbearbeitung** kann die unproduktive Verdunstung reduzieren und damit mehr Bodenwasser für die Saat oder Jungpflanzen bereitstellen. Konservierende Bodenbearbeitung hält die Bodenfeuchte länger und bietet besseren Schutz vor Bodenerosion bei Starkniederschlägen. Gleichzeitig wird durch verringerte Bodenbearbeitung - weniger Pflügen - Energie eingespart.

**Nutzung angepasster Sorten und vielfältigerer Fruchtfolgen:** Durch Auswahl an die speziellen Klimabedingungen angepasster Sorten, beispielsweise früher Sorten bei Winterweizen und gesteigerte Vielseitigkeit in den Fruchtfolgen könnten Erträge verbessert und Ertragsrisiken verringert werden.

Zum **Wasserrückhalt in der Fläche** im Falle von Hochwasserereignissen wird die Notwendigkeit gesehen, Überflutungsflächen zu schaffen.

**Hagelversicherungen** als notwendige Anpassungsmaßnahme im Gemüsebau sollten zukünftig von Gemüsebaubetrieben mit arrondierten Flächen in Auge gefasst werden. In ausgewiesenen Hagelgebieten dürfte die Versicherung - und damit auch ein Anbau von Gemüse - nach mehreren Hagelschäden jedoch zu teuer werden.

#### 4.1.3.2 Obstbau und Weinbau

Nicht nur in unserer Modellregion wird die voraussichtlich zunehmende Trockenheit als großes Problem für Obst- und Weinbau gesehen (siehe SCHULTZ et al. 2009). Als Anpassung werden allgemein Maßnahmen zur Verringerung des Wasserverbrauchs und zur Verbesserung der Wasseraufnahme durch die Pflanzen gesehen. Bei Weinreben kann die Verringerung der Blattfläche und Triebmasse die Assimilationsleistung und damit den Wasserverbrauch senken. Eine höhere Pflanzdichte der Reben provoziert intensivere Durchwurzelung, was die Wasser- und Nährstoffaufnahme steigern kann (MICHELS o. J.). Im Gegensatz dazu werden bei Obstgehölzen geringere Pflanzdichten empfohlen, um dem Wassermangel zu begegnen (CHRISCHILLES et al. 2010).

Eine Steigerung der Wasserspeicherfähigkeit der Böden kann wegen sinkender Wasserbilanz vor allem in steilen und flach gründigen Lagen notwendig werden (CHRISCHILLES et al. 2010). Abdeckungen mit organischem Material verbessern langfristig nicht nur die Wasserspeicherfähigkeit, sondern auch die Struktur des Oberbodens und die Durchwurzelbarkeit sowie die Nährstoffversorgung (PETGEN 2007). Auch die Infiltrationskapazität des Bodens sollte hierbei ins Auge gefasst werden.

Vor allem in Steillagen - die im Modellraum mit überwiegend Lössterrassen-Weinbau selten sind - wird wegen zunehmender Erosionsgefährdung durch höhere Winterniederschläge geraten, eine Winterbegrünung

einzusäen. Da allerdings auch den Folgen episodischer sommerlichen Starkniederschlägen entgegen gewirkt werden muss, sind ganzjährige weitere Maßnahmen zur Bodenbedeckung erforderlich. Sofern es sich um Begrünungen der Rebzeilen handelt, besteht die Problematik der Wasserkonkurrenz mit den Weinstöcken.

### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet**

*Es werden **neue Traubensklone** entwickelt, die besser an zukünftig höhere Temperaturen und eine längere Vegetations-/Reifezeit (siehe Huglin-Index, Abbildung 4-4) angepasst sind. Sie sollen weniger kompakt, weniger fäulnis anfällig, lockerbeeriger und dickschaliger sein. Dadurch kann später geerntet werden, wenn die Trauben reifer sind.*

*Auch Entwicklung und Einsatz **neuer Erziehungssysteme** im Weinbau, tragen dazu bei, die Anforderungen durch das veränderte Klima besser meistern zu können.*

**Hagelschutz:** *In den letzten Jahren wurden bereits vermehrt Obstgehölze und Reben in hagelgefährdeten Lagen mit Hagelschutznetzen (Abbildung 4-2) ausgestattet. Bei Obstanlagen ist hierbei mit Kosten in Höhe von 80.000 - 90.000 €/ha zu rechnen. Beim Wein sind die Kosten mit unter 20.000 €/ha (LITTEK et al. 2011) deutlich geringer als im Obstbau.*



**Abbildung 4-2: Hagelschutznetze in einem Weinberg bei Ehrenkirchen (Bildquelle:<http://www.whailex.de>)**

*Bei der - heute noch nicht weit verbreiteten - **Bewässerung von Rebanlagen** wird auf verbesserte Bewässerungstechnik, vor allem Tropfenbewässerung, zurückgegriffen. Dies aber weniger im Zusammenhang mit dem Klimawandel, sondern aus ökonomischen Gründen.*

*Als Ansatz zur Risikominimierung auch gegenüber extremen Wetterereignissen und ungünstiger Witterung kann die **Streuung der Betriebsflächen** auf verschiedene Parzellen und Lagen gesehen werden.*

### **Weitere notwendige / mögliche / gewünschte Anpassungsmaßnahmen**

**Weiterer Ausbau des Hagelschutzes:** *In von Hagelschlag regelmäßig betroffenen Gebieten wird die Ausweitung der Schutzmaßnahmen zu einem flächendeckenden Hagelschutz sowohl beim Wein- als auch beim Obstbau für notwendig gehalten.*

Ganz allgemein kann **genetische Forschung** an typischen Rebsorten anderer Regionen der Welt der Züchtung Aufschluss über dienliches Erbmaterial liefern.

**Nutzung der höheren Wärme:** Wissenschaftliche Untersuchungen, wie im Weinbau die zunehmende Wärmesumme (Huglin-Index, siehe Abbildung 4-4) genutzt werden könnte, werden für notwendig erachtet, um trotz verfrühter Reife die Ausprägung von Aromen und die Wertstoffgehalte der einheimischen Rebsorten zu steigern. So müsste möglicherweise nicht auf Rebsorten aus anderen Teilen der Erde ausgewichen werden und die regionale Charakteristik könnte als Identitätsmerkmal der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit dienen. Beim WBI Freiburg laufen bereits Untersuchungen zu solchen Fragen, beispielsweise über die Verwendung spezieller Weinhefen oder Verjus zur Säureerhöhung (z. B. AMANN 2006, SIGLER 2008, PEISELER-SUTTER 2009). Heiße Sommer bringen mit der verfrühten Reife einhergehend oft starken Botrytisbefall, Maßnahmen zur Qualitätsförderung - wie Ausdünnen, Laub entfernen etc. - verschärfen diese Problematik. Während im Obstbau bereits Verfahren zur Reifeverzögerung wie beispielsweise Strohabdeckung im Winter bei Erdbeeren oder dunkel gefärbte Hagelnetze bei Äpfeln verwendet werden, macht man sich jetzt auch Gedanken über Reife verzögernde Maßnahmen im Weinbau (siehe auch CHRISCHILLES et al. 2010, MICHELS (o. J.), PETGEN 2007). Langfristig kann mit anderen Sorten oder Unterlagen die längere Reifezeit besser ausgenutzt werden. Allerdings sind neue Unterlagen, die ein höheres Wasseraneignungsvermögen haben und verzögerte Holz- und Traubenreife bewirken, auch sehr wüchsig, was wiederum Botrytis fördern könnte (PETGEN 2007). Minimalschnitt und dadurch „natürliche“ Gleichgewichtsentwicklung zwischen Laub und Frucht oder Teilentblätterung der Reben sowie das Mulchen des Bodens oder Bodenbedeckung können die Reife kurzfristig verzögern. *Auch die **Traubenlese** muss auf den Klimawandel ausgerichtet werden und beispielsweise veränderte Reifezeitpunkte berücksichtigen. Bei der **Sortenwahl für feuchtere Weinbaulagen** sollten Klone lockerbeeriger Sorten mit kleineren Trauben bevorzugt werden, weil sie bei wärmerem Klima weniger pilzanfällig sind.*

**Maßnahmen gegen Trockenstress:** Die Weinbauern im Modellgebiet fordern, bei Trockenheit eine pragmatische Reduktion der Dauerbegrünung vornehmen zu können, um Wasserkonkurrenz für die Reben zu reduzieren. Diese Aussage steht allerdings im Widerspruch zu den Bemühungen, der Bodenerosion - bei eventuell zunehmenden Starkregenereignissen - zu begegnen. Außerdem wäre zu prüfen, ob zumindest auf den mächtigen Lössböden die Begrünung überhaupt eine Wasserkonkurrenz für die sehr tief wurzelnden Reben sein kann. In Spitzenlagen mit ausgeprägten Profilen für Lagerfähigkeit kann Beregnung zukünftig notwendig und wirtschaftlich sinnvoll werden.

#### 4.1.3.3 Tierhaltung

Eine gute **Durchlüftung und Kühlung der Ställe** bis hin zum Einsatz von Klimaanlage, beispielsweise in der Schweinehaltung, wird als wichtige zukünftig notwendige Anpassungsmaßnahme in der Tierhaltung gesehen<sup>21</sup>. Klimaanlage verbrauchen Energie und verursachen damit hohe zusätzliche Kosten. Zwar gibt es im Rheintal heute nur noch wenige Betriebe mit Tierhaltung, jedoch wird für die Zukunft angesichts der Klimaprojektionen ein Ausweichen auf moderne Laufställe mit besserer Durchlüftung notwendig erachtet.

---

<sup>21</sup> siehe hierzu auch Klimopass Teil 2, Projekt Nr. 379: „Entwicklung und Optimierung sensorgestützter komplexer Regelstrategien für die optimale Stallklimatisierung in frei belüfteten Offenfrontställen für Schweine“, Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, Referat Haltungssysteme

## 4.1.4 Indikatoren

### 4.1.4.1 Agrarmeteorologische, phänologische und ökologische Indikatoren

#### Grünland-Temperatursumme GTS 200

Die Agrarmeteorologie bedient sich der Grünlandtemperatursumme, um den Vegetationsbeginn empirisch zu ermitteln. In der praktischen Landwirtschaft wird sie beispielsweise zur Festlegung des ersten Düngetermins im Grünland genutzt. Sie errechnet sich aus den jeweils ab Jahresanfang addierten positiven Tagesmitteltemperaturen. Diese werden im Januar mit dem Faktor 0,5, im Februar mit dem Faktor 0,75 und ab März mit dem Faktor 1,0 multipliziert. Das Ergebnis dieser Rechnung wird auch als kumulierte korrigierte GTS bezeichnet. Wird die Summe von 200 °C überschritten, ist der empirische Vegetationsbeginn erreicht.

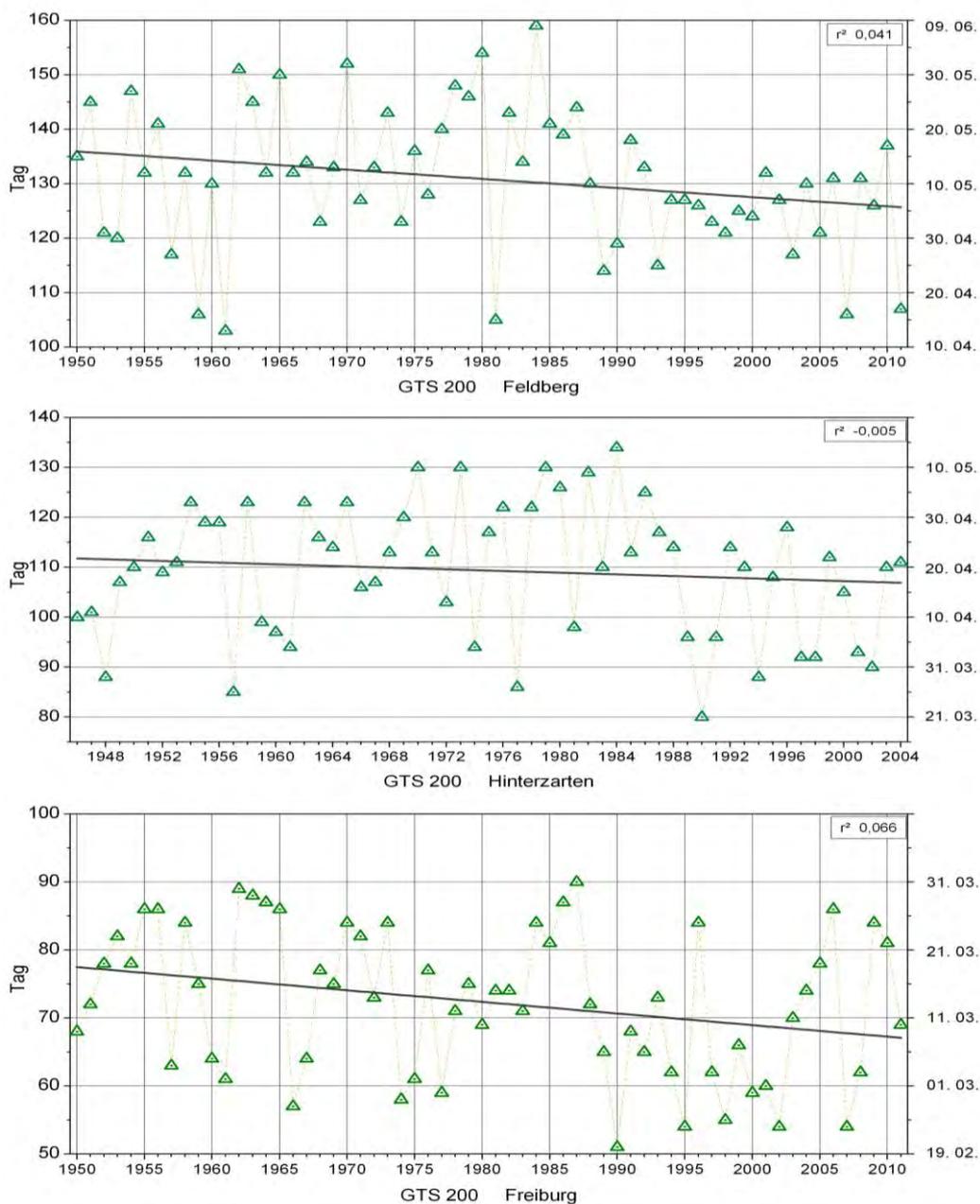


Abbildung 4-3: Empirischer Grünland-Vegetationsbeginn (GTS 200) am Feldberg, in Hinterzarten und in Freiburg, (Quelle Wetterdaten: DWD)

In Abbildung 4-3 ist für Feldberg, Hinterzarten und Freiburg der empirische Vegetationsbeginn berechnet mit der Grünlandtemperatursumme aufgetragen. Die Termine streuen bei jeder Station um 50 bis 60 Tage. Es fällt auf, dass am Feldberg und in Hinterzarten seit circa 1988 sehr späte Termine nicht mehr vorkommen. So werden die Zeitpunkte 20.5. (Feldberg) und 30.4. (Hinterzarten) seit 1988 nicht mehr überschritten. In Freiburg ist dies nicht der Fall, hier streuen die Werte auch weiterhin, allerdings ist eine Verfrühung seit Beginn der 1990er Jahren offensichtlich. So begann die Vegetationszeit von 1950 bis 1965 nie im Februar, zwischen 1966 und 1985 lediglich dreimal und seit 1990 fünf Mal. Die lineare Regression (Trend) zeigt für alle Stationen eine Verfrühung des Vegetationsbeginns an, allerdings ist die Signifikanz entsprechend der großen Streuung sehr niedrig. Im Zeitraum von circa 60 Jahren verfrüht sich der Vegetationsbeginn am Feldberg um 11 Tage, in Freiburg um 10 Tage und in Hinterzarten um 5 Tage.

### Huglin-Index

Der Huglin-Index ist ein Maß für den Wärmebedarf von Rebsorten (siehe Tabelle 4-1). Er dient zur Bestimmung der Eignung von Weinsorten für eine bestimmte Region oder einen Standort (PETGEN 2007). Er wird über die Summe des Tagesmittelwertes und des Tagesmaximums der Lufttemperatur jeweils abzüglich einer 10 K-Basistemperatur für den Zeitraum 1. April bis 30. September berechnet. Multipliziert wird das Ergebnis mit einem vom Breitenkreis abhängigen Faktor (z. B. 1,6 für 50° nördlicher Breite). Abbildung 4-4 zeigt die Entwicklung des Huglin-Index im Modellraum bis zum Jahr 2030 nach Berechnungen von KARTSCHALL et al. (2005) im Rahmen des Forschungsprogramms KLARA (STOCK 2005) für das gesamte Bundesland.

**Tabelle 4-1: Zuordnung von Rebsorten zum Wärmesummenindex nach Huglin (HUGLIN 1978)**

Huglin-Index	Anbauwürdige Rebsorten
≤ 1500	Kein Anbau empfohlen
1500 bis 1600	Müller-Thurgau, Blauer Portugieser
1600 bis 1700	Pinot blanc, Gamay noir, Grauer Burgunder, Gewürztraminer
1700 bis 1800	Riesling, Chardonnay, Silvaner, Sauvignon blanc, Pinot noir, Grüner Veltliner
1800 bis 1900	Cabernet franc, Spätburgunder
1900 bis 2000	Chenin blanc, Cabernet Sauvignon, Merlot, Semillion, Welschriesling
≥ 2000	Ugni blanc, Grenache, Syrah, Carrignan, Aramon, Cinsaut

Es wird deutlich, dass für den Weinanbau seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts auch sehr viel wärmebedürftigere Arten von Interesse für die Winzer im Modellraum wurden. Außerdem dehnt sich seither die potentielle Weinanbaufläche zunehmend in östliche Richtung (Schwarzwaldhänge und Zartener Becken) aus. Aus Abbildung 4-4 geht auch hervor, dass bislang (Stand 2006) für den Weinbau im Modellraum und in den angrenzenden Gebieten hauptsächlich der Bereich zwischen 200 und 300 m ü. NN genutzt wird. Inwieweit sich diese Verhältnisse bei ansteigenden Huglin-Index in den nächsten Jahrzehnten ändern werden, ist nicht nur von den klimatischen Rahmenbedingungen abhängig, sondern auch in hohem Maße von Markttrends (z. B. Nachfrage nach Rotwein) und züchterischen Maßnahmen (z. B. spätreifende Weißweinsorten).

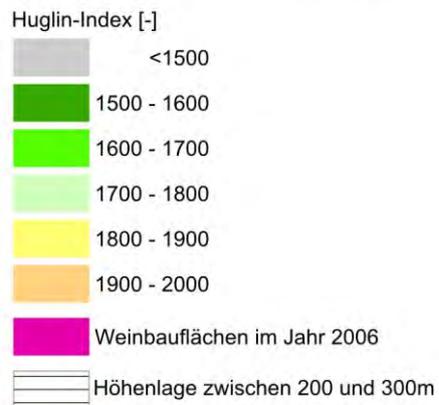
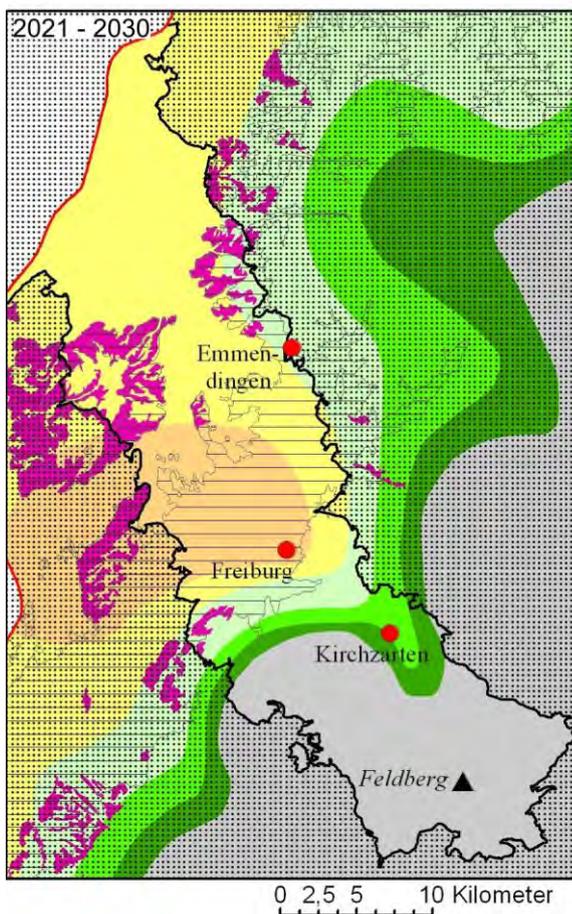
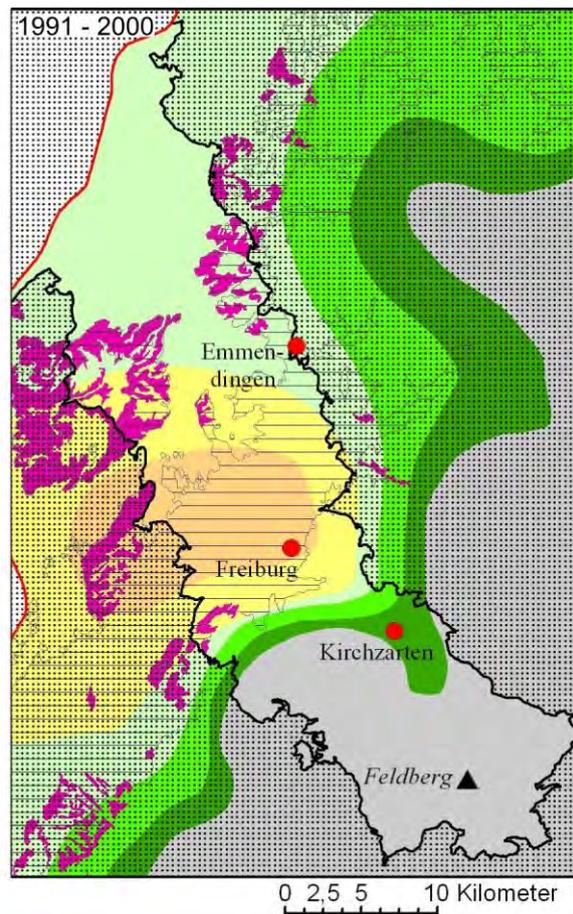
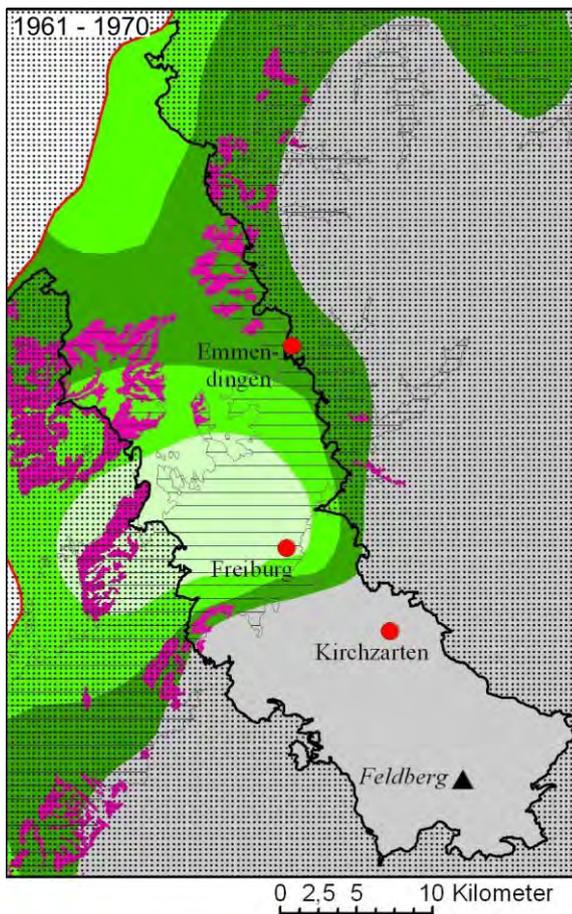


Abbildung 4-4: Huglin-Index für die Dekaden 1961-1970, 1991-2000 und 2021-2030 – zehnjähriges gleitendes Mittel (Quelle: STOCK 2005; verändert)

## Rebblüte, Traubenreife und Lesetermine

In Baden-Württemberg sind Reben mit 25.000 ha in vielen Regionen eine wichtige Kultur, so dass die Rebblüte eine gewisse Aussagekraft hat. Das Staatliche Weinbauinstitut in Freiburg bestimmt jährlich im Zeitraum von August bis Oktober den Stand der aktuellen Traubenreife. Bestimmt wird unter anderem das aktuelle Mostgewicht in Oechsle (°Oe) unterschiedlicher Rebsorten an Standorten in Freiburg, sowie - außerhalb des Modellgebiets - bei Ebringen und am Blankenhornsberg bei Ihringen im Kaiserstuhl.

## Phänologische Phasen: Blühzeitpunkte der Obstarten (Apfelblüte) u. a.

Der DWD erhebt die Blühzeitpunkte unterschiedlicher Zeigerpflanzen. Rasterfelder der phänologischen Phasen (siehe hierzu auch 4.4.4) werden seit 1961 erstellt. Hieraus werden Gebietsmittel berechnet<sup>22</sup>. Ein für den Obstbau relevanter Indikator ist der Beginn der Apfelblüte. Für den Ackerbau ist auch die Phänologie der Gräser relevant, eine wichtige phänologische Phase ist das Ährenschieben des Getreides.

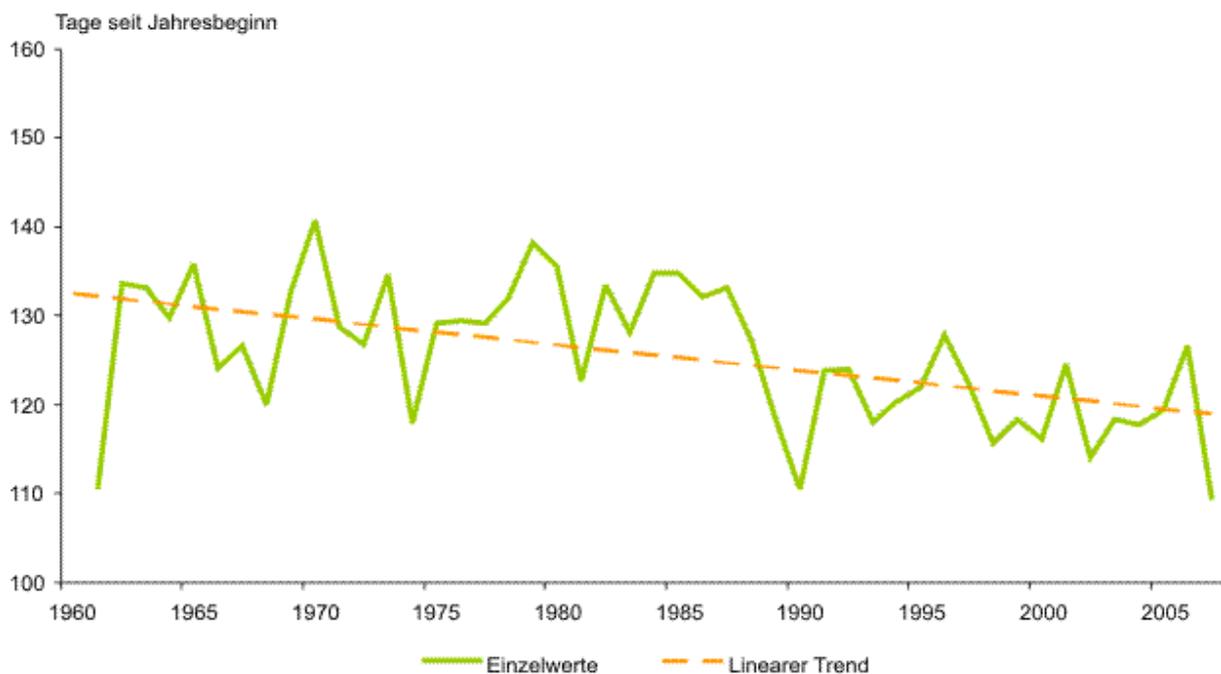


Abbildung 4-5: Beginn der Apfelblüte in Deutschland (Quelle DWD Mitteilung vom 25.9.2008)

## Traubenwicklerflug

Vom Staatlichen Weinbauinstitut in Freiburg werden Daten zu Traubenwickler-Fängen in Pheromonfallen gesammelt und ausgewertet. Teilweise sind diese Daten im Internet verfügbar.

## Nährstoffgehalte

Auch die regelmäßige Messung von Nährstoffgehalten in Boden und Grundwasser kann Auskunft über die Auswirkungen der Landwirtschaft unter verändertem Klima auf die entsprechenden Schutzgüter geben.

<sup>22</sup> <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2846#Indikator>

## **Weidegang**

Auskunft über die Möglichkeiten, die sich durch ein verändertes Klima in den Höhenlagen des Modellgebiets ergeben, könnte die jährliche Zahl der Tage geben, an denen Weidegang möglich ist, also kein Schnee liegt und entsprechend hohe Temperaturen herrschen.

### **4.1.4.2 Anpassungsindikatoren**

#### **Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen**

Als Indikatoren für den Grad der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet kommen in Frage:

- der Anteil von Flächen mit Hagelnetzen in gefährdeten Lagen
- die Beregnungsfläche im Oberrheintal und weiteren eher trockenen Gebieten, die aus Tiefbrunnen versorgt wird, kein Oberflächenwasser benötigt (siehe 4.1.2) und effiziente Verfahren (Tropfbewässerung) einsetzt
- Anteile von Flächen mit besonders standortangepasster Nutzung: reduzierte Bodenbearbeitung, ökologischer Landbau, ganzjährige Bodenbedeckung
- Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen: Begrünungsanteile oder Mulchdecken im Weinberg, Getreidestreifen im Mais bei entsprechender Geländeneigung und erosionsanfälligen Bodenarten

#### **landwirtschaftliche Erträge und Qualitäten**

Erträge bestimmter Fruchtarten (C3- und C4-Pflanzen, wichtige Arten wie Mais, Wein, Sonderkulturen, ...) können in der Landwirtschaft immer als Indikatoren für unterschiedliche Sachverhalte herangezogen werden. Sie integrieren über eine Reihe von klimatischen Einflüssen und können damit als Indikatoren für Vulnerabilität, Gefährdungen und Chancen des Sektors Landwirtschaft in konkreten Situationen dienen. Weiterhin sind sie Indikatoren für die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen und können deren Erfolg belegen, wenn beispielsweise erfolgreich - also ohne relevante Ertragseinbußen - eine ungünstige Witterungsphase oder ein Extremereignis überstanden wurde. Zur Betrachtung der Ökonomie der Anpassungsmaßnahmen könnte der Aufwand für eine Maßnahme dem Ertrag gegenüber gestellt werden.

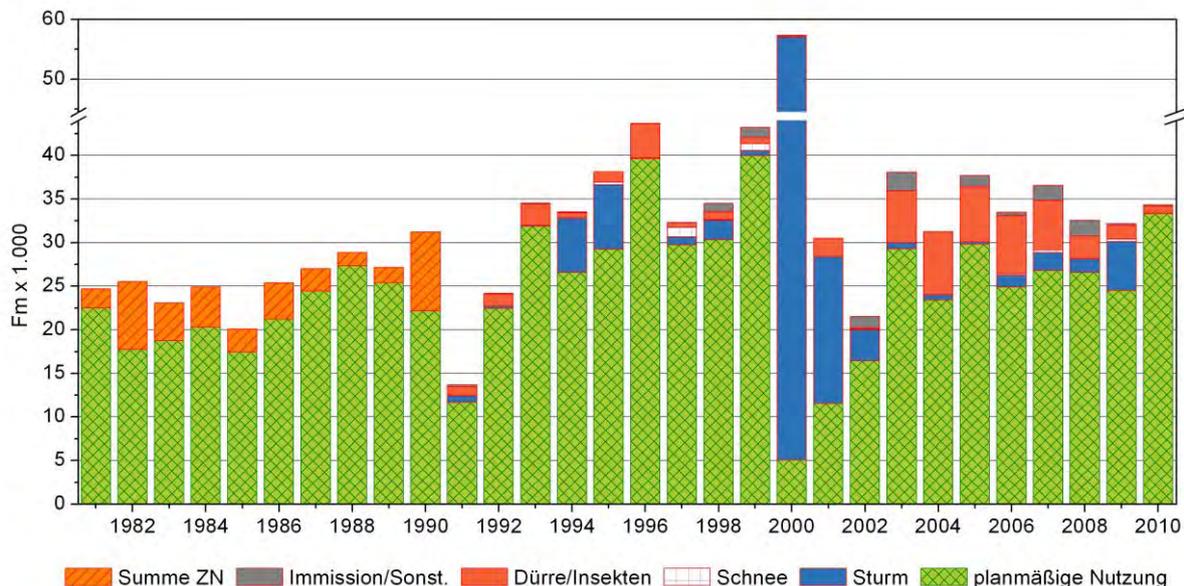
Das Gleiche gilt sinngemäß für Qualitätsmerkmale oder wichtige Eigenschaften der landwirtschaftlichen Produkte, hier ist vor allem der Weinbau mit Säure- und Zuckergehalten der Reben, aber auch Obstbau (Sonnenbrand, ...) zu nennen.

## 4.2 Forstwirtschaft

### 4.2.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.2.1.1 Extremereignisse

Bei den **Sturmereignissen** der Jahre 1990 und 1999 (siehe 3.1.3) erreichte das Schadensausmaß im Regierungsbezirk Freiburg eine bis dahin noch nicht gekannte Höhe. Es muss jedoch auch mit ins Kalkül gezogen werden, dass die Holzvorräte so hoch waren (und sind), wie seit Beginn der Dokumentation der forstlichen Nutzung noch nie. Von den Stürmen betroffen waren sowohl der Schwarzwald als auch die Rheinebene einschließlich der Auwälder südlich von Rastatt, v. a. die Gemeindewälder von Durmersheim und Rheinstetten. In vermeintlich stabilen Kiefern-Buchen-Mischbeständen waren die Sturmschäden besonders groß. Maßgeblich für die großen Schäden waren die hohen Windgeschwindigkeiten in diesem Abschnitt. Im Vergleich hierzu waren die Waldbestände im Rheintal im Modellgebiet nicht oder nur wenig betroffen.



**Abbildung 4-6: Holzeinschlag im Freiburger Stadtwald [1.000 Festmeter]; planmäßige und zufällige Nutzung (ZN), ab 1991 differenziert in Sturmholz, Schneebruch, Dürre- und Insektenschäden sowie Immissionen/sonstiges (Quelle: Städtisches Forstamt Freiburg)**

Im Freiburger Stadtwald, der vom Mooswald bis zum Schauinsland reicht und damit praktisch alle Lagen der Modellregion repräsentiert, traten 1990 (Orkan „Wiebke“) fast keine Sturmschäden auf (siehe auch Abbildung 4-9). Durch Sturm „Lothar“ sind im Jahr 1999 jedoch Schäden von 60.000 Fm entstanden, die circa dem doppelten planmäßigen Jahreseinschlag entsprechen (Abbildung 4-6), obwohl von 5.200 ha Stadtwald lediglich 8 ha von Lothar betroffen waren. Im Freiburger Stadtwald stocken relativ strukturreiche und vielfältig gemischte Bestände, so dass Schäden nicht großflächig auftraten. Die Anteile von Tanne mit 13 % im Bergwald und Douglasie (20 %), welche sich in Bezug auf Sturmereignisse als stabiler erwiesen haben als die Fichte (18 % Anteil), sind relativ hoch. Auch das stark gegliederte Relief, z. B. am Schauinsland, verhinderte großflächige Schäden. Es entstanden zwar Schneisen mit Sturmschäden durch

Orkan Lothar, aber in den anderen Beständen fiel vergleichsweise wenig Schadholz an. *Weitere Winterstürme wie Kyrill (2007), Emma (Februar 2008) oder Quinten (Februar 2009) verursachten keine oder nur geringere Schäden; durch Quinten fiel eine Schadholzmenge von 5.000 - 7.000 Fm an*<sup>23</sup>. Nach Lothar waren auch ein erhöhter Käferholzanfall bei der Fichte zu verzeichnen.

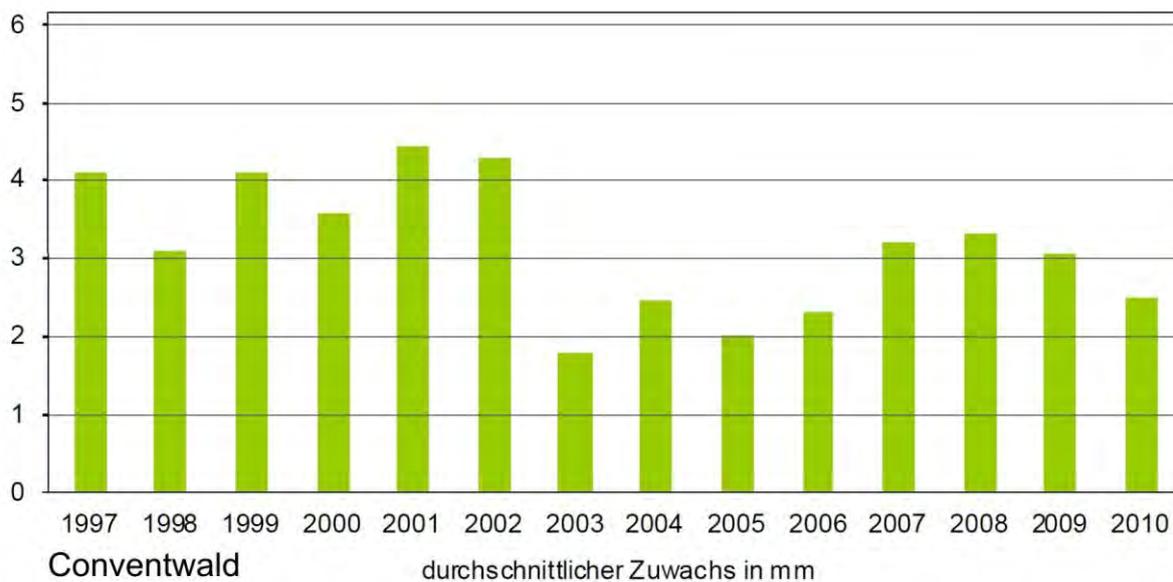
**Trockenheit und Hitze:** Während moderate Temperaturerhöhungen das Baumwachstum zukünftig fördern könnten (DOBBERTIN & GIUGGIOLA 2006), ist Hitze, vor allem in Verbindung mit Trockenheit, ungünstig. Nach Jahrringanalysen von SPIEKER et al. (1990) ist selbst in den Hochlagen des Schwarzwaldes das Wachstum von Fichten und Tannen in warm-trockenen Jahren reduziert. Die außergewöhnliche Trockenheit und Hitze des Sommers 2003 sowie das daran anschließende starke Niederschlagsdefizit im Frühjahr 2004 haben die Vitalität der Waldbäume sehr nachteilig beeinflusst. So waren in Baden-Württemberg 2003 und in den drei Folgejahren durchweg unterdurchschnittliche Jahreszuwächse zu beobachten (siehe auch Abbildung 4-7), auffällig vor allem bei Fichten (FVA 2004). Allerdings blieb es nicht bei der verringerten Wachstumsleistung, die Terrestrische Waldschadensinventur 2004 stellt eine „erhebliche Verschlechterung des Waldzustandes“ fest (FVA 2004). Der Anteil der von Waldschäden betroffenen Fläche stieg von 2003 auf 2004 so stark wie noch nie seit Beginn der Waldschadenserhebung in Baden-Württemberg. 2004 wurden insgesamt 40,4% der Waldfläche als „deutlich geschädigt“ bewertet (FVA 2004).

Es wurden unterschiedlich starke Reaktionen der Baumarten auf die Witterung beobachtet. Bereits seit 2001 hatte sich der Kronenzustand der Buchen in Baden-Württemberg deutlich verschlechtert, was als Reaktion auf den Klimawandel interpretiert wird (FVA 2011). Durch den außergewöhnlichen Sommer 2003 nahmen die Schädigungen nochmals deutlich zu, mehr als 12 % der aufgenommenen Buchen hatten Kronen mit Trockenschäden. Bereits im Lauf des Jahres 2003 war häufig beobachtet worden, dass Buchen ihre noch grünen Blätter abwerfen mussten. Damit gingen Nährstoffe verloren, was zu einem spärlichen Austrieb der betroffenen Bäume im Folgejahr führte. Allerdings wird auch angemerkt, dass mehrmaliger starker Fruchtbildung in den letzten Jahren den Kronenzustand der Buchen zusätzlich verschlechtert hat. Eichen reagierten weniger stark auf die Witterung als Buchen (FISCHER et al 2006), jedoch zeigten sich nach 2003 auch bei ihnen starke Schädigungen der Kronen. Die Eichen konnten sich seither nicht wieder vollständig regenerieren, weil sie wiederholt stark von Schaderregern - vor allem blattfressenden Raupen und Mehltaubefallen waren (FVA 2011). Hitze- und Trockenstress erhöht auch die Disposition von Bäumen gegenüber einem Befall von Schadinsekten. Besonders betroffen waren Fichten durch Borkenkäferbefall. Der Waldzustandsbericht 2004 stellt hohe Anteile von Ausfällen durch biotische Ursachen fest. Verstärkt wurde dieser Effekt noch durch die von der Witterung im Jahr 2003 begünstigte starke Vermehrung sowohl xylobionter als auch phyllophager Schadinsekten (SCHRÖTER 2006). Insektenbefall, vor allem durch Borkenkäfer, ließ den Anteil der zufälligen Nutzung (Käferholz, siehe 4.2.4 und Abbildung 4-9) besonders bei den Nadelbäumen erheblich steigen. Die Erholung der Bestände nach dem Extremereignis wurde durch weitere relativ niederschlagsarme Jahre wie 2004 verzögert. Erst ab 2007 konnte unter günstigen Witterungsbedingungen eindeutig eine Verbesserung des Kronenzustandes in Baden-Württemberg festgestellt werden. 2011 wurde das Vitalitätsniveau von vor 2003 wieder erreicht (FVA 2011).

---

<sup>23</sup> Bei diesem Sturm fielen im ganzen Regierungsbezirk Freiburg „nur“ 50.000 Festmeter Sturmholz an (RP Freiburg, <http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1284793/index.html>, 16.1.2012).

Die Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf das Baumwachstum im Modellgebiet zeigen sich quantitativ auf der Versuchsfläche Conventwald (Abbildung 4-7) sowie in der Statistik der zufälligen Nutzung im Freiburger Stadtwald (Abbildung 4-6 und Abbildung 4-10). Im Conventwald sind im Zeitraum 2003 bis 2006 unterdurchschnittliche Zuwächse erkennbar. Die hohen Zuwachsraten aus den 1990er Jahren wurden nach 2003 nicht wieder erreicht. Auch 2010 war wegen der Frühjahrstrockenheit die Wuchsleistung geringer (FVA 2011). *Im Freiburger Stadtwald stieg der Anteil der durch Dürre und/oder Insekten geschädigten Bäume von 2003 bis einschließlich 2007 deutlich an. Im Stadtwald war in den unteren Lagen des Bergwaldes die Tanne am stärksten von Hitze und Trockenheit des Jahres 2003 betroffen, etwas weniger die Douglasie. Auch bei Eichen im Mooswald waren nicht unerhebliche Trockenschäden zu verzeichnen. Dürrebedingt gab es eine hohe zufällige Nutzung der Eiche, vor allem in den Altbeständen. Zu den Dürreschäden kam dann eine Frostspannerkalamität in 2004/2005 hinzu, die bereits durch die Trockenheit labile Eichen zusätzlich geschädigt hat. In den Bergmischwäldern des Freiburger Stadtwaldes scheint die Buche relativ stabil zu sein und blieb mit wenigen Ausnahmen von Beständen an Südhängen in der Regel weitgehend vital. Trockenschäden reichten im Freiburger Stadtwald nur bis circa 700 m ü. NN, in höheren Lagen besteht das Problem der Trockenheit nicht. In der Rheinebene besteht wegen der höheren Temperatur im Vergleich zu den montanen Bereichen auch ein größeres Wasserstressrisiko.*



**Abbildung 4-7: Durchschnittlicher Zuwachs von Fichten auf der Versuchsfläche Conventwald bei Stegen; Quelle: FVA (2011)**

*Durch die Trockenheit hatte 2003 auch die Naturverjüngung - insbesondere die Sämlingsphase - großen Schaden genommen, wovon auch die Douglasie betroffen war. Mit Sämlingen verjüngte Bestände sind 2003 komplett ausgefallen. Auch das sehr trockene Frühjahr 2011 verursachte bei Kulturinvestitionen entsprechende Rückschläge, die Frühjahrspflanzung ist zum Großteil vertrocknet. Wegen der sehr geringen Frühjahrsniederschläge 2011 waren insgesamt sehr geringe Bodenwasservorräte vorhanden, da die entscheidende Wasserzufuhr gefehlt hat. Dies ist vor allem für Jungpflanzen, die den Wurzelraum noch nicht weit erschlossen haben, ein Problem.*

## 4.2.1.2 Langfristige Trends

Von Seiten der Forstverwaltung werden im Gebiet die folgenden Tendenzen wahrgenommen.

*Einflüsse von **Trockenheit und hohen Temperaturen** auf das Waldwachstum:* Hier traten in der Rheinebene, vor allem auf Lockersedimenten, die größten Schwierigkeiten auf. Dies betraf schwerpunktmäßig aber nicht den Modellraum, sondern das Gebiet nördlich von Rastatt bis Mannheim. Hier hatte im Jahr 2003 und in den Folgejahren die Buche starke Probleme, verbunden mit entsprechenden Ausfällen. Diese Beobachtungen decken sich mit Prognosen der FVA, dass aufgrund von Trockenheit, hohen Temperaturen und der geringen Wasserhaltefähigkeit der Böden diese Standorte für die Buche ungünstiger werden. Die Trockenheit betrifft im Modellgebiet auch die Baumarten Fichte und Tanne in den unteren Lagen sowie die Eiche im Mooswald. Die **Frühjahrstrockenheit** hat in der Wahrnehmung der Förster zugenommen. Es sind vermehrt hohe Ausfälle bei Pflanzmaßnahmen zu verzeichnen (s. o.).

***Verlängerung der Vegetationsperiode:*** Durch höhere Temperaturen hat sich die Vegetationsperiode verlängert, der Blattaustrieb beginnt im Frühjahr circa eine bis drei Wochen früher. Die längere Vegetationszeit wirkt grundsätzlich positiv auf das Waldwachstum. Laut Forsteinrichtung ist in den letzten 10 Jahren trotz Extremereignissen wie dem Sommer 2003 ein im Vergleich zur vorherigen Einrichtungserhebung 10 % höheres Zuwachsniveau zu verzeichnen. Da leider unterschiedliche Messverfahren verwendet wurden, handelt sich jedoch nicht um einen belastbaren Wert. Auf Versuchsflächen der FVA wurde festgestellt, dass das hohe Zuwachsniveau nicht andauert, d. h. dass sich der Trend des schnelleren Wachstums wohl nicht dauerhaft fortsetzt.

*Zunahme von **Nassschneeereignissen** in mittleren Lagen, Schäden durch **Schneebruch**:* Es treten regelmäßig kleinere Schäden durch Schneebruch auf. Nach der Wahrnehmung der Revierleiter nehmen im Freiburger Stadtwald Nassschneeereignisse in den mittleren Lagen zu und kommen auch häufiger bis im Frühjahr vor. Bei späten Wintereinbrüchen in Verbindung mit frühem Laubaustrieb treten in den mittleren Lagen (600 - 800 m) Schäden auf. Hiervon sind sowohl Nadel- als auch Laubbäume betroffen.

*Auch **Spätfrostschäden** nach früherem Laubaustrieb haben in der Wahrnehmung der Förster zugenommen.*

***Begünstigung von Pathogenen:*** Da fast alle Insekten positiv auf Wärme reagieren, wird davon ausgegangen, dass Pathogene bereits zugenommen haben oder weiter zunehmen könnten. Durch die verstärkte Trockenheit werden zum einen die Bäume durch Wasserstress geschwächt, zum anderen begünstigt die Klimaerwärmung Insekten in ihrer Populationsdynamik, die dadurch konkurrenzkräftiger und virulenter werden.

- Bei Teilen der Population des Waldmaikäfers ist eine Verkürzung des üblicherweise vierjährigen Entwicklungszyklus auf einen dreijährigen Zyklus zu beobachten. Dadurch fliegen die Maikäfer inzwischen fast jährlich, jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Es gibt alle vier Jahre ein Hauptflugjahr und durch Stämme mit dreijährigem Zyklus ausgelöst, auch Nebenflugjahre. Es wird vermutet, dass die Verkürzung des Entwicklungszyklus durch die Erwärmung begünstigt wird, der wissenschaftliche Nachweis fehlt jedoch noch. Vor allem sandige Böden sind vom Waldmaikäfer-Problem betroffen. Im Raum Freiburg gibt es in der Rheinebene insgesamt bessere Standortbedingungen als in der nördlichen Oberrheinebene, weil ausgeprägte Sand-Kies-Flächen wie auf den nordbadischen Niederterrassen fehlen und mehr Niederschläge fallen.
- Es wird angenommen, dass der Schwammspinner ein Insekt ist, das vom Klimawandel profitiert. So hatte der Schwammspinner durch das trockene Frühjahr 2011 hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten.

- *Der Eichenprozessionsspinner ist zu einem Dauerproblem weniger für die Forstwirtschaft, sondern mehr für die Gesundheit geworden, wie es aus dem Mittelmeerraum bekannt ist (siehe auch 4.6.1.2). Noch vor Jahrzehnten gab es diese Problematik in der Region nicht, der Eichenprozessionsspinner war in der Oberrheinebene und im Neckarland vorhanden, aber unauffällig. Es wird davon ausgegangen, dass der Eichenprozessionsspinner gefördert durch die Erwärmung so virulent wie aktuell wurde und seine Ausbreitung maßgeblich ausdehnen konnte. Er ist aktuell in den Beständen der Stadt Freiburg großflächig verbreitet, früher war er in Eichenbeständen in einer geringeren Intensität oder gar nicht vorhanden. Es entstehen folglich erhöhte Aufwendungen für den Forstbetrieb, wenn der Prozessionsspinner z. B. an Badeseen im Stadtwald auftritt.*
- *Auch die Prachtkäfer in der Buche und der Eiche sind Insekten, die von der Klimaerwärmung profitieren und somit eine immer stärkere wirtschaftliche Bedeutung bekommen. Der Buchenborkenkäfer hatte bis 2003/2004 überhaupt keine Rolle gespielt, ist dann plötzlich vermehrt aufgetreten und hat für Ausfälle bei der Buche gesorgt.*
- *Des Weiteren ist der Borkenkäfer in immer höheren Lagen zu finden. Am Belchen ist er bis in die höchsten Lagen vertreten. Die Fichten sind dort flächendeckend betroffen. Früher kam er nur bis zu einer Höhe von ca. 800 m vor.*

## 4.2.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen

**Zu lange Generationszyklen:** *Die langfristige Planung der Forsteinrichtung (Baumartenwahl) ist stark abhängig von klimatischen Bedingungen. Durch das rasche Voranschreiten des Klimawandels könnte es sein, dass nicht genug Zeit bleibt, sich adäquat anzupassen. Der Klimawandel wird wahrscheinlich viel schneller voranschreiten, als ein Waldumbau möglich wäre<sup>24</sup>. Ein weit vorausschauender Waldumbau gestaltet sich insofern schwierig, dass beispielsweise heute die klimatischen Voraussetzungen für wärme-liebende und frostempfindliche Baumarten aus dem mediterranen Raum noch nicht gegeben sind. Im Falle einer extremen Klimaerwärmung, beispielsweise um bis 6° C, wäre ein vorausschauendes, planmäßiges Vorgehen unter Umständen gar nicht mehr möglich. Die Forstwirtschaft könnte wohl nur noch auf die gegebenen Umstände reagieren. Im Extremfall könnten Bereiche in der Rheinebene waldfrei werden.*

*Es zeichnet sich aufgrund der **Trockenheit** ein Rückgang der Baumarten Fichte und Tanne in den unteren Lagen - und der Eiche im Mooswald - ab. Die Gefahr von Trockenschäden steigt. In der Rheinebene hätte eine Erwärmung negative Folgen auch für die Buche.*

**Probleme der Wasserversorgung** *in den höheren Lagen und an Südhängen: Wenn das schlimmste Klimawandel-Szenario eintreffen sollte, dürfte die Wasserversorgung der Baumarten in den höheren Lagen mit Sicherheit problematisch werden. Man muss zwar nicht davon ausgehen, dass die Wälder verschwinden würden, jedoch könnte der Wald in Zukunft ganz anders beschaffen sein. Es ist fraglich, in wie weit er dann noch forstwirtschaftlich genutzt werden könnte. Die saisonale Verlagerung der Niederschläge vom Sommer ins Winterhalbjahr könnte an Südhängen zu Problemen mit Baumarten wie der Fichte führen.*

---

<sup>24</sup> Es gibt allerdings auch Hinweise aus der Paläoökologie, dass die (natürliche) Waldvegetation in sehr kurzen Zeiträumen von weniger als 30 Jahren auf Klimaänderungen, z. B. zu Beginn des Holozäns, reagierte (WOHLGEMUTH et al. 2006)

**Waldbrandgefahr** besteht grundsätzlich vor allem dann, wenn es trocken-warm ist und bevor die Vegetation sich entwickelt hat, wenn also noch viel trockenes, abgestorbenes Material vorhanden ist. Die Waldbrandgefahr steigt also prinzipiell mit entsprechender Klimaerwärmung und ungünstiger Niederschlagsverteilung. Brände werden meist von Menschen verursacht. Sie werden jedoch meist früh entdeckt und können dann schnell und erfolgreich bekämpft werden. Aus diesem Grund treten bei uns keine großflächigen Waldbrände auf.

**Erhöhte Gefahr von Spätfrost und Nassschneebruch:** Zukünftig könnte die Kombination einer früher beginnenden Vegetationszeit mit Spätfrosten und/oder vermehrten (Nass-) Schneereignissen vermehrt zum Problem werden (s. o.). Spätfrost betreffe vor allem die Buche in den Höhenlagen.

**Vermehrte Infrastrukturschäden:** Durch die Zunahme von Starkregenereignissen könnte es in vermehrtem Umfang zu Wegeschäden kommen, wodurch höhere Aufwendungen für den Wegeunterhalt notwendig wären.

## **Chancen**

**Anstieg des Zuwachses, günstigere Wuchsverhältnisse:** Ein positiver Effekt des Klimawandels auf das Waldwachstum durch die Verlängerung der Vegetationsperiode und einen steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre ist anzunehmen (z. B. DOBBERTIN & GIUGGIOLA 2006). Auf den Versuchsflächen des forstlichen Monitoring (siehe 5.2) wurden beispielsweise bei Tanne und Buche außergewöhnliche Zuwächse festgestellt. Die laufenden Zuwächse, insbesondere in den jungen Beständen, weichen deutlich von den bisher verwendeten Ertragstafeln ab. Die Versuchsflächen zeigen jedoch auch, dass der Trend des Anstiegs der Zuwächse zurzeit wieder rückläufig ist. Der erhöhte Zuwachs ist nicht ausschließlich auf das Klima zurückzuführen. Auch Stickstoffeinträge spielen beispielsweise eine Rolle. Hinzu kommt, dass zuwachs-schädliche Nutzungen wie Streuentnahme mittlerweile weit zurück liegen und die Bodenfruchtbarkeit sich insgesamt verbessert hat.

Bei steigender Temperatur und gleichbleibender Niederschlagsituation könnten in den montanen und hochmontanen Lagen des Schwarzwaldes die Wuchsverhältnisse günstiger werden. Gerade die Tanne könnte zukünftig eine größere Rolle spielen (siehe auch HOCKENJOS 2010, KOHNLE et al. 2011). Sie hat in den hochmontanen Lagen ein Problem mit zu wenig Wärme und verjüngt sich auf eher wärmeren Standorten viel üppiger und besser als auf kühleren, wird dort jedoch aufgrund von Schädlingen meist nicht so alt. Auch Buche und Ahorn könnten in den montanen und hochmontanen Bereichen von der Klimaveränderung profitieren.

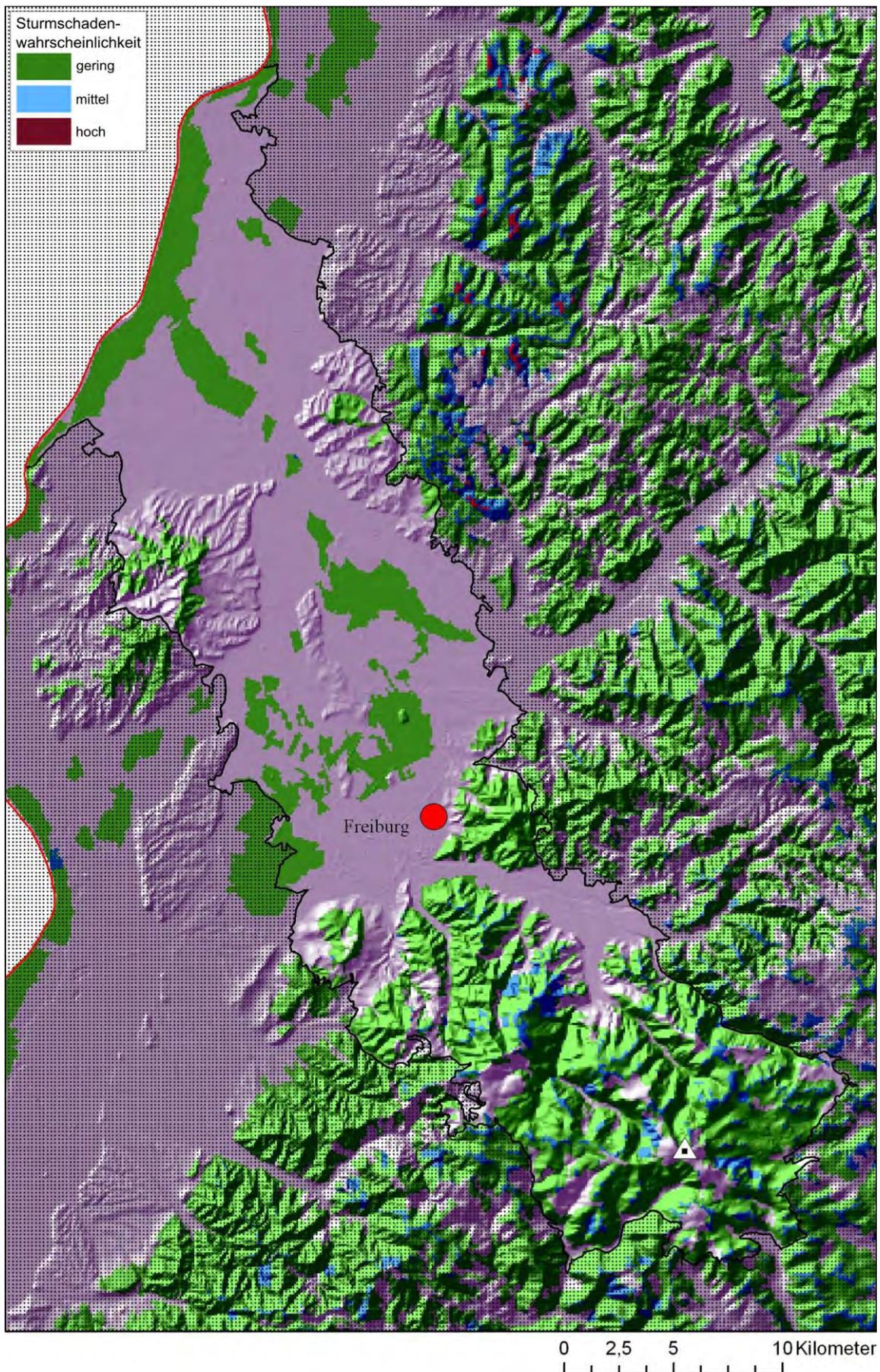


Abbildung 4-8: Karte der klassifizierten Sturmschadenswahrscheinlichkeit für den Modellraum auf der Basis flächiger Sturmschäden (Quelle: SCHINDLER et al. (2010), verändert)

## Vulnerabilität der Forstwirtschaft im Modellgebiet

Aus dem zuvor Gesagten lässt sich demnach ableiten, dass die Forstwirtschaft der Modellregion vor allem hinsichtlich folgender Aspekte vulnerabel ist:

- **Stürme:**  
Waldbestände sind sowohl im Schwarzwald als auch in der Rheinebene prinzipiell vulnerabel gegenüber Sturmereignissen. Bisher war aber vor allem das Gebiet südlich von Karlsruhe bis zur Ortenau stärker von Stürmen betroffen (siehe 4.2.1.1). Die Wälder der Modellregion werden als nur in geringem Maße als vulnerabel gegenüber Stürmen eingeschätzt (siehe Abbildung 4-8). Tannen und Douglasien erwiesen sich im Stadtwald Freiburg bisher bei Stürmen stabiler als Fichten.
- **Trockenheit:**  
Aufgrund höherer Temperaturen und geringerer Niederschläge besteht vor allem in der Rheinebene und in mittleren Lagen bis 700 m ü. NN eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber Trockenheit. Bei einem sehr starken (worst-case) Temperaturanstieg (siehe 3.2), wären auch die Baumarten in höheren Lagen vom Problem der Wasserversorgung betroffen. In den unteren Lagen sind vor allem die Baumarten Fichte, Tanne und Eiche (Altbestände im Mooswald) vulnerabel gegenüber der steigenden Trockenheit. Es besteht im Allgemeinen eine hohe Vulnerabilität von Jungpflanzen und Sämlingen der Naturverjüngung gegenüber Trockenheit und Hitze, auch bei der Douglasie.
- **Nassschnee:**  
Sowohl Nadel- als auch Laubbaumbestände in mittleren Lagen von 600 - 800 m sind vulnerabel gegenüber Nassschneeereignissen. Hier treten regelmäßig Schäden durch Schneebruch auf. Vor allem Wintereinbrüche im Frühjahr mit frühem Blattaustrieb stellen ein Problem dar.
- **Spätfrost:**  
In den Höhenlagen kann die Buche durch die früher beginnende Vegetationsperiode vulnerabel gegenüber Spätfrostschäden sein.
- **Starkregen:**  
Es besteht eine Vulnerabilität der forstlichen Infrastruktur (Wege) im Fall der Zunahme von Starkregenereignissen.

### 4.2.3 Anpassungsmaßnahmen

Angesichts der zurzeit noch bestehenden Unsicherheiten - z. B. hinsichtlich Extremereignissen - über das Ausmaß der Veränderungen des Klimas, der daraus resultierenden Auswirkungen auf Vitalität, Wachstum und Verjüngung der einzelnen Baumarten sowie der relativ langen Planungshorizonte in der Forstwirtschaft mit Erntezyklen von meist deutlich über 50 Jahren werden für die Forstwirtschaft kontinuierliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel als sinnvoll erachtet (LEDER 2010). Ein wesentlicher Ansatz hierzu ist, die heutigen Bestände möglichst klimaplastisch zu gestalten und sie mit flexiblen, nachjustierbaren Strategien an alle oder zumindest viele Eventualitäten der Zukunft anzupassen. Hieraus ergeben sich folgende waldbauliche Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen (DAS 2008, LEDER 2010):

- Beibehalten der bisherigen Bewirtschaftung, z. B. bei bereits bestehenden arten-/struktureichen Beständen
- Naturnahe Waldbewirtschaftung mit unterschiedlichen Überführungsstrategien wie beispielsweise Umbau durch Voranbau, Überführen von Altersklassenwald in naturnäheren Dauerwald oder auch bewusstes Nicht-Eingreifen
- Dynamische Anpassungsstrategien, wie Waldumbau zu mehr Baumartenvielfalt, Erhöhen der Strukturvielfalt oder die Förderung der Einzelbaumstabilität und -vitalität, Einführung geeigneter Arten
- Ausweichstrategien, wie die Verkürzung der Produktionszeit und vorzeitige Ernte von Beständen

Weiterhin kommen begleitende Anpassungsmaßnahmen wie die Waldbrandvorsorge; die Veränderung von Wasserbewirtschaftungskonzepten (z. B. Auwälder wiedervernässen), das Verringern von Stoffeinträgen und das Vermeiden von Störungen - beispielsweise bei der Holzernte - in Frage (DAS 2008).

*Die befragten Experten im Modellgebiet halten die Anpassungsmöglichkeiten der Forstwirtschaft dabei für eher begrenzt. Es wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel wahrscheinlich schneller voranschreiten wird, als ein Waldumbau möglich wäre. Weiterhin wird das Problem gesehen, dass dem Waldumbau Grenzen zum Beispiel durch die heutigen klimatischen Voraussetzungen gesetzt sind (siehe auch 3.1). So können beispielsweise Baumarten aus der mediterranen Region (noch) nicht eingesetzt werden, da sie - vor allem im Schwarzwald - nicht genügend frosthart sind.*

### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellraum**

**Wahl geeigneter Baumarten:** *Im Gebiet kommen kalte Winter vor und es besteht die Gefahr von Spätfrostschäden. Daher werden Baumarten benötigt, die zwar einerseits trockenstresstolerant und wärmeliebend, andererseits aber auch frosthart sind. In der Ebene wird beispielsweise stärker auf Eichen gesetzt, in den unteren Lagen des Schwarzwaldes orientiert man sich in Richtung Laubholz (u. a. Esskastanie, verschiedene Nussarten) und Douglasie. In den Hochlagen soll die Tanne stärker gefördert werden, denn man geht davon aus, dass die Tanne mehr Trockenstress und höhere Temperaturen erträgt als die Fichte (siehe HOCKENJOS 2010, KOHNLE et al. 2011). Ein verstärkter Anbau von Tannen müsste aber auch beim Waldbau entsprechend berücksichtigt werden (s. u.)*

*Auch die Forschung ist in Bezug auf die Baumarteneignung tätig, beispielsweise mit Untersuchungen zu genetischen Grundlagen der Trockenstresstoleranz unterschiedlicher Sorten. Darüber hinaus betreibt das städtische Forstamt Freiburg in Kooperation mit dem Institut für Waldbau der Universität Freiburg eine Versuchfläche bei Umkirch, um Hinweise in Bezug auf trockenheitsresistente Baumarten zu erlangen. Im Jahr 2008 wurden hierfür unter anderem verschieden Eichenarten, Hainbuchen, usw. gepflanzt. Des Weiteren gibt es Versuchsfelder mit fremdländischen Baumarten.*

*Es wird überwiegend mit **Naturverjüngung** gearbeitet, da hier die ganze Bandbreite und die optimale Anpassungsfähigkeit des Genpools vorhanden ist. Im Stadtwald Freiburg wird generell nur wenig durch Pflanzungen verjüngt.*

**Baumartenmischung, standortgerechte Baumarten und Verkürzung der Produktionszeit** stellen Möglichkeiten dar, den Sturmrisiken vorzubeugen. Untersuchungen haben ergeben, dass unabhängig vom Standort ab einer Oberhöhe von über 25 m das Windwurfisiko stark ansteigt. Es wird versucht, die Sortimente und

*Produkte, die der Markt benötigt, in Beständen bis zu einer Oberhöhe von ca. 25 m zu erzeugen, was mit einer Verkürzung der Produktionszeit verbunden ist. Für die Fichte wurde von der FVA ein Produktionsmodell entwickelt, welches auch teilweise angewendet wird. Bei der Fichte beträgt beispielsweise der Zieldurchmesser nicht mehr 60 cm, sondern 45 cm und die Endbaumhöhe beträgt nicht mehr 35 m sondern 25 m. Bei entsprechender Jungbestandspflege kann dieses Ziel in einer Produktionszeit von 60 - 70 Jahren anstatt wie vorher in 120 - 130 Jahren erreicht werden. Die Begrenzung der Oberhöhe soll aber nicht für Tannenbestände angewendet werden, da durch den mit der Verkürzung der Verjüngungszeit verbundenen abrupten Strukturwechsel das Betriebsrisiko eher steigt (v. TEUFFEL 2010).*

*Bei der Buche kann durch eine Lichtungsdurchforstung ebenfalls der gewünschte Zieldurchmesser in einer kürzeren Produktionsdauer und somit eine verkürzte Risikozeit erreicht werden.*

**Angepasste Bestandesbehandlung:** *Die Mischwuchsregulierung ist eine mögliche sinnvolle Anpassungsmaßnahme gegenüber den Klimaveränderungen. Bisher wird der Baumartenwechsel in den Wäldern des Städtischen Forstamtes Freiburg noch nicht aktiv eingeleitet, jedoch werden bei der Nutzung labile Arten (z. B. Tannen mit Trockenschäden) zugunsten geeigneterer Arten (z. B. Douglasie) entnommen. In der Naturverjüngung wird weiter mit einer Baumartenmischung gearbeitet. Die Frage des aktiven Umbaus ganzer Bestände stellt sich bisher folglich nicht. Die Mischbestände des Städtischen Forstamtes haben eine günstige Struktur und sehr gute Naturverjüngungsvorräte mit einer großen Baumartenpalette. Das Weiterführen des naturnahen Waldbaus und der Naturverjüngung sowie das Aufrechterhalten der Baumartenmischung und Beteiligung von klimaresistenten Baumarten (z. B. Esskastanie, Eiche im Bergwald) stellen die derzeitigen Anpassungsmaßnahmen dar. Im Rahmen der Durchforstung sollen besonders vitale Bäume herausgepflegt werden, so dass der verbleibende Bestand aus möglichst vitalen Individuen besteht.*

**Begrenzung des Vorratsniveaus:** *Der Vorrat sollte aus Gründen der Risikominimierung nicht noch weiter ansteigen. Stattdessen soll das Vorratsniveau in den bewirtschafteten Beständen gehalten und die Menge, die zuwächst, auch genutzt werden.*

Die bestehende mittelfristige Betriebsplanung (Forsteinrichtung) wird als geeignetes Instrument gesehen, eine kontinuierliche Anpassung der Bestände an den Klimawandel zu realisieren, wenn die betrieblichen Oberziele (einschließlich des Waldumbaus für den Klimawandel) in der notwendigen Klarheit definiert und neue Erkenntnisse über Veränderungen durch den Klimawandel laufend in den Planungsprozess integriert werden (v. TEUFFEL 2010).

### **Weitere notwendige / mögliche / gewünschte / geplante Anpassungsmaßnahmen**

**Angepasste Bestandesbehandlung (Tanne):** Die Tanne ist besser an die Veränderungen durch den Klimawandel angepasst als die Fichte. Falls sie zukünftig mehr Gewicht erhalten sollte, wäre ein tannengerechter Umgang im Waldbau erforderlich (v. TEUFFEL 2010, KOHNLE et al. 2011). Die Tanne als Schattbaumart reagiert empfindlicher auf abrupte Wechsel der Bestandesstruktur als die Fichte, Plenter- oder Femelwirtschaft ist für die Tanne gut geeignet. Eine erfolgreiche Verjüngung sollte auf Naturverjüngung bauen und setzt angepasste Wildbestände voraus.

**Forschungsprojekte** z.B. in Bezug auf **Provenienzen und geeignete Standorte** könnten weitere nützliche Informationen liefern. Provenienzuntersuchungen könnten Aufschluss darüber geben, ob es Provenienzen z.B. der Tanne oder Buche gibt, die eventuell trockenheitsresistenter sind. Handreichungen von der FVA, die aufzeigen, welche Standorte für welche Baumart ungeeignet sind, wären sinnvoll, um in der Planung

gegensteuern zu können. Erste Karten sind bereits vorhanden.

Der Forstbetrieb sollte durch weitere Forschung unterstützt werden. So wäre eine standortkundliche Evaluation als Unterstützung der Betriebe sinnvoll. Informationen über sich gegebenenfalls verändernde Standorte wären wichtig, um aufzuzeigen, welche Standortseinheiten besonders gefährdet sind. Die bisherige Standortkartierung müsste angepasst werden.

**Vermehrte Infrastrukturschäden:** Durch die Zunahme von Starkregenereignissen könnte es in vermehrtem Umfang zu Wegeschäden kommen. Hierdurch wären höhere Aufwendungen für den Wegeunterhalt notwendig. Es sollte daher geprüft werden, ob an den Forstwegen größer dimensionierte Ableitungen auf kritischen Strecken eingebaut werden müssen und ob dort, wo aufgrund des Einzugsgebietes höhere Wassermengen zu erwarten sind, zusätzliche Dohlen notwendig werden.

## 4.2.4 Indikatoren

### Zufällige Nutzung

Bei der Naturalbuchführung und in den Waldschutzberichten werden die Daten der zufälligen Nutzungen für das ganze Land (Abbildung 4-9) und für unterschiedliche Organisationseinheiten (z. B. alte Forstämter, Landkreise, Stadtwald Freiburg) dokumentiert. Es zeigt sich, dass die Anteile der zufälligen Nutzung Extremereignisse wie die Orkane 1990 und 1999 oder die Trockenheit und Hitze des Sommers 2003 deutlich widerspiegeln. Abbildung 4-9 zeigt, dass bis auf 1998 und die Jahre ab 2007 die Anteile der zufälligen Nutzungen im Freiburger Stadtwald stets unterdurchschnittlich ausfielen. Dieses Ergebnis kann als repräsentativ für den gesamten Modellraum angesehen werden. Beim städtischen Forstamt Freiburg wird seit 20 Jahren der Anteil der zufälligen Nutzung am planmäßigen Einschlag, eingeteilt in die Hauptgruppen Sturm, Trockenheit und Insekten erfasst (siehe Abbildung 4-10).

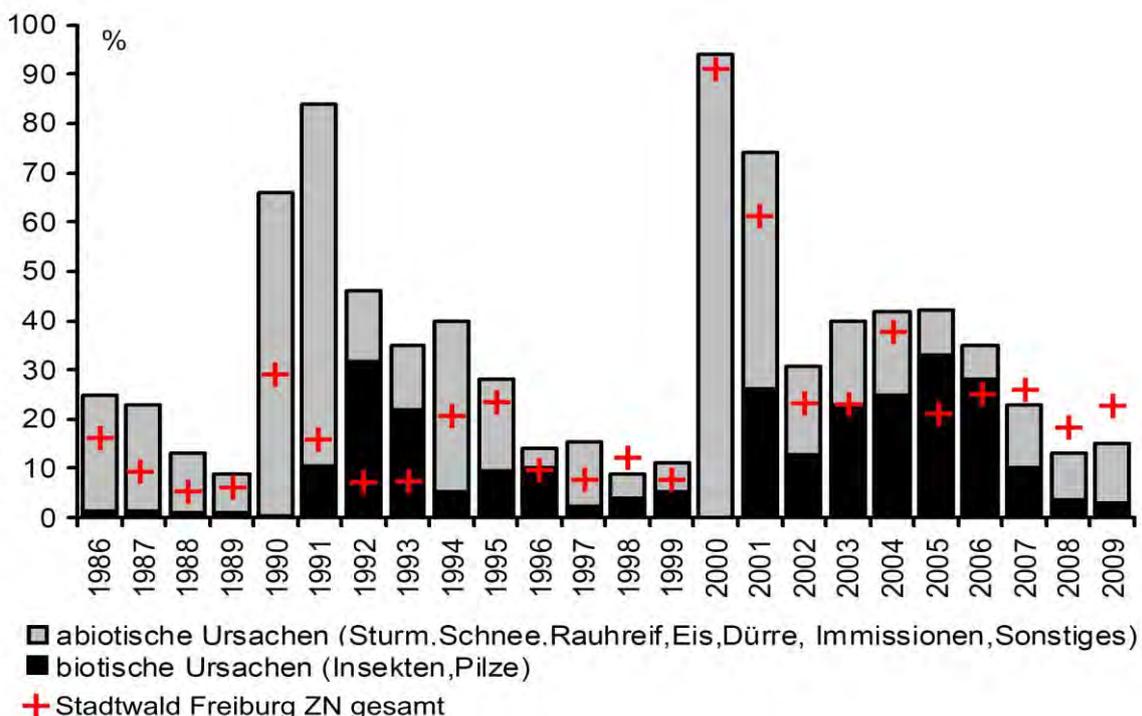


Abbildung 4-9: Anteil zufälliger Nutzung (ZN) am gesamten Holzeinschlag in Baden-Württemberg (Grafik aus MEINING et al. 2010, verändert) und im Freiburger Stadtwald (Quelle: Städtisches Forstamt Freiburg)

## Naturverjüngung klimatoleranter Baumarten

Das in Baden-Württemberg praktizierte Konzept der Naturnahen Waldwirtschaft setzt stark auf Naturverjüngung. Zum Umbau der Bestände in Richtung klimatoleranter oder klimaplastischer Wälder ist es erforderlich, dass sich standörtlich passende klimatolerante Baumarten, aber auch wirtschaftlich interessante Baumarten im richtigen Verhältnis etablieren (siehe v. TEUFFEL 2010). Das Erreichen dieser Zielvorgabe kann durch ein Monitoring der Naturverjüngung (Baumarten und -anteile) überwacht werden. Ziel des Monitoring wäre es, festzustellen, ob gegebenenfalls durch Pflanzung und/oder Bestandespflege die Entwicklung der Bestände in die gewünschte Richtung korrigiert werden sollte.

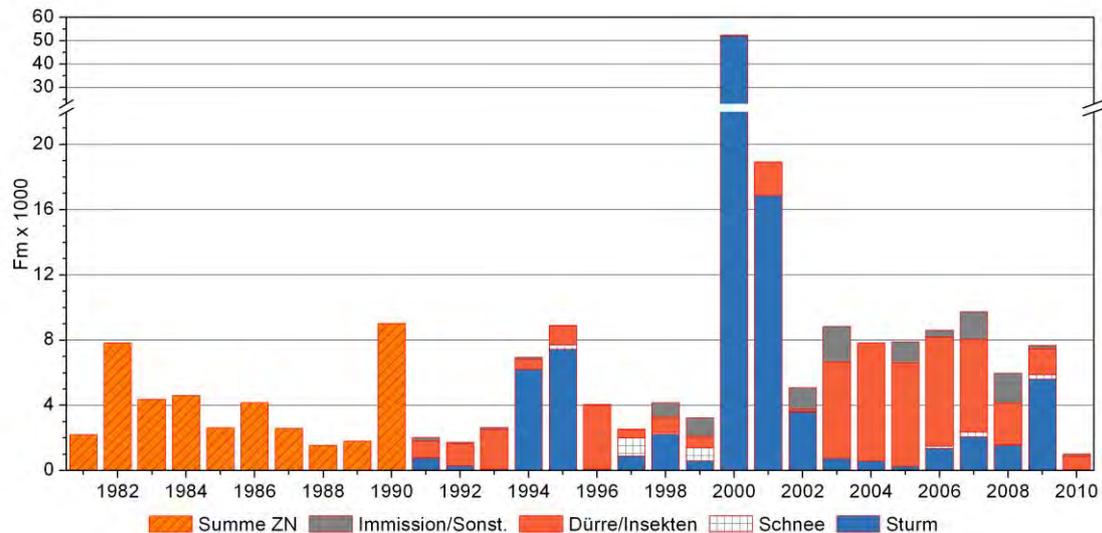


Abbildung 4-10: Anteil des Schadholzes (ZN = zufällige Nutzung) im Stadtwald Freiburg, ab 1991 differenziert in Sturmholz, Schneebruch, Dürre- und Insektenschäden sowie Immissionen/sonstiges (Quelle: Städtisches Forstamt Freiburg)

## Wildverbissintensität

Im Zusammenhang mit der Naturverjüngung in der Naturnahen Waldwirtschaft ist die Intensität des Wildverbisses, z. B. für Tannenwirtschaft, von großer Bedeutung. Diese Bedeutung nimmt zu, wenn zusätzlich Veränderungen durch den Klimawandel berücksichtigt werden müssen (s. o.). Zu hohe Wildverbissintensitäten können die Verjüngung gewünschter Baumarten reduzieren oder verhindern. Bei hoher Wildverbissintensität werden Gegenmaßnahmen (Bejagung, Schutz, ...) notwendig.

## Schädlingsbefall

Von Seiten des Waldschutzes wird eine kontinuierliche Überwachung der Bestände auf Schädlingsbefall angeregt (SCHRÖTER 2006), da durch die Klimaerwärmung mit vermehrt auftretenden Schädlingskalamitäten zu rechnen ist. Der Indikator Schädlingsbefall soll dazu dienen, Schadschwellen zu erkennen. Im Falle bedrohlicher Befallsintensitäten wird ein Krisenmanagement mit Bekämpfungsmaßnahmen, um Folgeschäden durch Schadinsekten und -pilze zu minimieren, notwendig erachtet.

## 4.3 Wasserwirtschaft

### 4.3.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.3.1.1 Extremereignisse

##### **Historische Hochwasser der Dreisam (nach LANGE 2007)**

Berichte von einem katastrophalen Hochwasser mit 30 Todesopfern in Freiburg, der fast vollständigen Zerstörung des damaligen Dorfes und heutigen Stadtteils Wiehre und einer wochenlangen Überschwemmung der Felder liegen aus dem Jahr 1480 vor. Fast jährlich schädigten mehr oder weniger ausgedehnte Überflutungen im Dreisamtal vor allem die Landwirtschaft, aber auch Schäden an der dörflichen und städtischen Infrastruktur waren häufig. Weite Teile der Dreisamaue waren deswegen für eine Ackernutzung kaum geeignet. Seit dem 18. Jahrhundert ist eine Vielzahl von mehr oder weniger regelmäßig - und oft im Dezember (s. u.) - auftretenden Hochwasserereignissen an der Dreisam dokumentiert. Das letzte große Hochwasser mit erheblichen Sachschäden vor der Dreisamkorrektion ereignete sich 1824, danach gehörten zwar ausgedehnte Überschwemmungen von Freiburg bis Riegel weitgehend der Vergangenheit an, zu Schäden kam es aber trotzdem immer noch. Hier ist vor allem das Hochwasserereignis vom März 1896, bei dem die Schwabentorbrücke zerstört wurde und ein Damm bei Neuershausen brach, zu nennen. Leider besteht der Pegel Ebnet erst seit 1941, so dass die damaligen Abflussmengen nur geschätzt werden können, nach HAFERKORN et al. (1999)<sup>25</sup> ist von einem Spitzenabfluss zwischen 260 und 275 m<sup>3</sup>/s auszugehen.



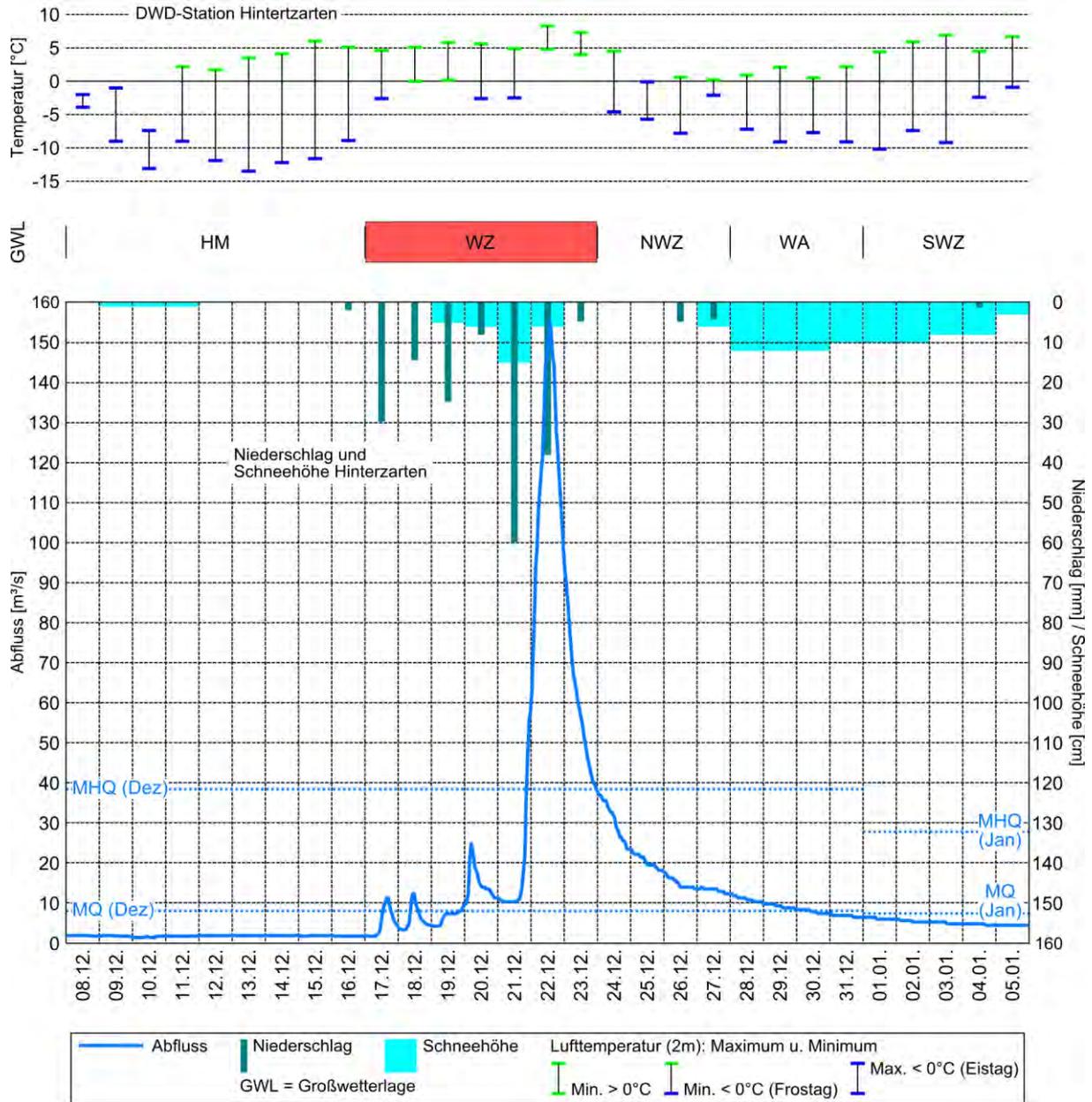
**Abbildung 4-11: Hochwasser 1896 in Freiburg, Reste der Schwabentorbrücke (Quelle: LANGE 2007)**

---

<sup>25</sup> in LANGE (2007)

## Hochwasser der Dreisam seit 1991

Eine Studie von CASPARY (2010) für Südwestdeutschland zeigt, dass extreme Hochwasser vornehmlich während der Wintermonate Dezember bis Februar auftreten. Dabei spielt insbesondere die Großwetterlage<sup>26</sup> „Westlage zyklonal“ eine große Rolle.



**Abbildung 4-12: Jahrhunderthochwasser am Pegel Ebnet im Dezember 1991. Großwetterlagen: HM = Hoch Mitteleuropa, WZ = Westlage zyklonal, NWZ = Nordwestlage zyklonal, WA = Westlage anti-zyklonal, SWZ = Südwestlage zyklonal. (Quelle: LUBW, Wetterdaten: DWD)**

<sup>26</sup> Eine Großwetterlage bezeichnet nach BAUR (1963) die mittlere Luftdruckverteilung eines Großraumes, mindestens von der Größe Europas während eines mehrtägigen Zeitraumes, in welchen Zügen aufeinanderfolgender Wetterlagen gleich bleiben.

Verheerende Hochwasser ereignen sich vor allem dann, wenn nach einer längeren Frostperiode die Westlage zyklonal wetterbestimmend wird. Eine solche Situation trat im Modellraum an Weihnachten 1991 ein (Abbildung 4-12). Die am Abend des 16.12.1991 einsetzenden und sich in den darauffolgenden Tagen verstärkenden Niederschläge sowie ansteigende Temperaturen brachten die Schneedecke zum Schmelzen<sup>27</sup> und konnten nur zum geringen Teil vom noch gefrorenen Boden aufgenommen werden, so dass sich bis zum 21.12.1991 in der Dreisam eine Hochwasserwelle mit einem Abfluss von mehr als 150 m<sup>3</sup>/s aufbaute (Abbildung 4-13). Dies war mehr als das 200-jährliche Hochwasser (LANGE 2007) und das höchste Hochwasser seit Beginn der Messung am Pegel Ebnet. Auch im Winter 2010 gab es ein Hochwasser an der Dreisam. Dabei kam am 7. Dezember 2010 in Freiburg ein Fahrradfahrer bei einem Wasserstand von circa 140 cm (ca. 75 m<sup>3</sup>/s am Pegel Ebnet) ums Leben (Badische Zeitung).

### **Hochwasser am Rhein**

Bei einem Rheinhochwasser am 8.8.2008 waren die Rheinauen überflutet und nordwestlich des Kaiserstuhls bei Sasbach auch landwirtschaftliche Flächen betroffen.



**Abbildung 4-13: Dreisam-Hochwasser an Weihnachten 1991 im Bereich der Innenstadt Freiburg (Quelle: LANGE 2007)**

---

<sup>27</sup> Hochwasserereignisse können nicht nur an den Niederschlagsdaten festgemacht werden. Bei Auswertungen eines Flussgebietsmodells an der Kinzig wurde festgestellt, dass die Hochwasserabflüsse durch Schneeabfluss um bis zu 400 m<sup>3</sup>/s verstärkt werden können.

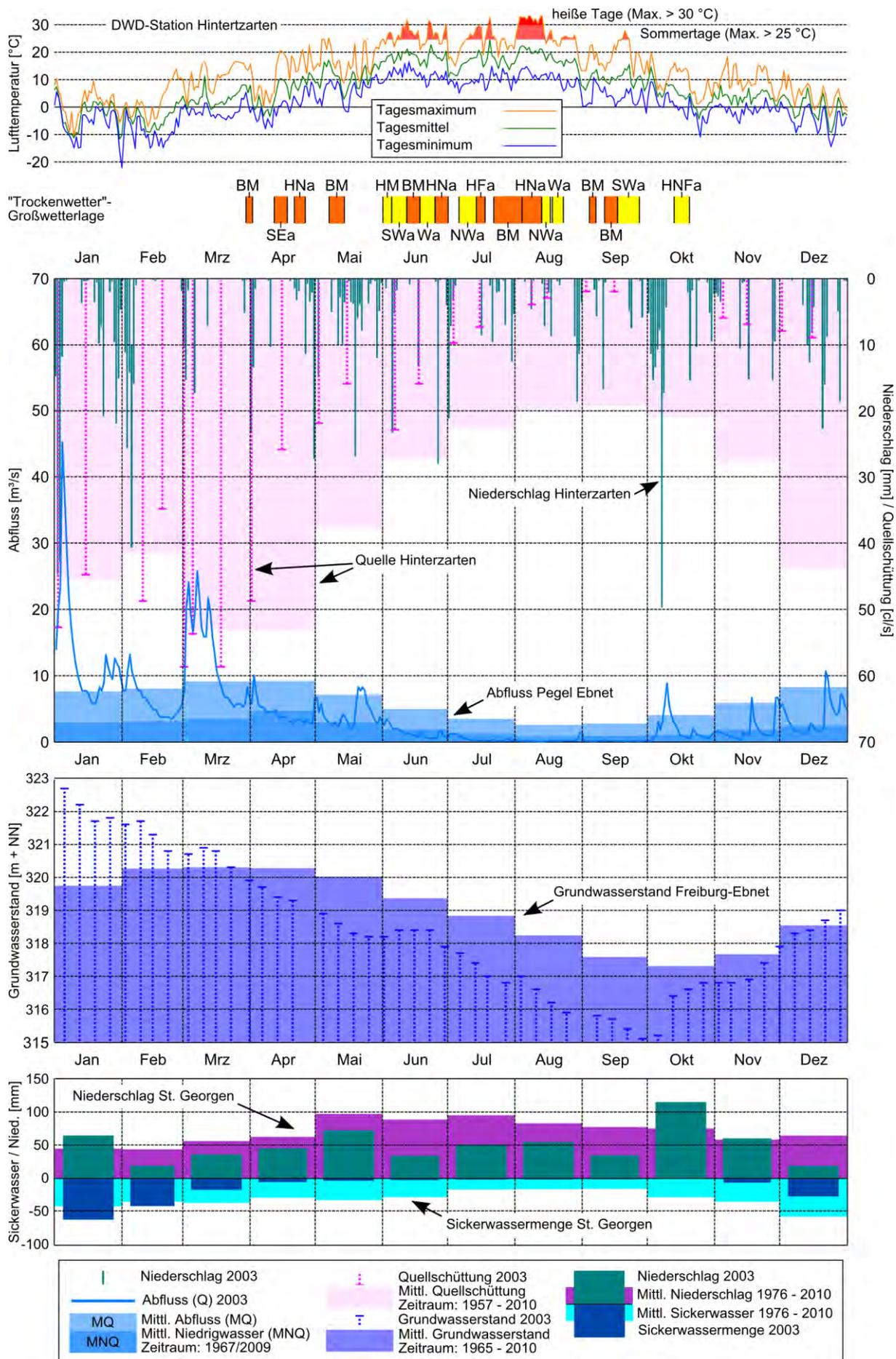


Abbildung 4-14: Lufttemperatur, „Trockenwetter“-Großwetterlagen (April bis Oktober), Abfluss, Pegel und Quellschüttung im Extremjahr 2003 im Modellgebiet (Quelle: LUBW, Wetterdaten: DWD)

## Nässejahr/-herbst 2002

*Der Herbst des Jahres 2002 war von hohen Niederschlägen und niedrigen Temperaturen mit wenig Verdunstung über einen längeren Zeitraum gekennzeichnet. Hierdurch ergaben sich extrem hohe Grundwasserstände im November 2002. Dieses Ereignis hatte jedoch keine katastrophalen Auswirkungen.*

## Trockenphasen und Niedrigwasserereignisse

Trockenphasen werden allgemein mit dem Sommer des Jahres 2003 in Verbindung gebracht. *Tatsächlich wurde der bislang niedrigste Abfluss der Dreisam am Pegel Ebnet von 0,059 m<sup>3</sup>/s am 12.08.2003 gemessen. Es handelt sich hierbei um das extremste Niedrigwasser in der jüngeren Vergangenheit. 2003 traten auch extrem niedrige Grundwasserstände im Modellraum auf. Die große Trockenheit führte auch dazu, dass 2003 die Grasnarbe auf langen Strecken der Hochwasserdeiche fast völlig abgestorben war.*

Das Jahr 2003 war gekennzeichnet durch eine Anhäufung von sogenannten Trockenwetter-Großwetterlagen (Abbildung 4-14). Bereits im Frühjahr des Jahres 2003 traten vier derartige Großwetterlagen auf. Auch in den folgenden Monaten hielt das trockene und außergewöhnlich heiße Wetter – nur unterbrochen von einigen niederschlagsreicheren Phasen – bis in den Herbst hinein an. Im Laufe des Jahres sanken so die Quellschüttungen, die Abflussrate der Dreisam, die Grundwasserstände und auch die Sickerwassermengen im gesamten Modellgebiet auf Rekordniveau (Abbildung 4-14). *Die zurückgegangenen Quellschüttungen führten 2003 teilweise zu Versorgungsengpässen bei verschiedenen kleineren Gemeinden, die sich mit eigenem Quellwasser versorgen.*



**Abbildung 4-15: Die Dreisam nahe Neuershausen bei Niedrigwasser (Bild: <http://www.badische-seiten.de/bild/march/dreisam-trocken.jpg>)**

Niedrigwasserereignisse in der Dreisam im Sommer sind aber keine Ausnahmereignisse<sup>28</sup> (Abbildung 4-15). Der mittlere jährliche Abflussgang weist von Juli bis Oktober ein Minimum auf, die Abflüsse betragen in diesen Monaten durchschnittlich zwischen 2,5 - 3,5 m<sup>3</sup>/s. Im Jahr 2003 erreichten die Wasserstände der Dreisam in den Monaten Juli, August und September bei Betrachtung der einzelnen Monatsmittel die niedrigsten Werte seit Beginn der Messungen im Jahr 1941. Im Juli wurden im Mittel nur circa 0,40 m<sup>3</sup>/s, im August 0,09 m<sup>3</sup>/s und im September 1,25 m<sup>3</sup>/s am Pegel Ebnet registriert. Der Juni 2003 lag mit durchschnittlich 1,3 m<sup>3</sup>/s deutlich über dem bislang wasserärmsten Juni im Jahr 1945 (0,75 m<sup>3</sup>/s). Auch in früheren Jahren gab es lang anhaltende und ausgeprägte Perioden, die bezüglich des Abflussverhaltens der Dreisam mit dem Jahr 2003 vergleichbar sind. In der Summe der Sommermonate Juli bis September war die Dreisam zum Beispiel im Jahr 1964 ähnlich trocken wie 2003. *Auch Ende der 90er Jahre war die Dreisam unterhalb von Betzenhausen trocken gefallen und musste abgefischt werden.*

#### 4.3.1.2 Langfristige Trends

*In Bezug auf die **Hochwasserstatistik** besteht noch keine Klarheit darüber, wie sich der Klimawandel auswirkt. Es wäre möglich, dass durch wärmere Winter die Schneedecke geringer wird und somit trotz höherer Winterniederschläge die Hochwasser an Intensität verlieren. Außergewöhnliche Hochwasser treten vor allem dann auf, wenn nach einer längeren Frostperiode die Großwetterlage „West zyklonal“ (s. o.) wetterbestimmend wird. Die Häufigkeit dieser und auch der hydrologisch nicht ganz so bedeutsamen Großwetterlagen „südliche Westlage“ und „winkelförmige Westlage“ nahm aber in den Wintermonaten Dezember und Januar in den beiden letzten Jahrzehnten signifikant zu (CASPARY 2010). Zukünftig ist daher auch im Modellraum mit Zunahme von Extrem- und Jahrhunderthochwässern zu rechnen.*

*Im Modellgebiet ist eine Tendenz zu häufigeren und längeren **Trockenperioden** und zu verstärktem Auftreten von Extremereignissen zu verzeichnen. Zur Bestätigung können eventuell Daten des Pegels Ebnet herangezogen werden, wo der mittlere Niedrigwasserabfluss tendenziell niedriger geworden ist. Dass es auch zwischen Trockenphasen und Großwetterlagen einen Zusammenhang gibt, der im Modellgebiet zukünftig immer kritischer werden konnte CASPARY (2010) nachweisen: Die kombinierte Auswertung von Trockenperioden und Großwetterlagen in Südwestdeutschland zeigt, dass sowohl in den Sommermonaten (Juni bis August) als auch in der Vegetationsperiode (April bis September) lang andauernde Trockenphasen mit der Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) in engem Zusammenhang stehen. Weiterhin spielen die Großwetterlagen „Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal“ (HNa) und die antizyklonalen Ostlagen „Hoch Fennoskandien, antizyklonal“ (HFa), „Hoch-Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal“ (HNFa) sowie die „Nordostlage, antizyklonal (NEa) und die „Südostlage antizyklonal“ SEa) eine große Rolle für das Auftreten von Trockenperioden. Dies trifft insbesondere für den Extrem-Sommer 2003 zu (Abbildung 4-13). Im Beobachtungszeitraum 1881 - 2008 wurde ein hochsignifikanter Anstieg des Trends für die Häufigkeiten und die maximale Dauer von zusammenhängenden Trockenperioden auslösenden Großwetterlagen festgestellt. Dies ist sowohl für die Sommermonate als auch für die gesamte Vegetationsperiode gültig. Die Wahrscheinlichkeit für trocken-heiße Sommer hat seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts bis heute um ein Vielfaches zugenommen. *Durch die Häufung der Trockenperioden und ihre längere Dauer bekommen**

---

<sup>28</sup> Alle Angaben in diesem Absatz von Institut für Hydrologie, Universität Freiburg [[http://www.hydrology.uni-freiburg.de/aktuell/dreisam/duerre\\_03.html](http://www.hydrology.uni-freiburg.de/aktuell/dreisam/duerre_03.html)]

Gemeinden, die an eine Trinkwasserversorgung mit eigenem Quellwasser gebunden sind, verstärkt Probleme. Dies ist ein rein quantitatives Problem. Beispielsweise hatten die Gemeinden Sankt Peter und Sankt Märgen im Jahr 2003 Probleme mit der Wasserversorgung, die betroffenen Dörfer werden in solchen Situationen mit Tankwagen beliefert. Hier werden Anpassungsmaßnahmen als notwendig erachtet (siehe 4.3.3). In relativ trockenen Sommern sind auch Probleme mit einer **Verkeimung** der Gewässer **durch die Tierhaltung** zu verzeichnen.

Auch die Wasserkraftnutzung wird durch zunehmend **ungleichmäßigere Abflüsse** und Tendenzen zu häufigerem Auftreten von größeren Hochwasserabflüssen beeinträchtigt. Da Wasserkraftanlagen nur für gewisse Wassermengen dimensioniert sind, müssen bei Hochwasserereignissen große Abflussmengen ungenutzt am Kraftwerk vorbei abgeführt werden. In längeren Trockenphasen mit Niedrigwasserständen müssen die Wasserkraftanlagen in der Regel abgeschaltet werden, da dann das Wasser im Gewässer selbst benötigt wird. Hier wäre es interessant, Daten von langjährig betriebenen Wasserkraftanlagen auszuwerten<sup>29</sup>. Auch starke Schwankungen der Sommerwasserstände sind früher nicht so kurzfristig aufgetreten. Hier können aber neben dem Klima viele weitere Faktoren wie Siedlungsentwicklung, Kanalisierung und steigende Anteile versiegelter Flächen wirken. Vor allem in einer Situation wie in Freiburg, wo eine große Stadt an einem eher kleinen oder mittelgroßen Fluss wie der Dreisam liegt, machen sich diese Einflüsse stark bemerkbar.

Dem Landratsamt Freiburg sind keine eindeutigen Trends hinsichtlich einer Entwicklung der **Grundwasserstände** und des **Grundwasserdargebots** bekannt. Die größten Beeinflussungen gab es hier schon vor längerer Zeit durch den Oberrheinausbau, welcher ein dramatisches Absinken des Grundwasserspiegels in weiten Bereichen des Rheintals zur Folge hatte. Auch Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft beeinflussen das Grundwasserdargebot, Landwirtschaft und Gartenbau greifen zunehmend auf das Grundwasser zu. Im Rheintal wird eine Entwicklung in Richtung ganzflächiger Beregung (genehmigungspflichtig) gesehen. Unklar ist, ob diese Entwicklung prioritär auf den Klimawandel zurückzuführen ist oder eher in der Notwendigkeit der Ertragsicherung und dem Trend zu höherwertigen Kulturen begründet ist. Aber es ist die Tendenz zu verzeichnen, dass überall dort, wo beregnet werden kann, auch beregnet wird. Hierdurch ergeben sich auch Auswirkungen auf Gewässer, die direkt mit dem Grundwasser korrespondieren. Wenn dieser Trend zunimmt, muss dies auch langfristig mit beachtet werden.

In extrem kalten Wintern kann **Eisgang** auftreten. Es bilden sich Eisschollen, die sich vor allem an Hindernissen wie Wehren oder Brückenpfeilern zusammenschieben.. Große Eisgänge sind im Modellgebiet jedoch nie sehr häufig aufgetreten, aus dem 20. Jahrhundert sind im RP Freiburg nur zwei Ereignisse in den Jahren 1927 und circa 1963 bekannt. Ausgeprägten Eisgang an Dreisam oder Leopoldskanal gab es schon längere Zeit (circa 1980er Jahre) nicht mehr. Es handelt sich also um ein Phänomen, das vor allem in der Vergangenheit aufgetreten ist. Die Ursachen müssen an der Dreisam überwiegend klimatisch bedingt sein, denn es gab oder gibt keine Einleitungen von warmem Abwasser.

---

<sup>29</sup> Daten sind möglicherweise im LRA Breisgau-Hochschwarzwald verfügbar (H. Stegmüller).

## 4.3.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen

*Es ist damit zu rechnen, dass zukünftig deutlich höhere Niederschläge im Winter sowie Frühjahrgewitter die **Hochwassergefahr** im Modellgebiet erhöhen können, obwohl auch gegenläufige Tendenzen denkbar sind (s. o.). Hieraus können sich auch Folgen für den Rhein ergeben.*

Die **Hochwassergefahrenkarte** (HWGK) von Baden-Württemberg ist in diesem Zusammenhang ein wertvolles Werkzeug für Regional- und Kommunalplanung. Schutzmaßnahmen lassen sich aufgrund der Erkenntnisse aus der Gefahrenkarte gezielter umsetzen bzw. optimieren und vermindern damit das Risiko der Zerstörung durch Hochwasser. Wichtige Retentionsräume können dadurch geschützt und neue Risiken durch zusätzliche Siedlungsflächen verhindert werden. Der Katastrophenschutz soll sie zudem als wichtigen Baustein bei der akuten Gefahrenabwehr durch Hochwasser nutzen. Hochwassergefahrenkarten werden für alle relevanten Gewässer in einem Gemeinschaftsprojekt der Kommunen und des Landes Baden-Württemberg erstellt. Dargestellt ist die Wirkung definierter Hochwasserereignisse unterschiedlicher Wiederkehrintervalle für alle relevanten hochwassergefährdeten Siedlungsgebiete in Baden-Württemberg. Sie liefern an ca. 12.500 km Gewässern konkrete Informationen über die mögliche Ausdehnung und Tiefe einer Überflutung. Bereiche, für die die Gefahrenkarten eine Überflutung zeigen, die statistisch einmal in hundert Jahren auftritt (HQ<sub>100</sub>), sind per Gesetz „Überschwemmungsgebiete“, für die besondere Vorschriften für alle Nutzer dieser Flächen gelten.

Im November 2011 wurde dem Projekt die Hochwassergefahrenkarte für den Bereich des Modellgebietes, also im Wesentlichen das Einzugsgebiet der Dreisam, im PDF-Format vom Regierungspräsidium Freiburg zur Verfügung gestellt. Derzeit befinden sich die Teilblätter noch in der Plausibilisierungsphase bei den Vertretern der Kommunen. Sie können insofern nur als Vorabinformation für das Projekt angesehen werden.

Aus den Hochwassergefahrenkarten lässt sich die aktuelle Vulnerabilität gegenüber Hochwasser flächendeckend für das gesamte Modellgebiet erschließen.

Die in Abbildung 4-16 und Abbildung 4-17 beispielhaft gezeigten Ausschnitte aus Kartenblatt 165014 verdeutlichen die Inhalte der Hochwassergefahrenkarte für das Modellgebiet. Dargestellt werden einerseits die räumliche Ausdehnung von Hochwasserereignissen (Karte zur Flächenausbreitung, Abbildung 4-16) mit unterschiedlichen Jährlichkeiten (Wiederkehrwerten). Dabei werden die hochwassergefährdeten Flächen für HQ<sub>10</sub>, HQ<sub>50</sub>, HQ<sub>100</sub> und ein Extremhochwasser in ihrer flächenhaften Ausdehnung mit blauen Farbabstufungen dargestellt. Andererseits sind die Überflutungstiefen eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses (HQ<sub>100</sub>) in 50 cm Schritten mit gelber und roter Farbabstufung verzeichnet (Karte der Überflutungstiefe bei HQ<sub>100</sub>, Abbildung 4-17). Die vorgesehene Fortschreibung der Hochwassergefahrenkarten wird zukünftige Veränderungen der Hochwasserschutzmaßnahmen wie etwa Deichertüchtigungen oder den Bau von Rückhaltebecken dokumentieren und ihre Auswirkungen auf die Hochwassergefährdung wiedergeben.

*Eine kürzere Schneebedeckung im Winter kann zu **Probleme der Quellwasserversorgung** in höheren Lagen führen, denn gerade in den Schwarzwaldhöhen wirkt der Schnee stärker als Zwischenspeicher für Niederschlagswasser als der Boden. Wenn dieser Puffer wegfällt, könnte es bei einzelnen Quellen Probleme geben. Dies betrifft jedoch nur wenige Gemeinden in den höheren Lagen des Modellraums.*

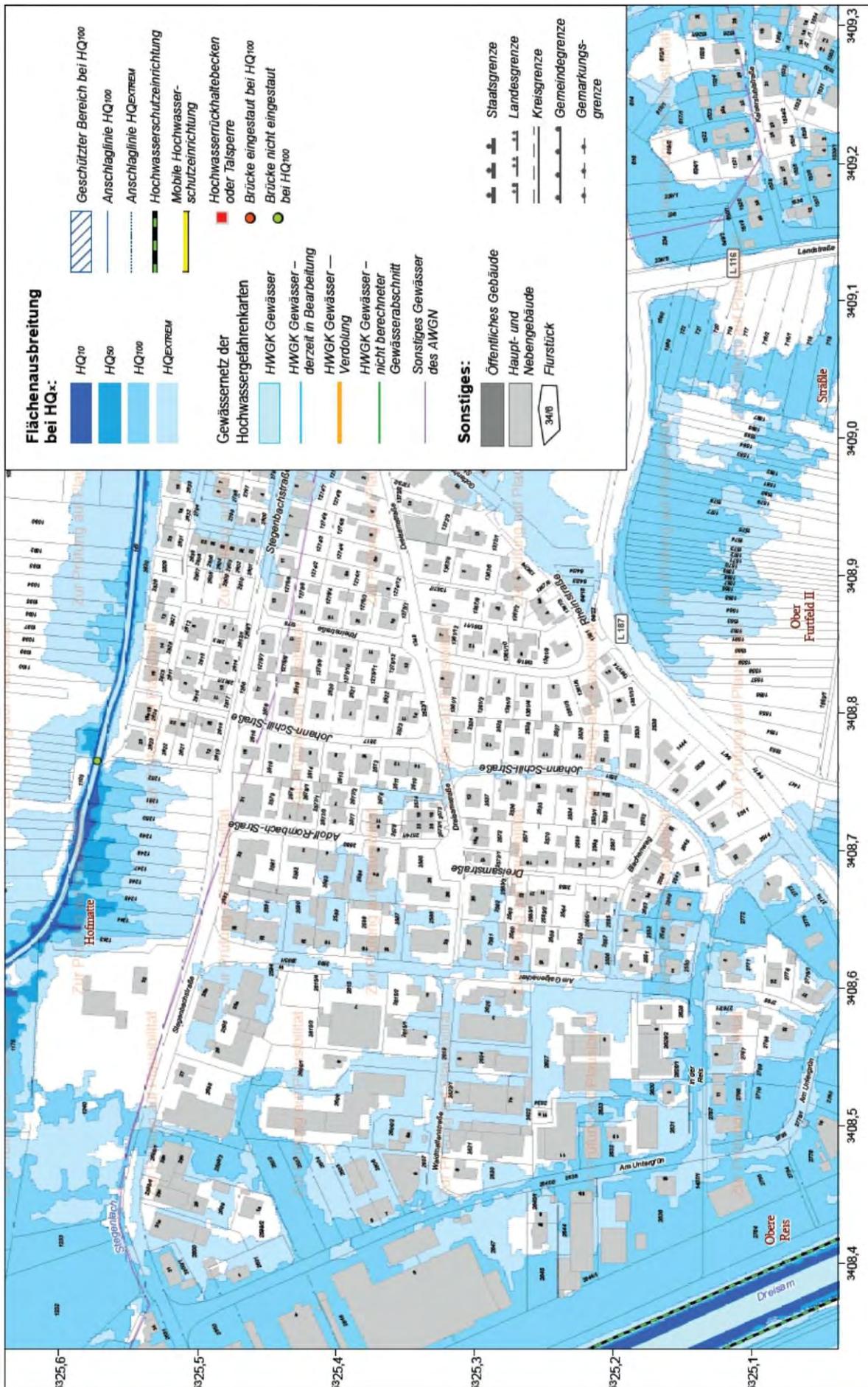


Abbildung 4-16: Ausschnitt aus der Hochwassergefahrenkarte 165014; Flächenausbreitung bei unterschiedlichen Hochwasserständen

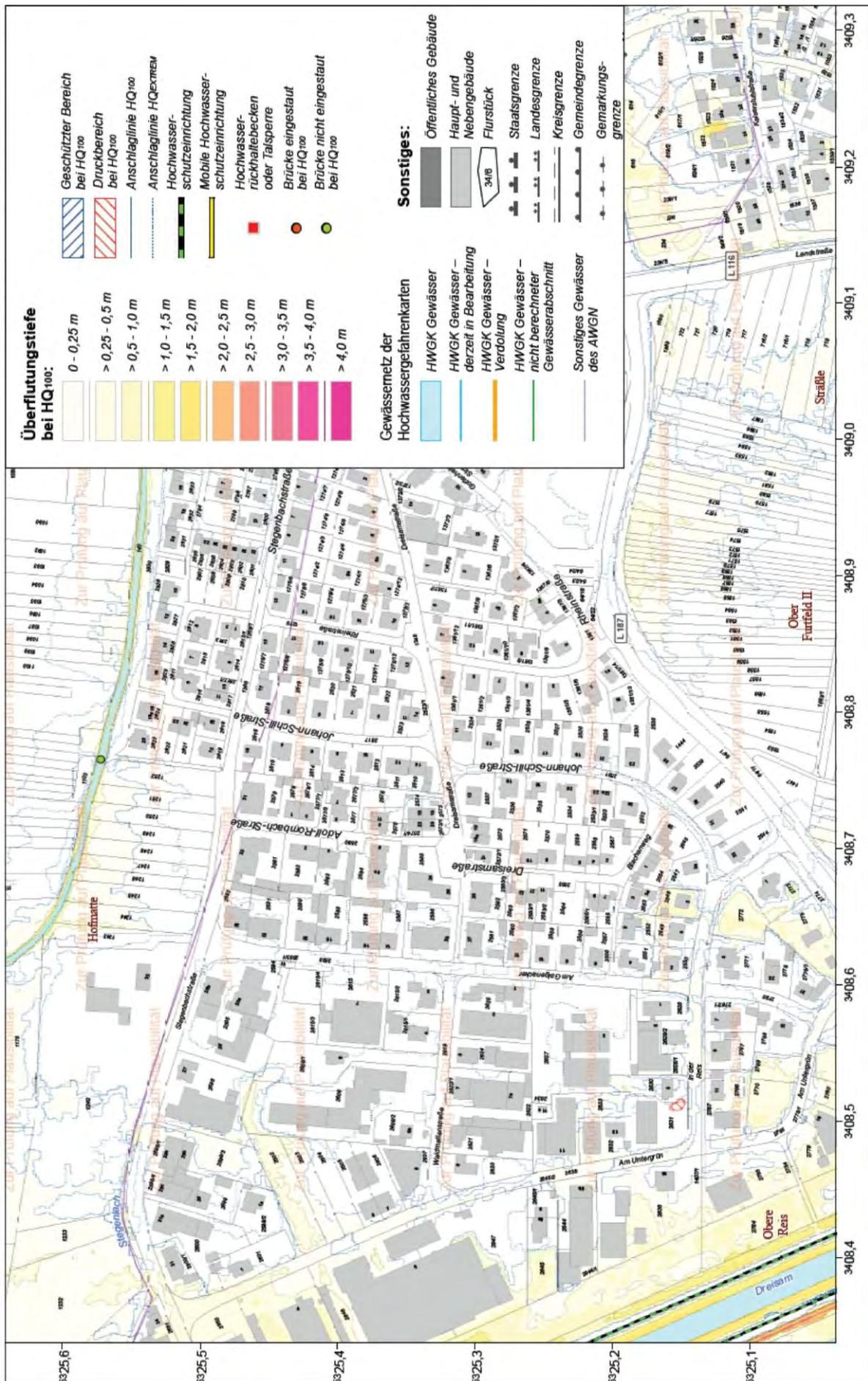


Abbildung 4-17: Ausschnitt aus der Hochwassergefahrenkarte 165014; Überflutungstiefe bei HQ<sub>100</sub>

Zunehmende Sommer trockenheit kann die bereits bestehende **Niedrigwasserproblematik** weiter verschärfen und extrem niedrige Wasserstände könnten häufiger auftreten. Auch hohe Temperaturen sind allgemein ein Problem für Gewässer und gefährden insbesondere Fische. In Fließgewässern kann durch die Einleitung von Abwasser aus Kläranlagen bei hohen Temperaturen und Niedrigwasser wegen hoher **Ammoniumgehalte** die Sauerstoffsättigung stark absinken. Im Juli 2011 kam es beispielsweise aus diesem Grund zu einem Fischsterben im Leopoldskanal, der nach lange anhaltender Trockenheit nur wenig Wasser führte und bei einem Starkregenereignis mit Wasser aus dem Überlaufkanal der Verbandskläranlage beschickt wurde (Badische Zeitung v. 15.7.2011<sup>30</sup>). Die Trapezprofile der Dreisam und des Leopoldskanals brauchen eine schützende Grasnarbe, um im Winter die Hochwässer schadlos abführen zu können. Durch verstärkte Hitze und Trockenheit besteht die Gefahr von **Erosion an Deichen**. So war im Jahr 2003 die Grasnarbe auf den trockenen Deichen über viele Abschnitte nahezu zu vollständig verschwunden. Wenn sich solche Narbenschäden nicht bis zum ersten Hochwasser - meist im Winter - regenerieren, kann dies gravierende Folgen haben, denn die Gefahr der Erosion am Deich steigt. Dieser Aspekt spielt lokal für den Flussbau eine Rolle.

Ein durch die saisonale Verlagerung der Niederschläge hervorgerufenen, weniger ausgeglichenes Niederschlagsregime mit weniger Sommer- und mehr Winterniederschlägen könnte folgende Entwicklungen nach sich ziehen:

- Die **Amplitude des Grundwassergangs** kann zunehmen. Dies wird jedoch voraussichtlich keine Auswirkungen auf die Lage des Grundwasserspiegels im Jahresmittel haben. In extremen Jahren weist der Grundwasserstand schon aktuell in der Rheinebene eine Schwankungsbreite von 3 - 4 m auf.
- Die **Regenerationsdauer des Grundwasserkörpers** könnte sich verlängern, weil im Sommer kaum mehr Grundwasserneubildung stattfindet und die höheren Winterniederschläge dem Grundwasser nicht zugute kommen, da aufgrund der großen Bodenvorfeuchte das zusätzliche Wasser nicht in den Grundwasserkörper einsickern kann. Hierzu können Grundwassermessstellen, die auch den Wasserzutritt (Grundwasserneubildung) messen, Daten liefern.
- Vereinzelt extreme Trockensommer können eine **Reduktion des Grundwasserkörpers** zur Folge haben, die über mehrere Jahre nach dem Ereignis anhält. Nach 2003 hat es beispielsweise drei bis vier Jahre gedauert, bis der Grundwasserkörper wieder das frühere Niveau erreicht hatte. Auch zu den Auswirkungen einzelner extremer Trockenereignisse können Grundwassermessstellen ausgewertet werden.

**Auswirkungen von Bewässerungsmaßnahmen auf den Grundwasserspiegel:** In den letzten Jahren konnte man beobachten, dass in der Landwirtschaft verstärkt bewässert wird (siehe auch 4.1). Dies betrifft Sonderkulturen (Erdbeeren,...), aber mittlerweile auch Mais, was früher im Oberrheingraben nicht der Fall war. Dies könnte langfristig Auswirkungen auf den Grundwasserspiegel haben. Früher wurde das Wasser der Oberflächengewässer für die Bewässerung verwendet, mittlerweile wird Grundwasser genutzt. Für die Landwirtschaft ist Grundwasser im Modellgebiet außergewöhnlich gut erreichbar. In vielen Regionen Deutschlands und in anderen Ländern können die Landwirte das Wasser nur über Tankpumpen fördern. Da hier das Grundwasser hier maximal 7 - 8 m tief sinkt, reichen meist Saugpumpen aus. Die Landwirtschaft schätzt die Situation so ein, dass die in Relation zu anderen Grundwassernutzern geringen Entnahmemengen keine Auswirkungen hätten und die landwirtschaftliche Beratung rät zu Bewässerung, wo immer es wirt-

---

<sup>30</sup> <http://www.badische-zeitung.de/fische-verenden-im-leopoldskanal>

*schaftlich sinnvoll ist (siehe 4.1.1.2 und 4.1.3). Bezüglich des Grundwasserdargebots bestehen deutliche Unterschiede im Gebiet: In den Tälern, vor allem im Dreisamtal oberhalb von Freiburg, ist das Dargebot im Grundwasserkörper nicht sehr groß. Im Grundwasserkörper der Rheinebene wird jedoch sicher noch lange kein Zustand einer Überlastung eintreten, hier werden zurzeit nur 10 bis 20 % des Grundwassers in Anspruch genommen. Eine Gesamtbilanz über die Intensität der Nutzung des Grundwasserleiters für den Oberrhein findet sich im Regionalplan Südlicher Oberrhein.*

## **Chancen**

*Es besteht die Möglichkeit, der **Speicherung von Niederschlagswasser** im Grundwasserleiter. Es soll daher versucht werden, selbst starke Niederschläge in kurzer Zeit in das Grundwasser einzubringen, um die dort bestehenden Speicherkapazitäten zu nutzen. Aufgrund dieser großen Speicherkapazitäten werden keine großen Probleme durch und saisonale Verlagerung der Niederschläge erwartet.*

*Durch die sich ändernden Bedingungen könnte eine **Steigerung der Wahrnehmung und des Interesses** der Bevölkerung an wasserwirtschaftlichen Fragen im Allgemeinen erreicht werden. Das Bewusstsein, dass eine angepasste Landnutzung sehr wichtig ist, könnte hierdurch entwickelt werden. So könnte vermittelt werden, dass Tendenzen wie die einer immer bewässerungsintensiveren Landwirtschaft auf Dauer nicht tragfähig sind.*

## **Vulnerabilität**

Aus den vorausgehenden Kapiteln ergibt sich eine Vulnerabilität der Wasserwirtschaft im Modellgebiet vor allem hinsichtlich folgender Aspekte:

- **Extremniederschläge und Hochwasserereignisse**  
Die mögliche Zunahme von Frühjahrgewittern und Winterniederschlägen steigert die Gefahr von Hochwasserereignissen in der Dreisam, vor allem beim Zusammentreffen bestimmter Faktoren (s. o.). Auch die Rheinauen nördlich von Breisach sind vulnerabel gegenüber Hochwasser und in den Lössgebieten (z. B. Kaiserstuhl) besteht hinsichtlich Erosion eine besondere Vulnerabilität.
- **Hohe Temperaturen, Trockenphasen und Niedrigwasserereignisse**  
Gewässer sind im Allgemeinen empfindlich gegenüber hohen Temperaturen meist in Verbindung mit Niedrigwassersituationen, Keime aus der Tierhaltung und Ammoniumeinträge aus Kläranlagen können dann die Wasserqualität deutlich verschlechtern. Vor allem für Fische können hierdurch Probleme bei der Sauerstoffversorgung entstehen. Extreme Trockenheit kann die Grasnarbe der Deiche zum Absterben bringen, was eine erhöhte Erosionsgefährdung mit sich bringt. Höhere Wintertemperaturen mit geringerer und kürzerer Schneebedeckung können die Grundwasserneubildung im Schwarzwald reduzieren, was zu Engpässen bei Quellwasserversorgern führen kann.
- **Schwankung des Abflusses**  
Wasserkraftanlagen sind vulnerabel gegenüber der Häufung von Extremereignissen.
- **Wasserdargebot**  
In Bezug auf den Grundwasserkörper in der Rheinebene wird keine besondere Vulnerabilität gegenüber Klimaveränderungen (Niederschlag) gesehen. In den Tälern des Schwarzwaldes ist das Wasserdargebot im Grundwasserkörper jedoch etwas geringer und die Vulnerabilität somit geringfügig höher.

### 4.3.3 Anpassungsmaßnahmen

Als wichtige Anpassungsmaßnahmen der Wasserwirtschaft werden in der Deutschen Anpassungsstrategie die effizientere Nutzung von Wasserressourcen einschließlich der Förderung von Wassersparmaßnahmen, die Berücksichtigung von Extremereignissen bei der Planung und dem Management von Einrichtungen und Ressourcen, die Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts durch bessere Landnutzung, infrastrukturelle Vorsorge (Trinkwasserspeicher, ...) sowie die Verbesserung der Wasserqualität und des ökologischen Zustandes der Oberflächengewässer gesehen (DAS 2008).

#### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet**

*Es gibt **Beschränkungen der Wasserentnahme** aus Oberflächengewässern. Geringfügige Entnahmen sind als Allgemeingebrauch zwar frei zulässig, Wasserentnahmen in größerem Umfang, beispielsweise für die Landwirtschaft, bedürfen jedoch einer Erlaubnis. Diese Erlaubnisse der Wasserentnahme werden nun auch abhängig von Pegelständen gemacht. Eine Allgemeinverfügung, beispielsweise der Stadt Freiburg, schreibt vor, dass bei niedrigen Pegelständen kein Wasser mehr entnommen werden darf. Diese allgemeingültige Regelung auf Landkreisebene zielt darauf ab, den Gewässern in Niedrigwasserphasen nicht noch mehr Wasser zu entziehen.*

*Als Reaktion auf **Engpässe bei der Trinkwasserversorgung** wurden von den betroffenen Gemeinden entweder weitere Quellen mit relativ hohem Aufwand erschlossen oder es wurden von Gemeinden in der Nähe des Rheintales Verbundlösungen zur Nutzung von Quellwasser und der bedarfsweisen zusätzliche Nutzung von Grundwasser hergestellt. Dieser Ansatz ist jedoch keine Reaktion auf den Klimawandel.*

Eine **Maßnahme gegen das Trockenfallen der Dreisam** wurde bei der rauen Rampe zwischen Ebnet und Kirchzarten getroffen. Anstelle eines durch das Hochwasser 1991 zerstörten Wiesenwässerungswehres wurde mit Flussbausteinen ein Absturz modelliert. Auf der Nordseite wurde ein Zwangsgerinne geschaffen, das auch bei Niedrigwasserabflüssen durchgängig bleibt und seitdem noch nie trocken gefallen ist. Unterhalb von Freiburg wurden auch viele Sohlschwellen entfernt. Eine weitere Maßnahme gegen das Trockenfallen der Dreisam wird vom Eigenbetrieb Stadtentwässerung Freiburg getroffen: Regenwasser wird in Regenrückhaltebecken zwischengespeichert und bei niedrigem Wasserstand in die Dreisam abgegeben<sup>31</sup>.

**Deichsanierung und konstruktiver Hochwasserschutz** an der Dreisam haben nach dem Hochwasser 1991 zugenommen. Weiteres zum konstruktiven Hochwasserschutz siehe unten bei „geplante Anpassungsmaßnahmen“.

Zur Erstellung von **Risikomanagementplänen** werden die Hochwassergefahrenkarten (s. o.) mit Nutzungskarten verschnitten. Es wird überprüft, welche gefährdeten Anlagen sich im Gebiet befinden, welche Schäden dadurch entstehen können und wie auf die Gefahr sowohl vor- als auch nachsorgend reagiert werden soll.

**Gewässerentwicklung:** Man versucht mit naturnahen Strukturen den Wasserrückhalt in der Landschaft zu verbessern.

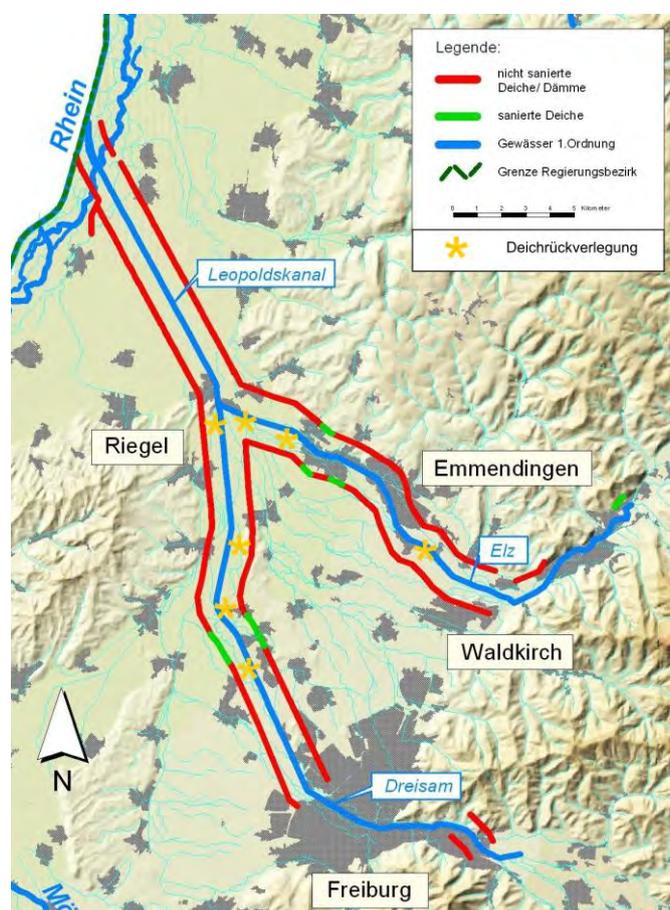
---

<sup>31</sup> Ansprechpartner: Eigenbetrieb Stadtentwässerung Freiburg, H. Bolder

Schon seit Jahren wird auf die dezentrale **Regenwasserversickerung** Wert gelegt, da schon die Dimension der bestehenden Regenkanalisation hohe Kosten verursacht. In Neubaugebieten ist die Regenwasserversickerung inzwischen Standard geworden, nur, wo es keine Versickerungsmöglichkeiten gibt, ist noch eine Regenwasserkanalisation vorhanden (siehe auch 4.8.3). Diese Maßnahme wirkt sich auch auf die Grundwasserneubildung und die Abflüsse der (kleineren) Gewässer aus.

### Weitere notwendige / mögliche / gewünschte / geplante Anpassungsmaßnahmen

**Deichrückverlegungen:** Als wesentliche Anpassung des Hochwasserschutzes auf die insbesondere durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen wird der Wasserrückhalt in der Fläche gesehen. Hierzu müssen, gerade in der durch massiven Gewässerausbau gekennzeichneten Region Südlicher Oberrhein, Auen und Rückhalteflächen zurück gewonnen und überschwemmungsgefährdete Bereiche gesichert werden. In vielen Fällen wird neben den Verbesserungen für den Hochwasserrückhalt auch eine ökologische Aufwertung der betroffenen Flächen erwartet (RP FREIBURG 2010).



**Abbildung 4-18: Hochwasserschutz: Deichsanierung an Elz und Dreisam sowie Vorschläge für Deichrückverlegungen im Modellraum (Karte: RP Freiburg, Referat 53.1, verändert)**

Vor dem Hintergrund der prognostizierten Abflusszunahme im Rheingebiet auf Basis der regionalen Klimaänderungsfaktoren (HENNEGRIFF 2007) wurde vom RP Freiburg, Referat 53.1, eine Reihe von Maßnahmen zur Wiederherstellung von Überschwemmungsflächen durch Deichrückverlegung vorgeschlagen (Abbildung 4-18). Der Vorschlag soll dem Regionalverband Südlicher Oberrhein als Grundlage für die Fortschreibung des Regionalplans zur Sicherung geeigneter Flächen dienen und die Hochwassergefahrenkarten ergänzen. Meist sind Gewässer im Ortenaukreis betroffen, allerdings werden auch für den Modellraum Maßnahmen an der Dreisam und an der Elz genannt. Da in der Region Südlicher Oberrhein in naher Zukunft noch circa 200 km Deiche saniert werden müssen, schlägt das RP Freiburg vor, die Deichrückverlegungen

im Zuge der Deichsanierungen zu realisieren. Eine weitere Möglichkeit besteht bei der Umsetzung von Ausgleichsmaßnahmen für Infrastrukturprojekte wie den Ausbau der Schnellbahntrasse oder der Autobahn A5. Die Vorschläge im Modellraum betreffen an der Elz 67 ha Fläche mit einem geschätzten Retentionsvolumen von 1,78 Mio m<sup>3</sup> und an der Dreisam 161 ha mit 3,29 Mio m<sup>3</sup> Retentionsvolumen (Tabelle 4-2).

**Tabelle 4-2: Vorschläge für Hochwasserschutzmaßnahmen durch Deichrückverlegung im Modellraum (RP Freiburg 2010)**

<b>M</b>	<b>Lage</b>	<b>Fläche [ha]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>*1000]</b>
19	Elz oberhalb Riegel bei der A5, Elzauenwald	22	660
20	Elz unterhalb Teningen	18,5	600
21	Elz oberhalb Emmendingen-Wasser	26,5	520
24	Dreisam oberhalb Riegel, vor der Elzmündung	45	850
25	Dreisam bei Nimburg	75	1.800
26	Dreisam unterhalb Neuershausen	5,5	90
27	Dreisam bei Hugstetten	10	200
28	Dreisam bei Umkirch, zwischen A5 und Hugstetten	25,5	350

Das RP Freiburg geht davon aus, dass es nicht einfach sein wird, die Deichrückverlegung durchzusetzen. Zwar sind einige der betroffenen Flächen im Eigentum des Landes oder von Gemeinden und können hierfür verwendet werden, aber es ist auch Privatbesitz betroffen.

### **Berücksichtigung des Klimaänderungsfaktors**

Für Baden-Württemberg wurden als Ergebnis der Modellierungen im KLIWA-Projekt fünf Regionen mit jeweils einheitlichen Klimaänderungsfaktoren definiert (HENNEGRIFF et al. 2006). Diese Klimaänderungsfaktoren sollen bei zukünftigen Planungen und Maßnahmen auf die für den heutigen Zustand berechneten Abflüsse aufgeschlagen werden (HENNEGRIFF 2007). Sie tragen der Tatsache Rechnung, dass die Werte der Bemessungshochwasser keine Konstanten sind, sondern Variable (VOIGT 2005), die sich entsprechend der Rahmenbedingungen verändern können. Die so erhöhten Bemessungswerte sind Ausdruck einer flexiblen Strategie („flexible and no regret“), mit der beispielsweise Bauwerke, die zukünftig nur mit hohem Aufwand verändert werden könnten, wie Brücken, schon jetzt für die zukünftigen Bedingungen ausgelegt werden sollen. Der Klimaänderungsfaktor beträgt im Modellgebiet 15 % für hundertjährige Ereignisse (HQ<sub>100</sub>)<sup>32</sup> bis 2050. *Zurzeit stellt sich den Experten im Modellgebiet beim Erstellen von Plänen und bei der Dimensionierung die Frage, ob noch mit den früheren und jetzt noch gültigen Werten gerechnet, oder ob bereits Zuschläge gemacht werden sollen*<sup>33</sup>.

<sup>32</sup> Bei einem 100-jährlichen Hochwasser ergäbe sich durch den Zuschlag von 15% die neue Bemessungsgröße, an der Dreisam beispielsweise statt 164 m<sup>3</sup>/s zukünftig 189 m<sup>3</sup>/s.

<sup>33</sup> Es existiert ein spezieller Leitfadens zur Bemessung von Hochwasser und den Klimaänderungsfaktoren.

- Wenn möglich, soll der Klimaänderungsfaktor bei zukünftigen **Deichsanierungen** (siehe Abbildung 4-18) und im **konstruktiven Hochwasserschutz** in der Region berücksichtigt werden, so dass Deiche an Dreisam und Elz 20 bis 30 cm höher gebaut werden müssen. Dies ist aber abhängig von der Machbarkeit, vor allem, ob die Erhöhung ohne große weitere bauliche Veränderungen möglich ist.
- Auch bei der **Bemessung von Rückhaltebecken**, die sich nach den jeweiligen örtlichen Begebenheiten richtet und der im Regelfall ein 50- bis zum 100-jährliches Ereignis zugrunde legt, ist der Klimaänderungsfaktor zukünftig zu berücksichtigen. Hierdurch werden sich die notwendigen Fassungsvermögen der Becken erheblich vergrößern.
- Hinsichtlich Extremereignissen werden keine großen Veränderungen erwartet. Allerdings sollen die Spitzen häufiger Hochwasserereignisse deutlich stärker zunehmen, so wurde für 2- bis 5-jährliche Abflüsse im Modellgebiet eine Zunahme von 25 % berechnet (HENNEGRIFF 2007). Dies ist maßgeblich für die **Bemessung von Kanalisationen**, da die Kommunen ihre Regenwasserkanalisation auf 2- bis 5-jährliche Ereignisse dimensionieren. Es ist mit hohen Kosten zu rechnen, wenn Regenwasserkanäle in den Straßen vergrößert werden müssen.

**Aufweitung des Dreisambettes:** Das RP Freiburg hat vor, das Dreisambett östlich von Freiburg mit dem Ziel einer Strukturverbesserung des Gewässers aufzuweiten. Hierbei handelt es sich um eine ökologische Maßnahme, welche indirekt - aber nur geringfügig - auch zum Hochwasserschutz beiträgt.

Es wird für notwendig erachtet, dass sich Gemeinden, die bereits jetzt Schwierigkeiten mit der **Wasserversorgung** haben oder wo dies absehbar ist, zu leistungsfähigeren Einheiten zusammenschließen. Größere Einheiten wären auch aus ökonomischen Gründen sinnvoll, da sich kleine Anlagen oft nicht mehr wirtschaftlich betreiben lassen.

Eine **fachübergreifende Organisation und Koordination** der Anpassung an den Klimawandel wird für zwingend erforderlich gehalten.

## 4.3.4 Indikatoren

### Hydrologische Indikatoren

Als Indikatoren für Einflüsse des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft in der Modellregion werden von den Experten die unterschiedlichen Wasserstände beziehungsweise Ganglinien von Oberflächengewässern und Grundwasser genannt. Als Messinstrumente kommen im Gebiet damit vor allem Pegel zur Dokumentation von Veränderungen in Frage (siehe 0).

Die Wasserqualität von Fließgewässern, vor allem hinsichtlich außergewöhnlicher Niedrigwasser-Ereignisse (siehe 4.3.2, Verkeimung, Nährstoffe), könnte ebenfalls Gegenstand eines Monitoring sein.

Auch die Daten von langjährig betriebenen Wasserkraftanlagen könnten Auskünfte über Veränderungen der Abflussregelmäßigkeiten (siehe 4.3.1.2) geben.

## **Anpassungsindikatoren**

Zur Anpassung an zunehmende (sommerliche) Niedrigwasser- und Wassermangelsituationen werden nachhaltige Landnutzungskonzepte mit dem Ziel einer möglichst langen Verweildauer des Wassers in der Landschaft und Konzepte zur Versickerung von Regenwasser (s. o.) vorgeschlagen. Es stellt sich allerdings die Frage, welche Anpassungs-Indikatoren hierzu herangezogen werden könnten. Hier kämen wohl nur die Anteile von Flächen mit oder ohne spezielle Anpassung in Frage.

Zur Umsetzung der Berücksichtigung des Klimaänderungsfaktors bei Deichsanierungen etc. könnte der Anteil der Deichstrecke mit „Klimazuschlag“ gegenüber der Gesamt-Deichstrecke im Modellgebiet erfasst werden. Das Gleiche gilt sinngemäß für Regenwasserrückhaltebecken und andere Einrichtungen.

Der naturnahe Ausbau der Oberflächengewässer, vor allem die Aufweitung der Überschwemmungsflächen, ist zwar im Normalfall höchstens als indirekte Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu sehen (4.3.3), kann jedoch zur Verminderung von Spitzenabflüssen beitragen. Zurzeit sind im Gebiet jedoch so geringe Anteile naturnaher Strecken an Dreisam und Elz zu finden, dass sich dies nicht auf die Abflüsse auswirken dürfte. Als Indikator könnten die Anteile an der Gesamt-Gewässerstrecke oder das Retentionsvolumen naturnaher Überflutungsflächen herangezogen werden.

## 4.4 Naturschutz

### 4.4.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.4.1.1 Extremereignisse

##### **Winterstürme**

*Der Orkan Lothar (siehe 3.1.3) hatte im Modellraum auch Auswirkungen auf Wälder in der Ebene, es waren auch Schutzgebiete betroffen. So wurden in einem Bannwald im NSG Taubergießen freigestellte Eichen durch den Wind umgeworfen. Im Jahr 2009 hatte ein Sturm aus östlicher Richtung starke Auswirkungen auf die Wälder im Landkreis Emmendingen. Hierbei waren selbst relativ stabile Bestände betroffen, da der Wind aus der „falschen“ Richtung kam. Die Winterstürme der letzten Jahrzehnte haben aber vorwiegend Fichtenkulturen geschädigt, was im Sinne des Naturschutzes durchaus positive Aspekte haben kann. So haben beispielsweise die Kreuzotter- und Auerhuhnpopulationen von den neu entstandenen Freiflächen profitiert. Zwischen Winden und Elzach hat sich ein ehemaliger Fichtenbestand mit 90 % Fichtenanteil in einen Buchenjungbestand umgewandelt: Nach einem Sturmereignis kam es durch die starke Einstrahlung, die Vorschädigung der Bäume und die Trockenheit zu einem Borkenkäferbefall, woraufhin der ganze Hang freigestellt werden musste. So konnte sich die Spontanvegetation entwickeln.*

*Sturmwurfflächen werden auch im Rahmen von Ausgleichsmaßnahmen teilweise in Eichenniederwälder umgewandelt.*

##### **Hochwasser**

*Hochwässer sind aus naturschutzfachlicher Sicht meistens keine katastrophalen Ereignisse, da die Arten, die in Gewässern und Auen vorkommen, daran angepasst sind. Es gibt jedoch auch negative Beispiele, so sind in Naturschutzgebieten in der Rheinebene und zum Teil in der Rheinaue (z. B. Unterwassermatten), durch die Bodenseehochwässer oder durch Nässeperioden und extreme Überstauungen Arten wie beispielsweise die Wiesenknopfameisenbläulinge ausgefallen. Im Sommer waren die Ameisennester überstaut, die Ameisen selbst überleben dies, aber die Larven der Schmetterlinge in den Nestern nicht. Wenn im nicht überfluteten Hinterland keine weitere Population vorhanden ist, wird die Bestandessituation problematisch.*

##### **Hitze- und Trockenphasen**

*Extreme Hitze- und Trockenphasen bieten sowohl Risiken als auch Chancen für den Naturschutz. So haben der Trockensommer 2003 und die Folgejahre dazu geführt, dass im Naturschutzgebiet Rieselfeld in Freiburg Schwierigkeiten bestehen, die Feuchtgebiete zu erhalten. Auch im Wald wirkt die Trockenheit und hat bis zum Jahr 2010 angehalten.*

*Viele wärme- und lichtliebende Tierarten haben von der Trockenheit 2003 profitiert. Dies betrifft nicht nur xero-thermophile Arten, sondern auch hochmoorgebundene Arten. Dies war z. B. beim Hochmoorfalter der Fall (siehe 4.4.3). Das Jahr 2003 hat dazu geführt, dass viele Populationen besonders wärmeliebender Insekten sehr groß wurden. Die positive Wirkung der Wärme und Trockenheit hat nach 2003 oft noch jahrelang angehalten. Denn Insektenarten an ihrer Verbreitungsgrenze profitieren, wenn sie kurzzeitig große Populationen aufbauen und können danach wieder Flaschenhalssituationen überleben. Auch der Große Fuchs (*Nymphalis polychloros*), ein extrem seltener Tagfalter des kontinentalen Klimas mit kalten Wintern und warmen trockenen Sommern, hat die Rheinebene, in der er jahrelang so gut wie verschollen war, wieder*

*besiedelt und sich dort bis jetzt gehalten. Auch auf den Wiedehopf (Upupa epops) am Kaiserstuhl hatte dieser Trockensommer positive Auswirkungen.*

*Unter den Pflanzenarten hat beispielsweise die Herbst-Drehwurz (Spiranthes spiralis) stark von der Trockenheit profitiert, sie konnte in einem Gebiet infolge der 2003 freiwerdenden Bodenstellen und Ausfall der Konkurrenzarten ihre Population in 2004 und 2005 fast verfünffachen. Allgemein ist in trockenen Jahren das Wachstum im Grünland insgesamt etwas gebremst, was dazu führt, dass konkurrenzschwache Arten sich stärker durchsetzen können.*

*Vom trockenen, heißen Frühjahr 2011 haben Vögel profitiert, vor allem wegen des größeren Nahrungsangebotes durch mehr Insekten. Viele Pflanzen sind in diesem Frühjahr wesentlich weniger stark gewachsen und haben 2 - 3 Wochen früher geblüht. Während der Frühling 2011 für andere Pflanzenarten nicht besonders günstig war, konnten Orchideen von der warmen Witterung profitieren. Es besteht allerdings die Befürchtung, dass auch Habitate verloren gehen könnten, wenn solche Extremereignisse mehrmals in Folge auftreten.*

#### 4.4.1.2 Langfristige Trends

Die von den Experten beobachteten Tendenzen im Modellraum können vor allem mit **zunehmender Wärme und Trockenheit** in Verbindung gebracht werden, auch wenn nicht immer die Zusammenhänge eindeutig erscheinen. Zunehmende Trockenheit im Frühjahr und Sommer kann in Bezug auf den Naturschutz sowohl negative als auch positive Auswirkungen haben. *Im Naturschutz gibt es bisher und kurzfristig gesehen mehr positive als negative Trends, vor allem durch das Hinzukommen neuer Arten. Hierbei erscheinen die positiven Entwicklungen in den Tieflagen stärker ausgeprägt, da die meisten Arten, die neu einwandern, zuerst dort zu finden sind. Für die Hochlagen werden eher negative Trends befürchtet, diese sind in der Regel bisher allerdings kaum nachweisbar.*

*Vor allem wasserabhängige Schutzgebiete wie die Bergwälder am Schauinsland oder der Mooswald sind negativ betroffen. So zum Beispiel das Schutzgebiet Gaisemoos im Freiburger Mooswald mit strukturreichen Sumpf- und Feuchtwäldern und dem extrem seltenen Königsfarn (Osmunda regalis). Diese Art ist von der Trockenheit betroffen. Ein weiteres Beispiel sind die Eichen-Hainbuchen-Wälder der Rheinebene. Hier tritt eine Eichenkrankheit auf und die Eichen leiden unter der Trockenheit, denn sie können das abgesunkene Grundwasser nicht mehr erreichen. Die Eiche reagiert relativ gut auf Bewässerungsprojekte (siehe 4.4.3). Kleine, lichtbedürftige Arten wie z. B. Spiranthes spiralis (s. o.) können hingegen von häufiger Trockenheit profitieren.*

*Bei den feuchtigkeits- und kälteliebenden Arten sind Verluste zu bemerken, was sich bei den Vögeln im Gebiet bemerkbar macht. Die Trockenheit hat beispielsweise einen Einfluss auf den Bergpieper, welcher am Kandel nicht mehr zu finden ist. Auch wird das Braunkehlchen (Saxicola rubetra) als feuchtigkeitsliebendere Art immer seltener. Ein Zusammenhang mit dem Klima ist hier jedoch ungewiss. Heute konzentriert sich das Braunkehlchen stärker auf Hochlagen und ist seit fast 20 Jahren in der Rheinebene nicht mehr zu finden, allerdings wird das Braunkehlchen auch im (Ost-) Schwarzwald, immer seltener.*

*Seit den 1950er Jahren ist ein Verschwinden des Hochmoorgelblings in Westeuropa zu verzeichnen. Er geht nun auch in seinem voralpinen Verbreitungsgebiet extrem zurück. Im Schwarzwald kam er früher bis zum*

*Wildseemoor vor, am Rohrhardsberg verschwindet er zurzeit, während er im Hinterzartener Moor und im Hotzenwald noch vorkommt. Die Gründe hierfür sind unsicher, das Klima könnte eine Rolle spielen.*

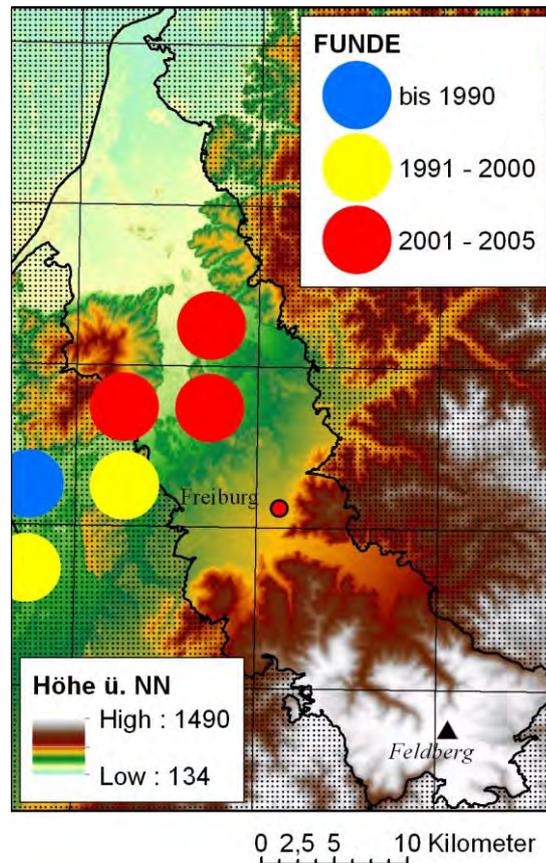
*Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Tendenz ab, dass sich die wärmeliebenden Tierarten wie beispielsweise Schwarzkehlchen (*Saxicola rubicola*) oder Gottesanbeterin neue Areale erobern. Das Schwarzkehlchen könnte bald von der Roten Liste gestrichen werden, da es sich in der Rheinebene und bis in den Ostschwarzwald hinein ausbreitet. Ein Zusammenhang mit dem Klimawandel ist als ziemlich sicher anzusehen. Warme, trockene Jahre sind für den Bruterfolg und die Ausdehnung von Populationen günstig, auch wenn es sich um alpine Arten handelt, welche die Wärme nicht unbedingt brauchen. So tritt die Felsenschwalbe im Schwarzwald häufiger auf, da sie in den Alpen einen hohen Bruterfolg hat und von dort abwandert.*

*Viele Arten verzeichnen eine positive Bestandsentwicklung infolge der Massenvermehrung von Großinsekten. Dadurch dass Großinsekten von Erwärmung profitieren, verbessert sich auch das Nahrungsangebot vieler in der Nahrungskette folgender Arten. Für viele Vögel ist dies ein ganz entscheidender Faktor; eine Massenvermehrung von z. B. Maulwurfsgrillen (*Grylotalpidae*) oder Maikäfern (*Melolontha*) verbessert ihr Nahrungsangebot. Beispielsweise sind alle Wiedehopfquartiere im Kaiserstuhl/Tuniberg mittlerweile besetzt und die maximale Bestandesdichte ist mit 100 Tieren erreicht. In den 1980er Jahren gab es weniger als 10 Wiedehopfe in diesem Gebiet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Wiedehopf in für den Maikäfer günstigen Jahren einen besonders guten Bruterfolg hat. Der Wiedehopf ist stark von Pflegemaßnahmen abhängig, wenn diese durchgeführt werden, kann er vom wärmeren und trockeneren Klima profitieren. Der Wiedehopf hat keine anderen Arten verdrängt. Bei anderen Arten mit direkten Konkurrenten ist der Effekt der Verdrängung zu beobachten. Beispielsweise beim Orpheusspötter findet eine langsame Arealverschiebung nach Norden statt. Auch der Bienenfresser ernährt sich von Großinsekten und breitet sich in die Vorbergzone aus, obwohl er nicht wie der Wiedehopf durch Nisthilfen gefördert wird. Bei der Ausbreitung des Bienenfressers spielt das Klima mit Sicherheit eine Rolle. Eine positive Bestandesentwicklung ist auch bei vielen Fledermausarten zu beobachten. Hierfür könnte aber nur unter anderem die zunehmende Wärme verantwortlich sein. Sie trägt aber sicherlich zur Steigerung der Lebensraumkapazität der Landschaft bei.*

*Die Populationen der Gottesanbeterin haben deutlich zugenommen. In der Vorbergzone wandert sie weiter in die Täler hinein und besiedelt höhere Lagen bis 600 - 800 m Höhe. Jedoch ist nicht eindeutig zu sagen, was die Gründe hierfür sind. Die nacheiszeitliche Wiedereinwanderung läuft unabhängig vom Klimawandel mit einer Zeitverzögerung ab. Dieser Vorgang wird jedoch scheinbar durch den Klimawandel beschleunigt. Arten, die z. B. im Burgund stehen geblieben sind, breiten sich plötzlich weiter aus. Als Beispiel kann die Weißlingart *Pieris manni* herangezogen werden. Sie war im Mittelmeergebiet verbreitet und ist vor circa fünf Jahren in Basel angekommen, mittlerweile ist sie bis nördlich von Karlsruhe verbreitet. Dieses Phänomen hängt wahrscheinlich mit der Wärme und weniger mit den Wirtspflanzen zusammen, denn *Iberis* wird schon lange in Gärten angebaut, auch in Norddeutschland.*

Auch bei Libellen und Heuschrecken sind starke Veränderungen zu verzeichnen. Die Braune Heuschrecke und die Italienische Schönschrecke gelten als extreme Wärme- und Trockenheitszeiger und haben in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Eine Untersuchung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz des Landes Baden-Württemberg (LUBW 2007) zur Einwanderung und Ausbreitung von Insekten belegt dies. Als Beispiel sei hier die Ausbreitung von Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*) im Modellraum genannt (Abbildung 4-19). Die Südliche Mosaikjungfer gilt als sehr wärmebedürftig. Bis zum

Jahr 1990 gab es Funde westlich des Modellraums (Rheinebene südlich des Kaiserstuhls), seither konnte sie sich offenbar neue Gebiete erschließen und das Vorkommen reicht mittlerweile bis in die Breisgauer Bucht.



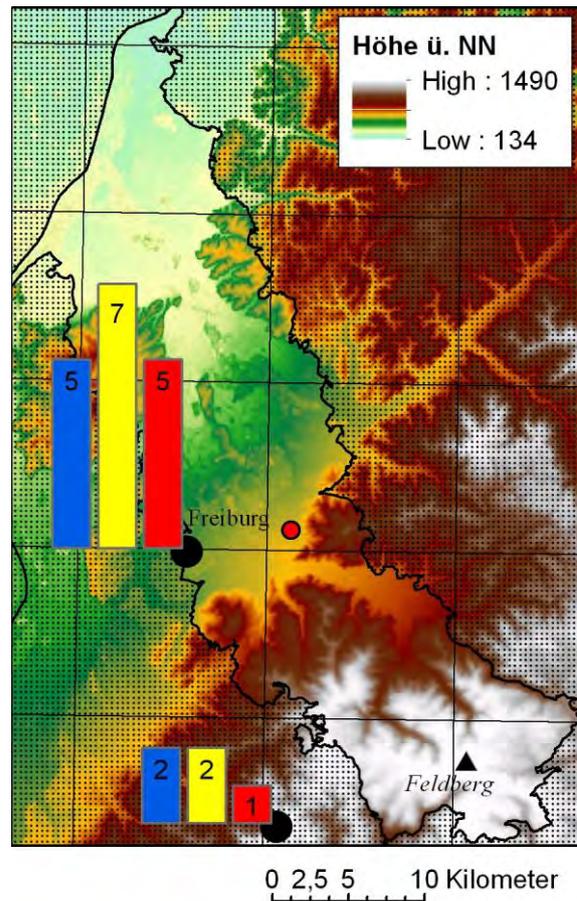
**Abbildung 4-19: Funde von *Aeshna affinis* (Südliche Mosaikjungfer) im Modellraum (Quelle: LUBW 2007)**

*Auch Arten wie Schwammspinner und ProzeSSIONsspinner profitieren von der Klimaerwärmung. Der EichenprozeSSIONsspinner wird mittlerweile in vielen Jahren zum Problem (siehe 4.2.1.2, 4.6.1.2). Es ist jedoch unklar, ob dies nur auf den Klimawandel zurückzuführen ist.*

*Auch das Einwandern von Pflanzenarten zeichnet sich in der Region ab. So war die Orchideenart *Barlia robertiana* ursprünglich nur aus dem Mittelmeergebiet bekannt, sie breitet sich aber durch die Burgundische Pforte nach Norden aus. Dies wird zuerst einmal als positiv betrachtet.*

Im Rahmen des Biomonitoring der LUBW werden in Abständen von einigen Jahren auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen unter anderem auch Flechtenerhebungen durchgeführt. Flechten eignen sich auch als Indikatoren für Klimabedingungen (VDI-Richtlinienentwurf 3957, Blatt 20). Im Mittel der 30 landesweit verteilten Dauerbeobachtungsflächen verdoppelte sich die Anzahl der als Klimaindikatoren geltenden Flechten von 1996 bis 2009 (STAPPER 2010). Dieser Trend wird auf der im Modellraum gelegenen Monitoringfläche „Freiburg-Mooswald“ allerdings ebenso wenig bestätigt wie auf dem im Gipfelbereich des Belchen gelegenen Standort (Abbildung 4-20). Zwar stieg die Anzahl der Flechten im Zeitraum 1996 bis 2002 auf dem Mooswald-Standort von fünf auf sieben, aber bis zum Jahr 2009 fiel sie wieder auf das Niveau von 1996 zurück. Auch der in den Hochlagen des Schwarzwaldes gelegenen Wald-Dauerbeobachtungsfläche nahm die Anzahl der Klimaindikator-Flechten von zwei auf nun mehr nur noch eine Art im Jahr 2009 ab. Es muss allerdings beachtet werden, dass sich bei dem Biomonitoring der LUBW nicht um ein aktives Bioindikationsverfahren unter gleichbleibenden, standardisierten äußeren Bedingungen (wie z. B. der standardisierten Graskultur) handelt, sondern um passive Bioindikation. So können insbesondere Veränderungen des

Lokalklimas (z. B. durch umgestürzte Bäume oder Verschattung durch Jungwuchs) die Wuchsbedingungen variieren und die allgemeine Klimaentwicklung überdecken.



**Abbildung 4-20:** Entwicklung der als Klimaindikatoren eingestuft Flechten an zwei Wald-Dauerbeobachtungsflächen des Ökologischen Wirkungskatasters der LUBW von 1996 bis 2009. Blauer Balken: 1996, gelber Balken: 2002, roter Balken: 2009. (Quelle: STAPPER 2010, verändert)

Hinsichtlich der **Ausbreitung von Neobiota** kann nicht immer eindeutig unterschieden werden, ob eine Ausbreitung klimatisch bedingt ist oder ob es sich um eine durch die Globalisierung hervorgerufene Zunahme handelt. Das gilt beispielsweise für den Japanknöterich (*Fallopia japonica*). Er ist regional schon seit 20 bis 30 Jahren ein Problem, z. B. England. Bereits in den 80er Jahren gab es große Probleme mit Japanknöterich in Nordrhein-Westfalen, aber auch im Mittleren Schwarzwald (ALBERTERNST 1998). In den Mittelgebirgen wurden so ganze Pestwurzfluren verdrängt. Da der Japanknöterich überwiegend in feuchten Gebieten vorkommt, spielt die Klimaerwärmung nicht die entscheidende Rolle, sondern eher die standörtliche Wasserverfügbarkeit. Auch die Ausbreitung des Indischen Springkrautes (*Impatiens glandulifera*) hat ursächlich nichts mit dem Klimawandel zu tun. Das gleiche gilt für die Goldrute (*Solidago*), die allerdings bei Trockenheit leichter zu bekämpfen ist. Es handelt sich hierbei insgesamt eher um Entwicklungen die der Globalisierung und dem damit verbundenen Einschleppen von neuen, konkurrenzkräftigen Arten geschuldet sind. Die Ausbreitung dieser Arten hängt somit nicht kausal mit dem Klimawandel, auch wenn er diese mehr oder weniger positiv beeinflussen kann. Auch das Ausbreiten von Neozoen wie Buchsbaumzünsler und der Asiatischen Marienkäfer hängt wahrscheinlich nicht mit der Klimaerwärmung zusammen, diese Arten wurden eingebracht und konnten sich etablieren. Ebenso dürfte der zurzeit beobachtete Rückzug der Edelkrebse in Oberläufe der Gewässer in höheren Lagen weniger vom Klima, sondern eher durch die Konkurrenz neu zugewanderter Arten verursacht sein.

Bei manchen Arten sind **Verhaltensänderungen** festzustellen. Viele Vögel ziehen im Winter nicht mehr so weit weg und Kurzstreckenzieher kommen im Frühling früher wieder zurück. Schwarzkehlchen und Mönchs-

*grasmücke beginnen früher mit dem Brüten und haben wahrscheinlich auch bessere Bruterfolge. Bei Insekten gibt es eine Tendenz zur Mehrbrütigkeit. Bisher univoltine Arten bilden jetzt zwei Generationen und andere anstatt zwei mittlerweile drei Generationen (siehe 4.1.1.2).*

*Der Goldene Scheckenfalter (*Euphydryas aurinia*, Art des Anhang II FFH-Richtlinie) ist in den letzten Jahren 14 Tage bis drei Wochen früher als im langjährigen Mittel erschienen. Dies sind keine Ausnahmen besonders warmer Jahre, sondern eine Tendenz, die sich in den Populationen schon verfestigt, auch in „normalen“ Jahren erscheinen die Tiere früher.*

*Eine **höhere Produktivität** ist auf **Trockenrasen und Halbtrockenrasen**, beispielsweise am Kaiserstuhl, zu verzeichnen. Es ist allerdings ungewiss, ob diese Entwicklung tatsächlich auf das veränderte Klima oder atmosphärischen Nährstoffeintrag zurückzuführen ist. Auch die Bodenreifung könnte eine Rolle spielen. Durch die hierdurch früher notwendige Mahd (siehe 4.4.3) könnten Konflikte mit dem faunistischen Artenschutz, beispielsweise der Schmetterlinge auftreten, weil die Lebenszyklen von Schmetterlingen und Wirtspflanzen nicht mehr so gut zueinander passen.*

## 4.4.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen

Zurzeit ist noch unklar, welche Auswirkungen die prognostizierte **saisonale Verlagerung der Niederschläge** auf wasserbeeinflusste Schutzgebiete haben könnte. Es ist eventuell mit stärkeren Schwankungen im Wasserstand zu rechnen. Auch bei künftig zunehmenden **Anteilen von Starkregen** würde sich der Wasserhaushalt im Mooswald und im Bergwald (Schauinsland) wohl verändern. Langfristig sind sicher die Moore durch den Klimawandel gefährdet. Zurzeit sind jedoch, was das Arteninventar angeht, noch keine direkten Auswirkungen sichtbar.

**Extreme Hagelereignisse**, auch wenn nur lokal auftretend, könnten bei heute oft nur noch bestehenden Restbiotopen mit Restvorkommen lokale Populationen auslöschen, was angesichts der Verinselung und des Fehlens von Metapopulationsstrukturen irreversibel sein könnte. Solche örtlich auftretenden Extremereignisse sind in der heutigen Landschaft ein viel größeres Risiko, als in einer Landschaft, in der noch intakte Vernetzungsstrukturen vorhanden ist. Überwiegend Insekten, aber auch Pflanzen können hiervon betroffen sein. Hierzu gibt es aber keine Forschungsergebnisse, die Aussage gründet auf Naturbeobachtungen.

Gewässer sind von der **zunehmenden Trockenheit** betroffen. Die kleinen Bergbäche werden durch die fehlende Wassernachlieferung aus höheren Lagen stark beeinträchtigt, was beispielsweise dazu führt, dass die Elz trocken fallen kann. Wenn in außergewöhnlich trockenen Jahren Bäche im Schwarzwald völlig trocken fallen, könnte das Einbrüche in den Populationen der Gewässer besiedelnden Arten zur Folge haben, die eventuell nicht wieder kompensiert werden könnten, auch wenn es sich nur um kurzzeitige Ereignisse handelt.

Das Wachstum vieler Pflanzenarten wird durch eine trockene, heiße Witterung im Frühjahr geschwächt. Es gibt aber auch Ausnahmen, kleine, lichtbedürftige Arten sind weniger vulnerabel gegenüber warmem Wetter (z. B. *Spiranthes spiralis* s. o.). Aufgrund des Wassermangels könnte es sein, dass die Landwirte den Weinbau durch Obstbau ersetzen wollen und der Weinbau an grundwassernahe Standorte in der Ebene verlegt werden würde, was Auswirkungen auf Lebensräume und Arten hätte.

Kalte oder wasserabhängige Gebiete z. B. im Mooswald (NSG Gaisenmoos, NSG Rieselfeld) oder die Hochmoore im Hochschwarzwald, aber auch Eichen-Hainbuchenwälder in der Ebene werden als empfindlich gegenüber Trockenheit eingestuft. Kälte- und feuchtigkeitsabhängige Arten (z. B. Bergpieper) sind gegenüber Hitze und Trockenheit besonders vulnerabel. So würde der in Flachmooren vorkommende Sumpfstern (*Swertia perennis*) am Feldberg bei zunehmender Trockenheit und Wärme von Konkurrenz verdrängt werden. Einige Arten an Kaiserstuhl oder Tuniberg benötigen neben Wärme auch Feuchtigkeit, z. B. die Smaragdeidechse. Auch diese Arten könnten durch zunehmende Trockenheit bedroht werden. Durch den am Tuniberg zu erwartenden Wassermangel werden sich die Bedingungen für Amphibien wohl verschlechtern.

Probleme sind durch die **Ausbreitung von Insektenarten** wie beispielsweise Parasiten übertragende Mosquitoarten, die sich im Rheinwald ausbreiten, möglich. Die Hochwasserverteilung hat sich mittlerweile etwas verschoben, früher gab es typischerweise Winterhochwasser. Bei im Sommer auftretendem Hochwasser kann es zu Problemen für den Tourismus oder die menschliche Gesundheit kommen, Bekämpfungsmaßnahmen können wiederum für den Naturschutz problematisch sein.

*Die problematischsten **Neophyten** in der Modellregion sind Japanknöterich, Goldrute und Robinie. Es ist unklar, ob der Japanknöterich von der Erwärmung profitiert. Die Bedingungen für diese Art begünstigen sich in sofern, dass sich Aufgrund der Klimaerwärmung die Vegetationszeit verlängert. Der Riesenbärenklau ist hier in der Region weniger problematisch, er wird jedoch wahrscheinlich von wärmeren Wintern profitieren.*

*Es wird mit dem **Verschwinden von Arten** im Modellgebiet gerechnet. Die kalten Gebiete sind besonders von der Klimaerwärmung betroffen, subalpine Arten werden Probleme durch den Klimawandel haben. In montanen Gebieten ist eine **Artenwanderung in höhere Lagen** zu erwarten.*

## **Chancen**

***Konkurrenzvorteile für wärmeliebende Arten** sind zu erwarten, so haben bereits jetzt die submediterranen Arten in den Schutzgebieten am Kaiserstuhl von zunehmender Wärme und Trockenheit profitiert.*

*Extrem trockene Jahre können den **Sukzessionsverlauf bremsen**. Ist es wärmer und trockener, dann werden beispielsweise seltene, mediterrane Gebüschgesellschaften langsamer von Buchen verdrängt. Dies ist aus Sicht des Artenschutzes eher positiv zu bewerten. Wenn sie nur ab und zu auftreten, sind außergewöhnlich trockene Jahre wie 2003 aus naturschutzfachlicher Sicht nicht negativ zu bewerten.*

## **Vulnerabilität des Naturschutzes im Modellgebiet**

Gemäß dem zuvor Gesagten und nach Meinung der Experten sind im Modellgebiet vor allem folgende Einflüsse für die Vulnerabilität des Naturschutzes gegenüber Klimaänderungen relevant:

- **Hagel**  
Überwiegend bei kleinräumig auftretenden Populationen ist eine Vulnerabilität gegenüber lokalen extremen Hagelereignissen zu verzeichnen. Ganze Populationen können durch solche Ereignisse ausgelöscht werden.
- **Hitze und Trockenheit**  
Hitze und (Sommer-)Trockenheit können nachteilige Auswirkungen in nahezu allen Landschaftsräumen der Modellregion entfalten.  
Extreme Hitze und Trockenphasen werden zurzeit eher als positive Ereignisse für den Naturschutz gesehen. Falls solche Extremereignisse jedoch häufiger und mehrmals in Folge auftreten, könnten auch besonders exponierte Habitate für bestimmte Arten verloren gehen.

*Aus Sicht des Naturschutzes werden allgemein die höheren Lagen, z. B. der Bergwald, als anfälliger gegenüber Klimaänderungen eingeschätzt als die Tieflagen.*

### 4.4.3 Anpassungsmaßnahmen

In der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS 2008) werden als wichtige Anpassungsmaßnahmen im Naturschutz die Verbesserung der Wandlungsmöglichkeiten von Arten, zukünftig die vermehrte Definition von Prozessschutz als Schutzziel sowie die Flexibilisierung des Schutzgebietssystems, z. B. an den Grenzen von Schutzgebieten genannt.

#### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet**

**Bewässerung von Feuchtgebieten:** *In Zusammenarbeit mit dem NABU wurden Ausgleichsmaßnahmen im NSG Freiburger Rieselfeld dahingehend modifiziert, dass eine gezieltere Wasserzufuhr zu den wertvollen Feuchtgebieten ermöglicht werden konnte.*

Maßnahmen zur (Wieder-) Vernässung von Mooren im Schwarzwald werden schon seit geraumer Zeit durchgeführt, diese könnten durch den Klimawandel eine noch größere Bedeutung erlangen.

**Waldbewässerung:** *Im NSG Johanniterwald (Landkreis Emmendingen) wird der Eichen-Hainbuchen-Wald inzwischen bewässert. Hierzu wird in Zeiten mit Wasserüberschuss (Winterhalbjahr, nach ausgiebigen Sommerregen) versucht, nicht nur das NSG Elzwiesen mit Wasser zu versorgen, sondern Wasser auch in der Fläche zu verteilen, damit die Feuchtgebiete ausreichend versorgt werden. Hierfür wurde ein Graben, der auf 3,7 km trocken gefallen war, renaturiert und wieder mit Wasser versorgt. Es wurde ein positiver Effekt der Bewässerung auf die Eichenbestände festgestellt, denn bei guter Wasserversorgung, können sie anderen widrigen Einflüssen besser standhalten (z. B. Neuaustrieb nach Fraßschäden).*

**Anpassung der Pflegetermine:** *Am Kaiserstuhl wurde bereits das Pflegeregime an den früheren Vegetationsbeginn und die verlängerte Vegetationszeit mit höherer Produktivität auf den Magerrasen (s. o.) angepasst. Es muss früher und häufiger gemäht werden, um konkurrenzschwache Grünlandarten zu fördern.*

**Bekämpfungsmaßnahmen gegen invasive Arten:** *Es werden Bekämpfungsmaßnahmen gegen invasive Arten wie *Ambrosia artemisiifolia* durch das Garten- und Tiefbauamt der Stadt Freiburg zur Eindämmung der Art auf städtischen öffentlichen Flächen durchgeführt. Des Weiteren sind die Gesundheitsverwaltung, die Straßenbauverwaltung und die Wasserwirtschaft (bei Uferschäden) für *Ambrosia* zuständig. Vom Naturschutz werden invasive Arten ausschließlich in den Schutzgebieten und nur sehr zurückhaltend bekämpft. Das Auftreten der Arten und die Maßnahmen stehen nicht in einem ursächlichen Zusammenhang mit dem Klimawandel.*

#### **Weitere notwendige / mögliche / gewünschte / geplante Anpassungsmaßnahmen**

Eine bessere **Biotopvernetzung** könnte dazu beitragen, Klimarisiken zu vermindern. Nachteilige Folgen extremer Ereignisse wie Hagel oder Spätfrost können durch Vernetzungsstrukturen ausgeglichen werden. Der Regionalverband Südlicher Oberrhein hat Vernetzungskonzepte entworfen und versucht, diese in den Regionalplan einzubinden. Des Weiteren ist die Schaffung eines Biotopverbunds am Tuniberg in Planung, um dort so lange wie möglich eine Vielzahl an Lebensräumen zu erhalten. Durch den Bau von Rückhaltebecken, in denen Wasser für die Amphibienpopulationen möglichst bis in den Sommer gespeichert werden kann, sollen ein temporärer Gewässerverbund und ein Feuchtgebietsnetz geschaffen werden.

Das Regierungspräsidium Freiburg versucht, die **Wasserverteilung der Dreisam** neu zu regeln, um die Zeiten des Trockenfallens der Dreisam auf kürzere Zeiträume und/oder Strecken zu begrenzen; dies geschieht auch aus Gründen der Biodiversität und des Artenschutzes.

**Anpassung und/oder Ausweitung von Pflegemaßnahmen:** Bei zunehmender Trockenheit dürfte es notwendig werden, noch stärker gegen die Gehölzsukzession auf Mooren vorzugehen. Falls die Moore nicht völlig austrocknen, sollte es gelingen, die moorgebundenen Arten (z. B. die Hochmoorfalter) durch Biotoppflege oder Habitatmanagement auch bei wärmerem Klima zu erhalten. Durch angepasste Pflegemaßnahmen oder Beweidung sollte es möglich sein, das Verschwinden von Arten zumindest zu verzögern (z. B. *Swertia perennis* am Feldberg).

**Ausweitung der Feucht-Grünlandfläche und Bewässerung:** Wo möglich, sollten in der Breisgauer Bucht die historischen Wiesenbewässerungssysteme wieder aktiviert werden. In schneearmen Wintern könnte durch flächige Bewässerung ein Anstieg des Grundwasserstandes erreicht werden, sodass ein größerer Puffer für den Sommer geschaffen würde und in der Fläche mehr Wasser zur Verfügung stünde. Eine solche Maßnahme wäre auch zur Vergleichmäßigung von Abflüssen und Grundwasseramplitude sinnvoll (siehe 4.3)

## 4.4.4 Indikatoren

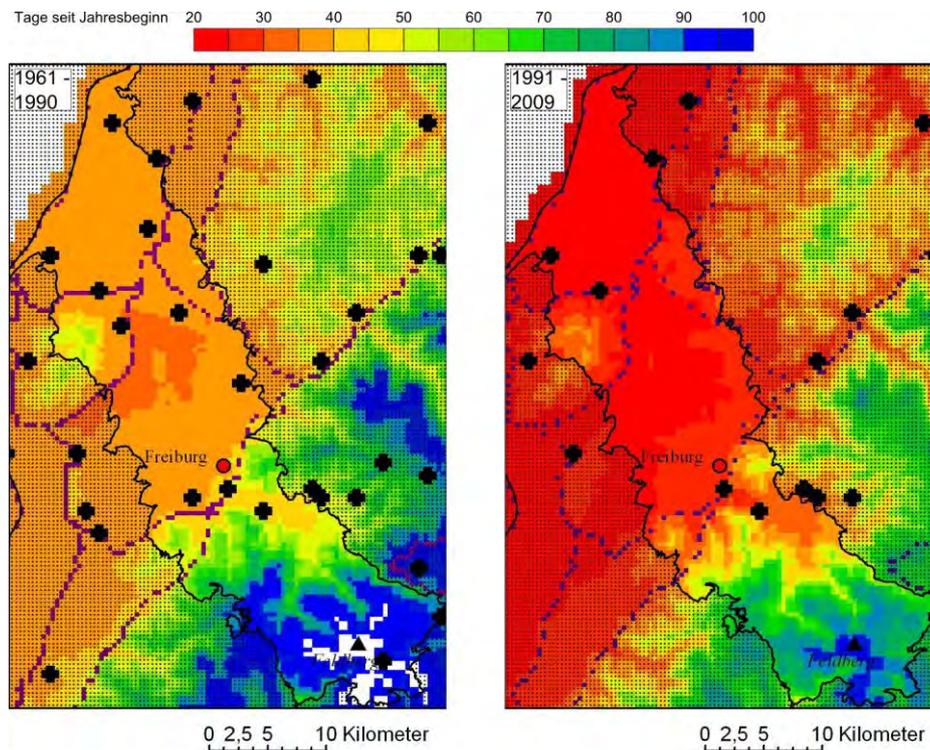
### Ausbreitung von Arten

In den Niederlanden wurde in den letzten Jahrzehnten eine Veränderung der Häufigkeit Wärme liebender Arten registriert (VOHLAND 2007). Das Auftreten und die Ausbreitung Wärme liebender (mediterraner) Tierarten (Gottesanbeterin, mediterrane Libellen- oder Vogelarten) entweder durch Ausbreitung aus ihren bereits bestehenden Arealen in wärmebegünstigten Gebieten oder als Neozoen sind als Indikator gut geeignet, weil Tiere meist mobiler als Pflanzen sind und deshalb schneller wandern. Das Auftreten Wärme liebender Pflanzenarten ist nicht nur vom Klima, sondern auch von der Ausbreitungsfähigkeit, geeigneten Ausbreitungsmedien (Vögel, Insekten, ...) und der Durchsetzungsfähigkeit am Standort in Konkurrenz mit der bestehenden Vegetation abhängig. Im Modellgebiet könnten folgende Tierarten als Indikatorarten interessant sein:

- Der Bergpieper (*Anthus spinoletta*) als Vogelart an der Grenze ihres Verbreitungsgebietes lässt Veränderungen besonders schnell erkennen.
- Der Wiedehopf mit Schwerpunktorkommen im Kaiserstuhl ist wärmeliebend und relativ stark temperaturabhängig. Er wird schon seit Jahrzehnten beringt und es gibt lange Zeitreihen zum Vorkommen (NABU Freiburg, C. Stange). Es wäre interessant zu beobachten, ob er sich Lebensräume in der Vorbergzone zurückerobert. Diese Art wird/wurde durch den Bau von Bruthilfen gefördert (siehe 4.4.1.2), demnach wären hier neben dem Klima auch die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Bestand zu berücksichtigen.
- Der Schmetterling Blaukernaue (*Minois dryas*) kommt bisher noch relativ geklumpt in der Ober-rheinebene vor. Es könnte sein, dass er sich durch die Klimaveränderungen oder Veränderungen seines Habitats weiter ausbreiten kann.
- Die Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) ist ebenfalls in Ausbreitung begriffen, Veränderungen sind jedoch methodisch schwer zu erfassen.
- Auch das Auerhuhn mit Vorkommen in den Hochlagen des Schwarzwaldes reagiert auf das Klima. Daten zu Auerhuhnvorkommen werden an der FVA gesammelt (Abt. Wald und Gesellschaft, R. Suchand), es wäre hier allerdings auch hier wichtig, andere Wirkfaktoren neben dem Klima herauszufiltern.

## Phänologie der Pflanzen

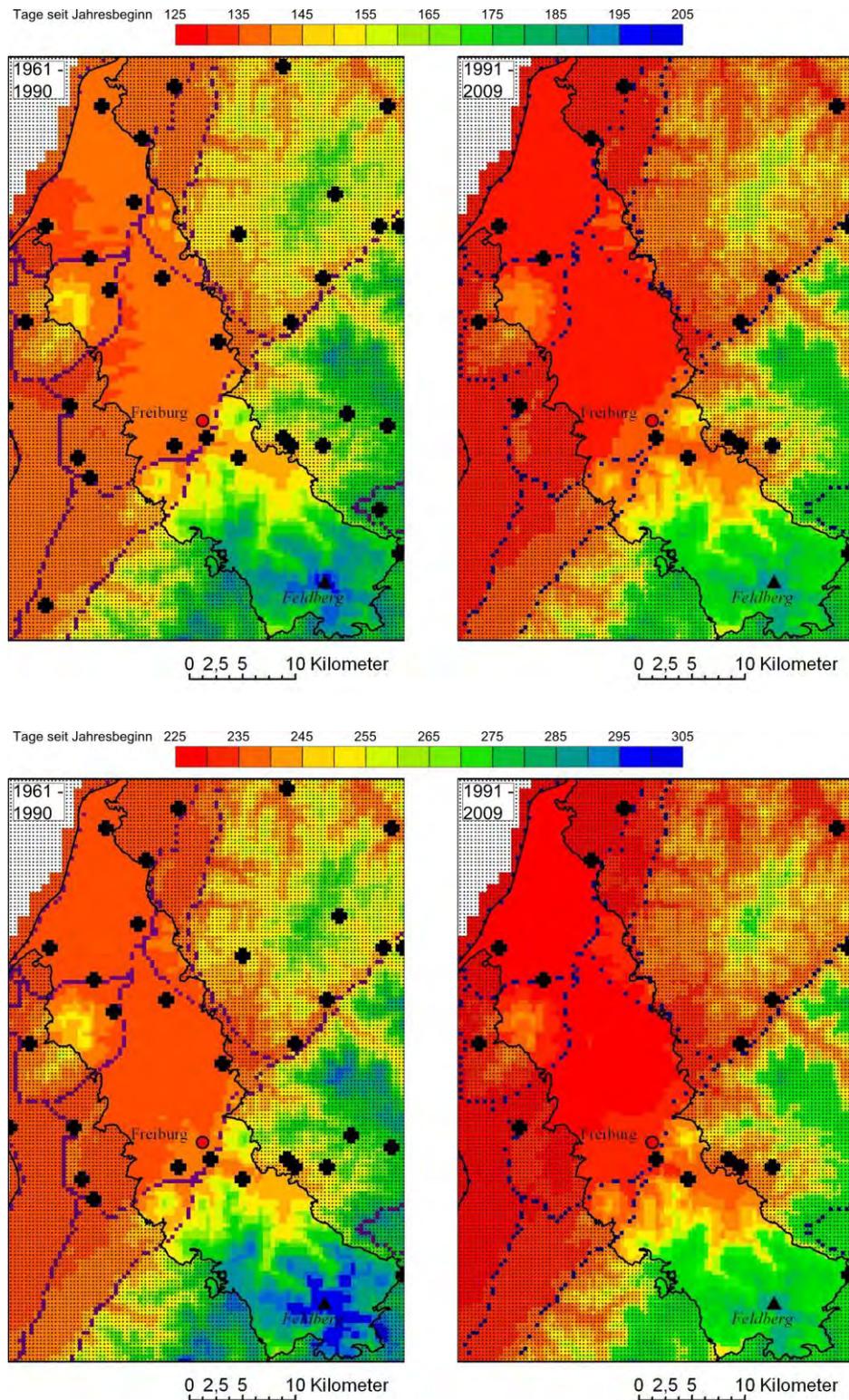
Sich verändernde klimatische Verhältnisse wirken sich unmittelbar auf Wuchsbedingungen und phänologische Phasen von Pflanzen aus. Die in den gemäßigten Breiten Mitteleuropas vorkommenden Arten sind an die sich im Laufe des Jahres wechselnden Witterungsbedingungen angepasst. Die Phasen des Pflanzenwachstums (Blütenbildung, Blattentfaltung, ...) im Jahresverlauf werden vor allem durch die Licht- und Temperaturverhältnisse gesteuert. Sie sind pflanzenspezifisch, so dass die phänologischen Phasen von bestimmten Pflanzen sehr gut als Indikator für die Witterungsbedingungen am Standort geeignet sind. Aus langjährigen Beobachtungsreihen können somit gut die klimatischen Bedingungen sowie Klimaveränderungen abgeleitet werden. Eine umfangreiche Auswertung zur Phänologie in Baden-Württemberg haben HOLZ et al. (2010) für die LUBW erstellt. In den folgenden Abbildungen werden einige Ergebnisse für den Modellraum dargestellt. Die Blüte der Hasel (*Corylus avellana*) markiert den Beginn des Vorfrühlings und setzte in der Klimaperiode 1961-1990 in den Rheinniederung und der Breisgauer Bucht überwiegend zwischen dem 35. und 40. Tag seit Jahresanfang ein. In den Hochlagen des Schwarzwaldes findet sie erst rund zwei Monate später statt (Abbildung 4-21). Die Entwicklung in den letzten beiden Jahrzehnten zeigt deutlich eine Vorverlagerung der Haselblüte um durchschnittlich 10 Tage und zwar unabhängig von der Höhenlage.



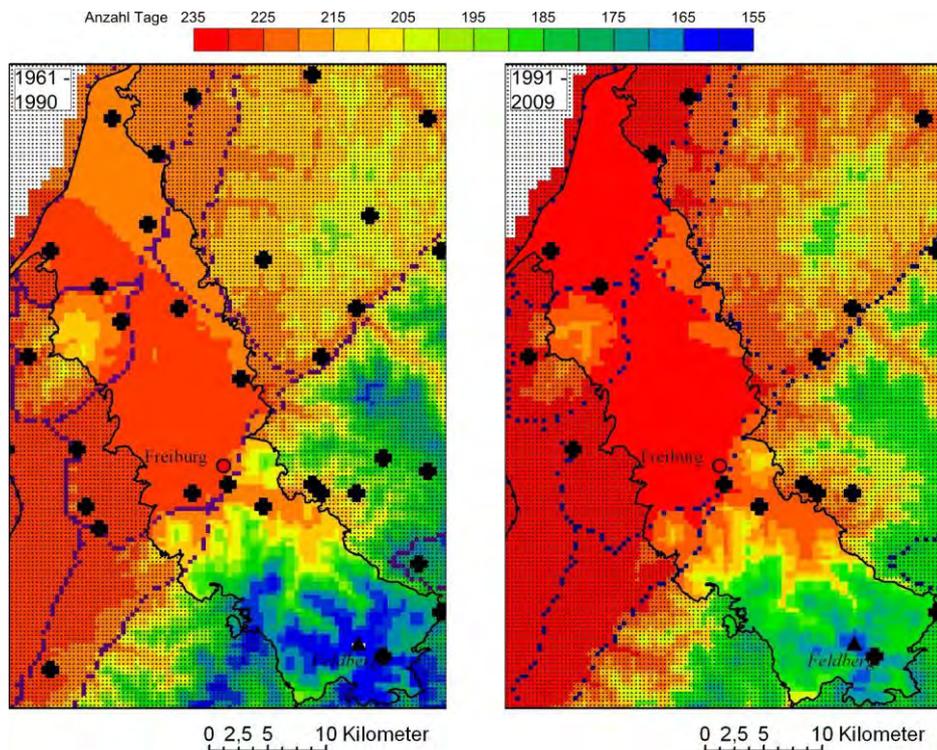
**Abbildung 4-21: Phänologische Flächenkarten für den Beginn der Blüte bei der Hasel (*Corylus avellana*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2009. Schwarze Kreuze markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. (Quelle: LUBW 2010)**

Der Frühsommer – gekennzeichnet durch die Blüte des Schwarzen Holundes (*Sambucus nigra*) – setzte im Modellraum in den Tieflagen ab dem 140. teilweise schon ab dem 135. Tag nach Jahresbeginn ein. In den Hochlagen beginnt der Frühsommer rund zwei Monate später, also Mitte Juni. Genau wie der Vorfrühling beginnt auch der Frühsommer im Zeitraum 1991 bis 2009 circa 10 Tage eher (Abbildung 4-22, oben). Die gleiche Tendenz ist auch beim Reifen der Früchte des Schwarzen Holunders, die den Beginn des Frühherbstes markiert, festzustellen (Abbildung 4-22, unten). Zumindest diese Art nutzt oder benötigt die längere

Vegetationsperiode demnach nicht für die Fruchtbildung, denn der Zeitraum von der Blüte bis zur Frucht- reife ist weitgehend gleichgeblieben.



**Abbildung 4-22: Phänologische Flächenkarten für den Beginn der Blüte und die ersten reifen Früchte beim Schwarzen Holunder (*Sambucus nigra*) – Dargestellt sind die Eintrittsdaten der Phase für die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2009. Schwarze Kreuze markieren die Lage der zugrunde liegenden Beobachtungsstationen. (Quelle: LUBW 2010)**



**Abbildung 4-23. Länge der Vegetationsperiode im Modellraum. Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2009. Schwarze Kreuze markieren die Lage der zugrundeliegenden Beobachtungsstationen. (Quelle: LUBW 2010)**

Die Länge der Vegetationsperiode ist definiert als Differenz zwischen dem Mittelwert aus vier Herbstphasen und dem Mittelwert aus drei Frühlingsphasen. Abbildung 4-23 zeigt, in welchem Ausmaß sich in der Modellregion der Vegetationsbeginn vorverlegt und die Vegetationszeit verlängert hat.

Es gibt im Naturschutz offensichtlich bislang keine Karten, die eine unterschiedliche Gefährdung (auf Grund von Klima, Klimaprojektionen, Höhenlage, Nutzung, Vegetationsstruktur, ..) von Gebieten oder Schutzgebieten differenziert darstellen.

## 4.5 Bodenschutz

Steigende Temperaturen beschleunigen grundsätzlich biologische Prozesse wie Zersetzung, Bodenatmung oder Humusabbau (GEBHARDT 2000). Diese Prozesse werden darüber hinaus auch vom Bodenwasserhaushalt beeinflusst, so dass je nachdem, welche Faktoren im Wärme- und Wasserregime limitierend wirken, standortabhängig unterschiedliche Tendenzen unter dem Einfluss des Klimawandels möglich sind (z. B. WATTENDORF et al. 2010). Bei verstärktem Humusabbau in zukünftig wärmeren und feuchteren (mehr Winterniederschlag) Wintern ist mit höheren Nährstoffausträgen zu rechnen. Verstärkte und vermehrte Starkregenereignisse, vor allem direkt nach einer Düngung, können höhere Stickstoff und Phosphor-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen hervorrufen und dadurch gegebenenfalls Gewässer belasten.

### 4.5.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.5.1.1 Extremereignisse: Starkniederschlag und Erosion

Wie in Kapitel 3.1.3 erwähnt, gab es im Zeitraum 1978 bis 1987 sowohl in Eichstetten als auch in Freiburg viele Starkniederschläge. Am Kaiserstuhl war vor allem das Frühjahr und der Frühsommer 1983 von Starkregen geprägt, allein am 24. und 25. Mai fielen 111,6 mm Regen. So waren im Mai 1983 insgesamt 272,5 mm Niederschlag gegenüber einem Mittel von 89,0 mm im Zeitraum 1951-2010 bzw. 96,2 mm in der Normalperiode 1961-90 zu verzeichnen. 1983 war mit 1010,2 mm auch das zweitniederschlagsreichste Jahr (nach 1968 mit 1093,3 mm) seit Beginn der Aufzeichnungen in Eichstetten.



**Abbildung 4-24:** links: Böschungsrutschung im Kaiserstuhl, rechts: großflächige Schäden im Gewann Herrenstück bei Bickensohl, Fotos aus WILMANN (2011)

Rutschungsschäden an Rebböschungen im Kaiserstuhl traten nach WILMANN (2011, 34) *gewiss schon immer auf*. Allerdings sind sie seit der Landschaftsumgestaltung im Zuge der Rebflurumlegungen zu Großterrassen aufwändiger zu beseitigen. Die extremen Regenfälle im Mai 1983 nach einem relativ nieder-

schlagsreichen Winter führten nach WILMANNs zu Millionenschäden. Neben den außergewöhnlichen Regenfällen war maßgeblich, dass Gehölze an den relativ jungen Böschungen noch nicht Fuß gefasst hatten oder ihr Wurzelwerk den Boden noch nicht tief reichend sicherte. Die zur Erosionssicherung aufgebrauchten Graseinsaaten bildeten einen Wurzelfilz bis circa 25 cm Tiefe. Bei Durchfeuchtung bis hin zur Wasserübersättigung konnte die Grasnarbe die schweren Oberböden nicht mehr gegen die Schwerkraft halten. Teilweise rutschten bis 1 m mächtige Bodenschichten ab (Abbildung 4-24). Diese Schäden zogen Maßnahmen zur Böschungssicherung nach sich. Heute spielen Rutschungen keine große Rolle mehr. Ähnliche Erosionsrisiken wie am Kaiserstuhl dürften bei Starkniederschlägen mit entsprechend hohen Niederschlagsmengen auch an anderen steilen Auftragsböschungen gegeben sein (Straßenbau, Rekultivierung, ...).

*Beim Regierungspräsidium Freiburg (Referat 93 - Landesbodenkunde) wurden bislang weder Auswirkungen durch Extremereignisse noch durch langfristige Entwicklungen auf Böden beobachtet. Erosionsereignisse wie z. B. Rutschungen in Hohlwegen der Lössgebiete werden in erster Linie als nutzungsbedingt gesehen, da vor allem mangelnde Pflege der Seitenwände und der Böschungskanten oberhalb der Hohlwege dafür verantwortlich ist, dass Sträucher und Bäume aufkommen und groß werden, was zu verstärkter Wurzelsprengung im Löss führt.*

*Im August 2010 wurde ein 50-jährliches Niederschlagsereignis am Kaiserstuhl verzeichnet. In Folge dieses Ereignisses war nach Information des RP Freiburg (Ref. 53.1) das große Rückhaltebecken im Krottenbachtal völlig gefüllt und nach dem Ereignis hatte sich eine Schlammschicht aus erodiertem Bodenmaterial von 10 - 20 cm Mächtigkeit im Becken abgesetzt.*

#### 4.5.1.2 Langfristige Trends

In Bezug auf die Problematik der **Bodenerosion** finden sich unterschiedliche Einschätzungen bei den befragten Behörden. *Beim Regierungspräsidium Freiburg (Referat 93) wurden bislang keine veränderten Auswirkungen durch langfristige Entwicklungen auf Böden beobachtet. Im Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald nimmt man dagegen einen auffallend starken Anstieg der Bodenerosion in den letzten Jahren wahr.*

## 4.5.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen

*Während bodenphysikalische Parameter - wie die nutzbare Feldkapazität - als eher wenig empfindlich gegenüber Klimaveränderungen sind, wird auch im Modellgebiet grundsätzlich ein **verstärkter Humusabbau** als sich allmählich beschleunigender Prozess erwartet. Dies betrifft in höherem Maße Böden mit hohem Humusgehalt, v. a. Moore („Torfschwund“).*

***Bodenerosion** ist neben Bodenverdichtungen und Schadstoffeinträgen eine der größten Gefährdungen von Böden. Bodenerosion ist ein Problem, das schon immer bestanden hat, welches aber durch die eventuelle Häufung von Starkniederschlägen, vor allem in den Wintermonaten und im zeitigen Frühjahr verstärkt werden kann. Auch die vermehrte Trockenheit und intensive Bodenbearbeitung kann einen stärkeren Abbau von Boden stabilisierender organischer Substanz zur Folge haben. Bodenerosion betrifft nicht nur die Böden selbst, sondern kann auch einen negativen Einfluss auf Fließgewässer haben, vor allem Klarwasserflüsse werden durch eingeschwemmte Trübstoffe und Nährstoffe belastet.*

*Eine indirekte Bodenbelastung könnte sich durch zunehmenden **Anbau nachwachsender Rohstoffe** ergeben, vor allem wenn der heute in der Rheinebene schon vorhandene und problematische „ewige Maisbau“ noch ausgeweitet werden würde (siehe 4.1.3.1). Zur Produktion maximaler Grünenerträge werden intensiv Pestizide, Düngemittel und schwere Maschinen sowie möglicherweise zusätzliche Beregnung eingesetzt, was Nachteile für Böden und Grundwasser erwarten ließe (siehe 4.3.2).*

### Vulnerabilität

Aus dem zuvor Gesagten lässt sich ableiten, dass eine Vulnerabilität der Böden in der Modellregion vor allem hinsichtlich folgenden Faktoren gesehen wird:

- Starkniederschlägen  
können Bodenerosion auslösen. Als Grund hierfür wird vor allem die projizierte saisonale Verlagerung der Niederschläge und mögliche vermehrte Starkereignisse im Winter und zeitigen Frühjahr gesehen. Dies betrifft vorrangig Gebiete mit Lössböden (Vorbergzone, Kaiserstuhl und Tuniberg), Maisanbauflächen und allgemein geneigte Ackerflächen.
- steigender Wintertemperaturen  
können einen verstärkten Abbau der organischen Substanz, vor allem in Böden mit hohem Humusgehalt, nach sich ziehen. Dieses Problem ist vom Boden und Standort abhängig und besteht nicht flächendeckend.

## 4.5.3 Anpassungsmaßnahmen

### Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet

***Erosionsschutz:** Die vollständige Begrünung der Rebzeilen gegen Bodenerosion wurde vor 25 Jahren im Kaiserstuhl erfolgreich eingeführt. Mittlerweile wird aber nur noch jede zweite oder dritte Zeile begrünt, da die Bodenbedeckung als Wasserkonkurrenz für die Reben gesehen wird und zum Wasserstress im Sommer geführt habe. Nach Informationen des Landratsamts Breisgau-Hochschwarzwald hat daraufhin die Erosion*

eher wieder zugenommen, während nach Information des RP Freiburg (Ref. 93) *in den Weinbaugebieten des Kaiserstuhls und der Vorbergzone wegen der Begrünung der Rebzeilen auch an steileren Lößhängen kaum noch Bodenabtrag festgestellt wird. Auf für zukünftig zu erwartende Starkregenereignisse werden hier keine weiter reichenden Folgen erwartet* (siehe hierzu auch verschiedene Abschnitte in Kapitel 4.1).

#### **Notwendige / mögliche / gewünschte / geplante Anpassungsmaßnahmen**

***Erosionsschutz:** Aufgrund der zuvor beschriebenen Vulnerabilität sollte in der Landwirtschaft noch mehr Erosionsschutz betrieben werden. Mit Hilfe von Zwischenbegrünungen (Zwischenfrüchte) kann das Brachliegen der Flächen vermieden werden, Grüneinsaat kann zur Regenerierung des Humuslebens dienen. Sowohl eine dahingehende Beratung als auch die Einhaltung der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft werden als notwendig erachtet.*

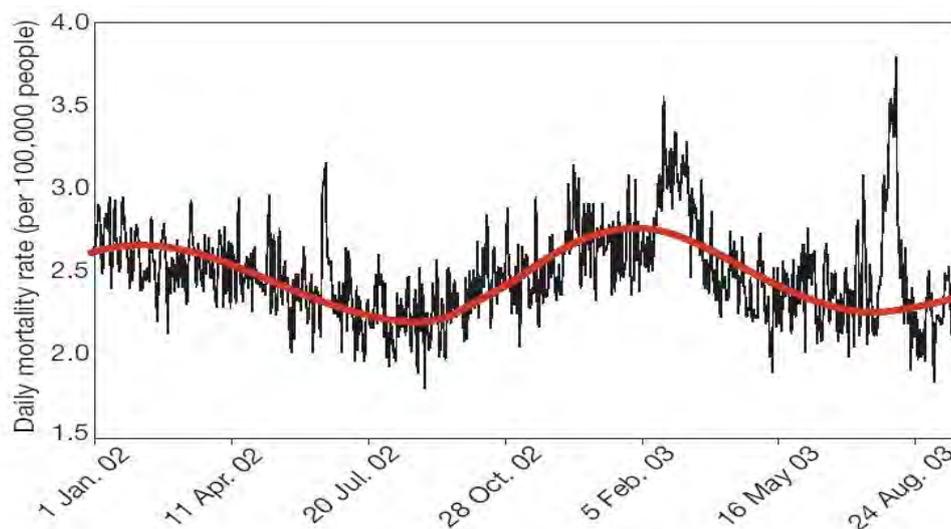
Dem Torfabbau kann lokal durch Wiedervernässung und standortgerechte Bewirtschaftung von Moorböden entgegen gewirkt werden.

## 4.6 Gesundheit

### 4.6.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.6.1.1 Extremereignisse

Die Wirkung von **Hitze** auf die menschliche Gesundheit ist von ihrer Intensität, Dauer und dem Zeitpunkt des Auftretens im Jahr abhängig. Hitzewellen, die früh im Jahr auftreten, entfalten eine stärkere Wirkung als spätere Ereignisse (EIS et al. 2010). Im August 2003 war eine ungewöhnlich hohe Mortalität von 900 bis 1.300 zusätzlichen Todesfällen für Baden-Württemberg zu verzeichnen (Abbildung 4-25). KOPPE & JENDRITZKY (2004) konnten nachweisen, dass diese durch die außergewöhnliche Hitze hervorgerufen wurden<sup>34</sup>. Regional besonders betroffen war der Oberrheingraben, es findet sich jedoch leider keine feinere räumliche Auflösung der Fallzahlen. Dieses Problem gilt generell für alle folgenden Aussagen über den Gesundheitssektor (nicht nur) im Modellgebiet: *Räumlich hoch aufgelöste Daten, die quantitativ belegen können, ob und in welchem Maß der Klimawandel die menschliche Gesundheit beeinflusst, sind bei den Gesundheitsämtern der Landkreise nicht vorhanden. Es wird keine regionale Statistik, z. B. auf Landkreisebene, geführt. Diese wäre aufgrund der meist geringen Fallzahlen und relativ kurzen Zeiträumen auch nicht aussagekräftig und statistisch verwertbar.*



**Abbildung 4-25:** Einfluss der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg (KOPPE & JENDRITZKY 2004).

*Bei der Influenza-Pandemiewelle 2009/10 war der Krankheitsverlauf nicht so ausgeprägt, wie im Vorfeld erwartet. In diesem Fall wird angenommen, dass die Immunsysteme wegen **geringerer Kälte** weniger geschwächt waren.*

*Die **extreme Trockenheit** im Frühjahr 2011 hat dazu geführt, dass einzelne Gemeinden ein Problem mit der Wasserversorgung aus Quellen hatten. Da oberflächennah kein Wasser mehr verfügbar war, mussten andere Maßnahmen getroffen werden.*

<sup>34</sup> weitere Details auch in BAUMANN (2005)

## 4.6.1.2 Langfristige Trends

Ein **häufigeres Auftreten von Hautkrebs und grauem Star** ist durch vermehrte Sonnenbestrahlung (UV-Strahlung auf die Haut) zu verzeichnen. Diese Entwicklung hängt aber möglicherweise auch mit einem veränderten Freizeitverhalten der Bevölkerung zusammen.

**Allergien und/oder toxische Reaktionen** treten aufgrund der Einwanderung von Neobiota (Pflanzen und Tiere) und Verschiebungen der phänologischen Phasen mit einer oft früheren und längeren Dauer der Pollenproduktion vermehrt auf. Es gibt zwar bislang noch keine Studien, die explizit einen vom Klimawandel verursachten Anstieg allergischer Beschwerden nachweisen konnten, jedoch sind die „Zusammenhänge allergologisch plausibel“ (EIS et al. 2010, 233). So breitet sich beispielsweise die stark allergene Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) aus (siehe Verbundprojekt Ambrosia-Pollen<sup>35</sup> und ALBERTERNST et al. 2010), weil durch höhere Temperaturen im Herbst die Pflanze besser zur Samenreife kommt (SCHRADER & KEHLENBECK 2011). Eine gemeinsame Sensibilisierung gegen Beifuß (*Artemisia vulgaris*) und Ambrosie besteht oft, was auf Grund der unterschiedlichen Pollenflugzeiten die allergischen Symptome verlängern und verstärken kann (ALBERTERNST et al. 2009). Die Raupen des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*) können beim Menschen durch giftige Brennhaare allergische/toxische Reaktionen hervorrufen. Der Eichenprozessionsspinner kommt ursprünglich überwiegend im mediterranen Klima südlich der Alpen vor, tritt in unserer Region mittlerweile jedoch verstärkt auf (siehe 4.2.1.2).

Zunahmen **wasserbürtiger Infektionen** sind teilweise nachgewiesen, so nehmen bakterielle Kontaminationen von Badeseen und Fließgewässern zu; durch vermehrtes Algenwachstum werden mehr Cyanotoxine gebildet.

Es ist eine Zunahme von **Lebensmittel bedingten Infektionen** (z. B. durch Salmonellen oder Noroviren) im Sommer zu verzeichnen, jedoch ist fraglich, ob sie klimabedingt ist. Das Robert-Koch-Institut nimmt zwar an, dass bei einem Temperaturanstieg um 1° C circa 4 - 5 % mehr Lebensmittelinfektionen auftreten können. Hierbei spielen jedoch viele individuelle hygienische Faktoren eine Rolle, so dass ein solcher Effekt sehr schwer zu quantifizieren ist. Die Temperaturerhöhung ist wohl ein kleineres Problem als das individuelle Verhalten. Auch ein indirekter Einfluss der Temperatur auf die Übertragung der Noroviren (Verursacher viraler Gastroenteritis) lässt sich nicht ausschließen, wird jedoch für unwahrscheinlich gehalten.

Eine Zunahme **vektorübertragener Krankheiten**, wie der von Zecken übertragenen FSME- und Lyme-Borreliose-Erkrankungen wird diskutiert. Ein Zusammenhang mit Klimaveränderungen ist hier jedoch noch nicht ausreichend gesichert<sup>36</sup>. Es wird auch bei wärmerem Klima als eher unwahrscheinlich angesehen, dass Malaria sich wieder stabil in der Modellregion etablieren wird. Hierfür spielen neben dem Klima weitere Kriterien eine Rolle, wie die hygienischen Bedingungen, das Vorhandensein von Sümpfen oder Vermehrungsgebiete von Mücken.

---

<sup>35</sup> [http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/downloads/Ambrosia\\_Schlussbericht\\_Herausforderung\\_Klimawandel.pdf](http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/downloads/Ambrosia_Schlussbericht_Herausforderung_Klimawandel.pdf)

<sup>36</sup> Die Zahl von Infektionen hängt auch von der möglichen Zunahme der Zeckendichte ab, die jedoch nicht eindeutig auf den Klimawandel bezogen werden kann. So sind Mischwälder - die zukünftig wohl ausgedehnt werden (siehe 4.2.3) - günstigere Zeckenhabitats als Nadelwälder. Zwar begünstigen wärmere Winter Zeckendichte und -aktivität im Frühling, andererseits reduzieren heiße trockene Sommer die Zeckenzahlen. Eine wichtige Rolle spielen auch Freizeitaktivitäten im Freien, so wurde die Benutzung eines Gartens in Waldnähe als Risikofaktor identifiziert. Aufgrund dieser komplexen Zusammenhänge und lückenhafter Daten ist keine zuverlässige Prognose über Infektionsrisiken unter verändertem Klima möglich (EIS et al. 2010).

## 4.6.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen

Die Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Gewitter oder Stürme bringt eine erhöhte **Verletzungsgefahr** mit sich.

**Herz-Kreislaufprobleme** können vermehrt in Phasen mit schwülwarmem Wetter auftreten und es besteht die Gefahr der **Zunahme von Arbeitsunfähigkeitstagen** bedingt durch schlaflose Nächte bei zunehmenden Temperaturen (Tropennächte, Gewitternächte etc.).

Starkniederschläge könnten fallweise **Belastungen der Fließgewässer mit Keimen** durch die Überschwemmung oder Überlastung von Kläranlagen verursachen (siehe 4.3.1).

### Chancen

**Abminderung chronischer gesellschaftlicher Belastungen:** Das Freizeitverhalten könnte sich positiv verändern, da bei wärmeren Temperaturen sich die Menschen in der Regel mehr bewegen und mehr nach draußen gehen, wodurch chronischen gesellschaftlichen Belastungen wie Bewegungsarmut oder Übergewicht entgegengewirkt werden könnte. Andererseits könnte dies auch zu einem stärkeren Zeckenbefall führen.

**Abschwächen von Winter-Depressionen:** Eine Klimaerwärmung könnte positive Auswirkungen auf emotionale Prozesse und die menschliche Psyche haben. Schwache Depressionen treten häufig in der Winterzeit auf, was durch größere Wärme möglicherweise abgeschwächt werden könnte. Immerhin sind 10 - 20 % der Bevölkerung im Verlauf des Lebens von Depressionen betroffen.

Eine **Abnahme der Häufigkeit von Infektionserkrankungen** im Winter ist bei einer Temperaturerhöhung möglich. Mildere Winter können bewirken, dass Infekte wie Lungenentzündungen nicht entstehen. Auch wird als möglich angesehen, dass unter dem Einfluss milderer Winter die **Krankheitsschwere typischer Wintererkrankungen** abnimmt. Da solche Infektionen entweder nicht von meldepflichtigen Erregern verursacht werden oder ein eventuell vorliegender meldepflichtiger Erreger meist nicht diagnostiziert wird, sind hierüber jedoch keine Daten vorhanden.

### Vulnerabilität

Der Klimawandel beeinflusst den Gesundheitssektor im Modellgebiet vor allem durch folgende Wetterphänomene und Veränderungen nachteilig:

- Stürme und Gewitter können zukünftig bei häufigerem Auftreten zu vermehrten Verletzungen und Todesfällen führen
- Extreme Trockenheit kann Probleme bei der Wasserversorgung aus oberflächennahen Quellen verursachen
- Erhöhte UV-Strahlung auf die Haut steigert die Gefahr von Hautkrebs und grauem Star.

- Steigende Temperaturen beeinflussen die menschliche Gesundheit in vielerlei Hinsicht:
  - vermehrtes Auftreten von Herz-Kreislauf-Problemen
  - Schlafmangel/-störungen aufgrund einer höheren Zahl von Tropennächten
  - vermehrtes Auftreten von Allergien aufgrund von Veränderungen in der Pflanzen- und Tierwelt und längerer Vegetationsperiode
  - Zunahme von bakteriellen Kontaminationen von Badeseen und Fließgewässern
  - vermehrtes Auftreten von Lebensmittelinfektionen
  - Auch die Zunahme von FSME und Borrelioseerkrankungen könnte eventuell auf die Klimaerwärmung zurückzuführen sein.

## 4.6.3 Anpassungsmaßnahmen

### **Bestehende Anpassungsmaßnahmen im Modellgebiet**

In Baden-Württemberg gibt es seit dem Sommer 2003 ein **Hitze-Frühwarnsystem**, welches vom Landesgesundheitsamt etabliert wurde<sup>37</sup>. Warnungen und entsprechenden Verhaltenstipps gehen per Mail und Fax an Altenpflegeheime und Krankenhäuser, damit entsprechende Maßnahmen in der Pflege wie die Versorgung mit ausreichend Flüssigkeit oder Kühlung verschaffen, rechtzeitig ergriffen werden können.

**Bauliche und planerische Maßnahmen:** Beim Neubau von Pflegeheimen, Krankenhäusern, Schulen und anderen öffentlichen Einrichtungen wird darauf hingewiesen, dass südwestlich exponierte Fensterfronten mit entsprechenden Abdunklungen oder Schutzmaßnahmen gegen Sonnenstrahlung gebaut werden sollen, die Hitzebelastung im Raum zu reduzieren. Bei der Bauleitplanung für Neubaugebiete wird darauf hingewiesen, dass auf den Anbau von allergenen Pflanzen verzichtet werden soll.

Eine Zunahme von trink- oder badewasserbürtigen Infektionserregern konnte bei der regelmäßigen **Überwachung von Trinkwasser und Badegewässern** bisher noch nicht festgestellt werden. Nach Starkregenereignissen sind oft Seen vorübergehend belastet, Einflüsse zunehmender Wärme sind nicht nachzuweisen. Im Hitzesommer 2003 wurden beispielsweise trotz extremer Temperaturen der Seen<sup>38</sup> keine auffälligen Keimzahlen gemessen.

Es gibt bundesweit Maßnahmenpläne zur **Sicherstellung der Wasserversorgung** im Katastrophenfall oder im Fall von Extremereignissen wie Trockenheit und Wasserknappheit. Hierin sind auch die Qualitätsansprüche an das Trinkwasser in solchen Situationen definiert.

### **Notwendige / mögliche / gewünschte / geplante Anpassungsmaßnahmen**

**Gesundheitsförderliche Maßnahmen:** Die Bevölkerung sollte stärker auf die - zukünftig möglicherweise wachsende - Bedeutung bestimmter Verhaltensweisen in bestimmten Lebenslagen hingewiesen werden, wie beispielsweise die Notwendigkeit, bei Aufenthalten im Freien vermehrt Sonnenschutz aufzutragen. Dies sollte nicht nur durch Verhaltenstipps für Erwachsene realisiert werden, sondern vor allem durch Maßnahmen für Kinder, beispielsweise in der Schule.

**Anpassungsmaßnahmen im Arbeitsleben** wie zum Beispiel der klimagerechte Umbau von Arbeitsräumen oder die Schaffung von besser hitzeverträglichen Arbeitszeiten (früh am morgen und abends, wie z. B. in Spanien) sollten in Zukunft größere Bedeutung erlangen.

---

<sup>37</sup> Der DWD hat ebenfalls nach 2003 einen Hitzewarndienst etabliert, der auch Privatpersonen zugänglich ist und auf Landkreisebene über drohende Hitzebelastung informiert, siehe [www.dwd.de](http://www.dwd.de).

<sup>38</sup> Fließgewässer werden nicht beprobt.

## 4.6.4 Indikatoren

### Belastungsindikatoren

Als Indikatoren für die Belastungen des menschlichen Organismus durch Wetter und Klima kommen bestimmte besondere Tage (siehe 3.1.2.3) in Frage:

- maximale **Lufttemperatur** des Tages
- Anzahl (jährlich) der **heißen Tage** oder Dauer von heißen Phasen (siehe auch EIS et al. 2010)
- Anzahl der **Tropennächte**
- Anzahl **Tage mit schwüler Hitze** oder Dauer von Phasen mit schwüler Hitze

Diese Indikatoren werden bereits heute von den Wetterstationen des DWD (Weisweil-Waldeckhof, Freiburg, Emmendingen-Mundingen, Hinterzarten, Feldberg) über die Messung der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte direkt erfasst, beziehungsweise können einfach aus den Messdaten berechnet werden.

Als Belastungsindikatoren hinsichtlich Allergien oder toxischer Reaktionen könnten

- das **Vorkommen** und die **Verbreitung von Arten** mit giftigen/allergenen Eigenschaften wie Beifuß-Ambrosie (ALBERTERNST et al. 2006) oder Eichenprozessionsspinner sowie
- die Anzahl der **Tage mit Pollenflug**<sup>39</sup> oder
- die **Pollenkonzentrationen**

in bestimmten phänologisch oder klimatisch abgegrenzten Teilräumen dienen.

Ähnliches gilt auch für vektorübertragene Krankheiten. So wird beispielsweise die Leishmaniose fallweise aus dem Mittelmeerraum importiert. Um eine Einschleppung nach Deutschland - und das gilt sicher in erster Linie für wärmebegünstigte Regionen wie das Oberrheintal - frühzeitig zu erfassen und nach Möglichkeit zu verhindern, empfehlen EIS et al. (2010) ein Monitoring der **Vektoren** (Sandmücken) und **Reservoirtiere** (Hunde).

### Erkrankungszahlen

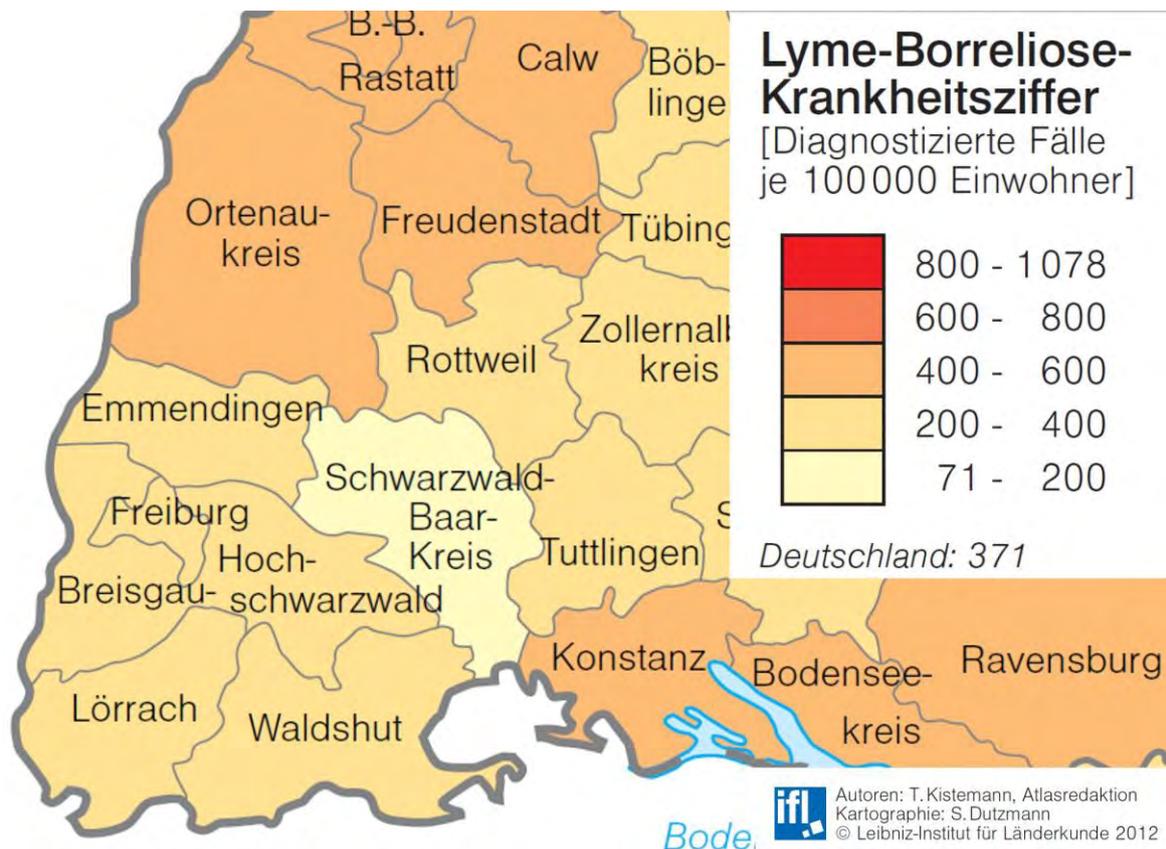
Die kleinräumig erhobenen Fallzahlen zu **Lebensmittelinfektionen** (Salmonellen, EHEC,...) und vektorübertragenen Erkrankungen (FSME, Borreliose, ...) sind so niedrig, dass daraus keine statistisch gesicherte Auswertung von Trends oder Tendenzen möglich ist.

Zur Häufigkeit von **Allergien** gibt es keine Daten bei den Landratsämtern, aber die Krankenversicherungen erfassen die Häufigkeit der Diagnosestellung und sollten diese Daten auch auswerten können. Es gilt zwar inzwischen als weitgehend wissenschaftlich gesichert, dass allergische Erkrankungen in vergangenen Jahrzehnten in den industrialisierten Ländern zugenommen haben<sup>40</sup>, entsprechende Studien in Baden-Württemberg konnten aber zwischen 1992 und 2003 keine (monoton) ansteigenden Trends festgestellt werden (ZÖLLNER 2008).

---

<sup>39</sup> Der DWD bietet einen Warndienst (Newsletter) zur Pollenflugvorhersage auf der Ebene der Bundesländer an, der auch Privatpersonen zugänglich ist, siehe [www.dwd.de](http://www.dwd.de).

<sup>40</sup> <http://www.gesundheitsamt-bw.de/oegd/gesundheits Themen/umweltgesundheit/seiten/allergien.aspx>



**Abbildung 4-26: Borreliose-Krankheitsziffer anhand von Daten aus den Jahren 2007 – 2009 (Quelle: <http://aktuell.nationalatlas.de>)**

Als weitere Indikatoren können Erkrankungszahlen von mutmaßlich **klimabeeinflussten Krankheiten** (s. o.) sowie **vektorübertragene Krankheiten** (Lyme-Borreliose, Erkrankungen durch Hantaviren, ... s. o.) herangezogen werden (siehe EIS et al. 2010). EIS et al. empfehlen beispielsweise unter anderem die retrospektive Untersuchungen von Mortalitäts- und Morbiditätszeitreihen unterschiedlicher Zeiträume, da Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit bislang nicht definitiv nachgewiesen werden konnten, sondern allenfalls Indizien hierfür vorliegen. Eine deutschlandweite „Risikokarte“ der Borrelioseerkrankungen (Abbildung 4-26) wurde 2012 veröffentlicht (<http://aktuell.nationalatlas.de>).

## 4.7 Tourismuswirtschaft

Wetter und Klima haben einen entscheidenden Einfluss auf die touristischen Potenziale eines Raums und bestimmen damit einerseits das touristische Angebot mit. Andererseits wirken sie sich aber auch auf die touristische Nachfrage aus, denn sie beeinflussen die Entscheidung von potenziellen Kunden, ihren Urlaub zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort zu verbringen (siehe MATZARAKIS 2007). Nach MATZARAKIS können Wetter und Klima im Tourismus damit als limitierende Faktoren und als Steuergrößen der touristischen Nachfrage angesehen werden. Es liegt somit nahe, dass Klimaänderungen auch Veränderungen für die Tourismuswirtschaft auslösen können.

Im Untersuchungsgebiet spielt der Skitourismus im Hochschwarzwald eine wichtige Rolle, die Gemeinden Feldberg und Hinterzarten sind die bekanntesten Wintersportorte in der Region. In Freiburg ist der Kultur- und/oder Städtetourismus bedeutend und am Kaiserstuhl sowie in der Vorbergzone steht Erholungs- und Wandertourismus im Vordergrund.

### 4.7.1 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

#### **Gefährdungen<sup>41</sup>**

Nach ENDLER & MATZARAKIS (2010, 161) nehmen die mittleren monatlichen **Schneehöhen** in Hinterzarten und am Feldberg in der Periode 1971 - 2000 gegenüber 1961 - 1990 deutlich ab. Auch die aus den Wetterdaten des DWD abgeleiteten langfristigen Tendenzen bezüglich Schneetagen in Hinterzarten und am Feldberg (siehe 3.1.2.2) legen - allerdings ohne statistisch gesicherte Korrelation - einen Rückgang der Schneebedeckung nahe. Eine Studie der DEUTSCHEN SPORHOCHSCHULE KÖLN (2004) im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg sieht den wirtschaftlichen Betrieb vieler Lifтанlagen gefährdet (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2005). Nur noch Lagen über 800 m werden als ausreichend schneesicher angesehen, teilweise soll hier die Schneedeckendauer sogar zunehmen. Nach Szenarien bis 2025 soll die natürliche Schneedecke über 10 cm nur noch in Hochlagen über vier Wochen andauern. Auch künstliche Beschneigung kann nur bedingt Abhilfe schaffen, denn 2025 soll nur noch der Feldberg zur Beschneigung geeignet sein, in tieferen Lagen seien die Temperaturen dazu hoch.

Die mögliche Zunahme **trockener, feuchtwarmer und Hitze belasteter Sommer** (ENDLER & MATZARAKIS 2010, 165) in den tieferen Lagen der Region kann Freizeitwert und Erholungsfunktion negativ beeinflussen. Höhere Lagen des Schwarzwaldes werden hiervon weniger stark betroffen sein. In den letzten Dekaden stieg der Mittelwert schwüler Tage von jährlich 11,5 Tagen (1980 - 89) auf 18,5 Tage im Zeitraum 2000 - 09 an, auch die Zahl der heißen Tage, Sommertage und Tropennächte in Freiburg ist angestiegen (siehe 3.1.2.3).

#### **Chancen**

Eine **Temperaturerhöhung** böte neben Nachteilen für den Wintersport auch Chancen für den Tourismus im Schwarzwald. Höhere Temperaturen im Frühjahr und Herbst können die Saison für den Wandertourismus

---

<sup>41</sup> Als Informationen über den Sektor Tourismus in der Modellregion standen uns nur die zitierten Studien und Forschungsarbeiten zur Verfügung.

verlängern; wärmeres Klima könnte die Attraktivität des Schwarzwaldes außerhalb der Skisaison steigern und zusätzliche Einkommensquellen schaffen oder den Rückgang des Wintertourismus teilweise kompensieren.

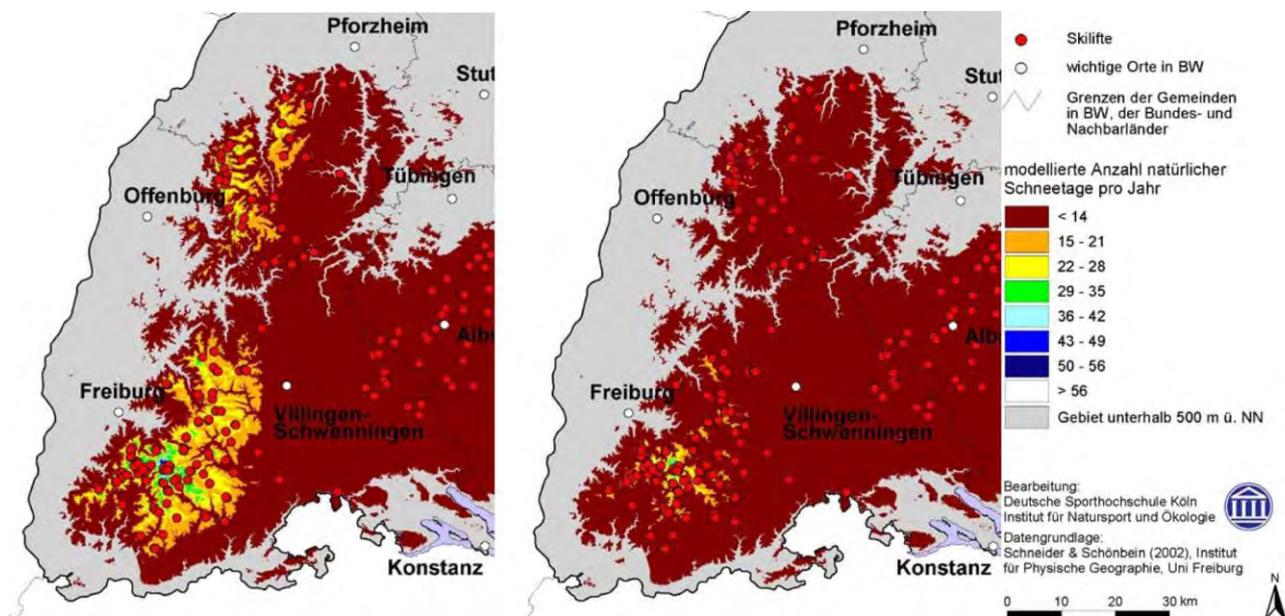


Abbildung 4-27: Skiliftanlagen und potenzielle Andauer der Schneedecke von mehr als 10 cm in Lagen über 500 m ü. NN im Südwesten Baden-Württembergs in den Jahren 2012 (links) und 2025 (rechts) (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2005)

Durch die prognostizierte **Zunahme der Hitzebelastung im Sommer** in den tieferen Lagen der Region können Tourismusanbieter in höheren Lagen des Schwarzwaldes möglicherweise profitieren. So kann „Hitzevlucht“ (siehe WEIS & HÜLEMAYER 2010) aus dem Rheintal oder anderen hitzebelasteten Gebieten Tagestouristen, aber auch Dauergäste in den Schwarzwald führen.

### Vulnerabilität

Die Vulnerabilität des Sektors Tourismus im Modellgebiet begründet sich vor allem auf folgende Wetterphänomene und Veränderungen:

- Zunahme der Wintertemperaturen und die damit möglicherweise verbundene Abnahme von Schneehöhen und Dauer der Schneedecke im Schwarzwald
- größere Hitzebelastung im Sommer und Zunahme von für das Wohlbefinden und die Erholung ungünstigen Wettersituationen
- Zunahme von Extremereignissen (Stürme)  
Diese könnte - zumindest zeitweise - nachteilig auf den Tourismussektor wirken, vor allem in den Mittelgebirgslagen des Modellraums.

## 4.7.2 Anpassungsmaßnahmen

Für den Tourismussektor sieht die Deutsche Anpassungsstrategie als wesentliche Anpassungsmaßnahmen an die Herausforderungen des Klimawandels die Flexibilisierung und Diversifizierung der Angebote (z. B. weg vom reinen Skitourismus, Wetter unabhängige Angebote), die stärkere Betonung regionaler Besonderheiten und Verbesserungen der Bildungs-, Kultur- aber auch Wellness-Angebote (DAS 2008).

### Anpassungsmaßnahmen für die Modellregion

Eine Studie im Auftrag des Landes (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2005) hält es zur Auslastung der bestehenden Wintersportinfrastruktur für notwendig, das bestehende Angebot um Schnee unabhängige Betätigungen zu ergänzen und zu einer Ganzjahresnutzung zu kommen. Beispielsweise können Schlepp- und Sessellifte (Transport zu Sommerrodelbahnen, Mitnahme von Mountainbikes etc.) auch außerhalb des Winters genutzt werden. Skilanglaufloipen könnten auch für Sommersportarten (Nordic-Walking, Nordic-Blading) genutzt werden<sup>42</sup>. Bei der Ausweitung vom Winter- zum Ganzjahresbetrieb sind auch naturschutzrechtliche Fragen (Störung von Tieren, Beeinträchtigung von Pflanzen etc.) von Belang (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2005). Zur Verbesserung der Auslastung der (Winter-) Sportinfrastruktur sollte weiterhin die Erreichbarkeit der Tourismusgebiete durch Ausbau der Verkehrsinfrastruktur (ÖPNV und Automobil) verbessert werden. Ebenso wie in der DAS wird auch hier das Erschließen neuer Tätigkeitsfelder zur Ergänzung bestehender Angebote als notwendig erachtet: Gesundheits-, Wellness- und Erholungsangebote sowie eine Aufwertung der lokalen Gastronomie.

## 4.7.3 Indikatoren

Die wichtigsten klimatisch bedingten Indikatoren für den Tourismussektor in der Region sind

- **Schneehöhe** und **Dauer der Schneebedeckung** für den Winter(sport)tourismus sowie die
- **Anzahl der heißen Tage** und **Tage mit schwüler Hitze** (siehe 4.6.4)

Die Schneehöhe wird an den meisten DWD-Niederschlags-Stationen gemessen, im Modellraum in Freiburg, EM-Mundingen, Hinterzarten und auf dem Feldberg, benachbart auch noch in Lenzkirch, Titisee und Schluchsee. Als Indikator kann sie somit einfach herangezogen werden. Als weiterer abgeleiteter Indikator kann die Schneedauer bzw. die Dauer einer bestimmten Schneehöhe (Tage mit Schneehöhe über x cm) einfach errechnet werden. Als weiterer Indikator wäre die Zahl der Tage mit Beschneigungsbedarf/-potenzial - entsprechend niedrige Lufttemperatur, aber keine ausreichende Schneedecke - möglich,

Ob und wie Wetter, Witterung und Klima den Tourismus in der Region beeinflussen, kann durch eine räumlich differenzierte Auswertung der Parameter **Umsatz** des Tourismussektors, **Anzahl der Gäste**, Anzahl der **Übernachtungen** und **Dauer der Aufenthalte** ermittelt werden. In diese Indikatoren fließen aber stets auch eventuelle autonome Anpassungsmaßnahmen der Tourismusanbieter ein.

Als Indikator der Wirkung von Anpassungsmaßnahmen zur Schaffung wetterunabhängiger Freizeitangebote wird der **Investitionsaufwand** der Tourismusanbieter für entsprechende Infrastruktur gesehen.

---

<sup>42</sup> hierzu gibt es erste Aktivitäten von Deutschem Skiverband und Sporthochschule Köln

## 4.8 Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur

### 4.8.1 Bisherige Auswirkungen von Wetter und Klima

#### 4.8.1.1 Extremereignisse

In historischer Zeit waren Siedlungen und Infrastruktur im Modellgebiet durch **Hochwasserereignisse** der Fließgewässer, vor allem der Dreisam, betroffen (siehe 4.3.1.1). So führte ein Hochwasser der Dreisam im Jahr 1896 zu erheblichen Schäden an der Infrastruktur. Nach einer Verklausung durch mitgerissene Baumstämme wurde der Wasserdruck auf die Schwabentorbrücke in Freiburg so groß, dass ein Teil des Bauwerks einstürzte (Abbildung 4-11, Abbildung 4-28). Bei diesem Ereignis kamen mehrere Menschen ums Leben (LANGE 2007). In (Kirch)Zarten wurden Häuser beschädigt (Abbildung 4-28).



**Abbildung 4-28: Schäden in Freiburg (Schwabentorbrücke) und in Zarten bei einem Hochwasserereignis der Dreisam im Jahr 1896 (aus: LANGE 2007)**

Im Verkehrssektor sind die Bereiche Verkehr, Verkehrsinfrastruktur und Straßenbetrieb/Unterhaltung zu unterscheiden. *In der Modellregion wurden bislang keine besonderen Auswirkungen auf den Verkehr durch klimatische Extremereignisse festgestellt, allerdings beeinflusst das Wetter immer den Verkehrsablauf. Das Gleiche gilt auch für die Verkehrsinfrastruktur, die auf bestimmte Extreme (Temperatur, Überschwemmungen) ausgelegt ist. Der Betrieb und die Unterhaltung der Verkehrsinfrastruktur sind stärker von Extremereignissen betroffen: So steht nach Sturmereignissen wie Lothar das Freiräumen der Straßen im Vordergrund und andere Arbeiten müssen verschoben werden.*

## 4.8.2 Gefährdungen, Chancen und Vulnerabilität

### Gefährdungen für die Siedlungsinfrastruktur - Stadt Freiburg

Die Stadt Freiburg<sup>43</sup> sieht zurzeit die größte Gefährdung durch den Klimawandel in zukünftig steigenden Lufttemperaturen und damit einer zunehmenden **Hitzebelastung** der Bevölkerung im Sommer. Untersuchungen zur thermischen Situation in Freiburg wurden hierzu im Rahmen des KLIMES-Projektes durchgeführt (MAYER 2008, MAYER et al. 2008). Lufttemperaturen sind in Großstädten im Vergleich zum Umland meist höher, weil die großflächige Bebauung (Wärmespeicherung in Stein und Beton, Bodenversiegelung, Abhalten von Kaltluftzuflüssen) und menschliche Aktivitäten (Abwärme, Abgase) die Aufheizung begünstigen. Vor allem Abend- und Nachttemperaturen können in städtischen Wärmeinseln um bis zu 10° C höher als im Umland liegen (BONGARDT & PUHR 2010).

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass zukünftig die Zunahme von **klimatischen Unregelmäßigkeiten** und **Extremereignissen** (Starkregen, Stürme) ein Reagieren der Stadtplanung notwendig machen. Hierzu gehören auch zukünftig häufigere und schwerwiegendere **Hochwasserereignisse**.

Ein bei **ansteigenden Temperaturen** und **zunehmender Sommertrockenheit** steigender Energiebedarf für Kühlung und die Aufbereitung von Wasser sowie eine sinkende Versorgungssicherheit insbesondere bei kühlwasserabhängiger Energiegewinnung in Verbindung mit abnehmender Vorhersehbarkeit des saisonalen und tageszeitlichen Energieverbrauchs aufgrund von **klimatischen Extremereignissen** wird als zukünftige Herausforderung der Energieversorgung durch den Klimawandel gesehen. Weiterhin wird damit gerechnet, dass höhere Temperaturen und Sommertrockenheit bei steigendem Wasserbedarf im Sommer zu einem gleichzeitig sinkenden Brauchwasserdargebot, zu Veränderungen des Grundwasserspiegels und der Qualität der Oberflächengewässer sowie des Grundwassers führen (siehe hierzu auch 4.3.2).

### Gefährdungen für Straßenverkehr und Verkehrsinfrastruktur

Im Rheintal wird zukünftig zwar sommerliche Hitze mit möglicherweise **höheren maximalen Temperaturen** eine größere Rolle spielen, aber die Straßeninfrastruktur ist bereits heute auf große Temperaturschwankungen ausgelegt. Außerdem sind die Anpassungs- beziehungsweise Erneuerungsintervalle im Straßenbau so kurz (siehe 4.8.3), so dass im Rahmen der üblichen baulichen Unterhaltung auf Veränderungen, beispielsweise mit neuen Asphaltmischungen reagiert werden kann. Dadurch, dass Straßen überall auf der Welt gebaut und betrieben werden, gibt es heute schon praktische Erfahrungen auch mit extremen Klimaten.

Zurzeit werden die Auswirkungen von Faktoren wie beispielsweise der zukünftig zunehmenden Verkehrszahlen als stärker auf den Ablauf des Straßenverkehrs eingeschätzt als Witterungseinflüsse oder der Einfluss des Klimawandels.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) sieht auch die Standsicherheit von Straßenböschungen durch zukünftig möglicherweise zunehmende Starkregeneignisse in Frage gestellt und forscht in dieser Richtung (SCHÖNTHALER et al. 2011).

---

<sup>43</sup> Datenquelle ist ein internes Papier des Stadtplanungsamtes, Abteilung Stadtentwicklung, der Stadt Freiburg (Klimawandel - Anpassungsmaßnahmen der Stadt Freiburg, 23.12.2009).

## Chancen für die Siedlungsinfrastruktur - Stadt Freiburg

*Als positiver Aspekt milderer Winter wird ein zukünftig möglicherweise sinkender Energiebedarf für Heizung gesehen.*

## Chancen für Straßenverkehr und Verkehrsinfrastruktur

*Zukünftig **mildere Winter** mit weniger Frost- und Schneetagen könnten dazu führen, dass weniger Aufwand für die Straßenunterhaltungen erforderlich wird und außerdem ein geringerer Salzaustrag aus den Verkehrsflächen erfolgen würde.*

## Vulnerabilität der Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur

Aus den vorstehenden Aussagen ergibt sich eine Vulnerabilität in der Modellregion vor allem hinsichtlich:

- Sturmereignisse  
Im Straßenverkehr kommt es immer wieder zu kurzzeitigen Straßensperrungen nach Stürmen und im Straßenbetrieb steht oft das Freiräumen der Straßen im Vordergrund.
- steigende Temperaturen  
Noch stärker als im Umland ist in der Großstadt mit sommerlicher Hitzebelastung zu rechnen.
- Hochwasser  
Während in den letzten Jahrzehnten keine bedeutenden Schäden durch extreme Hochwasserereignisse entstanden sind, könnte sich dies unter veränderten Klimabedingungen ändern (siehe 4.3.2).

## 4.8.3 Anpassungsmaßnahmen

### Siedlungsinfrastruktur - Stadt Freiburg<sup>44</sup>

*Maßnahmen gegen die oben (4.8.2) ausgeführte Problematik sommerlicher Hitzebelastung in der Großstadt sind die **Durchlüftung der städtischen Quartiere** mit kühlerer Luft aus der Umgebung und die Kaltluftbildung vor Ort. Diese Faktoren werden in der städtischen Bauleitplanung bereits seit den 1970er Jahren untersucht und berücksichtigt. Das in Freiburg hierzu vorhandene Wissen wurde in einer Stadtklimaanalyse (2003) zusammengeführt und für die Stadtentwicklung und den Flächennutzungsplan 2020 ausgewertet. Konkrete Maßnahmen in der Stadt Freiburg zur Vermeidung oder Verminderung von Hitzebelastung sind:*

- *Zusammenhängende Grün- und Freiflächen sollen soweit möglich erhalten bleiben und sind auch kleinteilig im Stadtgefüge vorgesehen, da sie als Luftaustauschbahnen und Kaltluftentstehungsflächen (z. B. Wiesen, Gärten, Brachen) dienen. Außerdem können sie den Menschen Erholung bei Hitze bieten. Beispielsweise dienen im Quartier Vauban Grünschniesen als Kaltluftquellen und Luftleitbahnen.*
- *Offene Wasserflächen sollen erhalten werden, denn sie haben eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperatur.*

---

<sup>44</sup> Datenquelle ist ein internes Papier des Stadtplanungsamtes, Abteilung Stadtentwicklung, der Stadt Freiburg (Klimawandel - Anpassungsmaßnahmen der Stadt Freiburg, 23.12.2009). Die Stadt Freiburg betreibt inzwischen ein Projekt zur Anpassung an den Klimawandel unter der Federführung des Umweltschutzamtes (KÖHLER, schriftliche Mitteilung 2012). In diesem Projekt wird unter anderem ein Maßnahmenprogramm erstellt; dieses Projekt konnte in der vorliegenden Studie nicht mehr berücksichtigt werden.

- Die Erhöhung des Vegetationsgrades vor allem stärker verdichteter Stadtquartiere steigert die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum (Beschattung, Verdunstungskühle).
- Nach Möglichkeit werden Gebäudehöhen begrenzt<sup>45</sup> und Gebäude in Richtung der Durchlüftungsschneisen ausgerichtet, um die Durchlüftung des Stadtgebietes und eine nächtliche Abkühlung möglichst zu gewährleisten.

Als Anpassung an eine steigende Hochwassergefahr werden neben den bereits unter 4.3.3 aufgeführten Anpassungsmaßnahmen der Wasserwirtschaft von der Stadt Freiburg vor allem **Maßnahmen zur Förderung des Wasserrückhalts** im urbanen Raum durch Grundstücksversickerung, Bodenentsiegelung oder Dachbegrünung als notwendig gesehen. Weiterhin erfolgt eine Neuberechnung, Kennzeichnung und Freihaltung der Überschwemmungsgebiete. Gleichzeitig dienen solche Maßnahmen ebenso wie die Erhöhung des Vegetationsgrades in der Stadt der Grundwasserneubildung und sollen die Wasserqualität und -verfügbarkeit in zukünftig trockeneren Sommern fördern.

Durch die vertragliche **Vereinbarung hoher baulicher Standards** soll sicher gestellt werden, dass in Freiburg Gebäude hoher Qualität errichtet werden, die auch extremen Witterungsbedingungen standhalten.

Die **Sicherung von Waldabständen** dient der Vermeidung von Personen- und Gebäudeschäden bei Sturmereignissen mit Windwurf von Bäumen.

## **Straßenverkehr**

Da Intervalle in der **Unterhaltung oder Erneuerung** von Straßen sind relativ kurz, so werden die Decken spätestens alle 15 Jahre und der Unterbau nach 35 bis 50 Jahren erneuert. Wenn sich Veränderungen ergeben, werden diese quasi automatisch bei der Straßenerneuerung berücksichtigt. Dies gilt beispielsweise für die Entwicklung hin zu schwereren Fahrzeugen, es kann jedoch genauso gut auf klimatische Veränderungen wie höhere Temperaturen reagiert werden. Die Anpassung an den Klimawandel wird aufgrund dieser kurzen Reaktionszeiten nicht als großes Problem gesehen.

Auch heute schon gibt es extreme Wetterereignisse, für die die Straßen jedoch ausgelegt sind. So kann mit solchen Ereignissen im normalen Betrieb umgegangen werden. Im Modellraum ergeben sich allein durch die klimatischen Unterschiede zwischen Rheintal und Hochschwarzwald bereits heute sehr unterschiedliche Aufgaben und Herausforderungen. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass Straßenbau und Straßenbetrieb ohne spezielle Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Lage sein werden, auf zukünftige Veränderungen entsprechend zu reagieren.

---

<sup>45</sup> Beispiel: Bebauungsplan Kappler Straße (neu) und Kappler Straße Nord enthält: Reduzierung der festgesetzten Gebäudehöhe auf maximal 12,60 m, Dachbegrünung soweit möglich, Reduktion befestigter Flächen und Begrünung mit Rasengitterstein aus klimatischen Gründen

## 4.8.4 Indikatoren

### Indikatoren für die Stadt Freiburg

Als Indikatoren für die Klimaeinflüsse in der Stadt kommen in Frage:

- Hitzebelastung  
unter Berücksichtigung der Maßzahlen zum thermischen Komfort (siehe z. B. MAYER et al. 2008),  
möglicherweise auch Tag - Nacht - Temperaturunterschiede
- Effekt der städtischen Wärmeinsel  
im Vergleich der Lufttemperaturen zwischen Stadtzentrum und Umland
- Hochwassergefahr  
auf Grundlage der Hochwassergefahrenkarten

Als Anpassungsindikatoren können dienen:

- ebenfalls die oben genannten Indikatoren für Hitzebelastung und Wärmeinseleffekt
- Anteile von Grünflächen  
Dieser Indikator kann sowohl hinsichtlich der Anpassungsmaßnahmen gegen sommerlichen Hitzestress als auch einer Förderung der Grundwasserneubildung in der Stadt verwendet werden.

### Indikatoren für Straßenverkehr- und Verkehrsinfrastruktur

Auswirkungen des Wetters, der Witterung oder des Klimas auf Verkehr und Verkehrsinfrastruktur können durch

- Verkehrsbehinderungen auf Grund von Stürmen und anderen Extremereignissen - z. B. Zeiträume von Straßensperrungen (Einheit min/km/a)
- Verkehrsbehinderungen auf Grund von Wetterphänomenen (Frost, ...), Zeiträume (Anzahl Tage) mit klimabedingten Ausfällen der Verkehrsinfrastruktur
- Zahl der Unfälle mit Wetter-/Klimahintergrund  
Dieser Index ist quantitativ schwer zu fassen. In vielen Fällen dürfte eher die nicht an das Wetter angepasste Geschwindigkeit der eigentliche Grund für Unfälle sein und nicht das Wetter selbst.

## 4.9 Fazit Kapitel 4

Die Fülle der im vorstehenden Kapitel aufgeführten Aspekte macht deutlich, dass die Problematik „Klimawandel“ von praktisch allen Experten aller betrachteten Sektoren der Landnutzung im Modellraum wahrgenommen wird und vielfach in die tägliche Arbeit einfließt. Eine Vielzahl von Gefährdungen - und weit weniger Chancen - werden im Zusammenhang mit dem Klimawandel gesehen. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass von Seiten der Experten kaum einmal angemahnt wurde, dass die vorliegenden Szenarien oder Projektionen des Klimawandels zu unpräzise oder zu vage seien. Anscheinend ist es so, dass bereits die aktuellen quantitativen Angaben der Szenarien ausreichen, um Gefährdungen etc. abschätzen zu können. Oft dürfte es wohl so sein, dass die Reaktionen der Betrachtungsobjekte auf eine Klimaänderung bei weitem nicht so exakt quantifizierbar sind, wie die von den Meteorologen bereitgestellten Klimawandelprojektionen. Es wäre sicher einmal interessant, sich wissenschaftlich mit dieser Fragestellung zu beschäftigen. Möglicherweise wird aber auch – bewusst oder unbewusst – die Unsicherheit, mit der Projektionen behaftet sein müssen (siehe 1.1) akzeptiert.

Eine ganze Reihe von Aspekten, beispielsweise befürchtete Probleme mit der Trinkwasserversorgung, Bodenerosion oder die Ausbreitung von Neobiota wird in unterschiedlichen Sektoren wahrgenommen und im jeweiligen fachlichen Kontext bewertet. Hierdurch finden sich zwar Überschneidungen und teilweise Redundanzen im Bericht, diese wurden aber mit Absicht nicht entfernt, um das Meinungsbild, das durch die Expertengespräche entworfen wird, nicht zu verfälschen. Außerdem erhält eine von unterschiedlichen Seiten gemachte Beobachtung sicher mehr Gewicht.

Nur in einigen wenigen Fällen, wie der Gefährdung „Bodenerosion“ oder der Einschätzung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Wasserentnahme auf das Grundwasser, weichen die Bewertungen der Fachleute unterschiedlicher Sektoren teilweise voneinander ab. Dies ist sicher zum Teil mit einer fachbezogenen Sicht auf die Problematik zu erklären, weit wichtiger ist aber wohl, dass es sich in den genannten Fällen um Prozesse handelt, die in der Praxis äußerst schwer zu quantifizieren sind und es wohl auch fraglich ist, ob ein Einfluss des Klimawandels in absehbarer Zeit überhaupt nachgewiesen werden kann.

Die im Aufbau befindlichen Hochwassergefahrenkarten der Wasserwirtschaftsverwaltung (Kapitel 4.3.2) zeigen - vorerst unabhängig von Einflüssen des Klimawandels - auf eine neue Art flächendeckend und flächenscharf Gefährdungen durch Hochwasser unterschiedlicher Dimensionen auf. Das Erarbeiten von Gefahrenkarten könnte sicher auch für andere Landnutzungssektoren die regional und lokal unterschiedlichen Gefährdungen herausarbeiten. So wären beispielsweise Hagelgefährdungskarten für die Landwirtschaft denkbar. Bei den Expertengesprächen wurden aber nur wenige dahingehenden Aktivitäten erwähnt. Lediglich die vom RP Freiburg (Landesbodenkunde) erarbeiteten digitalen Bodenkarten 1:50.000 können auch zur Darstellung beispielsweise der Erodierbarkeit des Oberbodens verwendet werden<sup>46</sup> und für den Wintersport in Baden-Württemberg wurden - allerdings sehr kleinmaßstäbliche - Prognosekarten für die Schneedeckendauer und Beschneibarkeit für den heutigen Zustand und das Jahr 2025 erarbeitet (Abbildung 4-27), die ebenfalls als Gefahrenkarten angesehen werden können. Auch die an der FVA entwickelten Baumarteneignungskarten (siehe 5.2) weisen zukünftige Gefährdungen der Forstwirtschaft aus.

---

<sup>46</sup> mündl. Mitteilung Ltd. Geologiedir. Dr. W. Fleck

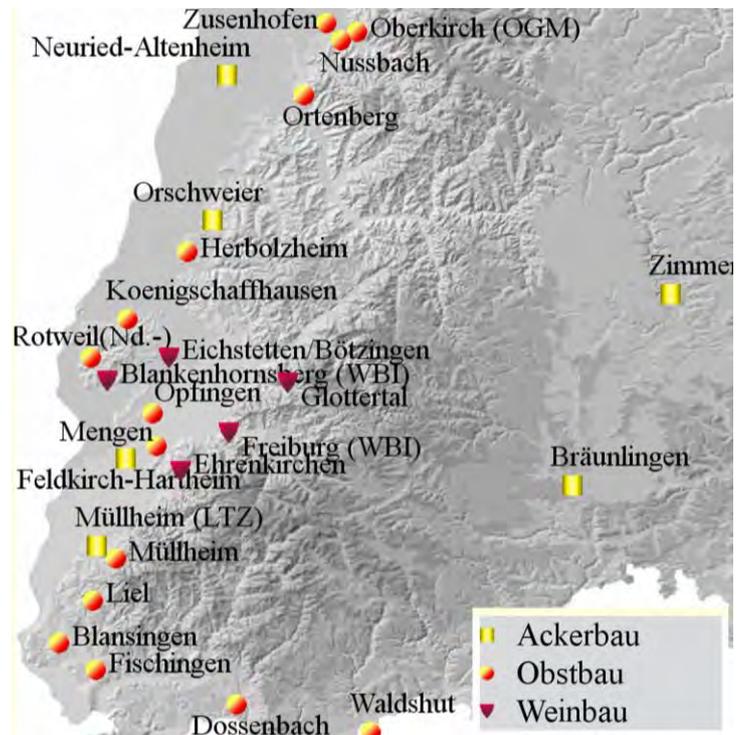
# 5 Monitoring im Modellgebiet

In diesem Kapitel wird ermittelt, welche Monitoring-Aktivitäten im Gebiet betrieben und welche Parameter hierbei erfasst und überwacht werden. Im folgenden Text wird eine Übersicht gegeben; weitere Angaben zu Daten und Datenhaltern einschließlich Ansprechpartnern und Internet-Adressen finden sich im Anhang.

## 5.1 Landwirtschaft

### Bestehendes Monitoring

**Landwirtschaftliche Wetterstationen:** 1989 wurde mit dem Aufbau eines Messnetzes von Stationen begonnen, um Informationen für den Pflanzenschutz (Schorfwarnung) im Obstbau bereitzustellen. Inzwischen werden landesweit 55 Obstbau-, 11 Weinbau- und 30 Ackerbaustationen betrieben. Neben den „klassischen“ Wetterelementen Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Niederschlag werden dort auch Bodentemperatur und Blattnässe sowie an manchen Weinbau-Stationen auch die UV-Strahlung gemessen. Die zeitliche Auflösung beträgt 10 Minuten (HINTEMANN et al. 2011). Die Werte sind im Internet einsehbar (<http://www.wetter-bw.de/index.php>).



**Abbildung 5-1:**  
Messnetz der LTZ Augustenberg im Südwesten Baden-Württembergs (Quelle LTZ)  
[<http://www.wetter-bw.de/zustand.php>]

**Monitoring landwirtschaftlicher Schädlinge:** Seit 2007 betreibt die LTZ Augustenberg ein Monitoringnetz für den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*). Es werden Maiszünslerfänge von insgesamt 72 Stationen doku-

mentiert, hiervon liegen 6 Stationen im Modellgebiet oder im näheren Umfeld. Die Daten der Maiszünslerfänge sind im Internet verfügbar<sup>47</sup>. Seit 2010 werden auch Fänge des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera*), der vorläufig nur im Ober- und Hochrheintal auftritt, dokumentiert<sup>48</sup>.

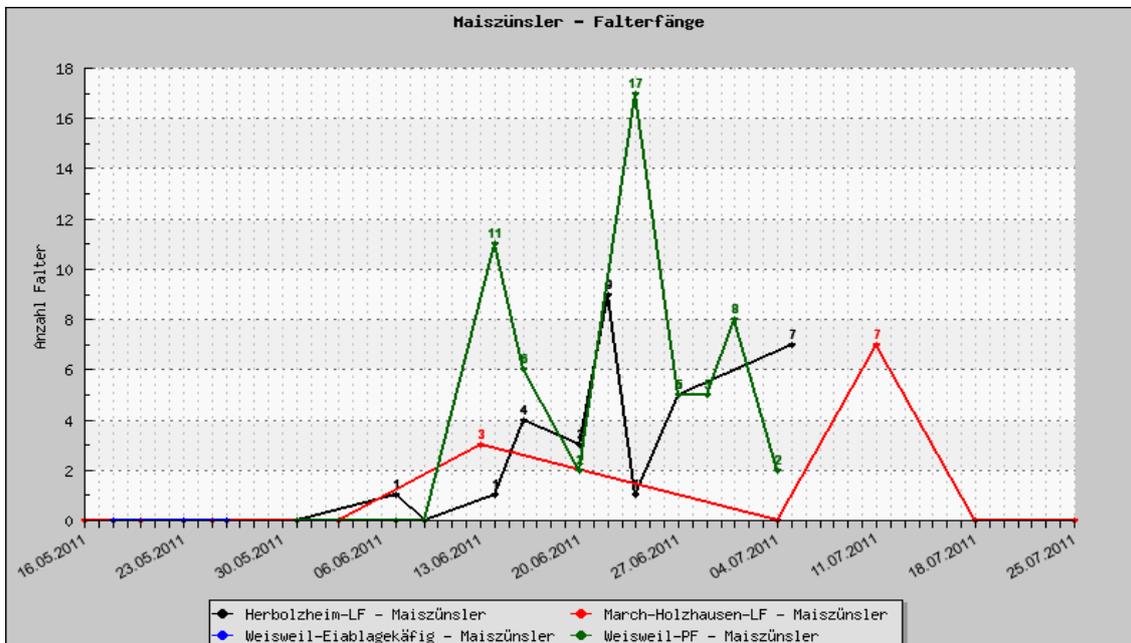


Abbildung 5-2: Maiszünsler-Monitoring der LTZ Augustenberg für das Jahr 2011 (Quelle: <http://www.wetter-bw.de/schaderreger/maiszuensler/index.php>)

Es werden **phänologische Daten** wie Rebblüte, Reifebeginn der Trauben und die Lesetermine durch das Staatliche Weinbauinstitut in Freiburg erfasst. Des Weiteren wird dort die Anzahl von „normalen“ einbindigen Traubenwicklern und bekreuzten Traubenwicklern durch Fänge in Pheromonfallen ausgewertet<sup>49</sup>.

Es gibt Statistiken für **Anbauflächen** und **Erträge von Feldfrüchten** für Baden-Württemberg.

### Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten

Von den Landwirtschaftsexperten wurden keine Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten gemacht.

<sup>47</sup> <http://www.wetter-bw.de/schaderreger/maiszuensler/index.php>

<sup>48</sup> <http://www.wetter-bw.de/schaderreger/maiswurzelbohrer/2011/index.php>

<sup>49</sup> Der bekreuzte Traubenwickler war früher nur in geringer Anzahl vorhanden und tritt nun stärker auf, da er mehr Wärme benötigt als der „normale“ Traubenwickler (siehe 4.1.1.2).

## 5.2 Forstwirtschaft

### Bestehendes Monitoring

In Baden-Württemberg wird ein landesweites und flächendeckendes Forstliches Umweltmonitoring in zwei Netzen betrieben, das in ein EU-weites Monitoringprogramm eingebunden ist. Es gibt Systeme von Rasterstichprobepunkten (Level 1) und Versuchsflächen (Level 2).

Die **Rasterstichproben** sollen repräsentative Ergebnisse für alle Waldflächen des Landes und für einzelne Wuchsgebiete liefern. Die Untersuchungen werden unabhängig von Baumalter, Bestandesstruktur oder sonstigen Kriterien auf allen im Wald liegenden Schnittpunkten von Gittern unterschiedlicher Rasterweiten durchgeführt. Vor 2005 wurden versuchsweise Waldschadensinventuren auf den Probepunkten von 16 x 16 km, 8 x 8 km und 4 x 4 km-Netzen mit wechselnder Intensität aufgenommen. Seit 2005 wird einheitlich das 8 x 8-km-Netz zugrunde gelegt; ungefähr 10 Probepunkte dieses Netzes liegen im Modellgebiet (siehe Abbildung 5-3). Es werden folgende Untersuchungen durchgeführt (FVA 2011):

- Die **Terrestrische Waldschadensinventur (TWI)**  
untersucht jährlich die Vitalität der Bäume anhand des Kronenzustands. Als Indikatoren dienen Belaubungsdichte und die Vergilbung der Blätter. Außerdem werden Schäden durch Insekten oder abiotischen Faktoren wie Frost, Trockenheit, Mistelbefall oder die Intensität der Fruchtbildung aufgenommen. Im Jahr 2011 wurden im Rahmen der TWI 283 Probepunkte bearbeitet.
- Die **Bodenzustandserhebung (BZE)**  
untersucht relevante bodenchemische Eigenschaften der Waldböden (bisher in den Jahren 1990/91 und 2006/08)
- Die **Ernährungsinventur**  
ist Teil der BZE. Es werden das Baumwachstum und Nährstoffgehalte in den Blättern von Fichten, Tannen und Buchen untersucht (seit 1983, im Abstand von 5 - 6 Jahren)

Das Netz der **Versuchsflächen** ist nicht regelmäßig, sondern so angelegt, dass alle Naturräume und Hauptbaumarten repräsentiert werden und unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte bearbeitet werden können. Auf den dauerhaft mit Messinstrumenten bestückten Flächen laufen prozessorientierte Untersuchungen. Hierzu gehören Dauerbeobachtungsflächen für den Kronenzustand der Hauptbaumart, ein Netz von 19 Depositions-Messflächen, sechs Flächen zur Messung von Stoffflüssen, Waldwachstumsversuchsflächen sowie Wetterstationen (FVA 2011). Die Versuchsflächen sind 50 x 50 m groß und liegen in Beständen mit über 60 Jahre alten Bäumen.

Seit 2008/09 werden auch Einflüsse des Klimawandels auf den Versuchsflächen betrachtet, hierzu wurden neben den bereits bestehenden Fichtenflächen teilweise auch Buchenflächen angelegt. Eine dieser Flächen, der „Conventwald“, liegt knapp außerhalb des Modellraums circa 9 km nordwestlich von Freiburg in einem Bannwald und NSG auf circa 780 - 850 m ü NN. Sie ist in Abbildung 5-3 (rechts) mit einem Stern markiert. Von den Versuchsflächen Baden-Württembergs sind insgesamt fünf Intensivmessflächen mit jeweils einem Fichten- und einem Buchenplot in das Europäische Umweltmonitoring-Programm „FutMon, IM1“ (Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System) eingebunden.

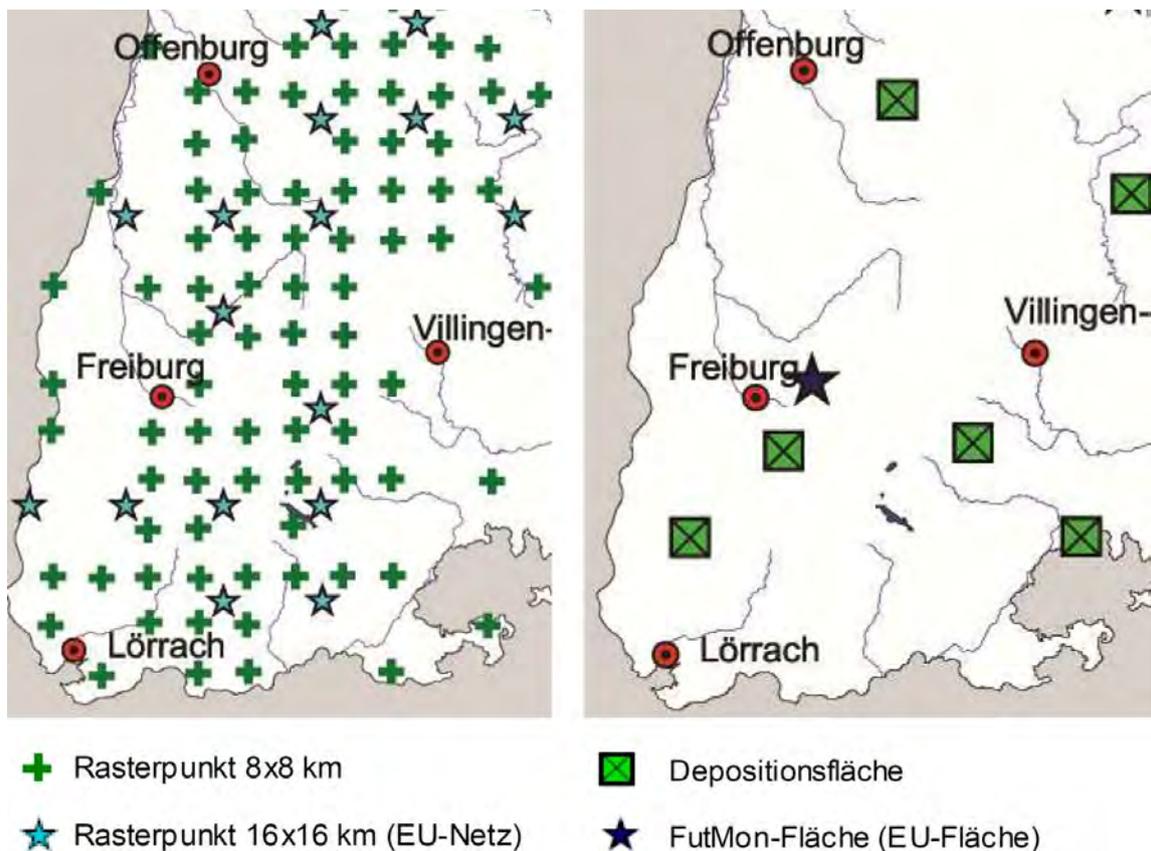


Abbildung 5-3: Forstliches Monitoring im südwestlichen Baden-Württemberg, Lage der Stichprobepunkte und Versuchsflächen; Quelle: FVA (2011), verändert

Neben dem Netz der Stichprobepunkte und Versuchsflächen, das nur zum Teil Daten mit Bezug zu Klima und Klimawandel erhebt, werden von der Forstverwaltung weitere Indikatoren erfasst.

- In den Waldschutzberichten werden die Daten der **zufälligen Nutzungen** und **Schadholzmengen** durch Sturm, Schnee, Insekten etc. (siehe 4.2.1) für das ganze Land und für unterschiedliche Organisationseinheiten (z. B. alte Forstämter, Landkreise, Stadtwald Freiburg) dokumentiert. Diese Daten werden im Rahmen der Forsteinrichtung alle 10 Jahre erfasst. Die Forsteinrichtungs-Statistik zeichnet auch die Veränderungen im Waldzustand nach.
- Im Staatsforstbetrieb und vielen kommunalen Forstbetrieben werden **Schadholzmengen** auch in der Holzmassen-/Einschlagsbuchführung systematisch erfasst.
- Lange Zeitreihen von **Daten aus ertragskundlichen Versuchsflächen** sind bei der FVA verfügbar. Es wird aktuell versucht, aus dem beobachteten Baumwachstum Einflüsse der Klimaveränderung herauszufiltern.
- Des Weiteren finden an der FVA Untersuchungen der **Baumarteneignung** und der Veränderung der Baumarteneignung und der Risikoeinschätzung mit einem EU-weiten Datensatz statt. Es wird versucht, Konsequenzen für den Klimawandel abzuleiten, Baumarteneignungskarten für Fichte und Buche liegen bereits vor (HANEWINKEL et al. 2010).
- Durch ein **Borkenkäfermonitoring** der FVA Baden-Württemberg an drei repräsentativen Standorten in unterschiedlicher Höhenlage mit Pheromonfallen werden Informationen über Flugzeiten und Aktivitäten dreier wichtiger Borkenkäferarten gewonnen. Da Flugaktivitäten der Käfer vor allem von der Großwetterlage abhängen, reichen die drei Standorte aus, so dass für die Forstpraxis Hinweise zur Bekämpfung gegeben werden können.
- Das Regierungspräsidium Freiburg führt eine Statistik über **Waldbrände** nach Fläche und Ursache.

### **Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten**

Bislang noch nicht systematisch betrieben wird die Beobachtung und periodische Auswertung der Daten von Bannwaldflächen oder Naturwaldzellen, um Erkenntnisse über Veränderungen zu gewinnen und zu überprüfen. Hierbei könnte die Entwicklung der krautigen Vegetation aufschlussreicher sein, da diese schneller und früher reagieren kann. Reaktionen der Bäume können nur sehr langfristig beobachtet werden. Es gibt Überlegungen, ein solches Monitoringsystem aufzubauen.

Auf EU-Ebene gibt es Initiativen, das Forstliche Umweltmonitoring an den Stichprobenpunkten der Waldzustandserhebung zu intensivieren und auf einem Teil der Stichprobenpunkte die Erhebungstiefe auszubauen.

## 5.3 Wasserwirtschaft

### Bestehendes Monitoring

Der Sektor Wasserwirtschaft erhebt zurzeit im Modellgebiet folgende Daten:

- Daten über **Grundwasserstände** liegen sowohl bei der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), dem Regierungspräsidium Freiburg und der Stadt Freiburg vor. Auch der Wasserversorger Badenova betreibt ein eigenes Messnetz (Wasserqualität, Niederschläge usw. werden hier gemessen) und die Schluchseewerke haben eigene Pegelmessstellen.
- **Abflüsse der Oberflächengewässer** (Pegel-Daten, z. B. Ebnet, Falkensteig) sind ebenfalls bei der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg vorhanden. Auch **Grundwasserzutritte** werden hier gemessen. Durch die Messung der **Quellschüttungen** kann das Schwanungsverhalten der Grundwasseraustritte sichtbar gemacht werden.
- Das Landratsamt Freiburg verfügt über **Daten der Grundwasserentnahmen** im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald. Statistiken über die Grundwasserentnahme sind sehr schwierig aufzubereiten, da die Entnahmemenge vom Witterungsverlauf abhängig ist. Beim Landratsamt Freiburg können Aussagen darüber gemacht werden, wie stark (prozentual) die Grundwasserleiter durch Nutzungen beansprucht werden.
- Des Weiteren sind hier Statistiken über **Wasserkraftanlagen** vorhanden.
- Das Regierungspräsidium Freiburg ist für die **Hochwassergefahrenkarten** zuständig (siehe 4.3.2).
- Für **Hochwasserrückhaltebecken** gibt es Vorschriften, dass Niederschläge gemessen werden und teilweise auch die **Abflüsse**.

### Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten

Die von den Experten der Wasserwirtschaft gemachten Vorschläge und Anregungen beziehen sich überwiegend auf die Auswertung vorhandener Daten unter dem Aspekt Klimawandeleinfluss und weniger darauf, zusätzliche Daten zu erheben.

- Es wäre interessant, innerhalb langjähriger Zeitreihen von Pegeldaten (Abfluss Oberflächengewässer und Wasserstand Grundwasser) längere Perioden miteinander zu vergleichen, könnte (z. B. 1960-80, 1960-90, 1990-2011), ein Vergleich wäre auch interessant, um veränderte Klimafaktoren in dieser Zeit aufzuspüren.
- Auch die Pegeldaten des Pumpspeicherwerks der Schluchseewerke sollten im Hinblick auf mögliche Tendenzen aus dem Einfluss des Klimawandels ausgewertet werden.
- In Bezug auf den Erhalt des ökologischen Zustandes der Oberflächengewässer (EU-Wasserrahmenrichtlinie) wäre es interessant zu überprüfen, ob sich Trends der Bewertung der chemische Güte bei unterschiedlichen niedrigen Wasserständen (Niedrigwasser, Mittelwasser) abzeichnen
- Liegen längere Zeitreihen der Abflüsse aus Hochwasserrückhaltebecken vor, so können (Stark-) Niederschläge und ihre Einflüsse auf das Abflussverhalten auch kleinräumig besser erfasst werden.

## 5.4 Naturschutz

### Bestehendes Monitoring

Vom Umweltschutzamt der Stadt Freiburg wird kein Monitoring in Bezug auf Indikatoren, die im Klimawandel relevant sind, betrieben, auch beim Landratsamt Emmendingen gibt es kein planmäßiges Monitoring. Daten werden meist von der höheren Naturschutzbehörde (RP Freiburg) erhoben und verwaltet.

- Im Auftrag des RP Freiburg (Referat 56) werden bestimmte **Lebensraumtypen** der FFH-Richtlinie in den Managementplänen zur Festlegung von Referenzflächen kartiert.
- Die LUBW ist landesweit zuständig für das Monitoring von **Natura-2000-Arten** (Artenmonitoring).
- Das Naturkundemuseum Karlsruhe erfasst das erste Auftreten **wärmeliebender Schmetterlingsarten** im Frühjahr.

Neben den Naturschutzbehörden befassen sich unterschiedliche Naturschutzorganisationen oder Einzelpersonen mit der Beobachtung einer Vielzahl von Tierarten oder -artengruppen sowie seltener auch Pflanzenarten. Beispiele hierfür sind:

- **Wintervögel** (Überwinterungsgäste, Durchzügler) und Gartenvögel werden durch den NABU in einer Aktion beobachtet und gezählt, auch die Fachschaft Ornithologie Südlicher Oberrhein erhebt Vogeldaten in der Region.
- Der Verein Lepiforum e. V.<sup>50</sup> betreibt eine Internetplattform von Spezialisten und Laien, in der sich unter anderem viele Nachweise von **Schmetterlings-Arten** finden und auch phänologische Aspekte (erstes Auftreten etc.) diskutiert werden.
- Die Schutzgemeinschaft **Libellen**<sup>51</sup> betreibt kein gezieltes Monitoring bestimmter Arten oder auf den Klimawandel bezogen, hält aber eine Datenbank vor, in der circa 20.000 Datensätze gespeichert sind, die von ehrenamtlichen Mitarbeitern gesammelt werden. Es sind (überwiegend seit circa 1990) Angaben zum Vorkommen von Arten für ganz Baden-Württemberg enthalten, die auch im Hinblick auf Arealveränderungen ausgewertet werden könnten. Diese wurden teilweise auch schon publiziert.
- In der Vergangenheit wurden regelmäßige Kartierungen der **Pflanzenbestände** im Gebiet durch Hr. Kopp durchgeführt, dieser ist inzwischen aber verstorben. Hierzu gibt es handschriftliche Berichte (RP Freiburg, Referat 56). Auch die Botanische Gesellschaft in Südwestdeutschland (angesiedelt beim Naturkundemuseum Stuttgart) besitzt Daten aus dem Raum rund um Freiburg.

Weitere Datenhalter finden sich einschließlich Ansprechpartnern und Internetadressen im Anhang.

---

<sup>50</sup> <http://www.lepiforum.de/>

<sup>51</sup> Ansprechpartner: Dipl.-Biol. W. Röske

## Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten

Von der höheren Naturschutzbehörde (RP Freiburg, Referat 56) werden folgende Monitoringaktivitäten für notwendig erachtet:

- Es sollte genauer beobachtet werden, wie sich **Areale und Bestände von Arten** verändern, konkret vor allem im Hinblick auf Klimaveränderungen. In diesem Zusammenhang könnten beispielsweise die Arten Braun- und Schwarzkehlchen (*Saxicola rubetra*, *S. rubicola*) näher untersucht werden.
- Man müsste entlang der **Einwanderungswege** über die burgundische Pforte beobachten, welche Arten zu welchem Zeitpunkt neu auftreten. Bei den Vögeln ist das Beobachtungsnetz im Vergleich zu anderen Artengruppen relativ eng, die Daten sind jedoch meistens nicht ausgewertet.
- Es ist zurzeit nicht bekannt, ob Limnologen bereits Informationen über die Verschiebung der Regionen **kaltstenotheimer Fischarten** besitzen.

## 5.5 Bodenschutz

### Bestehendes Monitoring

Im Jahr 2004 wurde vom RP Freiburg (Referat 93 - Landesbodenkunde) eine bislang einmalige Erhebung zu **Humusgehalten** an 20.000 landesweit verteilten Standorten vorgenommen, um den Status quo zu ermitteln.

Weiterhin betreibt die LUBW in Baden-Württemberg ein Netz von **Boden-Dauerbeobachtungsflächen**, die auch der Bodendauerbeobachtung dienen. Mehrere Standorte liegen im Modellgebiet oder unmittelbarer Nachbarschaft (z. B. Feldberggipfel, Mooswald bei Freiburg, Rheinauen).

Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) betreibt eine bundesweite **Bodenzustandserhebung** auf landwirtschaftlichen Flächen (BZE-LW)<sup>52</sup>, die der Ermittlung der Humusgehalte (Kohlenstoffstatus) in agrarisch genutzten Böden dient. Es werden auch 293 Standorte in Baden-Württemberg untersucht. Da diese Erhebung erst 2010 startete, werden erst in einigen Jahren Aussagen zu Veränderungen möglich sein.

### Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten

In einem gewissen zeitlichen Abstand könnte die landesweite Aufnahme der **Humusgehalte** wiederholt werden, um Veränderungen zu quantifizieren.

---

<sup>52</sup> [http://www.vti.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/ak/projekte/bodenzustandserhebung-landwirtschaft.html](http://www.vti.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/ak/projekte/bodenzustandserhebung-landwirtschaft.html)

## 5.6 Gesundheitswesen

### Bestehendes Monitoring

In Bezug auf die Vergangenheit und die Gegenwart sind kleinräumige Daten (auf Landkreisebene), die belegen könnten, dass der Klimawandel im Modellraum Probleme für die menschliche Gesundheit verursacht, beim Landratsamt Emmendingen nicht vorhanden.

- Meldepflichtige **Infektionserkrankungen** werden von Krankenhäusern und Altenpflegeheimen erfasst
- Die kleinräumig - auf Landkreisebene - erhobenen Fallzahlen zu **Lebensmittelinfektionen** (Salmonellen, EHEC, ...) und vektorübertragenen Erkrankungen (FSME, Borreliose, ...) sind so niedrig und streuen auch teilweise so stark, dass keine statistisch sicheren Ableitungen von Trends durchführbar sind.
- Zu **Allergien** sind in den Landratsämtern keine Daten vorhanden. Es gibt aber hierzu Daten bei den Krankenversicherungen, beispielsweise über die Häufigkeit der Diagnosestellung. Weiterhin wurden punktuelle Studien durchgeführt, um die Zunahme von Allergien in der Bevölkerung zu erfassen; die Daten wurden vom Landesgesundheitsamt ausgewertet (siehe 4.6.1 und 4.6.2).
- Auch zu Todesfällen in Folge von **Hitzestress** gibt es keine kleinräumigen Auswertungen. Die Daten liegen beim Statistischen Landesamt vor, eine elektronische und verwertbare Erfassung gibt es bisher nicht. Es gibt daher auch landesweite Statistiken für Baden-Württemberg über zusätzliche Todesfälle im Sommer 2003 (siehe 4.6.1.1), kleinräumig gibt es solche Statistiken jedoch nicht. Auch vom Bundesamt für Bauwesen gibt es eine Publikation über Hitzetote in Deutschland.
- Ab 2012 gibt es eine neue Meldeverordnung für Todesfälle

### Vorschläge für weitere Monitoringaktivitäten

Es werden Vorschläge zur weiteren und auf den Klimawandel bezogenen Auswertung vorhandener Daten und die Kombination von Datensätzen gemacht:

- Eine Zusammenführung und ein Vergleich von Wetterdaten mit Behandlungsdaten könnte möglicherweise vorhandene Korrelationen zwischen **Wetter** oder Witterung (Hitze, Schwüle, ...) und **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** aufdecken.
- Weiterhin könnten Wetterdaten mit den Daten der gesetzlichen Krankenkassen und des medizinischen Dienstes verschnitten werden, um Korrelationen zwischen **Hitzeperioden** wie dem Hitzesommer 2003 und der Anzahl von Arztbesuchen oder Arztkosten in solchen Zeiträumen zu quantifizieren.

Zusammenführung und Abgleich von kleinräumig erhobenen Daten, beispielsweise der Krankenkassen und des Landratsamtes zu meldepflichtigen Situationen scheitern bislang am Datenschutz, an technischen Gegebenheiten und an der personellen Ausstattung.

## 5.7 Tourismuswirtschaft

Im Sektor Tourismus wird kein fachspezifisches Monitoring im Hinblick auf den Klimawandel betrieben. Es liegen jedoch landesweite Daten über die **Nutzung von Freizeiteinrichtungen** durch Bevölkerung und Gäste vor, die von den 12 baden-württembergischen Industrie- und Handelskammern seit dem Jahr 2000 erhoben und jährlich in einem „IHK-Freizeitbarometer Baden-Württemberg“ veröffentlicht werden. Öffentlich zugänglich<sup>53</sup> sind nur landesweit aggregierte Daten, um die Anonymität der Freizeiteinrichtungen zu wahren. Jedoch müssen den IHK zumindest Daten auf der räumliche Ebene der IHK-Bezirke vorliegen. Die teilnehmenden Betriebe sind in folgende Kategorien eingeteilt (BWIHK 2004):

1. Verkehrsträger: 1.1 Ausflugschiffe, 1.2 Bergbahnen, 1.3 Ausflugsbahnen und private Eisenbahnen
2. Museen: 2.1 Museen, 2.2 Freilichtmuseen
3. Burgen, Schlösser und sakrale Bauten
4. Bäder: 4.1 Thermal- und Heilbäder, 4.2 Erlebnisbäder, 4.3 Schwimmbäder (Hallen-/Freibad)
5. Parks: 5.1 Wildparks, Zoos, 5.2 Freizeitparks, 5.3 Botanische Gärten
6. Landschaftsattraktionen: 6.1 Höhlen, 6.2 Besucherbergwerke, 6.3 Naturerlebnis
7. Veranstaltungen: 7.1 Musik-Events, 7.2 Sport-Events, 7.3 Sonstige Events und Feste, 7.4 Werksführungen und sonstige Führungen, 7.5 Stadtführungen
8. Theater: 8.1 Naturtheater/Freilichtspiele, 8.2 Theaterhäuser
9. Sportangebote/Sportstätten

**Übernachtungszahlen** in gewerblichen Beherbergungsbetrieben werden durch das Statistische Landesamt Baden-Württemberg erhoben. Auch hier könnte eine Korrelation mit Wetter-/Klimadaten weitere Aufschlüsse über mögliche Klimaeinflüsse bringen.

## 5.8 Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur

### Stadt Freiburg

Ein Monitoring zu Klimaeinflüssen in der Stadt wird in Freiburg nur insofern betrieben, als dass Untersuchungen zu **thermischem Komfort** und **thermischer Belastung** der Bevölkerung in Freiburg im Rahmen des KLIMES- Forschungsprojekts (MAYER 2008, MAYER et al. 2008) durchgeführt wurden (siehe 4.8.2).

### Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

Die zur Verkehrsinfrastruktur befragten Experten halten zurzeit eine Datenerfassung und Dokumentation im Hinblick auf Auswirkungen des Klimas im Modellgebiet für nicht notwendig.

---

<sup>53</sup> [http://www.bw.ihk.de/index.php?id=70&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=628&tx\\_ttnews\[backPid\]=1&cHash=f2290cf44d](http://www.bw.ihk.de/index.php?id=70&tx_ttnews[tt_news]=628&tx_ttnews[backPid]=1&cHash=f2290cf44d)

# 6 Konzeption eines regionalen Monitoring

## 6.1 Das Indikatorensystem

Aus den Gesprächen mit den Experten, teilweise ergänzt mit Literaturangaben (Kapitel 4.) ergab sich eine Fülle von Hinweisen auf Indikatoren, die zur Beschreibung und Quantifizierung

- a) der Klimaeinflüsse auf die Landnutzungssektoren im Modellraum (Impact-Indikatoren) sowie
- b) der Wirkung von Anpassungsmaßnahmen des jeweiligen Sektors (Response-Indikatoren)

für ein regionales Monitoringsystem in Frage kommen und herangezogen werden können. Ein praxisnahes, praktikables und an Kosten und Nutzen orientiertes Monitoringkonzept wird nicht alle diese Faktoren aufgreifen und berücksichtigen können. Im folgenden Abschnitt wird deshalb eine Auswahl von uns für das Modellgebiet geeignet gehaltenen Indikatoren zur Diskussion gestellt.

Aus dem Vergleich der in Kapitel 4. identifizierten Prüfgrößen und der bestehenden Monitoring-Aktivitäten kann der Bedarf zur Adaption des bestehenden Monitoring-Netzes ermittelt werden. Welche Daten im Land oder speziell im Modellgebiet bereits erhoben werden, ist in Kapitel 5. aufgeführt; es sind schon heute sehr viele. Deshalb ist bei der Konzeption des regionalen Monitoring zu differenzieren:

- Wo reicht es aus, bestehende Monitoring-Systeme oder -Netze zu nutzen und „nur“ die als Indikatoren in Frage kommenden Daten, die bereits erhoben werden, in ein zentrales System zu überführen und dort zu verwalten? Möglicherweise müssen zur Verwendung als Indikatoren vorhandene Datensätze unter neuen Gesichtspunkten ausgewertet oder mit anderen Daten verschnitten werden.
- Wo sollte das bestehende Monitoring erweitert werden, um zusätzliche Daten zu erheben? Weiterhin stellt sich natürlich die Frage, wer diese Daten erheben soll.

Geeignete Indikatoren müssen (nach SCHÖNTHALER et al. 2011)

- einen möglichst engen Bezug zum Thema Klimawirkungen und Anpassung haben,
- wissenschaftlich akzeptiert sein,
- das Gefüge von Ursache und Wirkung erkennen lassen,
- Zusammenhänge zwischen Einflüssen und Anpassungsmaßnahmen deutlich machen und
- umsetzbar sein, sich also aus verfügbaren Daten ableiten oder berechnen lassen.

Letzter Aspekt ist im vorliegenden Projekt nicht von ausschlaggebender Bedeutung, da auch Vorschläge für die Erfassung „neuer“ bislang nicht beachteter Indikatoren möglich sind.

Das nachfolgende System ist in Einfluss-(Impact-) Indikatoren und Anpassungs-(Response-) Indikatoren gegliedert. Klimawandel-Indikatoren (Impact-Indikatoren) werden auch dann aufgenommen, wenn die Einflüsse des Klimawandels auf einen Sektor bislang nur bedingt oder überhaupt nicht quantitativ fassbar und statistisch belegbar sind. Es wurde als ausreichend angesehen, wenn der Klimaeinfluss wahrscheinlich ist und von Fachleuten angenommen wird. Darüber hinaus ist oft das Klima nur ein Wirkfaktor in einem komplexeren Gefüge aus Einflüssen und Reaktionen. Auch bei den Anpassungs-(Response-) Indikatoren stellt sich die Frage ob ein direkter Bezug zwischen Klimawirkung und Anpassungsmaßnahme bestehen muss oder ob die „indirekte“ Klimawirkung ausreicht. Als Beispiel können Maßnahmen gegen Bodenerosion genannt werden, die schon länger in der Landwirtschaft thematisiert werden, aber unter dem Klimawandel möglicherweise eine neue Bedeutung erlangen können.

### 6.1.1.1 Landwirtschaft

Für den Sektor Landwirtschaft in der Modellregion wird folgender Indikatorensetz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>		<b>LWK-</b>	
Einflüsse auf die landwirtschaftliche Produktion	1	Verschiebung agrarphänologischer Phasen und Termine	b
	2	Hagelschäden	b
	3	Ausfälle durch Schädlinge und Krankheiten	b
	4	Erträge repräsentativer Feldfrüchte	b
	5	Qualität bestimmter Feldfrüchte und Produkte	b
	6	Anzahl der für Weidegang geeigneten Tage	z
Einflüsse der Landwirtschaft auf andere Schutzgüter	7	Nährstoffe/Nährstoffausträge in/aus landwirtschaftlichen Flächen	(b)
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>		<b>LWA-</b>	
Erhalt der Leistungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktion	1	Erträge repräsentativer Feldfrüchte	b
	2	Qualität bestimmter Feldfrüchte und Produkte	b
	3	Veränderung des Arten-/Sortenspektrums	(b)
	4	Flächen mit Hagelschutz	z
	5	Anteil (aus Tiefbrunnen) beregneter Flächen	z
Schutzmaßnahmen Boden	6	Flächen mit Erosionsschutzmaßnahmen	z
	7	Flächen mit bodenschonender Landwirtschaft	z
	8	Flächen mit ökologischer Landwirtschaft	(b)

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; z = zusätzlich zu erhebende Daten

In den Kapiteln 4.1.4.1 und 5.1 wird eine Reihe von agrarphänologischen Indices, Phasen und Terminen (Zeitpunkt der Reblüte, ...) genannt, die für die Modellregion oder einzelne Teilräume als Indikator für LWK-1 in Frage kommen. Entsprechend des jeweiligen räumlichen Bezugsrahmens können auch für Teilräume innerhalb der Modellregion die aussagekräftigsten Indices ausgewählt werden. Das Gleiche gilt auch für die Indikatoren LWK-4 „Erträge repräsentativer Feldfrüchte“ und LWK-5 „Qualität bestimmter Feldfrüchte und Produkte“. Diese Indikatoren dienen auch als Anpassungsindikatoren (LWA-1, -2).

In der Literatur (SCHÖNTHALER et al. 2011) wird u. a. auch die Entwicklung des Weizenpreises als Indikator genannt. Dieser ist jedoch, ebenso wie die Preise fast aller weiterer landwirtschaftlicher Produkte, auch von sehr vielen ökonomischen Faktoren beginnend beim lokalen Angebot bis hin zum Weltmarkt abhängig und wird daher nicht als geeigneter Indikator für Klimawirkungen angesehen.

## 6.1.1.2 Forstwirtschaft

Für den Sektor Forstwirtschaft wird folgender Indikatorensetz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>FWK-</b>		
Produktivität des Waldes	<b>1</b>	Zuwachs	b
Schadeinwirkungen auf den Wald	<b>2</b>	Zufällige Nutzung (Schadholzmenge Summe)	b
	<b>3</b>	Schadholzmenge Sturm	b
	<b>4</b>	Schadholzmenge Käfer etc.	b
	<b>5</b>	Schadholzmenge (Nass-) Schnee	b
	<b>6</b>	Schadholzmenge Trockenheit	(b)
	<b>7</b>	Verluste bei Saat, Pflanzung / Naturverjüngung (Trockenheit)	z
	<b>8</b>	Schäden durch Spätfröste	z
	<b>9</b>	Intensität Wildverbiss (nur relevante Baumarten?)	(b)
	<b>10</b>	Waldbrandfläche	z
Auswirkungen auf Standorteigenschaften	<b>11</b>	Unterwuchs (Kraut-, Strauchschicht) in Naturwaldzellen / Bannwäldern	(b)
Auftreten von Schädlingen	<b>12</b>	Befallsintensität mit Forstschädlingen	z
Auswirkungen auf forstl. Infrastruktur	<b>13</b>	Schäden an forstl. Infrastruktur	z
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>FWA-</b>		
Baumartenzusammensetzung	<b>1</b>	Anteil von Mischbeständen in der Produktionseinheit	(b)
	<b>2</b>	Umbau auf standortangepasste Arten	z
Produktion	<b>3</b>	Anteile angepasster Produktionsverfahren (verkürzte Umtriebszeit)	z
	<b>4</b>	Vorratsniveau	b

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; z = zusätzlich zu erhebende Daten

Beim Indikator „Befallsintensität mit Forstschädlingen“ (FWK-11) wäre abzustimmen, welche Arten am stärksten vom Wettergeschehen abhängen und wirtschaftlich am bedeutendsten sind (siehe 5.2).

Unter anderem wird in der Literatur (SCHÖNTHALER et al. 2011) die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten als Indikator vorgeschlagen. Das erscheint uns nicht als zielführend, da die Umstellung sehr langsam vorangeht und die Naturverjüngung unter anderem auch vom Bestand abhängt. Fehlen Samenbäume standortangepasster Arten in der Fläche oder in der Umgebung, kann es sehr lange dauern, bis diese Baumarten sich etablieren. Statt dessen kann die Entwicklung der Kraut- und Strauchschicht betrachtet werden, da sich hier Veränderungen sehr viel schneller manifestieren können.

### 6.1.1.3 Wasserwirtschaft

Für den Sektor Wasserwirtschaft wird folgender Indikatorensatz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>WWK-</b>		
Einflüsse auf das Grundwasser	<b>1</b>	Grundwasserstände	b
	<b>2</b>	Grundwasseramplitude	
	<b>3</b>	Entnahmen aus dem Grundwasser	z
	<b>4</b>	Quellschüttungen	z
	<b>5</b>	Grundwasserqualität	
Einflüsse auf Oberflächengewässer	<b>6</b>	Abflüsse: Hoch-/Niedrigwasser	b
	<b>7</b>	Abflüsse: Amplituden	z
	<b>8</b>	Wassertemperatur	z
	<b>9</b>	(Schad-) Stoffgehalte (O <sub>2</sub> -Sättigung, Ammonium, ...)	z
	<b>10</b>	Sedimenteintrag/-fracht in Fließgewässer	z
Einflüsse auf bauliche Einrichtungen	<b>11</b>	? - s. u.	z
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>WWA-</b>		
Bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz	<b>1</b>	Flächenanteil Regenwasserversickerung	z
	<b>2</b>	Fläche/Volumen Retentionsräume	z
	<b>3</b>	Anteil Bauwerke mit K-Faktor* (Deiche, Retentionsbecken, ...)	z
Hoch- und Niedrigwasserschutz	<b>4</b>	Anteil naturnaher Gewässerstrecken	z
	<b>5</b>	Bauwerke zur Abflussstabilisierung	z
Hochwassergefahren	<b>6</b>	hochwassergefährdete Flächen unterschiedl. Jährlichkeiten	(b)
	<b>7</b>	Hochwasserrisiken (Personen, Sachwerte)	z
Wasserversorgung	<b>8</b>	s. u.	

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; z = zusätzlich zu erhebende Daten

\*: K-Faktor = Klimaänderungsfaktor (KLIWA)

Bei den Indikatoren WWK-6 und WWK-7 können neben den im Vordergrund stehenden Hoch- und Niedrigwasserabflüssen (Häufigkeit, Ausmaß) auch Veränderungen der mittleren Abflüsse betrachtet werden. Weiterhin sind auch (jahres-)zeitliche Verschiebungen und Veränderungen der Abflüsse und Ganglinien-Amplituden interessant.

Die Wassertemperatur (WWK-8) ist, ebenso wie die Stoffkonzentrationen (WWK-9), vor allem in Niedrigwasserphasen und im Sommer von Bedeutung (siehe 5.3). Hier wäre ein ereignisgebundenes Monitoring (z. B. unterhalb gewisser Pegelwerte) vermutlich ausreichend.

Hinsichtlich der baulichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz (WWA-1 bis 3) könnten auch die entsprechenden Investitionssummen als Indikatoren herangezogen werden (siehe SCHÖNTHALER et al. 2011), dieser Indikator ist zwar sehr gut quantifizierbar, er lässt jedoch lediglich Aussagen über den in einem Raum betriebenen absoluten Aufwand zu. Auf Flächen oder Strecken bezogene relative Angaben machen aber den tatsächlichen Anteil besser deutlich. So kann beispielsweise an einen kleinen Fließgewässer mit relativ geringem finanziellen Aufwand ein flächendeckender Hochwasserschutz erreicht werden, während möglicherweise an einem großen Fließgewässer selbst mit hohem finanziellem Einsatz nur - relativ gesehen - geringe Erfolge erzielt werden können.

Eine laufende Fortschreibung der Hochwassergefahrenkarten kann zukünftig auch für die Ziele des Projektes KLIMOPASS – nämlich ein Monitoring von Klimaanpassungsmaßnahmen – genutzt werden. In den Gefahrenkarten dokumentierte Veränderungen der Hochwasserschutzmaßnahmen wie etwa Deiche oder Rückhaltebecken geben somit auch den Grad der Anpassung wieder. Als Anpassungs-Indikatoren könnten dann beispielsweise die berechnete Ausbreitung bestimmter Hochwasser-Jährlichkeiten in sensiblen Flächen (Siedlung, Landwirtschaft, ...) oder Überflutungshöhen solcher Flächen herangezogen werden.

Weitere relevante Themenfelder der Wasserwirtschaft, für die aber zurzeit keine geeigneten Indikatoren gesehen werden, sind

- Einflüsse auf die eigenständige Wasserversorgung und Anpassungsmaßnahmen zur Sicherstellung der dezentralen Wasserversorgung
- Einflüsse auf die Funktion der Abwassersysteme (Kanalisation, Regenrückhaltebecken)
- Einflüsse auf Hochwasserschutzanlagen (verstärkte Erosion von Deichen etc.)
- Themenfeld nachhaltige Landnutzung als Anpassungsmaßnahme

Hier wird weiterer Forschungsbedarf gesehen.

#### 6.1.1.4 Naturschutz

Für den Sektor Naturschutz in der Modellregion wird folgender Indikatorensetz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>NSK-</b>		
Einflüsse auf Vorkommen und Ausbreitung von Arten	<b>1</b>	Vorkommen und Populationsgröße wärmeliebender Tierarten	(b)
	<b>2</b>	Katastrophale Ereignisse für lokale Populationen	z
	<b>3</b>	Gehölzsukzession auf Offenland	(b)
Einflüsse auf die Entwicklung von Arten	<b>4</b>	Veränderung phänologischer Termine und Phasen	b
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>NSA-</b>		
Maßnahmen zum Erhalt von Arten, Standorten und Biotopen	<b>1</b>	Flächen mit Maßnahmen zur Biotopvernetzung	z
	<b>2</b>	Flächen mit Reaktivierung von Wiesenbewässerungssystemen	z
	<b>3</b>	Flächen mit (Wieder-) Vernässung von Feuchtgebieten	z

In Kapitel 4.4.4 wird auf Grundlage der Expertengespräche bereits eine Reihe von Tierarten genannt, die als Indikatorarten für NSK-1 in Frage kommen (Bergpieper, ...), jedoch sollten weitere Arten/-gruppen berücksichtigt werden, über die zum Teil Daten aus Erfassungen von ehrenamtlichen Naturschützern vorliegen (siehe 5.4 und Tabelle „Daten und Datenhalter Naturschutz“ im Anhang).

Das Monitoring der Veränderung phänologischer Termine und Phasen könnte auch sinnvolle Kombinationen von Entwicklungsphasen betrachten, zum Beispiel Futterpflanze - Insekt oder Prädator - Beute.

Das Auftreten invasiver Arten in der Modellregion und die – von Seiten des Naturschutzes eher zurückhaltenden und auf Schutzgebiete beschränkten - Maßnahmen werden nicht in einem ursächlichen Zusammenhang mit dem Klimawandel gesehen und sind daher kein Themenfeld für eine Indikation.

#### 6.1.1.5 Bodenschutz

Für den Sektor Bodenschutz im Modellraum wurden als wesentliche Gefährdungen zukünftig möglicherweise zunehmende Bodenerosion und verstärkter Humus-Abbau genannt. Bodenerosion beschränkt sich praktisch ausschließlich auf landwirtschaftlich genutzte Flächen (Ackerbau) und wird dort () ausführlich thematisiert und behandelt. Ähnliches gilt für den Humusabbau, der ebenfalls von der Nutzung (Melioration, Entwässerung, ...) abhängt und darüber hinaus im Naturschutz thematisiert wird. Aufgrund dieser Überschneidungen wird ein Indikatorensetz für den Sektor Bodenschutz im Modellgebiet nicht für notwendig erachtet.

### 6.1.1.6 Gesundheit

Für den Sektor Gesundheit wird folgender Indikatorensatz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>GEK-</b>		
Einflussfaktoren auf das menschliche Wohlbefinden / die Gesundheit, meteorologische Indikatoren	<b>1</b>	Anzahl heißer Tage	b
	<b>2</b>	Anzahl Tropennächte	
	<b>3</b>	Anzahl Tage mit schwüler Hitze	
Belastungen mit Allergenen/Giften	<b>4</b>	Pollenkonzentrationen	b
	<b>5</b>	Anzahl von Tagen mit Pollenflug	b
	<b>6</b>	Verbreitung von giftigen / allergieauslösenden Arten	b/z
Erkrankungen	<b>7</b>	Fallzahlen potenziell klimabeeinflusstester Krankheiten incl. hitzeinduzierter Erkrankungen / Todesfälle	b?
	<b>8</b>	Fallzahlen vektorübertragener Krankheiten	b?
	<b>9</b>	Fallzahlen Allergien	b?
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>GEA-</b>		
Minderung der Auswirkungen von Hitzephasen	<b>1</b>	Funktion des Hitze-Frühwarnsystems - Fallzahlen	b
	<b>2</b>	bauliche Maßnahmen zur Hitzeminderung „öffentliche“ Gebäude (s. u.)	z
Minderung der Auswirkungen eines veränderten Klimas	<b>3</b>	Verbreitung von Informationen über „klimagerechte“ Verhaltensweisen zur Vermeidung von Krankheiten	z
Dezentrale Wasserversorgung in Hitze-/ Trockenphasen	<b>4</b>	? - siehe 6.1.1.3	z

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; b? = Indikator wird erfasst, räumliche Auflösung/Datenhalter fraglich; z = zusätzlich zu erhebende Daten

Zurzeit bestehen (noch?) erhebliche Defizite zum wissenschaftlichen/statistischen Nachweis von Einflüssen des Klimawandels auf eine Reihe von Krankheiten. Es ist daher momentan nicht möglich, ein konkretes Spektrum zu betrachtender Erkrankungen zu benennen. Es sollte aber möglich sein, in Abstimmung zwischen den Fachleuten des Gesundheitssektors eine „provisorische“ Auswahl für das Modellgebiet zu treffen. Dies gilt für die Indikatoren GEK-7, GEK-8 und GEK-9. Weiterhin ist fraglich, ob Krankenkassen oder andere nichtstaatliche Einrichtungen des Gesundheitswesens räumlich ausreichend hoch aufgelöste Daten für das Modellgebiet besitzen (siehe 4.6.1).

Hinsichtlich der Ausbreitung von *Ambrosia artemisiifolia* und der damit verbundenen gesundheitlichen Risiken wird ein kontinuierliches Monitoring der Pflanzenverbreitung, des Pollenfluges und der gesundheitlichen Auswirkungen zum frühzeitigen Aufzeigen von Tendenzen für wichtig erachtet und sollte aufgebaut werden (ALBERTERNST et al. 2009). In der Frühphase der Ausbreitung einer invasiven Pflanzenart ist die damit einhergehende Zunahme gesundheitlicher Risiken aufgrund der geringen Anzahl von Krankheitsfällen sowie der derzeit noch fehlenden diagnostischen Möglichkeiten für einen serologischen, pflanzenspezifischen Nachweis nur schwierig zu belegen.

Unter „öffentlichen“ Gebäuden werden hinsichtlich der Anpassungsmaßnahmen zur Hitzeminderung (GEA-2) alle nicht ausschließlich privat genutzten Bauwerke verstanden, also insbesondere Pflegeheime, Kliniken, Behördengebäude, aber auch Betriebsgebäude und weitere Arbeitsräume.

### 6.1.1.7 Tourismus

Für den Sektor Tourismus wird folgender regionalspezifischer Indikatorensatz zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>TUK-</b>		
Wärmebelastung in Destinationen für Städte-, Kur-, und Kulturreisen	<b>1</b>	Anzahl heißer Tage	b
	<b>2</b>	Anzahl Tage mit schwüler Hitze	b
Einflüsse auf Wander-/Erholungstourismus v.a. in den Höhenlagen	<b>3</b>	Tage mit Stürmen (Windgeschwindigkeit > 75 km/h)	b
Einflüsse auf den Skitourismus	<b>4</b>	Schneedeckenhöhe /-dauer für den Wintersport	b
	<b>5</b>	Anzahl der Tage mit Beschneiungsbedarf/ -potenzial	(b)
Touristische Nachfrage und Reaktion der Tourismusanbieter	<b>6</b>	Übernachtungen absolut und saisonal	b
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>TUA-</b>		
Diversifizierung des Angebots	<b>1</b>	Investitionen in Infrastruktur für wetterunabhängige Freizeitangebote	z
Touristische Nachfrage und Reaktion der Tourismusanbieter	<b>2</b>	Anzahl der Übernachtungen absolut und saisonal	b

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; z = zusätzlich zu erhebende Daten

Die Anzahl der Übernachtungen (TUK-6, TUA-2) spiegelt nicht nur Wetter-/Klima-Einflüsse, sondern auch (undifferenziert) gegebenenfalls Anpassungsreaktionen der Tourismusanbieter wider. Dieser Indikator ist deshalb den Impact- und Response-Indikatoren zugeordnet. Wenn die Anzahl der Übernachtungen nach Teilräumen (Kaiserstuhl, Stadt Freiburg, Schwarzwald) und Jahreszeiten aufgegliedert werden kann, können Informationen über die unterschiedlichen Klimawirkungen abgeleitet werden. Leider werden nur die Übernachtungszahlen von Beherbergungsbetrieben mit mehr als 8 Betten vollständig zentral erfasst, da kleinere Betriebe, wie sie im Modellgebiet häufig vorkommen, nicht zur Meldung verpflichtet sind. Um ein vollständiges Bild zu erhalten, müsste zusätzlich auf Daten der Gemeinden zurückgegriffen werden.

In der Literatur wird als Anpassungsindikator der Skiinfrastruktur an den Klimawandel der Umfang der beschneiten Pisten vorgeschlagen. Daten zu diesem Indikator werden vom Verband deutscher Seilbahnen und Schlepplifte e.V. gehalten, jedoch bestehen nach SCHÖNTHALER et al. (2011) Vorbehalte dieses Verbandes gegenüber einer Herausgabe und Verwendung der Daten. Von uns wird dieser Anpassungsindikator als regional sehr unterschiedlich aussagekräftig eingeschätzt, da in der Modellregion - beispielsweise im NSG Feldberggipfel - nicht nur der Bedarf der Skitourismusanbieter sondern weitere Landnutzungsansprüche wie Naturschutz die Ausdehnung der Beschneiungsfläche bestimmen. In Skigebieten ohne Naturschutzflächen kann dies anders sein. Weiterhin kann dieser Indikator wohl nur langfristige Veränderungen anzeigen. Als Ersatz für diesen Indikator kann geprüft werden, ob die Summe der Tage mit Beschneiungsbetrieb oder der Wasserverbrauch der Beschneiungsanlagen herangezogen werden können. Diese hätten den Vorteil, auch im Rahmen bestehender Anlagen Veränderungen zu indizieren, jedoch ist fraglich, ob die hierzu notwendigen Daten von den Betreibern bereitgestellt werden.

### 6.1.1.8 Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur

Für den Sektor Siedlungen und Verkehr/Infrastruktur wird folgender Indikatorensetz für die Modellregion zur Diskussion gestellt:

Themenfeld		Indikator	b / z
<b>Klimawandel- (Impact) Indikatoren</b>	<b>SVK-</b>		
Hitze-/Wärmebelastung in der Stadt und Wärmeinseleffekt	<b>1</b>	Anzahl heißer Tage	b
	<b>2</b>	Anzahl Tropennächte	b
	<b>3</b>	Anzahl Tage mit schwüler Hitze	b
	<b>4</b>	Thermischer Komfort in der Stadt	z
	<b>5</b>	Lufttemperatur Freiburg vs. Umland	(b)
Hochwassergefahr für Siedlungen und (Verkehrs-) Infrastruktur	<b>6</b>	Grenzwerte (Höhe, Jährlichkeit, ...) auf Grundlage der HWGK*	z
	<b>7</b>	Überbaute Fläche in Hochwassergefährdungsgebieten	(b)
Wetterbedingte Verkehrsbehinderungen	<b>8</b>	Verkehrsbehinderungen auf Grund von Wetterereignissen	z
	<b>9</b>	Anzahl von / Schäden durch Unfälle/n mit Wetterhintergrund	(b)
Wetterbedingte Schäden an der Verkehrsinfrastruktur	<b>10</b>	Straßenzustand	z
<b>Anpassungs- (Response) Indikatoren</b>	<b>SVA-</b>		
Minderung der Wärmebelastung in der Stadt	<b>1</b>	Anteil von Grünflächen mit Baumbestand	z
	<b>2</b>	Thermischer Komfort in der Stadt	z
	<b>3</b>	Lufttemperatur Freiburg vs. Umland	(b)
Durchlüftung der Stadtquartiere	<b>4</b>	? - s. u.	z

b = bestehendes Monitoring des Indikators; (b) = nur teilweise erfasst; z = zusätzlich zu erhebende Daten

\* HWGK = Hochwassergefahrenkarten

Die Impact-Indikatoren SVK-1 bis SVK-3 entsprechen den Indikatoren GEK-1 bis GEK-3 des Sektors Gesundheit (6.1.1.6). Die Indikatoren „thermischer Komfort“ in Stadtquartieren und „Temperaturdifferenz Stadt-Umland“ (SVK-4, SVK-5) können auch als Anpassungsindikatoren (SVA-2 und -3) verwendet werden.

Die Stadt Freiburg nimmt sich bereits seit einigen Jahren (siehe 4.8.3) der Thematik Hitzebelastung und Durchlüftung der städtischen Quartiere an. Dieser Aspekt wird im Hinblick auf die prognostizierten Klima- veränderungen zukünftig noch an Bedeutung gewinnen. Ein handhabbarer Indikator, wie die Umsetzung der konkreten Maßnahmen und ihr Erfolg quantitativ erfasst werden könnten (Gebäudehöhe, -ausrichtung, ...), wird zurzeit aber nicht gesehen.

## 6.2 Organisation des Monitoring

### **Räumliche Abgrenzung**

Die im Projekt betrachtete Modellregion wurde überwiegend anhand naturräumlicher und hydrografischer Merkmale - Einzugsgebiet der Dreisam - abgegrenzt. Die Feinabgrenzung wurde dann entlang von Gemeindegrenzen vorgenommen. So kam es, dass das Modellgebiet in den drei Verwaltungseinheiten Landkreis Emmendingen, Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald und Stadt Freiburg liegt. Für die Projektbearbeitung war diese Vorgehensweise sinnvoll, da ja ein zusammenhängendes Gebiet mit möglichst großen Gradienten betrachtet werden sollte. Es stellt sich allgemein die Frage, wie Gebiete abgegrenzt werden müssten, die als (Modell-)Räume für ein regionales Monitoring des Klimawandels und der Anpassungsmaßnahmen dienen sollen.

- In jedem Fall sollte die Gebietsgröße so gewählt werden, dass funktionell zusammengehörige Einheiten entstehen.
- Eine auf naturräumlichen und hydrografischen Gegebenheiten vorgenommene Abgrenzung bietet den Vorteil, dass einerseits mehr oder weniger homogene (Teil-)Räume betrachtet werden könnten, weiterhin ist gerade im Hinblick auf den Sektor Wasserwirtschaft mit den Problemkreisen Hochwasser/Niedrigwasser eine einzugsgebietsbezogene Abgrenzung sehr sinnvoll. Allerdings ist als erheblicher Nachteil zu sehen, dass sich Verwaltungsgrenzen (oft) nicht an natürlichen Grenzen orientieren und eine „natürliche“ Abgrenzung daher eine Gebietszersplitterung hinsichtlich der Zuständigkeit zur Folge haben könnte. Dies wäre für die praktische Umsetzung des Monitoring sicher von großem Nachteil.
- Eine Abgrenzung anhand von Verwaltungseinheiten (Ebene Landkreis) könnte diesen Nachteil eliminieren, so dass jeweils nur eine zuständige Behörde (Landwirtschaftsamt etc.) vorhanden wäre.

### **Institutionelle Verankerung**

Es werden von unterschiedlichen Behörden und Verwaltungsebenen Daten gesammelt, die als Indikatoren herangezogen werden können. Eine wichtige Aufgabe ist es, diese Daten entsprechend ihrer Verwendung aufzubereiten, sie in einer zentralen Datenbank zusammenzuführen und zu Informationen zu verdichten, die den jeweils erreichten Stand und Erfolg der Anpassungsmaßnahmen dokumentieren und die Handlungsbedarfe aufzeigen. Eine große Bedeutung kommt hierbei auch der Verschneidung unterschiedlicher Datensätze zu, da hieraus neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Im Modellraum müsste demnach zentral - bei einer Art Klimawandel-Monitoring-Agentur - eine Datenbank betrieben werden, in der, wie oben beschrieben, die Daten gepflegt und darüber hinaus öffentlich zugänglich gemacht werden.

## **Weitere Vorgehensweise**

Das vorstehend entworfene Monitoringkonzept mit dem Indikatorensystem für die Modellregion greift alle von uns für sinnvoll erachteten Indikatoren für (regionale) Einflüsse des Klimas und Klimawandels sowie bestehender oder gedachter/geplanter Anpassungsmaßnahmen auf. Diese wurden entweder in den Expertengesprächen direkt genannt oder - häufiger - aus den Aussagen zu Gefährdungen und der Vulnerabilität des jeweiligen Sektors abgeleitet.

In einem nächsten Arbeitsschritt sollte dieses Konzept nach einer Prüfung und Begutachtung durch die LUBW in jedem Fall in einer Abstimmungsrunde mit den bisher beteiligten Institutionen und Personen sowie gegebenenfalls weiteren Fachleuten aus dem Modellgebiet auf Konsistenz, Vollständigkeit und Umsetzbarkeit überprüft werden. Es sollte sich daraus ein offenes System entwickeln lassen, - eine Art Baukasten - aus dem jeweils weniger geeignete oder weniger wichtige Indikatoren heraus- und neue aufgenommen werden können. Im Text finden sich noch einige Datenquellen (Krankenversicherungsträger, Naturschutzverbände etc.), die im Rahmen dieses Vorhabens nicht erschlossen werden konnten. In einem zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsprojekt könnte modellhaft die Indikatoren-Datenbank erstellt und betrieben werden.

Weiterhin wäre zu überlegen, ob auch modellhaft ein „regionaler Arbeitskreis Klimawandelanpassung“ etabliert werden sollte. Zwar gibt es in den betrachteten Sektoren eine ganze Reihe von bestehenden oder für notwendig gehaltenen Anpassungsmaßnahmen, die lediglich den entsprechenden Sektor betreffen und von den jeweiligen Behörden geplant, initiiert und ausgeführt werden können. Es gibt aber auch viele Anpassungsmaßnahmen, die mehrere Sektoren betreffen, beispielsweise Wasserwirtschaft und Landwirtschaft oder Wasserwirtschaft und Naturschutz. Hier könnten sicher Synergien genutzt werden, wenn eine sektorenübergreifende Struktur Koordinationsaufgaben übernehmen würde.

## 6.3 Übertragbarkeit des Konzepts

Das in den vorstehenden Kapiteln entworfene Monitoring-Konzept wurde gezielt auf der Basis von Expertenaussagen und Erkenntnissen der Projektarbeitsgruppe für das Modellgebiet erstellt. Innerhalb des vorgegebenen räumlichen Rahmens wurde versucht, ein möglichst umfassendes und vollständiges Konzept zu entwerfen. Dieses Konzept wurde aber nicht mit dem Anspruch auf Vollständigkeit für größere und anders strukturierte und ausgestattete Raumeinheiten (siehe hierzu SCHÖNTHALER et al. 2011) erarbeitet. Allerdings wurde der Modellraum so ausgewählt, dass sehr große Gradienten (Höhenlage etc.) vorhanden sind und eine weite Spanne unterschiedlicher infrastruktureller, klimatischer und naturräumlicher Gegebenheiten erfasst werden konnte. Die Modellregion reicht von der höchsten Hochlage Baden-Württembergs bis weit in die tiefsten Lagen hinein. Die für den Modellraum identifizierten Auswirkungen des Klimawandels und der Anpassungsmaßnahmen können daher mit Sicherheit auf weite Teile des Landes übertragen werden.

So decken beispielsweise Land- und Forstwirtschaft in der Modellregion in Höhenlagen zwischen dem Oberrheintal und dem Hochschwarzwald nahezu vollständig das im Land mögliche Spektrum ab. Die Landwirtschaft ist mit wärmebedürftigen Sonderkulturen (Wein, Obst, Spargel, ...) im Rheintal bis hin zu Grünlandwirtschaft im Hochschwarzwald vertreten; es fehlen lediglich große und intensiv wirtschaftende Tierhaltungsbetriebe (Schweinemast, etc.). Auch die Forstwirtschaft ist durch ausgeprägte Gradienten hinsichtlich Höhe, Temperatur, Wasserhaushalt und Boden mit sehr unterschiedlichen Gegebenheiten und Herausforderungen konfrontiert. Hinsichtlich der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit stehen momentan überwiegend Einwirkungen durch tendenziell zunehmende Temperaturen (Ausbreitung von Vektoren) oder Hitze-Extremereignisse im Vordergrund der Betrachtung. Hier ist die Situation in der südlichen Oberrheinebene sicher nur für wenige weitere Tieflagen im Land repräsentativ. In den meisten anderen Regionen dürften die in Kapitel 4.6 aufgeführten Auswirkungen, Gefährdungen und Chancen weit weniger ausgeprägt zu erwarten sein und somit wären (vorläufig?) auch geringere Anforderungen an Monitoring und Anpassungsmaßnahmen zu stellen. Die Gegebenheiten des Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktursektors sind sicher fast für das ganze Land repräsentativ, es fehlen lediglich sehr großflächig urban geprägte Gebiete wie der Großraum Stuttgart.

Vor einer Übertragung des Konzepts auf andere Raumeinheiten ist demnach zu prüfen,

- welche Gewichtung die hier vorgeschlagenen Indikatoren im Übertragungsraum besitzen. Für manche Aspekte kann möglicherweise nur ein untergeordnete oder gar keine Bedeutung erkannt werden. Dieser Prüfungsschritt ist mit relativ geringen Aufwand zu leisten.
- Aufwändiger ist es, zu prüfen, ob aufgrund der individuellen (infra)strukturellen und landschaftsökologischen Gegebenheiten der hier vorgestellte Indikatorensatz vollständig ist oder ob wesentliche Aspekte fehlen. So ergaben sich beispielsweise bei den Expertengesprächen in der Modellregion keinerlei Hinweise auf Stillgewässer (Seen, Teiche, ...), die in anderen Landesteilen sicher eine Rolle spielen können.

## 7 Literatur

- ABEGG, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen, Schlussbericht NFP 31, Zürich, 222 S.
- ALBERTERNST, B. (1998): Biologie, Ökologie, Verbreitung und Kontrolle von Reynoutria-Sippen in Baden-Württemberg, Culterra Band 23, Freiburg, 198 S.
- ALBERTERNST, B., S. NAWRATH & F. KLINGENSTEIN (2006): Biologie, Verbreitung und Einschleppungswege von Ambrosia artemisiifolia in Deutschland und Bewertung aus Naturschutzsicht, Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 58 (11): 279 - 285
- ALBERTERNST, B., H. BEHRENDT, K. BUCHER, T. GABRIO, U. HACK, R. HORRES, U. KAMINSKI, J. HUSS-MARP, F. MARTIN, T. MILJANIC, S. NAWRATH, R. SMUKALLA, I. WEICHENMEIER, U. WEIDNER, I. ZÖLLNER (2009): Einfluss klimatischer Faktoren und ihrer bisherigen sowie erwarteten Änderung bezüglich der Zunahme von Sensibilisierungen am Beispiel von Ambrosia-Pollen, Schlussbericht Verbundprojekt Ambrosia-Pollen, 185 S.
- ALBERTERNST, B., S. NAWRATH, T. GABRIO, M. BÖHME, U. KAMINSKI & H. BEHRENDT (2010): Verbreitung und Bestandsdynamik von Ambrosia artemisiifolia in zwei Regionen in Baden-Württemberg und Einfluss der Vorkommen auf die Pollenkonzentration: Ergebnisse einer dreijährigen Studie, Umweltmed. Forsch. Prax. 5, S. 23 - 33
- ALBRECHT, A. (2009): Sturmschadensanalysen langfristiger waldwachstumskundlicher Versuchsflächen-daten in Baden-Württemberg, Schriftenreihe Freiburger Forstliche Forschung Band 42, 182 S.
- AMANN, R. (2006): Die Säure in Zeiten des Klimawandels, Der Deutsche Weinbau 19: 14 - 18
- AMANN, R. (2008): Jahrgänge in Baden, die es in sich hatten, Der Badische Winzer 2/2008: 23 - 26
- BAUMANN, L. (2005): Die „Hitzetoten“ des Jahres 2003, Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 4/2005: 23 - 27
- BAUR, F. (1963): Großwetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage, Frankfurt, 91 S.
- BIRKMANN, J., H. R. BÖHM, D. BÜSCHER, M. FLEISCHHAUER, B. FROMMER, G. JANSSEN, G. OVERBECK, J. SCHANZE, S. SCHLIPE, M. STOCK & M. VOLLMER (2010): Planungs- und Steuerungsinstrumente zum Umgang mit dem Klimawandel, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Diskussionspapier 8, Berlin, 49 S.
- BONGARDT, B. & A. PUHR (2010): Stadtklimawandel, NABU-Bundesverband [Hrsg.], Berlin, 24. S.
- BWIIHK = BADEN-WÜRTTEMBERGISCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG, FEDERFÜHRUNG TOURISMUS (2004): IHK-Freizeitbarometer Baden-Württemberg 2004, Stuttgart, 33 S.
- CASPARY, H. J. (2010): Großwetterlagen und hydrometeorologische Extreme, KLIWA Berichte Heft 15, Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft: 115 - 134
- CHRISCHILLES, E., M. MOHAMMADZADEH & H. BIEBELER (2010): Forschungsförderung und Anpassungsmaßnahmen für eine zukunftsfähige Landwirtschaft, ASG Ländlicher Raum 3/2010: 57 - 63
- DAS = DEUTSCHE ANPASSUNGSSTRATEGIE AN DEN KLIMAWANDEL (2008): Beschluss des Bundeskabinetts vom 17. Dezember 2008, 78 S.
- DEUTSCHE SPORHOCHSCHULE KÖLN (2004): Entwicklungskonzept Wintersporttourismus - Entwicklung des Schneesports und Winter(sport)tourismus in Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Köln

- DOBBERTIN, M. & A. GIUGGIOLA (2006): Baumwachstum und erhöhte Temperaturen, Forum für Wissen 2006: 35 - 45
- DVWK = DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V. (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, DVWK- Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238/1996, Bonn, 135 S.
- EIS, D., D. HELM, D. LAUBMANN & K. STARK (2010): Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht, Robert Koch-Institut [Hrsg.], Berlin, 250 S.
- ENDLER, C. & A. MATZARAKIS (2009): Climate and tourism potential in Freiburg, in: Mayer, H. & A. Matzarakis [Hrsg.]: 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 18, 291 - 296
- ENDLER, CH. & A. MATZARAKIS (2010): BMBF klimazwei Verbundprojekt KUNTIKUM „Klimatrends und nachhaltige Tourismusedwicklung in Küsten- und Mittelgebirgsregionen: Produkt- und Infrastrukturinnovation durch kooperative Gestaltungsprozesse und strategische Entscheidungsfindung“: Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 22: 101 - 181
- EULENSTEIN, F. & M. GLEMNITZ (2008): Einfluss des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt und Erträge landwirtschaftlicher Kulturen und Biozönosen, in: UMWELTAMT MAGDEBURG [Hrsg.]: Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Landschaft: 14 - 31
- FISCHER, H. & H.-J. KLINK (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 177 Offenburg, Geografische Landesaufnahme 1:200.000, Bad Godesberg, 48 S.
- FVA = FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2004): Waldzustandsbericht 2004 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 54 S.
- FVA = FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2011): Waldzustandsbericht 2011 für Baden-Württemberg, Freiburg, 59 S.
- GEBHARDT, H. (2000): Klimaveränderungen und Auswirkungen auf Ökosysteme, KLIWA-Symposium 29. - 30.11.2000, KLIWA Bericht 1: 255 - 268
- HAFERKORN, J., J. LORITZ & S. AMANN (1999): Gewässerentwicklungsplan für die Dreisam zwischen FR-Ebnet und FR-Hochdorf, Im Auftrag der Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein, Waldshut-Tiengen, 95 S.
- HANEWINKEL, M., D. CULLMANN & H.-G. MICHIELS (2010): Künftige Baumarteneignung für Fichte und Buche in Südwestdeutschland, AFZ-Der Wald 19/2010: 30 33
- HENNEGRIFF, W., V. KOLOKOTRONIS, H. WEBER & H. BARTELS (2006): Klimawandel und Hochwasser, KA - Abwasser, Abfall (53) Nr. 8: 770 - 779
- HENNEGRIFF, W. (2007): Handlungsempfehlungen bei der Festlegung des Bemessungshochwassers in Baden-Württemberg, KLIWA-Berichte, Heft 10: 91 - 104
- HINTEMANN, T., B. BUNDSCHUH & H. DE BOER (2011): Exakte Wetterdaten werden immer wichtiger, BBZ 38: 17 - 19
- HIRSCHBERG, M.-M., M. KENNEL, A. MENZEL & S. RASPE (2003): Klimaänderungen unter forstlichem Aspekt, LWF aktuell 37: 8 - 13
- HOCKENJOS, W. (2010): Wie hoch steigt die Schwarzwaldtanne, AFZ-Der Wald 3/2010: 14 - 15
- HOLZ, I., J. FRANZARING, R. BÖCKER & A. FANGMEIER (2010): Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima, Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg, Stuttgart
- HUGLIN, P. (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viticole. C. R. Acad. Agric., 1117-1126

- IHK BADEN-WÜRTTEMBERG (2004): IHK Freizeitbarometer Baden-Württemberg, Baden-Württembergische Industrie- und Handelskammer, Stuttgart
- IPCC, 2007: Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR & H.L. MILLER [Hrsg.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, 996 S.
- IPCC 2007a: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen, Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR & H.L. MILLER [HRSG.], Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 18 S.
- JENDRITZKY, G. (2007): Die Folgen des Klimawandels für die Gesundheit, in: Wilfried Endlicher, Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe: Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, 108 - 118
- JETZKOWITZ, J. (2007): The Relationship Between Tourism and Climate from a Sustainability Science Perspective – Towards a Conceptual Framework for Research on the Future of Tourism, in: A. MATZARAKIS, C. R. DE FREITAS & D. SCOTT [Hrsg.]: Developments in Tourism Climatology: 282 - 289
- KARTSCHALL, T., M. WOLFF, M. WODINSKI & M. STOCK (2005): 4.6 Weinbau, in: STOCK, [Hrsg.]: KLARA, Klimawandel, Risiken, Anpassung, PIK Report No. 99: 81 - 88
- KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, Herausgegeben von Arbeitskreis KLIWA (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt BfLU und Deutscher Wetterdienst DWD), KLIWA-Berichte Heft 9, 100 S.
- KOHNLE, U., C. YUE & D. CULLMANN (2011): Wachstum der Weißtanne in Südwestdeutschland: Entwicklung, Klima-Risiko und Verjüngung, LWF Wissen 66;: 41 - 50
- KOPPE, C. & G. JENDRITZKY (2004): Die Auswirkungen der Hitzewellen 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg, Sozialministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
- KUHLICKE, G. (2011): „Robuste Anpassung“ Einige Einsichten der geografischen Hazardforschung zur Diskussion um den Klimawandel, Ber. z. dt. Landeskunde Bd. 85, H. 3: 257 - 266
- LANGE, J. (2007): Die Dreisam – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, Freiburg, 247 S.
- LEDER, B. (2010): Strategie zur Ableitung waldbaulicher Handlungsoptionen im Klimawandel, AFZ-Der Wald 3/2010: 12 - 13
- LITTEK, T., V. JÖRGER & E. WEINMANN (2011): Whailex-Schutznetz: aktuelle Ergebnisse, Der Deutsche Weinbau 9: 12 - 14
- LUBW (2006): Klimaatlas, CD-ROM
- LUBW (2007): Klimawandel und Insekten – Kurzfassung, Karlsruhe
- LUBW (o. J.): Naturräume Baden-Württembergs, 74 S., [http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/92374/naturraeume\\_baden\\_wuerttembergs.pdf?command=downloadContent&filename=naturraeume\\_baden\\_wuerttembergs.pdf&FIS=200&COMMAND=DisplayBericht&FIS=200&OBJECT=92374&MODE=BER&RIGHTMENU=NO](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/92374/naturraeume_baden_wuerttembergs.pdf?command=downloadContent&filename=naturraeume_baden_wuerttembergs.pdf&FIS=200&COMMAND=DisplayBericht&FIS=200&OBJECT=92374&MODE=BER&RIGHTMENU=NO)
- MATZARAKIS, A. (2007): Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Integration von Wetter- und Klimabedingungen im Tourismus, Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 16: 73 - 80
- MAYER, H. (2008): KLIMES - a joint research project on human thermal comfort in cities, Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs Universität Freiburg 17: 101 - 117

- MAYER, H., J. HOLST, P. DOSTAL, F. IMBERY & D. SCHINDLER (2008): Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe, *Meteorol. Zeitschr.* Vol. 17, No. 3: 241 - 250
- MICHELS, S. (o. J.): Neue Strategien im Weinbau durch Klimawandel?, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 7 S.
- NÜCKLES, D. (2011): Der Monomaisanbau ist hier passé, *BBZ* 39, 21 - 24
- PAESEL, H. & J. AUGUSTIN (2011): Hitzewarnsysteme als Anpassungsmaßnahme an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels - eine Untersuchung am Fallbeispiel Niedersachsen, *UMID* 3/2011: 50 - 54
- PEISELER-SUTTER, B. (2009): Weinbau: Klimawandel bestimmt die Forschungsthemen, *Chemische Rundschau* 9: 50 - 52
- PETGEN, M. (2007): Reaktion der Reben auf den Klimawandel, *Schweiz. Z. Obst- Weinbau* 9/07: 6 - 9
- REICHELT, G. (1964): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 185 Freiburg im Breisgau, *Geografische Landesaufnahme 1:200.000*, Bad Godesberg, 47 S.
- RP FREIBURG (2007), Referat 53.1 G. I. O., Hochwasserschutz - Planung und Bau: Gewässerentwicklung Elz/Leopoldskanal, 23 S., Freiburg
- RP FREIBURG (2010), Referat 53.1: Vorbeugender Hochwasserschutz an Gewässern 1. Ordnung in der Region Südlicher Oberrhein, Bearb. M. HENRICH, 39 S. + Anhang, Freiburg
- RUPP, D. (2011): Kalt erwischt - wie kam es zu den Frostschäden in Württemberg?, [https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1330681\\_11/index1215611686464.html](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1330681_11/index1215611686464.html)
- SCHINDLER, D., H. MAYER, K. GREBHAN & J. SCHÖNBORN (2010): Erarbeitung einer Risikokarte für Sturmschäden in Wäldern und forstlich relevante Sturmschadensmodelle als Grundlagen für Methoden zur Reduzierung von Sturmschäden in Wäldern in Baden-Württemberg, *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* 21: 107 - 145
- SCHÖNTHALER, K., S. V. ANDRIAN-WERBURG & D. NICKEL (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Umweltbundesamt [Hrsg.], Dessau-Roßlau, 240 S.
- SCHRADER, G. & H. KEHLENBECK (2011): Begünstigt der Klimawandel das Vordringen neuer Schadorganismen?, *Forschungsreport* 2/2011: 14 - 17
- SCHRÖTER, H. (2006): Alarmierende Entwicklungen durch Wasserknappheit im Wald, in: Hutter, K. P. & F. G. Link [Hrsg.]: *Warnsignal Klimawandel: Wird Wasser knapper? Lange Trockenperioden und die Auswirkungen auf Natur, Land- und Forstwirtschaft, Wasserversorgung und Wirtschaft*, Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Band 42: 100 - 110
- SCHULTZ, H. R., M. HOFMANN & G. JONES (2009): Weinbau im Klimawandel: Regionen im Umbruch, *DWD Klimastatusbericht* 2009: 12 - 20
- SIGLER, J. (2008): In den Zeiten des Klimawandels: Von der Süßreserve zur Sauerreserve?, *Der Badische Winzer* 7/2008: 21 - 25
- SPIECKER, H., K. MIELIKÄINEN, M. KÖHL & J. P. SKOVSGAARD (1996): *Growth trends in European forests*, Berlin, Heidelberg
- SSYMANK, A. (1994): Neue Anforderungen im europäischen Naturschutz: Das Schutzgebietssystem Natura 2000 und die FFH-Richtlinie der EU, *Natur und Landschaft* 69 (Heft 9): 395 - 406
- STAPPER, N. J. (2010): Die epiphytische Flechtenvegetation an 30 Wald-Dauerbeobachtungsflächen des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg – 1986 bis 2009, Band 1: Ergebnisbericht 2010, Soest

- STOCK, [Hrsg.]: KLARA, Klimawandel, Risiken, Anpassung, PIK Report No. 99, Potsdam, 199 S.
- v. TEUFFEL, K. FRH. (2010): Naturnaher Waldbau und Klimawandel, AFZ-Der Wald 21/2010: 33 - 36
- UBA = UMWELTBUNDESAMT (2008): Themenblatt Anpassung an Klimaänderung in Deutschland, Forstwirtschaft, 4 S.
- VOHLAND, K. (2007): Naturschutzgebiete im Klimawandel – Risiken für Schutzziele und Handlungsoptionen, Anliegen Natur 31/2007, Heft 1: 60 - 67
- VOIGT, M. (2005): Hochwassermanagement und Räumliche Planung, Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte, Band 1: 97 - 117
- WATTENDORF, P., O. EHRMANN & W. KONOLD (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf geschützte Biotope in Baden-Württemberg, Culterra 57, Freiburg, 226 S.
- WEIS, M. & K. HÜLEMAYER (2010): Wald-Offenland-Dynamik im Hochschwarzwald. Treibende Kräfte und Konsequenzen in Vergangenheit und Zukunft, Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 100: 71 - 114
- WENKEL, K.-O., W. MIRSCHEL, M. BERG, C. NENDEL, R. WIELAND & B. KÖSTNER (2011): Klimawandel Fluch oder Segen für die Landwirtschaft, Forschungsreport 2/2011: 4 - 8
- WILMANN, O. (2011): Einführung, in: GROSCHOPF, R., O. HOFFRICHTER, A. KOBEL-LAMPARSKI, J.-U. MEINEKE, F. STAUB & E. VILLINGER: Der Kaiserstuhl - einzigartige Löss- und Vulkanlandschaft am Oberrhein, S. 14 - 40, Ostfildern
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG [Hrsg.] (2005): Nachhaltige Entwicklung des Schneesports und des Wintersporttourismus in Baden-Württemberg, 105 S.
- WOHLGEMUTH, T., H. BUGMANN, H. LIESCHKE & W. TINNER (2006): Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaveränderungen?, Forum für Wissen 2006: 7 - 16
- ZEBISCH, M., T. GROTHMANN, D. SCHRÖTER, C. HASSE, U. FRITSCH & W. CRAMER (2005): Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, Climate Change 08/05, [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
- ZÖLLNER, I. (2008): Allergien und Atemwegserkrankungen - 16 Jahre Beobachtungsgesundheitsämter, Umwelttoxikologisches Kolloquium am 17.04.2008 - Allergie und Atemwegserkrankungen, Landesgesundheitsamt Stuttgart, [http://www.gesundheitsamt-bw.de/SiteCollectionDocuments/30\\_Gesundheitsth\\_Umwelt/Allergien\\_Zoellner.pdf](http://www.gesundheitsamt-bw.de/SiteCollectionDocuments/30_Gesundheitsth_Umwelt/Allergien_Zoellner.pdf)

# 8 Anhang

## Daten und Datenhalter Landwirtschaft im Modellgebiet

In Ergänzung zum Textteil (Kapitel 5).

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Forschung zu Landwirtschaft und Klimawandel (Universität Hohenheim)	P. Ackermann, Landwirtschaftsamt Emmendingen	<a href="http://www.landkreis-emmendingen.de/index.phtml?La=1&amp;sNavID=1406.150&amp;object=tx 1406.6920.1&amp;sub=0">http://www.landkreis-emmendingen.de/index.phtml?La=1&amp;sNavID=1406.150&amp;object=tx 1406.6920.1&amp;sub=0</a>
Wetterdaten	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)	<a href="https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1190920/index.html">https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1190920/index.html</a>
Rebblüte, Reifebeginn, Lesetermine, Traubenwickler	Staatliches Weinbauinstitut Freiburg (WBI)	<a href="https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1044273/index.html">https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1044273/index.html</a>

## Daten und Datenhalter Forstliches Monitoring im Modellgebiet

In Ergänzung zum Textteil (Kapitel 5).

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Zufällige Nutzungen	Städtisches Forstamt Freiburg	<a href="http://www.freiburg.de/servlet/PB/menu/1148519/index.html">http://www.freiburg.de/servlet/PB/menu/1148519/index.html</a>
Borkenkäfer am Schauinsland		
Baumwachstum und Klimawandel	FVA <sup>54</sup> , Abt. Waldwachstum, Dr. U. Kohnle	<a href="http://www.fva-bw.de">http://www.fva-bw.de</a>
Waldzustand u. Bodenzustands	FVA, Abt. Boden und Umwelt	
Daten von ertragskundlichen Versuchsfeldern	FVA, Abt. Waldwachstum	
Baumarteneignung und Risikoeinschätzung	FVA	
Borkenkäfer-Monitoring	FVA, Abt. Waldschutz	
stichprobenbasierte Betriebsinventuren	FVA, Abt. Biometrie und Informatik	
Statistik über Waldbrände	Regierungspräsidium Freiburg	<a href="http://www.rp-freiburg.de">http://www.rp-freiburg.de</a>
Bundeswaldinventur (BWI)	BfN, Dr. E. Schröder / FVA, Abt. Biometrie und Informatik	

<sup>54</sup> Die Datenbanken der FVA sind nicht frei zugänglich. Die FVA steht jedoch Anfragen Dritter prinzipiell offen gegenüber (KOHLE, schriftl. Mitt. 2011).

## Daten und Datenhalter Wasserwirtschaft im Modellgebiet

In Ergänzung zum Textteil (Kapitel 5).

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Grundwasserstände	Stadt Freiburg	<a href="http://www.freiburg.de/">http://www.freiburg.de/</a>
	RPFreiburg	<a href="http://www.rp-freiburg.de">http://www.rp-freiburg.de</a>
	LUBW	<a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
Wasserqualität, Niederschlag	Badenova	<a href="https://www.badenova.de/">https://www.badenova.de/</a>
Abflüsse Oberflächengewässer	LUBW	<a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
Grundwasserzutritte		
Quellschüttung		
Wasserstände im Schluchsee	Schluchseewerke	<a href="http://www.schluchseewerk.de/">http://www.schluchseewerk.de/</a>
Genehmigung der Grundwasserentnahme	Landratsamt Freiburg	<a href="http://www.breisgau-hochschwarzwald.de">http://www.breisgau-hochschwarzwald.de</a>
Beanspruchung der Grundwasserleiter durch Nutzungen		
Wasserkraftanlagen	K. Steegmüller, Landratsamt Freiburg	<a href="http://www.breisgau-hochschwarzwald.de">http://www.breisgau-hochschwarzwald.de</a>
Generalentwässerungsplan Freiburg	J. Bolder, Eigenbetrieb Stadtentwässerung	<a href="http://www.esf.freiburg.de/">http://www.esf.freiburg.de/</a>

## Daten und Datenhalter Naturschutz im Modellgebiet - 1 -

In Ergänzung zum Textteil (Kapitel 5).

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Wiedehopf (lange Zeitreihen)	RPFreiburg	<a href="http://www.rp-freiburg.de">http://www.rp-freiburg.de</a>
	Christian Stange, NABU Freiburg	<a href="http://www.nabu.de/tiereundpflanzen/voegel/bfaornithologie/02518.html">http://www.nabu.de/tiereundpflanzen/voegel/bfaornithologie/02518.html</a>
Vogel­daten der Region Südlicher Oberrhein	K. Westermann, Fachschaft Ornithologie Südlicher Oberrhein (FOSOR)	<a href="http://www.fosor.de/">http://www.fosor.de/</a>
Winter- und Gartenvögel	NABU Freiburg	<a href="http://www.nabu.de">http://www.nabu.de</a>
Schmetterlinge: Erstes Auftreten wärmeliebender Arten im Frühjahr	Dr. R. Trusch, Staatliches Museum für Naturkunde, Karlsruhe	<a href="http://www.smnk.de/">http://www.smnk.de/</a>
	Lepiforum	<a href="http://www.lepiforum.de/">http://www.lepiforum.de/</a>
Libellenvorkommen	Dr. Holger Hunger, Wolfgang Röske, Schutzgemeinschaft Libellen in Baden-Württemberg e.V. (SGL)	<a href="http://www.sglibellen.de/">www.sglibellen.de/</a>
Neueinwanderung von Libellenarten	Arten- und Biotopschutzprogramm der LUBW	<a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/30092/">http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/30092/</a>
Zunahme wärmeliebender Wildbienenarten im Kaiserstuhl		
Heuschrecken	Prof. Dr. Peter Detzel, Gruppe für ökologische Gutachten	<a href="http://www.goeg.de/">http://www.goeg.de/</a>
Vorkommen div. Tierarten	Faunistische Kartierungen der Bahn im Untersuchungsraum 748081	
Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie	Regierungspräsidium Freiburg	<a href="http://www.rp-freiburg.de">http://www.rp-freiburg.de</a>

## Daten und Datenhalter Naturschutz im Modellgebiet - 2 -

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Ausbreitung von Pflanzenarten	Floristische Kartierung Baden-Württemberg	<a href="http://www.flora.naturkundemuseum-bw.de">www.flora.naturkundemuseum-bw.de</a>
Botanische Daten aus dem Raum Freiburg	Dr. A. Wörz, Naturkundemuseum Stuttgart	<a href="http://science.naturkundemuseum-bw.de/de/botanik/woerz">http://science.naturkundemuseum-bw.de/de/botanik/woerz</a>
	Botanische Gesellschaft in Südwestdeutschland	<a href="http://www.botanik-sw.de">http://www.botanik-sw.de</a>
Moore	Dr. Markus Röhl, FH Nürtingen	<a href="http://www.hfwu.de/de/ansprechpartner/personal-standort-nuertingen.html">http://www.hfwu.de/de/ansprechpartner/personal-standort-nuertingen.html</a>
	O. Heider, Umweltschutzbeauftragter für Waldkirch und Simonswald	
Hochmoore rund um den Feldberg, Recherche über Wollgraswiesenvögelchen und Hochmoorgelbling	S. Hafner, Büro für Artenschutz, Biotoppflege und Landschaftsplanung in Freiburg (ABL)	
Vegetation des Kandelmoors	Prof. Dr. O. Wilmanns Universität Freiburg, Geobotanik	<a href="http://www.biologie.uni-freiburg.de/geobotanik/">http://www.biologie.uni-freiburg.de/geobotanik/</a>
Biotopvernetzung	K.-D. Schulz, Regionalverband Südlicher Oberrhein	<a href="http://www.region-suedlicher-oberrhein.de/de/verband/geschaeftsstelle/ansprechpartner/schu_Landschaftsplanung1.php">http://www.region-suedlicher-oberrhein.de/de/verband/geschaeftsstelle/ansprechpartner/schu_Landschaftsplanung1.php</a>
Biotopvernetzung, Wildtierkorridore, Auerhuhn	Dr. R. Suchant, FVA	<a href="http://www.fva-bw.de">http://www.fva-bw.de</a>

## Daten und Datenhalter Gesundheitswesen im Modellgebiet

In Ergänzung zum Textteil (Kapitel 5).

Thema	Ansprechpartner	Internetseite
Meldepflichtige Infektionserkrankungen, Ausbruchserfassung	Krankenhäusern und Altenpflegeheimen	
Allergien	Gesetzliche Krankenversicherungen (AOK)	
Kleinräumige Statistiken div. Krankheiten		
Todesfälle in Folge von Hitzestress	Statistisches Landesamt	<a href="http://www.statistik-bw.de/">http://www.statistik-bw.de/</a>
Hitzetote in Deutschland	Bundesamt für Bauwesen	<a href="http://www.bbr.bund.de/">www.bbr.bund.de/</a>
Anzahl zusätzlicher Todesfälle im Sommer 2003	Dr. G. Pfaff, Landesgesundheitsamt	<a href="http://www.gesundheitsamt-bw.de/oegd/Gesundheitsthemen/Gesundheitsberichterstattung/Gesundheitsatlas/Seiten/default.aspx">http://www.gesundheitsamt-bw.de/oegd/Gesundheitsthemen/Gesundheitsberichterstattung/Gesundheitsatlas/Seiten/default.aspx</a>
Herz-Kreislauf-Probleme in Hitzeperioden	Universitätsklinikum Freiburg	<a href="http://www.uniklinik-freiburg.de/">www.uniklinik-freiburg.de/</a>
evtl. anonymisierte Daten zu Erkrankungen	Medizinischer Dienst der Krankenversicherung	<a href="http://www.mdk.de/">www.mdk.de/</a>

