

# **Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels**

Fachgutachten für das Handlungsfeld  
Wald und Forstwirtschaft

- Teil A: Langfassung -

im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg

Autor: Dr. Rüdiger Unseld, Freiburg

für die

Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg



Stand: Mai 2013

Vorliegendes Gutachten dient der Erstellung einer Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels für das Land Baden-Württemberg. Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren erlaubt.



**Auftraggeber:** © Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft  
Baden-Württemberg, Stuttgart

**Fachliche Begleitung:** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg, Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe  
Ref. 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung,  
Klimawandel  
Dr. Kai-Achim Höpker, Dagmar Berberich, Daniel Schulz-Engler

Ressortarbeitskreis Wald / Forstwirtschaft  
unter Leitung von Herrn Dr. Wolf-Dieter von Bülow,  
Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR),  
Ref. 51  
und Mitwirkung von

Prof. Dr. Jürgen Bausch, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,  
Institut für Waldbau  
Christian Beck, MLR Ref. 51  
Anja Beuter, UM Ref. 22  
Dr. Wolf-Dieter von Bülow, MLR Ref. 51  
Jerg Hilt, Forstkammer Baden-Württemberg e.V.  
Raimund Friderichs, Fürst von Hohenzollern Forst  
Prof. Dr. Ulrich Kohnle, FVA Freiburg  
Dr. Arne Nothdurft, FVA Freiburg  
Dr. Wolfgang Pöter, MLR Ref. 51 (Koordinator MLR)  
Prof. Dr. Heinrich Spieker, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,  
Institut für Waldwachstum  
Prof. Dr. Konstantin von Teuffel, Direktor der FVA Freiburg  
PD Dr. Klaus von Wilpert, FVA Freiburg  
Anton Watzek, MLR Zentralstelle

## **Auftragnehmer**



[www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de)

**Bearbeitet von** Dr. Rüdiger Unseld [www.unseld-forst.com](http://www.unseld-forst.com)

**Stand:** Mai 2013

Dieses Gutachten dient der Erstellung einer Anpassungsstrategie.  
Verantwortlich für den Inhalt des vorliegenden Gutachtes sind die Autoren.  
Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Ministeriums  
für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg unter Quellenangabe  
und Überlassung von Belegexemplaren erlaubt.



# Inhalt

<b>1. BESCHREIBUNG DES HANDLUNGSFELDES</b> .....	<b>3</b>
1.1 Bezüge zu anderen Handlungsfeldern .....	5
1.2 Grunddaten zur Bewaldung, Baumarten und Besitzverhältnissen .....	6
1.3 Nutzfunktion .....	8
1.4 Schutzfunktionen und Erholung.....	9
<b>2. WIRKSAME KLIMAPARAMETER</b> .....	<b>13</b>
2.1 Veränderung von Temperaturgrößen .....	14
2.2 Veränderung von Niederschlagsgrößen .....	14
2.3 Relevante Klimakenngrößen ohne Modellwertangaben.....	16
<b>3. VULNERABILITÄT</b> .....	<b>17</b>
3.1 Wirkungsketten .....	18
3.2 Exposition .....	22
3.3 Sensitivität.....	24
3.4 Potenzielle Auswirkungen .....	28
3.5 Anpassungskapazität .....	43
3.6 Dringlichkeit .....	44
3.7 Gesamtbeurteilung.....	46
<b>4. ANPASSUNGSZIELE UND MAßNAHMENEMPFEHLUNGEN</b> .....	<b>48</b>
4.1 Teilbereich „Standort und Baumwachstum“ .....	50
4.2 Teilbereich „Holzproduktion“ .....	53
4.3 Teilbereich „Arten & Lebensräume“ .....	54
4.4 Teilbereich „Wasser“ .....	55
4.5 Teilbereich „Erholung“ .....	55
4.6 Gewichtung und Priorisierung .....	56
<b>5. ZITIERTER LITERATUR</b> .....	<b>57</b>
<b>6. ANHANG</b> .....	<b>60</b>

# 1. Beschreibung des Handlungsfeldes

Das Handlungsfeld Wald / Forstwirtschaft befasst sich schwerpunktmäßig mit Waldökosystemen und den vielfältigen Nutzungsansprüchen an den Wald. Dies reicht von der Behandlung und Nutzung von Waldbeständen, der Auswahl und Förderung bestimmter Baumarten, der Erhaltung und Förderung der Schutzfunktionen des Waldes sowie der Biodiversität inklusive genetischen Fragen bis hin zum Monitoring und Abwehr biotischer und abiotischer Schadfaktoren. Darüber hinaus beschäftigt sich das Handlungsfeld mit den Rahmenbedingungen für forstwirtschaftliche Betriebe und der Holzwirtschaft.

Die grundlegenden Ziele des Handlungsfeldes wurden im **Landeswaldgesetz** Baden-Württemberg formuliert. Hauptziel der Anpassungsstrategie ist demnach die Walderhaltung, Waldvermehrung und die Erfüllung der Funktionen des Waldes auch unter sich ändernden klimatischen Bedingungen.

Nachgeordnete Ziele ergeben sich aus den im Landeswaldgesetz beschriebenen **multifunktionalen Wirkungen**, die durch eine **nachhaltige Waldbewirtschaftung** und durch die Sicherung der **Schutzfunktionen** des Waldes gewährleistet werden. Folgende Waldwirkungen werden im Landeswaldgesetz unterschieden<sup>1</sup>:

- Nutzfunktion: Nachhaltige Produktion von Holz- und Nichtholzprodukten
- Schutzfunktion: Klima, Wasser, Luft, Boden, Landschaftsbild, Tiere und Pflanzen
- Erholungsfunktion für die Bevölkerung

Eine Analyse der Auswirkungen von Klimaveränderungen, Formulierung von Anpassungszielen und -maßnahmen müssen folglich auf die Erhaltung des Waldes und seiner Funktionen ausgerichtet sein (vgl. Kap.4).

---

<sup>1</sup> „...wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, die Tier- und Pflanzenwelt, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion)...“ [LWaldG, 2005].

Mit den genannten Aufgaben des Waldes ist das Handlungsfeld sehr breit aufgestellt und dementsprechend komplex mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen. Um Wirkungsebenen besser darstellen zu können und zur besseren Strukturierung der nachfolgenden Kapitel werden vereinfachte **Wirkungsketten** aufgestellt. Mit ihnen können Klimaparameter (Kap.2), Verletzlichkeit (Vulnerabilität) und potenzielle Auswirkungen (Kap.3), aber auch die zu erreichenden Unterziele und die entsprechenden Maßnahmen (Kap.4) besser beschrieben werden. Doppelnennungen insbesondere bei der Maßnahmenplanung konnten so weitestgehend vermieden werden.

Bei der Erstellung von Wirkungsketten wurde deutlich, dass die Effekte auf den Standort von Waldbeständen und die damit einhergehenden Veränderungen auf das Baumwachstum als zentrales bzw. verbindendes Element verschiedener Wirkungsketten des Handlungsfeldes „Wald/Forstwirtschaft“ definiert werden können. Deshalb wurde „Standort und Baumwachstum“ als zentraler Bereich der Wirkungsketten festgelegt. Seitenketten sind die Teilbereiche „Holzproduktion“, „Wasser“, „Lebensbedingungen von Arten“ und „Erholung“<sup>2</sup>. Sie werden aufbauend auf „Standort und Baumwachstum“ in den folgenden Kapiteln separat beschrieben.

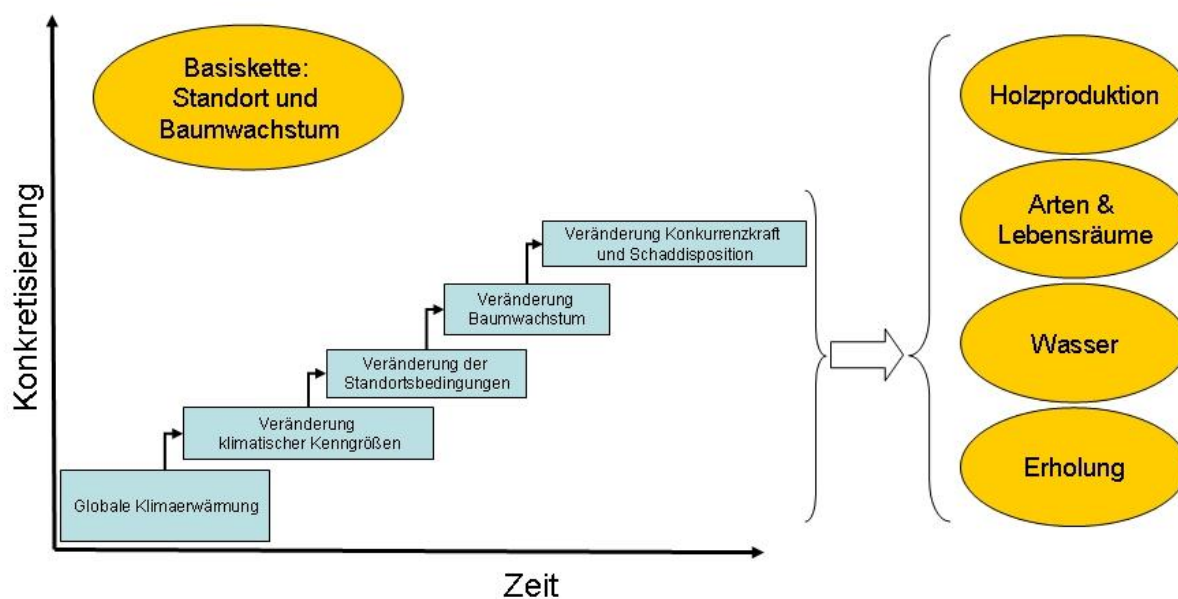


Abb. 1: Wirkungskette „Standort & Baumwachstum“ als zentraler Bereich des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft „Basiskette“ für weitere Kettenglieder / Teilbereiche

<sup>2</sup> Die frühere Einteilung des Handlungsfeldes durch seinen begleitenden Arbeitskreis konnte somit in den meisten Punkten beibehalten werden.

## 1.1 Bezüge zu *anderen* Handlungsfeldern

Das Handlungsfeld Wald / Forstwirtschaft weist Bezüge zu fast allen anderen Handlungsfeldern auf, in denen Anpassungsstrategien entwickelt werden. Besonders stark sind die Überlappungen mit den Handlungsfeldern „Naturschutz“ und „Boden“.

In der nachfolgenden Tabelle wurden die Querschnittsbereiche näher beschrieben.

Tab. 1: Überlappungen des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft mit anderen Handlungsfeldern

<b>Handlungsfeld</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Überlappung</b>
Wasserwirtschaft	Trinkwasserschutz -> Trinkwassergewinnungsgebiete im Wald (Schutzwald): Grundwasserschwankungen / Chemische Veränderungen Hochwasserschutz inkl. Überflutungszonen Auebereiche und Gewässerunterhaltung im Wald	<b>(x)</b>
Gesundheit	Vermehrtes Auftreten von Pflanzen, Pilzen und Tieren im Wald, die für den Menschen ein Gesundheitsrisiko darstellen können (Bsp. Zecken; Eichen-/ Pinienprozessionsspinner; verschiedene Pilzarten; Beifußblättrige Ambrosie)	<b>(x)</b>
Landwirtschaft	Erstaufforstungen / Sukzessionsflächen / Offenhaltung	<b>0</b>
Naturschutz und Biodiversität	naturnahe Waldwirtschaft; Tot-/Altholzkonzepte Schutzgebiete im Wald für seltene Arten und Pflanzengesellschaften Genetik / Autochthone Populationen	<b>x</b>
Tourismus	Erholung in Waldgebieten (Wintersport / Wandern / MTB) Luftkurorte (hoher Waldanteil)	<b>(x)</b>
Boden	Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit: Erosion (Schutzwald); Versauerung; Verdichtung; geschlossene Stoffkreisläufe	<b>x</b>
Raum- und Regionalplanung	Forstliche Rahmenplanung; Definition von Vorranggebieten z.B. in Kommunalwäldern (Erholungswald), Biosphärenreservate, Naturparke	<b>(x)</b>
Bevölkerungs- und Katastrophenschutz	Sturmschäden (insb. Verkehrswegsicherung) / Waldbrand	<b>0</b>
Energiewirtschaft	Biomassenutzung / CO2-Bindung Windenergiegewinnung im Wald	<b>(x)</b>
Wirtschaft	Forstwirtschaft und nachfolgende Wertschöpfungskette als Arbeitgeber/Einkommensquelle	<b>(x)</b>

*x = deutliche Überlappung vorhanden; (x) = Überlappungen möglich; 0 = geringe bis keine Überlappungen*

## 1.2 Grunddaten zur Bewaldung, Baumarten und Besitzverhältnissen

Baden-Württemberg gehört mit seinen 1,4 Mio. ha Wald und einem Waldanteil von 38% an der Landesfläche zu den walddreichsten Bundesländern. Gemäß der letzten Waldinventur besteht der Gesamtwald Baden-Württembergs zu 58% aus Nadelbäumen und zu 42% aus Laubbäumen. Die zuwachsstarke Fichte (*Picea abies*) ist auf etwas mehr als einem Drittel der Waldfläche (38%) anzutreffen und damit die häufigste Baumart. Es folgen Buche (*Fagus sylvatica*) mit 21%, Tanne (*Abies alba*), Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur*, *Q. petraea*) sowie Kiefer (*Pinus sylvestris*) mit Anteilen von je 7 – 8%. Die Buntlaubhölzer Esche, Ahorn und Hainbuche nehmen zusammen 9% der Waldfläche ein.

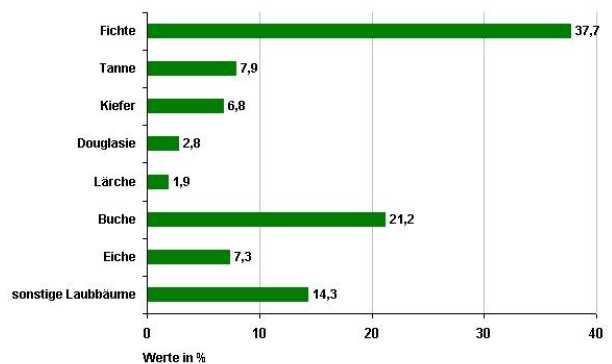
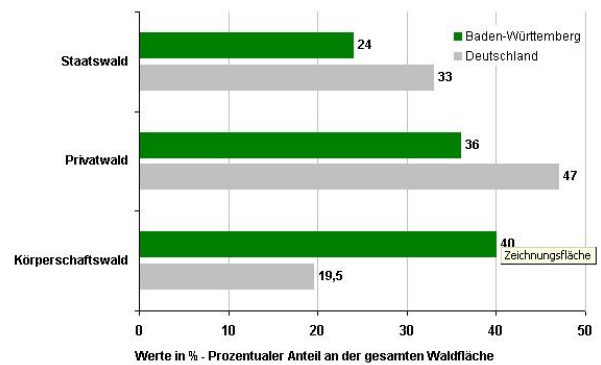
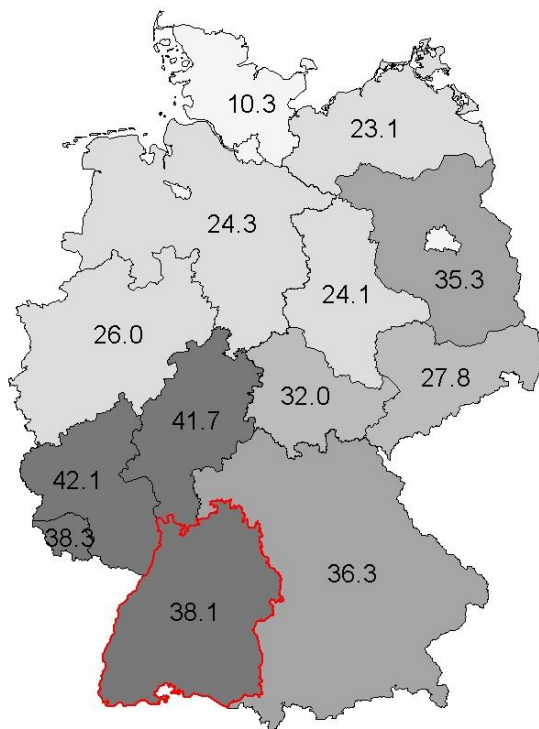


Abb. 2 links : Waldflächenanteil in den Bundesländern (Abb. Unseld)

Abb.3 rechts oben: Waldflächenanteil nach Eigentumsarten [Datenquelle: Forst BW]

Abb.4 rechts unten: Baumartenanteile am Holzvorratsvolumen [Datenquelle: Forst BW]

Die Baumartenzusammensetzung hat sich in den vergangenen 20 Jahren zugunsten der Laubbäume verschoben (+ 7%) [KÄNDLER et al. 2004]. Die Fichte hat durch hohe Sturmschäden inklusive Folgekatastrophen durch Borkenkäfer und durch gezielte waldbauliche Maßnahmen deutlich an Fläche verloren (- 6%). Insbesondere im Staatswald wurden in den letzten beiden Jahrzehnten im Rahmen der naturnahen Waldwirtschaft viele ehemalige Fichtenflächen mit Laubbäumen bestockt.

Die Fichte ist in allen Landesteilen mit Ausnahme des Rheingrabens mit hohen Anteilen an der Waldfläche vertreten (Abb.5). Die zweithäufigste Baumart Buche ist insbesondere auf der Schwäbischen Alb mit hohen Waldflächenanteilen anzutreffen. Eichen kommen mit höheren Anteilen im Rheingraben, dem Neckarland und im Odenwald vor.

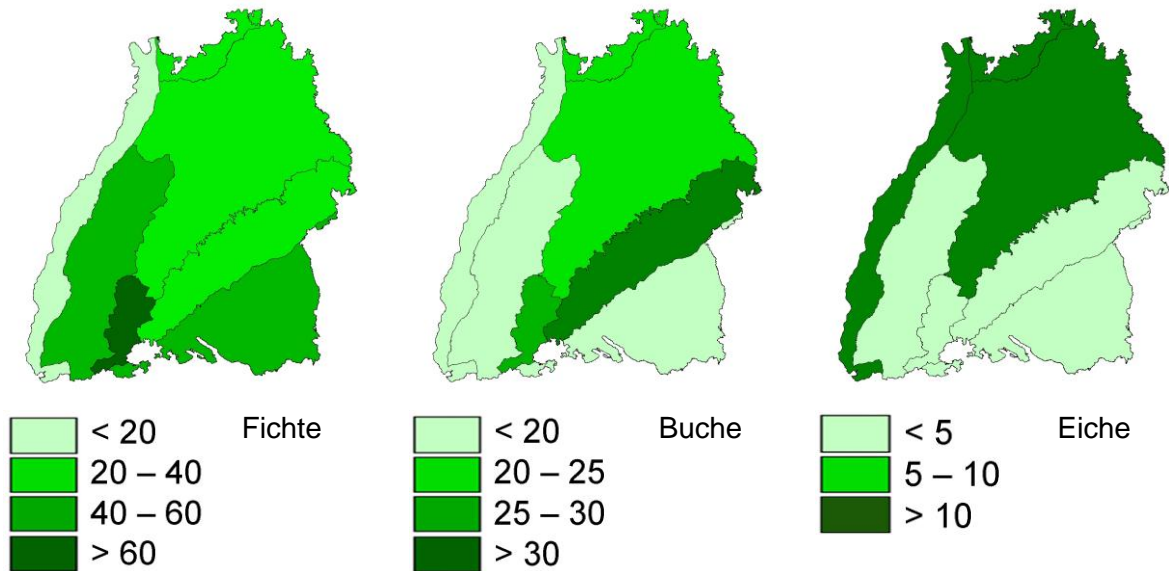


Abb.5: Waldflächenanteile (in %) der Hauptbaumarten Baden-Württembergs in den Wuchsgebieten.  
Daten: MLR (2011)

Hinsichtlich der Eigentumsverhältnisse ist Baden-Württemberg durch einen hohen Kommunalwaldanteil gekennzeichnet (40%), der Bundesdurchschnitt liegt hier bei 20%. Im Durchschnitt verfügt jede der 1100 Gemeinden des Landes über rund 500 Hektar Wald. Fast ebenso viel Waldfläche ist in privater Hand (36%). Zwei Drittel der Privatwaldfläche besitzen Eigentümer mit Betriebsgrößen von mehr als 200 ha. Zahlenmäßig am bedeutsamsten sind jedoch Waldbesitzer mit weniger als 5 ha Waldfläche („Kleinstprivatwald“). Mit rund 190.000 Betrieben stellt diese Gruppe über 70% aller Waldeigentümer in Baden-Württemberg. Die mittelgroßen Waldflächen von 5 – 200 ha gehören häufig zu kombinierten Betrieben z.B. im Höfegebiet und können als Einkommensquelle in Kombination mit Landwirtschaft eine wichtige Bedeutung besitzen. 24% der Waldfläche sind sogenannter Staatswald und in Besitz des Landes Baden-Württemberg, das somit auch den größten Waldbesitzer des Landes stellt (330.000 ha). Der Staatswald wird vom Landesbetrieb ForstBW nach dem Konzept der „Naturnahen Waldwirtschaft“ [MLR, 1993] bewirtschaftet. Die Waldbewirtschaftung ist bereits nach den Kriterien des PEFC<sup>3</sup> zertifiziert, das Zertifizierungsverfahren gemäß FSC-Richtlinien<sup>4</sup> läuft derzeit und wird voraussichtlich im ersten Halbjahr 2013 abgeschlossen sein.

<sup>3</sup> Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes

<sup>4</sup> Forest Stewardship Council.



### 1.3 Nutzfunktion

Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern ist in Baden-Württemberg der wichtigste und am häufigsten genutzte nachwachsende Rohstoff. In den letzten Jahren wurden jährlich bei der Pflege und Bewirtschaftung in den Wäldern des Landes rund 9 Millionen Kubikmeter geerntet. Die Fichte ist in Baden-Württemberg die ökonomisch bedeutsamste Baumart („Brotbaum“). Ihr Anteil am gesamten Holzeinschlag beträgt über 70%. Baden-Württemberg nimmt zusammen mit Nordrhein-Westfalen und Bayern bundesweit die Spitzenposition bei der Bereitstellung von Holz ein. Möglich ist dies aufgrund der höchsten Holzzuwächse (13,7 Vfm pro Jahr und ha<sup>5</sup>) innerhalb Deutschlands und hoher Bestandesvorräte. Die Waldbestände des Landes sind nach Bayern die vorratsreichsten im Bundesgebiet (370 Vfm/ha). Bemerkenswert ist, dass über drei Viertel des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes im Land verbleiben. Die Sägeindustrie ist mit knapp zwei Dritteln der Menge Hauptabnehmer, gefolgt vom Rundholzhandel. Daneben sind Zellstoff- und Papierindustrie, sonstige Holzindustrie und Selbstwerbeunternehmen von Bedeutung. Die Forst- und Holzwirtschaft in Baden-Württemberg ist durch eine tief gestaffelte Wertschöpfungskette und durch ihre mittelständische Struktur mit einem hohen Anteil kleiner und mittlerer Betriebe gekennzeichnet. Sie sind überwiegend im Ländlichen Raum angesiedelt und haben damit einen wesentlichen Einfluss auf die regionale Wirtschaftsentwicklung und Beschäftigung.

#### Cluster Forst & Holz

Von Seiten des Europäischen Parlaments erfolgte eine Definition des sogenannten „Clusters Forst & Holz“. Demnach umfasst dieses Cluster neben den bisherigen Wirtschaftsbereichen der Forstwirtschaft, der Holzbe- und -verarbeitung, des Papiergewerbes, des Baugewerbes mit Holz und der Handelsvermittlung und des Großhandels mit Holz auch den Wirtschaftsbereich Verlags- und Druckgewerbe. Mit der Abgrenzung und Untersuchung des Clusters konnten seine volkswirtschaftliche und arbeitsmarktpolitische Bedeutung dargestellt werden. Bundesweit und für Baden-Württemberg konnte gezeigt werden, dass das Cluster „Forst & Holz“ eine bedeutende volkswirtschaftliche Rolle spielt [MLR, 2010]. Die wichtigsten Branchen sind das Verlags- und Druckereigewerbe (Umsatzanteil: 34%, Beschäftigtenanteil 40%), das Papiergewerbe (Umsatzanteil: 23%, Beschäftigtenanteil 14%) und das Holz verarbeitende Gewerbe (Umsatzanteil: 22%, Beschäftigtenanteil 24%).

Im Cluster „Forst & Holz“ Baden-Württembergs erzielten den letzten Erhebungen nach rund 200.000 Beschäftigte in 29.000 Unternehmen einen Jahresumsatz von ca. 31 Milliarden

---

<sup>5</sup> Vorratsfestmeter (Vfm) = Angabe des Holzvorrates eines stehenden Baumes oder eines stehenden Baumbestandes inklusive Rinde mit Durchmessern >7cm einschließlich der bei Holzernte im Wald verbleibenden Baumkompartimente (Stockholz, Kronen-/Astderbholz)

Euro. Damit wurden 3,5% des gesamten Wirtschaftsumsatzes des Landes Baden-Württemberg erwirtschaftet und 4,3% aller Beschäftigten waren im Cluster Forst & Holz tätig. Der Beschäftigten-Anteil ist im ländlichen Raum deutlich höher.

### **Holz als erneuerbare Energie**

Der forstlichen Biomasse kommt eine wichtige Rolle bei dem Ersatz fossiler Brenn- und Rohstoffe als erneuerbare Energiequelle zu. In Baden-Württemberg werden jährlich 4 Millionen Festmeter Waldholz energetisch genutzt und ersetzen somit rechnerisch mehr als 910 Millionen Liter Heizöläquivalente. Bei der weitestgehend klimaneutralen Energiegewinnung wird dadurch ein zusätzlicher Ausstoß von 2,5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> vermieden.

### **Weitere Nutzungen**

Nach der Holznutzung ist die Jagd eine bedeutsame Nutzungsart in den Wäldern Baden-Württembergs. Gemäß den Angaben der Wildforschungsstelle Baden-Württemberg<sup>6</sup> ist Rehwild mit über 160.000 Abschüssen (Stand 2011) die mit Abstand am häufigsten erlegte Wildart in Baden-Württemberg. Dies bedeutet einen Anteil von rund 50% der gesamten Jagdstrecke. Nach Rehen werden Füchse und Wildschweine am häufigsten erlegt. Derzeit bestehen noch erhöhte Schäden durch Wildverbiss an jungen Bäumen insbesondere an Tanne und Eiche [FORST BW, 2010]. Überhöhte Wildbestände können die Etablierung von Laub- und Nadelholzmischbeständen deutlich erschweren.

## **1.4 Schutzfunktionen und Erholung**

Die Schutzfunktionen beinhalten den Schutz von Tieren und Pflanzen, des Wassers, der Luft, des Bodens, des Landschaftsbildes und des Klimas.

### **Tiere und Pflanzen**

Gemäß Landeswaldgesetz kommt der Erhaltung des Waldes wegen seiner Bedeutung für die Tier- und Pflanzenwelt eine besondere Bedeutung zu. In Baden-Württemberg sind in den Wäldern Natura 2000-Flächen, Schonwälder, Waldbiotope sowie dauerhaft oder temporär nutzungsfreie Flächen ausgewiesen. Daneben sind Wälder in Natur- und Landschaftsschutzgebiete integriert. Nennenswerte Waldflächen sind zudem in Naturparks und einem Biosphärenreservat des Landes vorhanden. Die Ausweisung eines Nationalparks im Nordschwarzwald ist derzeit in Diskussion und erste Planungen wurden vorgestellt. Die größte Waldflächenausweisung erfolgte im Rahmen der europäischen Naturschutzkonzeption Natura 2000 auf Grundlage der EG-Vogelschutzrichtlinie und der FFH-Richtlinie (Fauna-Flora-Habitat) zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in Europa. In

---

<sup>6</sup> Berichte der Wildforschungsstelle Nr. 18 Jagdbericht Baden-Württemberg 2010/2011

Baden-Württemberg sind davon rund 380.000 Hektar Wald (27% der gesamten Waldfläche) ausgewiesen. Neben natürlichen Waldgesellschaften („Waldlebensraumtypen“) beinhalten die Flächen Lebensräume seltener Tier- und Pflanzenartenarten.

Tab.2: Flächengröße und Anteile von Naturschutzflächen im Wald mit Nutzungsoptionen

Flächenstatus	Fläche ha	Anteil an der Gesamtwaldfläche%
Natura 2000-Flächen	380.000	27
Waldbiotope	82.000	6
Schonwälder	18.200	1,3

Als besonders hochwertig geltende Lebensräume im Wald sind als Waldbiotope erfasst. Ihr Anteil an der gesamten Waldfläche beträgt rund 6%. Schwerpunkte der Ausweisung sind seltene, naturnahe Waldgesellschaften, gefolgt von naturnahen Fließgewässern und strukturreichen Waldbeständen. Flächenmäßig bedeutsam sind weiterhin Naturgebilde, Moore und Feuchtgebiete. Schonwäldern sind der Bewirtschaftung nicht entzogen. Grundlage eines Schonwalds ist die Festlegung eines bestimmten Schutzziels, auf das die Bewirtschaftung ausgerichtet ist. Als Schutzziele können zum Beispiel eine Optimierung der Lebensbedingungen für einzelne Tier- und Pflanzenarten, die Erhaltung bestimmter Waldgesellschaften oder historischer Waldformen genannt werden. Kontrolle und Durchführungsplanung erfolgt über die Forsteinrichtung, die als kontinuierliche Planung in der Regel alle 10 Jahre in einem Forstbetrieb stattfindet. In folgender Tabelle sind die bestehenden und geplanten nutzungsfreien Waldflächen aufgeführt.

Tab.3: Nutzungsfreie Waldflächen (Stand: 01.03.2013)

Flächenstatus	Fläche aktuell ha	Anteil an der Gesamtwaldfläche %
Bannwälder <sup>1</sup>	8.900	0,6
Walddrefugien	1.600	0,1
Habitatbaumgruppen	500	0,03

<sup>1</sup> beinhaltet die dem Bannwald gleichgestellten Flächen des Biosphärengebietes Schwäbische Alb.

Bannwälder sind Totalreservate, in denen jegliche Nutzung per Rechtsverordnung verboten ist. Es sind weder Pflegemaßnahmen erlaubt, noch darf anfallendes Holz entnommen werden. Eine wichtige Zielsetzung der Bannwälder ist die wissenschaftliche Erforschung natürlicher Abläufe in Wäldern, was auch im Rahmen von Untersuchungen zum Klimawandel zunehmend an Bedeutung gewinnt. Im Zuge der großflächigen Natura 2000-Gebietsausweisungen wurde für den öffentlichen Wald ein Alt- und Totholzkonzept entwickelt [SCHMALFUß et al. 2010]. Es beinhaltet zwei Säulen: Walddrefugien und Habitatbaumgruppen. Bei den Refugien handelt es sich um Waldflächen von einem Hektar Größe, die aus ökologischen Gründen nicht forstwirtschaftlich genutzt werden. Zu beachten

ist, dass die Habitatbaumgruppen temporär ausgewiesen werden und nicht dauerhaft von einer Nutzung ausgeschlossen sind.

## Wasser und Boden

Wald in Wasserschutzgebieten soll die Qualität des Grundwassers und der Oberflächengewässer sichern und verbessern<sup>7</sup>. Außerdem sollen mit Wasserschutzwäldern Hochwasserschäden und Erosion minimiert und eine stetige Wasserspende erreicht werden. Bei Wasserschutzgebieten im Wald wird unterschieden zwischen „nach Wasserrecht ausgewiesenem Schutzgebiete“, welche rund 25% der Gesamtwaldfläche belegen, und "Sonstigem Wasserschutzwald". Letzterer nimmt rund 10% der Waldfläche ein. Bodenschutzwald soll mit Hilfe einer tiefgründigen Durchwurzelung seinen Standort und den von anliegenden Flächen vor Erosionsschäden wie Erosion durch Wasser und Wind schützen. Auch Steinschlag auf Verkehrswege, Wohn- und Industriegebiete sowie Landwirtschaftsflächen sollen durch Bodenschutzwälder verhindert werden. Fast ein Fünftel der Gesamtwaldfläche ist als Bodenschutzwald ausgewiesen.

Tab.4: Flächengrößen und –anteile von Wald mit Schutzkategorieeinstufung.  
Quelle: [www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de) und LUBW Stand 2011

Schutzkategorie	Fläche ha	Anteil an der Gesamtwaldfläche%
Erholungswald Stufe 1 und 2	383.000	27
Wasserschutzgebiete	359.700	26
Gesetzlicher Bodenschutzwald	249.000	18
Klimaschutzwald	178.000	13
Sonstiger Wasserschutzwald	115.000	8

## Klima

Klimaschutzwald soll lokal und regional bebaute oder landwirtschaftlich genutzte Flächen vor nachteiligen Kaltluft und Windeinwirkungen schützen. Mit rund 13% nimmt er einen nennenswerten Anteil an der Gesamtwaldfläche ein, der insbesondere lokal und regional erhebliche Bedeutung haben kann.

Darüber hinaus hat der Wald Baden-Württembergs als CO<sub>2</sub>-Speicher eine überregionale Bedeutung. Bei der Bildung von Biomasse wird der Atmosphäre CO<sub>2</sub> entzogen und als Kohlenstoff in die Biomasse eingebaut. In den Wäldern Baden-Württembergs waren bis zum Jahr 2002 auf rd. 1,3 Mio. ha Waldfläche 172 Mio. t C in der Dendromasse, 143 Mio. t C im Bodenhumus und 37 Mio. t C in der Auflage inkl. Totholz gespeichert [PISTORIUS et al. 2007]. Mittels der Bundeswaldinventur I und II wurde geschätzt, dass zwischen 1987 und 2002 rund

<sup>7</sup> Wasser aus Waldgebieten haben im Gegensatz zu Wasser aus landwirtschaftlich geprägten Gebieten in der Regel nur sehr geringe Nitratbelastungen.

7% der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes in Form von Holz (Waldbiomasse und daraus erzeugte Produkte) fixiert wurden [PISTORIUS et al., 2007]. Mit Blick auf die Entwicklung der Holzvorräte wurde bis zum Jahr 2012 von einem weiteren Anstieg der Speicherleistung des Waldes in Baden-Württemberg ausgegangen.

## **Erholung**

Die Wälder in Baden-Württemberg werden besonders in den Ballungsräumen überdurchschnittlich oft zur Erholung und zu Freizeitaktivitäten genutzt. Nach Schätzungen der Forstverwaltung sind über 6 Mio. Besucher pro Woche im Wald anzutreffen. Schwerpunktbereiche häufiger Besuche liegen in Großstadtnähe. Frequentiert werden die Wälder von Spaziergänger und Wanderern sowie zunehmend von Radfahrern und anderen Sportlern. Besonders in den ausgewiesenen Naturparks (29% der Landeswaldfläche) sollen die Interessen des Natur- und Landschaftsschutzes mit Erholungsinteressen abgestimmt werden. Rund 27% der Gesamtwaldfläche sind der Schutzkategorie „Erholungswald“ (Stufe I und II) zugeordnet.

# 1. Wirksame Klimaparameter

Im vorliegenden Kapitel sollen die für das Handlungsfeld mit seinen Teilbereichen wirksamen Klimaparameter genannt werden. Gemäß Vorgaben des Auftraggebers sollen lediglich solche Klimaparameter behandelt werden, die eine direkte Wirkung auf das Handlungsfeld ausüben bzw. ausüben können. Die wichtigsten Klimaparameter wurden in folgender Tabelle zusammenfassend genannt. Die Werte für die Klimaparameter wurden von der LUBW für dieses Gutachten bereitgestellt und entstammen aus mehr als 20 Klimamodellen („Ensemble“)<sup>8</sup>. Räumliche Schwerpunkte werden im darauf folgenden Kapitel im Rahmen der Vulnerabilitätsanalyse genannt (Kap.3). Die Wirkungen der unten aufgeführten Klimaparameter und ihrer vermutlichen Veränderungen werden dort ebenfalls anhand der Wirkungsketten behandelt.

Tab.5: Veränderung waldrelevanter Klimaparameter im Vergleich zum langfristigen Mittel (1971-2000)

Datenbasis: Modellerte LUBW-Daten für die kurzfristige (2021-2050) und langfristige (2071-2100) Klimaentwicklung sowie Qualitätseinschätzung des Klimasignale bezüglich ihrer Aussagekraft. Angegeben sind durchschnittliche Veränderungen für die gesamte Landesfläche Baden-Württembergs

Klimaparameter	heute	2021 - 2050	2071 - 2100	Qualität Klimasignal
Durchschnittstemperaturen / Jahr	8,4 °C	+ 1,1 °C	+ 3,0 °C	gut
Beginn der Vegetationsperiode	31.März	- 5 Tage	- 13 Tage	gut
Anzahl heißer Tage („Tropentage“)	4	+ 3	+ 21	gut
Datum letzter Frost	23. April	- 7 Tage	- 20 Tage	gut - mäßig
Durchschnittsniederschlagsmengen / Jahr	949 mm	+ 4%	+ 1%	sehr mäßig
Jahreszeitliche Verschiebung der Niederschlagsmengen				
Winterhalbjahr(Monat 09 - 02)	443 mm	+7%	+ 16%	mäßig
Sommerhalbjahr (Monat 03 – 08)	512 mm	-1%	- 9%	mäßig
Vegetationsperiode (Monat 05 – 09)	433 mm	-1%	-10%	mäßig
Frühjahr (Monat 03 – 05)	134 mm	+7%	+13%	sehr mäßig
Trockenheitsereignisse				
Mittlere Dauer Trockenperioden	3,5 Tage	+ 0,2 Tage	+ 0,7 Tage	sehr mäßig
Längste Dauer Trockenperioden	21 Tage	+ 1 Tag	+ 1 Tag	mäßig
Anzahl Starkregen (> 25mm / Tag)	3 Tage	+ 0,7 Tage	+ 1 Tag	mäßig-sehr mäßig.
Wasserbilanz <sup>9</sup>				
Gesamtes Jahr (Monat 01 - 12)	597 mm	- 24 mm	+ 4 mm	sehr mäßig
Mai – Juni / Juli – August	85 / 62 mm	+ 5 mm / -13mm	-27mm/-55mm	mäßig
Häufigkeit Extremereignisse <sup>10</sup> ; Dürren	-	-	-	-
Häufigkeit Nassschneeereignisse	-	-	-	-
Trockenheitsindizes	-	-	-	-

<sup>8</sup> Emissionsszenario A1B

<sup>9</sup> Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung.

<sup>10</sup> Hagel; Sturm; Hochwasser

### **Erläuterung zur Tabelle**

Bei den in Tab.5 genannten Werten handelt es sich jeweils um Durchschnittswerte für ganz Baden-Württemberg. Sie berechnen sich aus insgesamt 54 Rasterwerten des Ensembles (Raster 25 x 25 km). Es wurden modellierte Klimaparameter für eine Entwicklung in naher und ferner Zukunft (2021-2050 bzw. 2071-2100) bereitgestellt. Hinzugefügt ist eine subjektive Einschätzung des Gutachters über die Aussagekraft der Ensembleergebnisse. Sie wurde anhand der Kriterien Abweichung vom tatsächlichen („wahren“) Wert sowie Streuung, Stärke und Richtungssicherheit des Klimasignals getroffen und deckt sich im Großen und Ganzen mit der Voreinschätzung der LUBW [vgl. LUBW 2012].

## **2.1 Veränderung von Temperaturgrößen**

Es ist von einer merklichen Temperaturzunahme in der Zukunft auszugehen.

Die Jahresdurchschnittstemperatur für Baden-Württemberg liegt derzeit bei 8,4 °C. Im Mittel (Median) kommt es in den kommenden 40 Jahren zu einem Temperaturanstieg von 1,1 °C (0,8 – 1,7 °C<sup>11</sup>). Nach 80 Jahren beträgt der Temperaturanstieg durchschnittlich 3,1°C (2,5 - 3,6 °C). Nach Auswertung der verschiedenen Klimamodelle zeigt sich insgesamt ein starkes Klimasignal mit hoher Richtungssicherheit und geringen Streuungen. Werte zu den Durchschnittstemperaturen im Winter- und Sommerhalbjahr lagen nicht vor.

Es kann ein deutlich früherer Beginn der Vegetationszeit erwartet werden.

In Baden-Württemberg beginnt die Vegetationszeit derzeit im Durchschnitt nach 91 Tagen (31.März). In den kommenden 40 Jahren verlängert sich die Vegetationszeit um fast 5 Tage (3 bis 8 Tage) und in ferner Zukunft um etwas mehr als 13 Tage (9 bis 20 Tage). Wie bereits die Durchschnittstemperatur zeigt der Ensemblewert insgesamt ein starkes Klimasignal mit hoher Richtungssicherheit und geringen Streuungen.

Es kann zukünftig mit deutlich mehr heißen Tagen gerechnet werden.

Die Anzahl heißer Tage (Max.T > 30°C) beträgt derzeit rund 4 Tage im Jahr. Sie werden sich in naher Zukunft nahezu verdoppeln und in der fernen Zukunft verfünffachen. Die Gefahr von Hitzeperioden nimmt dadurch deutlich zu. Das Klimasignal der Ensemblewerte ist ebenso wie deren Richtungssicherheit stark ausgeprägt und die Streuungen der Modellwerte gering.

Spätfröste erfolgen zukünftig erkennbar früher.

Das Datum des letzten Frostes verringert sich vom derzeit 114.Tag (23.April) des Jahres auf den 107.Tag (16.4.) in naher Zukunft und schließlich auf den 94.Tag (3.April) in ferner Zukunft. Die Streuungen der Modellwerte, das Klimasignal und die Richtungssicherheit sind hoch. Im Vergleich zum Beginn der Vegetationsperiode verschieben sich die Spätfrostereignisse damit noch schneller in Richtung Jahresanfang.

## **2.2 Veränderung von Niederschlagsgrößen**

Der Niederschlag ist deutlich schwieriger zu simulieren als die Temperatur [LUBW, 2012].

Die Streuungen der modellierten Werte aus den Klimaszenarien sind bei nahezu allen berechneten Kenngrößen sehr hoch. Um die Qualität der Klimaprojektionen zu testen, werden die derzeitigen Ist-Werte durch die Modelle berechnet und mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen. Die Validierung mit Hilfe der Berechnung heutiger Durchschnittswerte zeigt dabei fast immer eine deutliche Überschätzung gegenüber den

<sup>11</sup> Als Werterahmen werden die Werte der 15% bzw. 85% Perzentile um den Median angegeben.

tatsächlich gemessenen Werten (nur die Starkregenanzahl wird unterschätzt). Bei einigen Kenngrößen konnten dennoch erste Beurteilungen vorgenommen werden.

Es deuten sich auch in Zukunft gleichbleibende Niederschlagsmengen an. Gleichwohl ist langfristig möglicherweise mit einer Verschiebung der Niederschlagsmengen in Richtung Winterhalbjahr zu rechnen, für die nahe Zukunft trifft dies offensichtlich nicht zu.

Derzeit beträgt der Niederschlag in Baden-Württemberg durchschnittlich 950 mm, davon fallen im Winterhalbjahr 440 mm und im Sommerhalbjahr 510 mm. Von den Modellen werden die Niederschlagswerte deutlich unterschätzt. Im Gegensatz zum Gesamtniederschlag, der bei den Modellannahmen nahezu konstant bleibt, ist bei der Winter/Sommerverteilung zumindest eine gewisse Richtung zu erkennen. Demnach besteht die Tendenz, dass sich die Niederschläge langfristig vom Sommer- ins Winterhalbjahr verschieben, in nächster Zeit bleiben sie aber offenbar noch konstant.

Tendenziell ist damit zu rechnen, dass sich die Niederschlagsmengen im gesamten Frühjahr etwas erhöhen. Es scheint so, als ob eine deutliche Niederschlagsreduktion eher im Spätsommer stattfinden würde.

In den Frühjahrsmonaten März - Mai fallen derzeit rund 130 mm Niederschlag. Tendenziell könnten sich die Niederschlagsmengen im Vergleich zu heute sowohl kurz- als auch langfristig in diesem Zeitraum erhöhen. Die Richtungssicherheit ist allerdings als mäßig zu bezeichnen. Die Streuungen sind wie bei allen Niederschlagswerten sehr hoch. Gemäß der monatlichen Verteilung der Niederschlagsmengen (in Tab.5 nicht aufgeführt) nehmen die Niederschlagsmengen erst im Juli deutlich ab.

Es zeigt sich eine leichte Tendenz, dass die Dauer von Trockenperioden<sup>12 13</sup> geringfügig steigen könnte. Das Ausmaß sehr langer Trockenperioden nimmt offenbar nicht zu.

In Baden-Württemberg beträgt die mittlere Dauer von Trockenperioden während der Vegetationszeit 3,5 Tage. In naher und ferner Zukunft verlängern sich die Trockenperioden offenbar geringfügig. Die Aussagekraft der Klimaparameter ist allerdings als sehr mäßig einzuschätzen (hohe Streuungen, geringes Klimasignal und geringe Richtungssicherheit). Die längste Dauer einer Trockenperiode beträgt derzeit im Durchschnitt 21 Tage. Eine Jahreszeitangabe lag für die Klimakenngröße nicht vor. Insgesamt ergibt sich keine nennenswerte Zunahme der maximalen Dauer von Trockenperioden. Die Aussagekraft der Klimakenngröße wurde aufgrund hoher Streuungen und keiner klar erkennbarer Signalrichtung als mäßig eingestuft.

Aussagen zu einer zunehmenden Häufigkeit von langen Trockenperioden konnten mangels Daten nicht getroffen werden. Hierzu merkt die LUBW (2008) im Rahmen des Projektes KLIWA an: „Für die Landwirtschaft ist bedeutsam, dass künftig die Anzahl der Trockenperioden (mindestens 11 aufeinander folgende Tage mit einem Niederschlag von weniger als 1 mm) pro Jahr abnimmt. Ebenso wird die Anzahl der Trockentage (Niederschlag weniger als 1 mm) geringer. Diese Tendenz zur Abnahme wurde für die letzten Jahrzehnte bereits in der Untersuchung des Langzeitverhaltens der Niederschläge festgestellt.“

Die Tagesanzahl, an denen Starkregen fällt, kann möglicherweise zunehmen. Die Wassermengen zeigen ebenfalls eine leichte Zunahmetendenz.

An etwas mehr als 3 Tagen im Jahr fallen in Baden-Württemberg derzeit mehr als 25 mm Niederschlag. In naher und ferner Zukunft ist offenbar mit einem zusätzlichen Starkniederschlagstag zu rechnen. Die Menge der Starkniederschläge von derzeit rund 40 mm nimmt ebenfalls tendenziell eher zu (um 6% in naher Zukunft bzw. 13% in ferner Zukunft). Die

<sup>12</sup> LUBW (2012): „Unter Trockenperioden veg wird die durchschnittliche Dauer von Trockenperioden in der Vegetationsperiode (Mai bis September) definiert. Als Trockenperioden werden zusammenhängende Zeiträume bezeichnet, bei denen pro Tag unter 1 mm Niederschlag fällt.“

<sup>13</sup> DWD-Lexikon: „Eine Trockenperiode ist ein mehr oder weniger langer Zeitraum mit ausgeprägter trockener Witterung. Es existieren keine einheitlichen Festlegungen, ab wie viel Tagen ohne (oder mit nur sehr geringen) Niederschlägen von einer "Trockenperiode" die Rede sein kann. Sie hängt vom Wasserbedarf der einzelnen Bereiche ab und kann demzufolge in der warmen Jahreszeit schon nach einigen trockenen Tagen beginnen.“



Aussagekraft der Klimaparameter aus den Modellrechnungen ist als mäßig bis sehr mäßig einzuschätzen

Die Aussagen für die Niederschlagsmengen treffen weitestgehend auch für die Werte der klimatischen Wasserbilanz zu.

Es zeichnen sich leichte Tendenzen dahingehend ab, dass im Frühsommer (Mai/Juni) in der Zukunft etwas weniger verdunstet wird als heute und somit mehr Wasser zur Verfügung steht. Dagegen steigt im Hochsommer (Juli/August) die Verdunstung offenbar deutlich an, so dass in ferner Zukunft annähernd ausgeglichene Wasserbilanzwerte entstehen könnten (heute noch deutlich positiv). Die Streuungen der Modellwerte sind allerdings hoch, es besteht bei Betrachtung der Einzelmonate jedoch eine gewisse Richtungssicherheit.

## 2.3 Relevante Klimakenngrößen ohne Modellwertangaben

Zur Häufigkeit von Extremereignissen (Hagel, Sturm, Hochwasser) und Nassschneeeereignissen standen ebenso wie zu Trockenheitsindizes oder Dürrehäufigkeiten<sup>14</sup> keine modellierten Daten zur Verfügung. Die behelfsweise gesichteten Daten der maximalen Windgeschwindigkeiten (monatliche Auflösung) zeigten keine nennenswerten Zunahmen. Nach ALBRECHT et al. (2009) war eine Zunahme der Sturmhäufigkeit trotz großer Schadereignisse in den letzten Jahrzehnten für Baden-Württemberg offenbar nicht zu vermerken.

Das WALDPROGRAMM BADEN-WÜRTTEMBERG (2006) führt hinsichtlich einer Zunahme von Sturm- und Hochwasserereignissen aus: „Nach einer Bewertung des Deutschen Wetterdienstes ist der Orkan „Lothar“ mit den Stürmen „Wiebke“ und „Vivian“ im Jahr 1990 sowie mit davor liegenden Stürmen, z.B. dem Capella-Orkan im Jahre 1976 in Niedersachsen, vergleichbar. An zahlreichen Messstationen Süddeutschlands wurden neue Extremwerte der Windgeschwindigkeiten verzeichnet. Alle Messungen und Beobachtungen liegen aber im Rahmen der üblichen Variabilität der Witterung in Mitteleuropa. Ein Zusammenhang zwischen solchen Einzelereignissen und einer möglichen Klimaänderung kann derzeit nicht nachgewiesen werden.“

FRANK et al. (2010a) gehen anhand ihrer Modellierungen für zukünftige Sturmereignisse davon aus, dass sich die „Ausprägung des zukünftigen Wintersturmgeschehens über Baden-Württemberg gegenüber heute mit großer Wahrscheinlichkeit nicht gravierend“ ändern<sup>15</sup>.

Bei der Einschätzung einer Zunahme von Hochwasserereignissen bestehen noch große Unsicherheiten. Eine Analyse der letzten Jahrzehnte offenbarte tendenziell eine vermehrte Hochwasserhäufigkeit im Winterhalbjahr.

„Die bisher vorliegenden Analysen langer hydrologischer Zeitreihen (70 Jahre und länger) der Hochwasserabflüsse ergeben, dass die meisten Pegel in Baden-Württemberg und Bayern keine statistisch signifikanten Trends zu einer Erhöhung der jährlichen Höchstwerte aufweisen. Bei Beschränkung der Betrachtung auf die letzten 30 bis 50 Jahre ist jedoch eine Tendenz zu einem häufigeren Verhalten der monatlichen Höchstabflüsse verschoben. Ab den 70er Jahren treten im Winterhalbjahr höhere Monatswerte auf als in der Zeit davor“ [KLIWA, 2002 zit. in FLAIG et al. 2003].

<sup>14</sup> Es existieren vielfältige Definitionen von Dürre. Dürre ist ein relativer Begriff, der in Bezug zu den regionalen Niederschlagsverhältnissen gesehen wird. Deshalb sollte immer der Bezug zu den regionalen Verhältnissen hergestellt werden [IPCC 2012].

<sup>15</sup> Experten gehen deutschlandweit gesehen zukünftig von einer Zunahme der Sturmhäufigkeit und –intensität durch zunehmende Westwetterlagen aus. Schwerpunkte sollen aber in Norddeutschland liegen [vgl. FRANK et al., 2010b].

## 2. Vulnerabilität

In diesem Kapitel wird die Verwundbarkeit des Handlungsfeldes mit seinen Teilbereichen gegenüber Klimaänderungen beschrieben. Für jeden Teilbereich des Handlungsfeldes sollte gemäß Auftraggeber möglichst detailgenau die für die Angabe der Vulnerabilität wichtigen Faktoren Exposition (3.2), Sensitivität (3.3) und potenzielle Auswirkungen (3.4) dargestellt werden. Zu Beginn des Kapitels wurden Wirkungsketten aufgestellt (Kap.3.1). Mit ihnen können Exposition und direkte Wirkungen sowie potentielle Auswirkungen besser nachvollzogen werden. Ebenfalls sollte die Anpassungskapazität (3.5) und die Dringlichkeit für Anpassungsmaßnahmen vor dem Hintergrund der Geschwindigkeit der bisher stattgefundenen und für die Zukunft projizierten klimatischen Veränderungen beschrieben (3.6) und schließlich eine Gesamtbeurteilung vorgenommen werden (3.7).

### Glossar LUBW (2012):

**Vulnerabilität:** Eine einheitliche Definition von Vulnerabilität liegt derzeit noch nicht vor. Für die zu erstellenden Berichte sollen die folgenden vom IPCC aufgestellten bzw. direkt abgeleiteten Definitionen genutzt werden. „Vulnerabilität ist das Maß, zu dem ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung, einschließlich Klimavariabilität und Extremwerte, anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Vulnerabilität ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und –schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner Sensitivität und seiner Anpassungskapazität [IPCC 2007].“ Die Vulnerabilität eines Sektors oder eines Handlungsbereichs ergibt sich aus der kombinierten Betrachtung von Exposition, Sensitivität und potenzieller Auswirkung [SCHUCHARDT, 2011]. Beispiel Vulnerabilitätsbewertung: Das UBA bewertet die Vulnerabilität im Bereich Wasserwirtschaft in Bezug auf Hochwasserschutz als hoch, obwohl Schutzmaßnahmen existieren, jedoch sind die Auswirkungen des Klimawandels in den meisten Bundesländern bislang nicht in die Planungen integriert. Eine hohe Exposition und eine hohe Sensitivität ergeben starke potenzielle Auswirkungen, die durch eine hohe Anpassungskapazität reduziert werden können. Die Bewertung erfolgt deskriptiv, d.h. gering, mittel, hoch [ZEBISCH, 2005].

**Exposition:** Die Exposition „beschreibt die Veränderungen der auf einen Sektor oder Handlungsbereich einwirkenden klimatischen Parameter (z.B. Temperatur, Niederschlag) sowie daraus resultierende unmittelbar nachgelagerte Effekte (z.B. Veränderung der Abflussregime oder der klimatischen Wasserbilanz) [SCHUCHARDT, 2011].“ Beispiel: Der Anstieg der Durchschnittstemperatur verbessert die Ausbreitungs- und Übertragungsbedingungen von krankheitsübertragenden Vektoren.

**Sensitivität:** „Sensitivität ist der Grad, zu dem ein System durch Klimavariabilität oder Klimaveränderung beeinflusst wird, sei es negativ oder positiv. Die Wirkung kann direkt sein oder indirekt [IPCC 2007].“ „Sensitivität beschreibt die heutige Empfindlichkeit eines Sektors oder Handlungsbereichs gegenüber den aktuellen Klimabedingungen [Schuchardt 2011]“. Beispiel: In dicht bebauten Stadtgebieten können bereits heute ausgeprägte Wärmeinseln entstehen. Durch die Zunahme von Hitzetagen würde sich dieser Effekt noch verstärken.

**Potenzielle Auswirkungen:** „Alle Auswirkungen, die bei einer projizierten Klimaänderung auftreten könnten, ohne Berücksichtigung von Anpassung [IPCC 2007].“ „Potenzielle Auswirkungen ergeben sich aus der Kombination von Exposition und Sensitivität ohne Berücksichtigung zusätzlicher, als Reaktion auf den Klimawandel unternommener Anpassungsmaßnahmen“ [SCHUCHARDT, 2011].“

### 3.1 Wirkungsketten

Wie bereits in Kap.1 vermerkt, ist das Handlungsfeld sehr breit und es wurden anhand von Wirkungsketten die betrachteten Teilbereiche festgelegt. Dadurch konnten Auswirkungen besser strukturiert und Doppelnennungen insbesondere bei der Maßnahmenplanung vermieden werden. Es zeigte sich, dass der Bereich „Standort & Baumwachstum“ für das Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft zentral ist. Von ihm zweigen weitere Teilbereiche (und ihre Wirkungsketten) ab: „Holzproduktion“, „Arten & Lebensräume“, „Wasser“, „Erholung“.

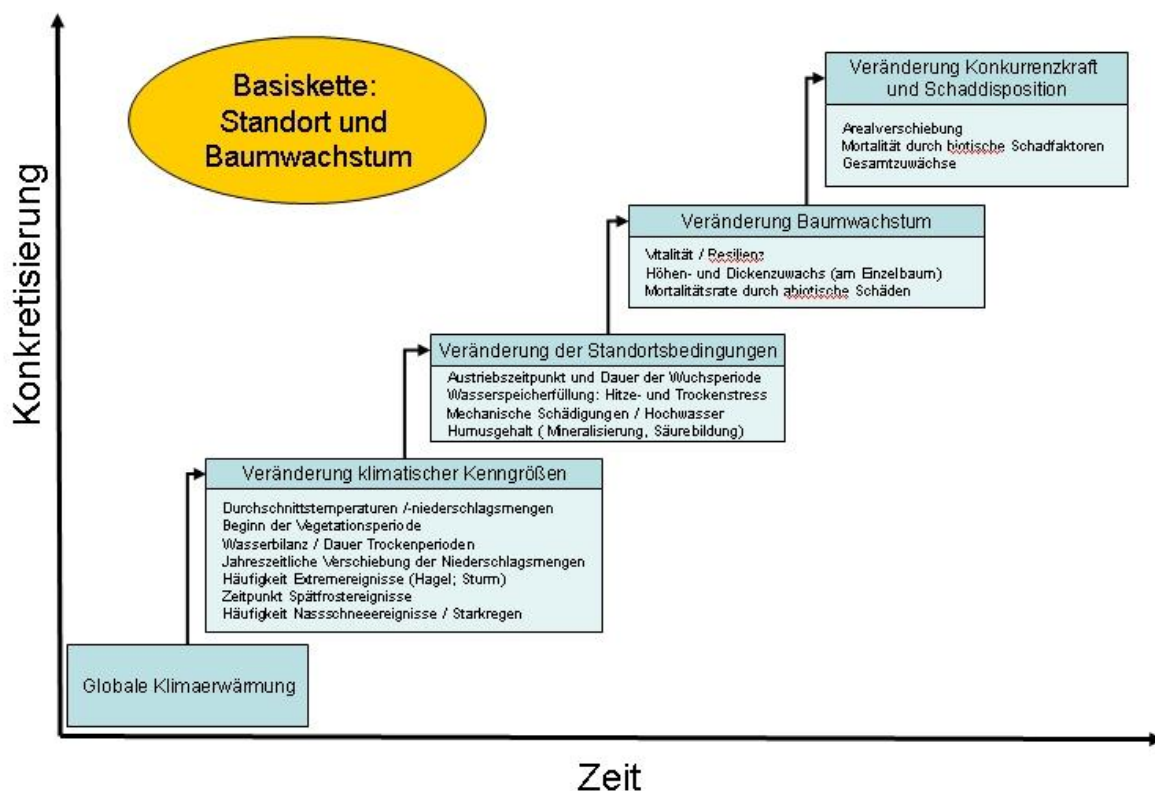


Abb.6: Basiskette „Standort & Baumwachstum“ des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft

Da die Witterung bzw. das Klima relevante Faktoren für die Eigenschaften von Waldstandorten sind, führen veränderte Klimaparameter unmittelbar zu einer Veränderung der Standortbedingungen in Wäldern. Dies beeinflusst direkt das Baumwachstum der Baumarten auf ihren bisherigen Standorten. Eine mögliche Folge sind Veränderungen in der Konkurrenzkraft gegenüber anderen Baumarten. Außerdem ist zu erwarten, dass mit zunehmender Entfernung vom baumartenspezifischen physiologischen Optimum die Mortalitätsrate zunimmt.

Der nachfolgende Teilbereich „Holzproduktion“ ist zwar nur mittelbar von Klimaänderungen betroffen. Allerdings hat eine veränderte Baumartenzusammensetzung der Wälder (Teilbereich „Standort & Baumwachstum“) unmittelbare Auswirkungen auf diesen Teilbereich.

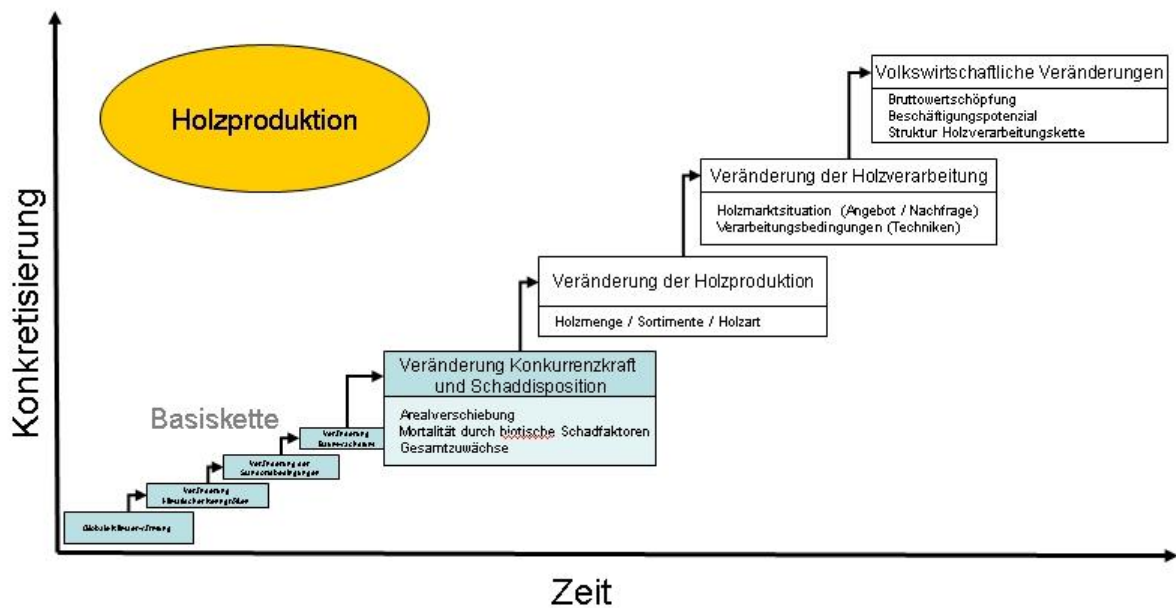


Abb.7: Wirkungskette „Holzproduktion“

Zu nennen sind hier Auswirkungen auf die angebotenen Holzmengen, Holzarten und Holzsortimente (darunter fallen auch die energetische und die stoffliche Nutzung). Diese Effekte wiederum haben unmittelbare Folgen auf die weiterführende Holzverarbeitung und die nachfolgende Wertschöpfungskette. Letztendlich münden sie in Veränderungen betriebs- und volkswirtschaftlich bedeutsamer Größen wie Bruttowertschöpfung und das Vorhandensein von Beschäftigungspotenzialen insbesondere im ländlichen Raum.

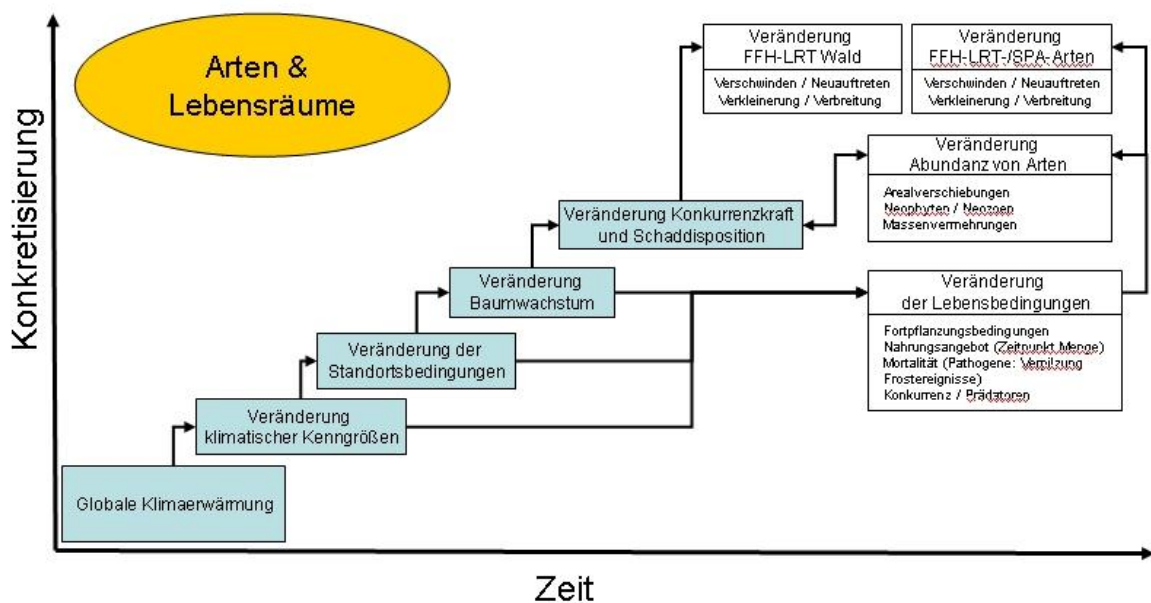


Abb.8: Wirkungskette „Arten & Lebensräume“ bzw. Lebensbedingungen für Arten

Pflanzen- und Tierarten können unmittelbar von klimatischen Veränderungen beeinflusst werden, aber auch mittelbar über die Standortbedingungen in Wäldern und deren Wachstum. Eine Veränderung der Lebensbedingungen von Arten kann zu einem häufigeren oder selteneren Vorkommen der Arten führen. Bei Schadinsekten kann ein vermehrtes Auftreten erhöhte Schäden besonders an geschwächten Bäumen verursachen. Bei seltenen Arten verändert sich mit deren Abundanz die Qualität der derzeit erfassten und geschützten Lebensräume im Wald.

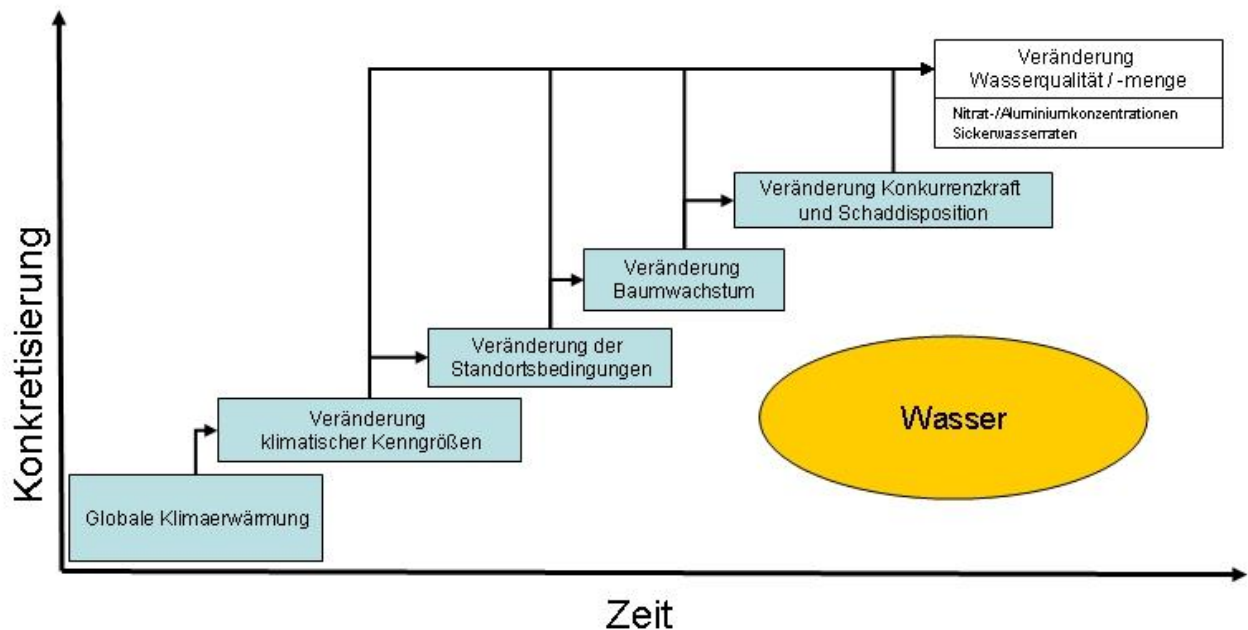


Abb.9: Wirkungskette „Wasser“ bzw. Bodenwassereigenschaften im Wald

Auch die Eigenschaften des Bodenwassers werden unmittelbar von Klimaänderungen tangiert. Die Sickerwassermenge kann als direkte Folge des Klimas ansteigen oder sich verringern. Gleichzeitig ist die Wassermenge ebenso wie die Wasserqualität abhängig von den Standortbedingungen (Klima; Geologie; Boden), des darauf stockenden Waldbestandes (Laubwald; Nadelwald) und der Bewirtschaftungsweise (Kahlschlag, Vorausverjüngung).

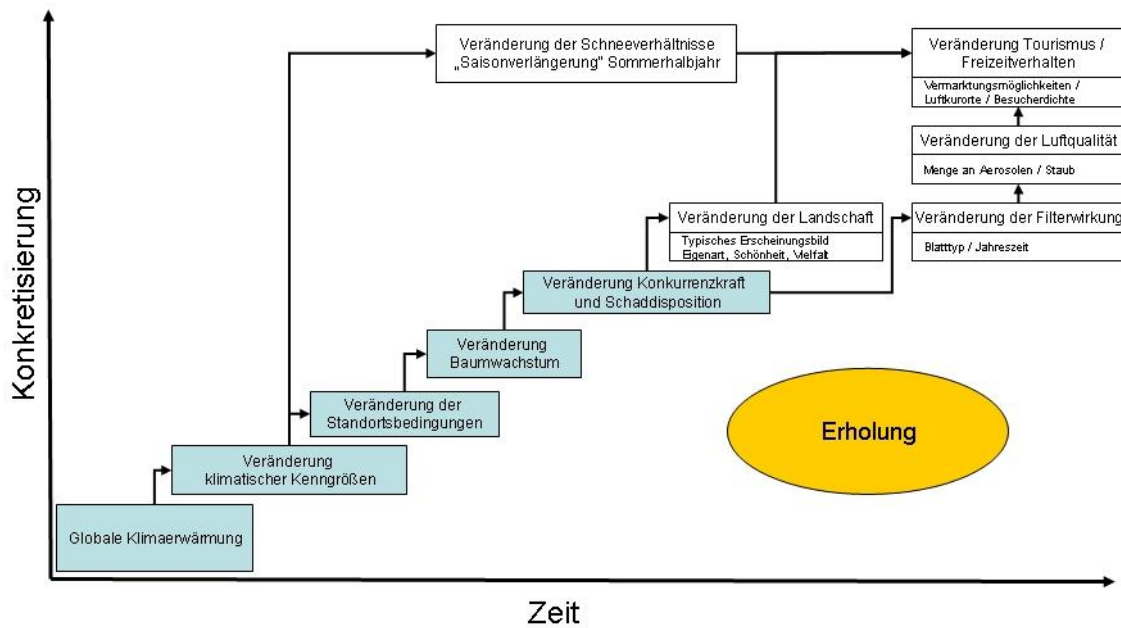


Abb. 10: Wirkungskette „Erholung“

Im Teilbereich „Erholung“ wird über ein verändertes Baumartenspektrum das typische Erscheinungsbild einer Landschaft verändert. Dies kann zu einer Veränderung beim Tourismus führen, sofern ein typischer Waldaufbau beim Marketing eine wichtige Rolle für eine Region spielt. Weiterhin verändert die Zusammensetzung der Waldbestände je nach Baumart seine Filterwirkung und damit die Luftqualität. Möglicherweise ebenfalls relevant für das Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft sind unmittelbare Veränderungen bei den Schneeverhältnissen im Wald sowie eine Verlängerung der Sommersaison durch höhere Durchschnittstemperaturen, was sich wiederum auf Tourismus- und Freizeitverhalten im Wald auswirken könnte<sup>16</sup>. Folgewirkungen wären z.B. zunehmende Störungen in empfindlichen Waldgebieten und Änderung der Verhaltensweisen von Wildtieren.

<sup>16</sup> An dieser Stelle wird auf die Anpassungsstrategie des Handlungsfeldes „Tourismus“ verwiesen.

## 3.2 Exposition

Bei der Beschreibung der Exposition sollten die auf den Handlungsbereich einwirkenden klimatischen Größen und die daraus resultierenden, unmittelbar nachgelagerten Effekte dargelegt werden. Indifferente klimatische Größen (siehe Tab.5; z.B. Jahresniederschlag, Dauer Trockenperioden) wurden nicht berücksichtigt.

### 3.2.1 Unmittelbar nachgelagerte Effekte

Wie in Kap.3.1 gezeigt wurde, existieren für die meisten Teilbereiche unmittelbar nachgelagerte Effekte. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind wichtige Effekte in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tab.6: Exposition und unmittelbar nachgelagerte Effekte im Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft

Klimatische Kenngröße	Projizierte Entwicklung	Unmittelbar nachgelagerte Effekte
Temperaturgrößen		
<i>Jahresdurchschnittstemperatur</i>	Von heute bis in die nahe und ferne Zukunft: Kontinuierlich deutlich zunehmend	Während der Vegetationszeit bei unzureichender Wasserversorgung und hoher Evapotranspiration vermehrt Hitze- und Trockenstress insbesondere auf zur Austrocknung neigenden Standorten und in jüngeren Beständen.  Beschleunigung / Hemmung von biochemischen Prozessen in den oft humusreichen Waldböden und dadurch steigende / nachlassende Zersetzung- und Mineralisierungsleistung der Bodenorganismen.  Verbesserung der Reproduktion bei Tierarten durch verringerte Mortalität im Winter und höhere Entwicklungsgeschwindigkeit im Sommer.  Verschlechterung der Reproduktionsrate von Tieren durch zunehmende Verpilzung oder Förderung anderer Pathogene bei zunehmend feucht-milden Bedingungen.
<i>Beginn der Vegetationsperiode</i>	Von heute bis in die nahe und ferne Zukunft: Kontinuierlich deutlich früher	Früherer Blattaustrieb und Photosynthesetätigkeit, dadurch früheres Einsetzen des Baumwachstums. Insgesamt längere potentielle Wachstumsperiode der Bäume durch Verlängerung der Vegetationszeit <sup>17</sup> .
<i>Heiße Tage</i>	Von heute bis in die nahe und ferne Zukunft: Kontinuierlich deutlich zunehmend. Deutlich regionale Unterschiede.	Anstieg der Häufigkeit von Extremtemperaturen (> 30° C). Direkte Schäden und Rückgang der Photosynthese. Während der Vegetationszeit bei unzureichender Wasserversorgung vermehrt Hitze- und Trockenstress (Standorts-/altersabhängig).
<i>Zeitpunkt Spätfrostereignisse</i>	Von heute bis in die nahe und ferne Zukunft: Kontinuierlich deutlich früher	Nimmt nach LUBW-Modelldaten stärker ab als Zeitpunkt des Vegetationsbeginns. Dadurch möglicherweise Abnahme der Schäden bei Spätfrost empfindlichen Baumarten <sup>18</sup> .
Niederschlagsgrößen		
<i>Wintermenge</i>	Vermutlich erst in ferner Zukunft zunehmend	Zunehmende Hochwasserhäufigkeit in flussnahen Waldgebieten
<i>Sommermenge</i>	Vermutlich erst in ferner Zukunft abnehmend	Unzureichende Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers und bei gleichzeitig steigenden Temperaturen auf zur Austrocknung neigenden Standorten Hitze- und Trockenstress. Frühjahrstrockenheit sehr entscheidend für Wachstum. Tendenziell zunehmende Niederschlagsmengen im Frühjahr.
<i>Starkregen</i>	Von heute bis in die nahe und ferne Zukunft: Vermutlich kontinuierlich etwas zunehmend	Höherer Abfluss aus Waldgebieten

<sup>17</sup> In Deutschland hat sie sich insbesondere für Laubbaumarten die Vegetationszeit um mehr als 10 Tage zwischen 1951 und 2000 verlängert [MENZEL, 2003]

<sup>18</sup> Spätfrost häufig singuläres Schadereignis und evtl. über Modellmittelwert nicht ausreichend abbildbar.

### 3.2.2 Räumliche Schwerpunkte von Temperaturänderungen

Die Jahresdurchschnittstemperatur und die daraus berechneten Klimaparameter wie Vegetationsbeginn oder Anzahl heißer Tage sind die bedeutsamsten Klimaparameter zur Beurteilung der Vulnerabilität. Zur Analyse von räumlichen Schwerpunkten wurden daher die Werte der LUBW (2012) für die Jahresdurchschnittstemperatur näher betrachtet. Als Auswertungseinheiten wurde die Einteilung nach Wuchsgebieten<sup>19</sup> verwendet. Außerdem erfolgte ein Vergleich der Daten, die in unterschiedlichen Rasterdichten (7x7 km; 25x25 km) vorlagen. Tab.7 zeigt eingeteilt nach Wuchsgebieten die derzeitige Durchschnittstemperatur sowie den modellierten Temperaturanstieg in naher und ferner Zukunft, eingeteilt nach Wuchsgebieten.

Tab.7: Derzeitige Durchschnittstemperatur (1971-2000) und angenommener Temperaturanstieg in naher und ferner Zukunft gemäß den Klimamodellauswertungen der LUBW im 7x7km-Raster und im 25x25km-Raster (50% Perzentil; in Klammer 85% Perzentil) in den Wuchsgebieten.

Wuchsgebiet	Derzeitige Durchschnittstemperatur °C		Temperaturanstieg °C		
			Nahe Zukunft (2021-50)		Ferne Zukunft (2071-2100)
	7 x 7 km	25 x 25 km	7 x 7 km	25 x 25 km	25 x 25 km
1 Oberrheinisches Tiefland	10.4	9.7	1.07	1.25 (1.33)	2.99 (3.33)
2 Odenwald	8.8	9.1	1.14	1.13 (1.27)	2.98 (3.47)
3 Schwarzwald	7.8	7.8	1.16	1.32 (1.17)	3.34 (3.14)
4 Neckarland	8.8	8.8	1.11	1.11 (1.38)	3.00 (3.56)
5 Baar-Wutach	7.2	7.2	1.17	1.22 (1.39)	3.25 (3.54)
6 Schwäbische Alb	7.3	7.5	1.20	1.30 (1.20)	3.43 (3.37)
7 Südwestdt. Alpenvorland	8.1	8.0	1.12	1.28 (1.26)	3.29 (3.48)

Die Schwerpunkte des Temperaturanstiegs lägen demnach in naher Zukunft in den Mittelgebirgszonen Baden-Württembergs, wobei die landesweiten Unterschiede insgesamt als gering eingestuft werden können (maximal  $\pm 0,2$  °C). In ferner Zukunft kommt noch das Alpenvorland als Schwerpunkt hinzu. Die Unterschiede zwischen den Wuchsgebieten sind wiederum gering (maximal  $\pm 0,4$  °C). Die Unterschiede im erwarteten Temperaturanstieg fallen bei den 7x7-km Rasterwerten insgesamt etwas geringer aus als bei den Werten des 25x25 km-Rasters.

### 3.2.3 Fazit

Im Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft werden grundlegende Prozesse im zentralen Bereich „Standort & Baumwachstum“ (Abb.1) durch Veränderungen des Klimas unmittelbar beeinflusst. Die bedeutsamsten klimatischen Parameter sind die oben genannten Temperaturgrößen. Hier sind die Ausmaße der Veränderung besonders gravierend und die

<sup>19</sup> Der Wald in Baden-Württemberg wird in 7 Naturräume, so genannte Wuchsgebiete, eingeteilt. Die forstlichen Wuchsgebiete sind eine erste standörtliche Gliederung der jeweiligen Großlandschaft. Sie zeichnen sich durch weitgehend einheitliche Landschaftsstruktur, ähnliche klimatische Eigenschaften und vergleichbaren Gesteinsaufbau aus und können anhand dieser Merkmale von anderen Landschaften abgegrenzt werden. Sie sind im Anhang kartografisch aufgeführt.



Eintrittswahrscheinlichkeit der Modellprojektionen besonders hoch. **Die Exposition des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft ist insgesamt als hoch zu bewerten. Deutliche Unterschiede in der räumlichen Verteilung einer Temperaturzunahme in den Wuchsgebieten Baden-Württembergs waren anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht zu erkennen.** Leichte Tendenzen bestehen hinsichtlich einer stärkeren Temperaturzunahme in Mittelgebirgslagen.

### **3.3 Sensitivität**

Bei der Beurteilung der Sensitivität sollten ausschließlich die bereits heute bestehenden und beobachteten Empfindlichkeiten im Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft behandelt werden. Anschließend erfolgt eine Beurteilung der Sensitivität für einzelne Teilbereiche des Handlungsfeldes. Bestehende Empfindlichkeiten werden nachfolgend anhand phänologischer Beobachtungen an Waldbäumen, den Effekten von Trockenperioden hinsichtlich Wasserspeicherauffüllung, Zuwachsentwicklungen und Mortalität aufgrund abiotischer und biotischer Störungen vorgestellt.

#### **3.3.1 Phänologische Beobachtungen an Waldbaumarten**

MENZEL (2003) bezeichnet den „Eintritt von phänologischen Phasen als den geradlinigsten Prozess, um die Folgen der Klimaerwärmung aufzuspüren.“ Dazu liegen bei der LUBW lange Beobachtungszeitreihen auch für Waldbäume vor. Bei den beobachteten Baumarten Schwarzerle und Birke zeigt sich bereits heute fast landesweit ein deutlich zeitigerer Blattaustrieb im Vergleich zu früheren Beobachtungszeiträumen. Im Durchschnitt treibt z.B. die Schwarzerle heute um 15 Tage früher aus als im Jahr 1965 [HOLZ et al. 2011].

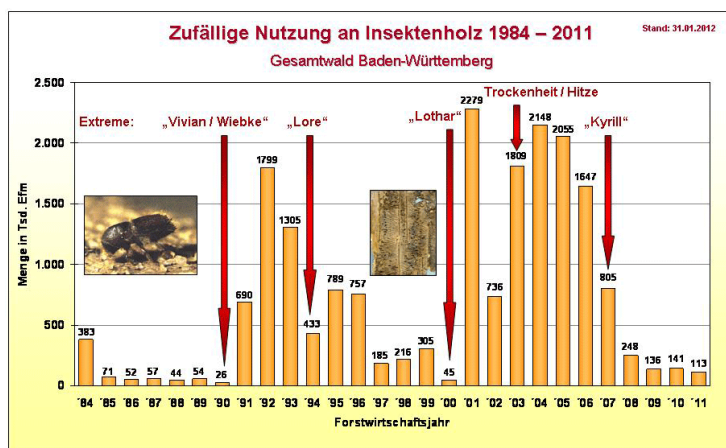
#### **3.3.2 Kronenzustand, Zuwachsreaktionen und Wasserverfügbarkeit bei Waldbaumarten nach Trockenperioden**

Durch zunehmende Temperaturen und tendenzielle Verschiebungen der Niederschläge in das Winterhalbjahr wird die Zunahme von Trockenstress für Waldbestände befürchtet. Mögliche Effekte konnten für Baden-Württemberg anhand der Trockenperiode des Jahres 2003 beobachtet werden. Die witterungsbedingten Folgeschäden auf die Waldbäume waren nach dieser Trockenperiode besonders stark [vgl. MEINING & WILPERT, 2006A,B]. So hatte sich der Waldzustand im gesamten Baden-Württemberg auch drei Jahre nach dem Trockenjahr 2003 noch nicht merklich verbessert. Gemäß der Waldschadensinventur 2006 waren noch über 45% der Wälder Baden-Württembergs deutlich geschädigt. Bemerkenswert war, dass 2006 der Anteil der deutlich geschädigten Waldfläche bei der Baumart Buche mit über 61% am größten war [vgl. MEINING & WILPERT, 2006]. Als Gründe für den schlechten Zustand der Buchenkronen wurde neben der Trockenperiode und deren Auswirkungen auch

eine starke Fruchtausbildung genannt<sup>20</sup>. Gemäß MEINING et al. (2010) beschränkten sich die Schadensschwerpunkte der Fichte „nicht mehr nur auf die klassischen Schadgebiete, vielmehr sind auch gut nährstoffversorgte Standorte betroffen. In warm-trockenen Regionen Baden-Württembergs steigt die Anfälligkeit der Fichte gegenüber Trockenstress und Borkenkäferbefall ab dem Jahr 2000 deutlich an.“ Im Vergleich zu den Vorjahren ging der Radialzuwachs der Fichten in den meisten Teilen Baden-Württembergs in dem Trockenjahr um etwa die Hälfte oder mehr zurück<sup>21</sup>. Auch bei Laubbäumen werden trockenheitsbedingt Zuwachsreaktionen beobachtet. An etlichen Messorten in Baden-Württemberg konnte nach der Trockenheit 2003 trotz einsetzender Regenfälle eine nur verzögerte Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers beobachtet werden [WILPERT et al., 2004].

### 3.3.3 Auftreten von Kalamitäten in Waldbeständen

Nach lang anhaltenden Trockenperioden verringern Bäume nicht nur ihre Zuwachsleistungen, sondern sind auch besonders empfindlich für weitere Schädigungen („Sekundärschäden“). So sind beispielsweise durch Trockenheit geschwächte Fichten wesentlich stärker gegenüber Borkenkäferbefall disponiert als gut mit Wasser versorgte Bäume. Als Hinweis auf eine erhöhte Mortalität von Bäumen, sei es direkt durch Wassermangel oder indirekt durch Insektenbefall, sind nachfolgend die Holz mengen dargestellt, die nach einer lang anhaltenden Trockenperiode im Jahr 2003 als geschädigt eingeschlagen (sog. „zufällige Nutzung“) verbucht wurden.



Bei dem anfallenden Holz handelte es sich überwiegend um Fichten. Die Trockenheit im Jahr 2003 führte zu einem deutlichen Anstieg der Insektenholzmengen, der auch in den darauf folgenden 3 Jahren anhielt und erst später allmählich abebbte<sup>22</sup>.

Abb. 11: Zufällige Nutzung an Insektenholz im Gesamtwald Baden-Württemberg seit 1984. Abbildung aus SCHRÖTER et al. (2012).

<sup>20</sup> Untersuchungen zeigten eine deutliche Zunahme von Vollmasten (Häufigkeit und Intensität) in den letzten 25 Jahren, die zu Zuwachseinbußen und schlechten Kronenzuständen führen können. Als Grund wurden zunehmend wärmere und trockenere Sommer in Kombination mit hohen Stickstoffeinträgen vermutet [SCHMIDT 2005].

<sup>21</sup> Anzumerken ist, dass bei Fichte bereits schon gegen Mitte der 1990er Jahre ein allgemein rückläufiger Wachstumstrend eingesetzt hat [YUE et al. 2011, 2012].

<sup>22</sup> Wie die Abbildung zeigt, sind die zufälligen Nutzungen in den letzten Jahren bei den Fichten stark zurückgegangen. Größere Probleme traten bei den Baumarten Buche (Buchenkomplexkrankheit), Eiche (Eichenfraßgesellschaften) und Esche (Eschentriebsterben) auf. Als eine der Ursachen wird immer wieder die Klimaerwärmung vermutet.

### 3.3.4 Vermehrtes Auftreten von Insektenarten mit ehemals geringem Schadpotenzial<sup>23</sup>

Schwammspanner, Eichenprozessionsspinner und Eichenprachtkäfer können insbesondere in alten Eichenwäldern zu Blattfraß und Folgeschädigungen führen. Solche Insekten finden seit etwa zwanzig Jahren im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen in Baden-Württemberg deutlich günstigere Entwicklungsbedingungen als in der Vergangenheit vor [DELB, 2012]. Als Beispiel bereits heute beobachtbarer Empfindlichkeiten wird nachfolgend das Auftreten des Eichenprozessionsspinners aufgeführt. Der Anstieg seiner Abundanz hat bisher weit größere Folgen auf die gesundheitliche Gefährdung für Menschen als direkt auf den Wald, auch wenn in Zukunft zu erwarten ist, dass Kahlfraßereignisse häufiger werden.

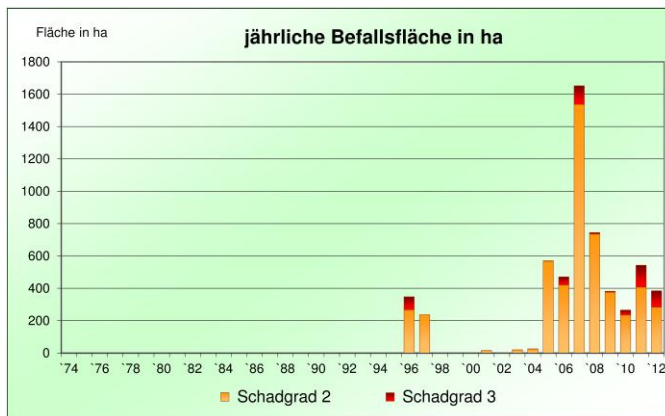


Abb.12 zeigt, wie sich die jährlichen Befallsflächen des Eichenprozessionsspinners in den vergangenen Jahren erhöht haben. Gebiete mit überdurchschnittlich hohen Eichenvorkommen (Abb.5) decken sich mittlerweile weitestgehend mit Gebieten erhöhter Abundanz.

Abb. 12: Jährliche Befallsflächen des Eichenprozessionsspinners. Abbildung FVA Baden-Württemberg.

### 3.3.5 Massenvermehrungen neu vorkommender Insektenarten an Waldbäumen

Ein Beispiel für neu vorkommende Insektenarten in Baden-Württemberg ist das vermehrte Auftreten des in China beheimateten Buchsbaumzünslers (*Cydalima perspectalis*). Wertvolle Naturschutzflächen im Wald, hier der größte zusammenhängende Buchswald Deutschlands, wurden von seinen Raupen gänzlich vernichtet [SCHRÖTER et al., 2011]. Auch bei anderen, neu auftretenden Insektenarten, die starke Schäden an Bäumen und Nutzholz anrichten können, wird eine verstärkte Vermehrung bei zunehmenden Durchschnittstemperaturen befürchtet. Zu nennen sind hier der Asiatische Laubholzbock (*Anoplophora glabripennis*) oder der Schwarze Nutzholzborkenkäfer (*Xylosandrus germanus*).

<sup>23</sup> Daneben wird ein vermehrtes Auftreten pilzlicher Schadorganismen wie des Kastanien-Rindenkrebs oder beim Eschentriebsterben mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht.

### 3.3.6 Fazit

Im Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft können bereits im zentralen Bereich „Standort & Baumwachstum“ heute bestehende und beobachtete Empfindlichkeiten (Sensitivitäten) festgestellt werden, die sich wiederum unmittelbar auf andere Teilbereiche auswirken. Entscheidend für die Beurteilung der Sensitivität ist im Regelfall das Zusammenwirken mehrerer Faktoren. Eine isolierte Betrachtung einzelner Faktoren (z.B. Temperaturanstieg) ist nicht zielführend. Dementsprechend ist festzuhalten:

- Gemäß phänologischen Langzeitbeobachtungen erfolgt der Blattaustrieb von Waldbaumarten heute bereits deutlich früher als in den letzten Jahrzehnten mit Folgen auf das Baumwachstum. Konsequenzen ergeben sich insbesondere dann, wenn Baumarten unterschiedlich von einer verlängerten Wuchersperiode profitieren oder unterschiedlich stark von Frösten beeinträchtigt wären. Betroffen sind hier alle Baumarten im gesamten Landesgebiet.
- Aufgrund der langen Lebensdauer von Wäldern bzw. der langen Produktionszeiträume haben klimatische Extremereignisse eine deutlich stärkere Bedeutung als z.B. bei einer annualen Nutzung in der Landwirtschaft. Wie beobachtet werden konnte, führen lang andauernde Trockenperioden großräumig und für einen langen Zeitraum zu einem schlechten Kronenzustand, zu Zuwachsverlusten und zu einer verzögerten Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Die Folgen betreffen sowohl die als besonders trockenheitsempfindlich eingestufte Fichte, aber auch die Buche, die zusammen einen Anteil von 60% an der gesamten Waldfläche Baden-Württembergs besitzen.
- Ehemals in geringer Dichte vorkommende Insekten wie der Eichenprozessionsspinner erhöhen ihre Abundanz massiv. Neu erscheinende Arten wie der Buchsbaumzünsler vergrößern ihr Verbreitungsgebiet und führen bereits heute besonders in den wärmeren Landesteilen zu spürbaren Schäden.

Im Wald sind also bereits heute Veränderungen aufgrund von Klimaänderungen oder Klimaschwankungen beobachtbar, die im zentralen Bereich „Standort & Baumwachstum“ zu starken Auswirkungen führten. Dies betraf **zumeist die gesamte Landesfläche oder zumindest große Teile** davon. Es muss davon ausgegangen werden, dass bei den zukünftig erwarteten Veränderungen im Bereich „Standort & Baumwachstum“ durch die starke Verkettung auch die anderen Teilbereiche (Holznutzung, Arten & Lebensräume, Wasser, Erholung) dadurch massiv in Mitleidenschaft gezogen werden.

**Die Sensitivität des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft ist insgesamt als hoch zu bewerten.**

### 3.4 Potenzielle Auswirkungen

Nachfolgend werden für die Teilbereiche die potenziellen Auswirkungen anhand verschiedener Untersuchungen detaillierter vorgestellt. Sie wurden bereits bei den Wirkungsketten der Teilbereiche kurz angerissen (Kap. 3.1). Die potenziellen Auswirkungen werden zuerst tabellarisch aufgelistet. Anschließend erfolgt für ausgesuchte Effekte bei ausreichend vorhandenem Material aus der Literatur oder verfügbaren Daten eine Darstellung räumlicher Schwerpunkte.

#### 3.4.1 Teilbereich Standort & Baumwachstum

Potentielle Auswirkung	Konkretisierung
Unzureichende Wasserspeicherfüllung und Durchwurzelung des Waldbodens	Unter den gegebenen Klimaszenarien kann es zu einer unzureichenden Wasserspeicherauffüllung unter Wald mit der Folge von vermehrtem Trockenstress für die aufstockenden Baumarten kommen. Entsprechende Modelle wurden auf Basis landesweit regionalisierter Karten der nutzbaren Feldkapazität von PUHLMANN & WILPERT (2008) berechnet. Schwerpunkte unzureichender Speicherauffüllung in den Sommermonaten sind in 2050 die Schwäbische Alb und große Teile des Neckarlandes, aber auch Teile des Schwarzwaldes (Ostabdachung) und Teile des Rheingrabens. Zu beachten ist, dass Pflanzenverfügbarkeit von Wasser von der Tiefe des durchwurzelbaren Raumes abhängig ist, der durch Versauerung stark eingeschränkt wird.
Veränderung der Humusgehalte in Waldböden	Eine Abnahme der Bodenhumusgehalte durch zunehmende Mineralisation bei steigenden Temperaturen kann zu einer langfristigen Verminderung der Bodenfruchtbarkeit (Austauscher / nutzbare Feldkapazität nFK) führen. Es kann standortsabhängig auch zu Zunahmen der Humusgehalte durch gehemmt ablaufende Abbauprozesse (zu trocken / zu nass) kommen.
Zunahme an Hochwasserschäden in Wäldern	Vitalitätsverlust oder Totalausfälle von bisher angepassten Baumarten bei längerer Dauer und höherer Überflutung.
Veränderung der Vitalität und Wuchskraft der Bäume	Für Baden-Württemberg modellierten NOTHDURFT et al. (2012) für 6 Baumarten die zukünftige Veränderung der Wachstumsbonitäten mit steigenden Temperaturen. Die Baumarten zeigen demnach in den Tieflagen zukünftig nachlassende Bonitäten; in den höheren Lagen zeigen sie zunehmende Bonitäten.
	Nachhaltige Feinwurzelschädigungen und vermutlich Veränderung des Fruktifikationsverhaltens und vermehrt Masten (insbes. Buche vgl. SCHMIDT, 2005), dadurch Zuwachsreduktionen.
	Vitalitätseinbußen in Trockenheitsphasen in Kombination mit einem Nährelementmangel bei Kalium [MEINING et al., 2012].
Arealverschiebungen bei den Baumarten	HANEWINKEL et al. (2010) modellierten mögliche Arealverschiebungen der Hauptbaumarten in Baden-Württemberg durch einen zu erwartenden Klimawandel. Heute mit Fichten bestockte Gebiete der kollinen und submontanen Höhenstufe werden demnach zukünftig nicht mehr für einen standortgerechten Anbau geeignet sein. Der Anteil von Buchenflächen bleibt stabil, Eichen können zukünftig mehr Flächen einnehmen.
Veränderung des Mortalitätsrisikos bei Bäumen durch abiotische und biotische Faktoren.	JANSEN et al. (2008) entwickelten ein deutschlandweit anwendbares Entscheidungshilfesystem (DSS) für Forstpraktiker. Ziel war unter anderem das zukünftige Risiko beim Anbau der Hauptbaumarten vor Ort einschätzen zu können. Für Baden-Württemberg zeigte das gering auflösende Modell für alle Baumarten einschließlich der Fichte nur für wenige Gebiete erhöhte Risiken.

Die Veränderung der Zuwachsdynamik hier Bonitäten sowie die potenziellen Anbauggebiete der wichtigsten Baumarten Baden-Württembergs konnten anhand von Modellergebnissen für die verschiedenen Wuchsgebiete dargestellt werden.

### 3.4.1.1 Veränderungen der Bonität

Für die Fichte sind langfristige Schwankungen des Zuwachstrends typisch [YUE et al. 2011, 2012]. Ansteigende Zuwachstrends etwa ab den 1950er Jahren folgte eine Phase hohen Zuwachsniveaus bis in die 1990er Jahre. Ab Mitte der 1990er Jahre ging der Zuwachstrend dann mittelfristig zurück. Interessanterweise ergaben sich etwas unterschiedliche Trendverläufe in Gebieten mit submontan bzw. montan geprägtem Klima. Im insgesamt wärmeren submontanen Bereich verlief zum einen der Trendanstieg Mitte des 20. Jahrhunderts weniger rasch, zum anderen war die in den 1990er Jahren einsetzende aktuelle Trendumkehr deutlich markanter ausgeprägt. NOTHDURFT et al. (2012) untersuchten die Zusammenhänge zwischen der Oberhöhenbonitäten und Klimaparametern. Sie unternahmen Prognosen von künftigen Bonitätsveränderungen auf der Basis von REMO-Klimaprojektionen für das A1B-Szenario.

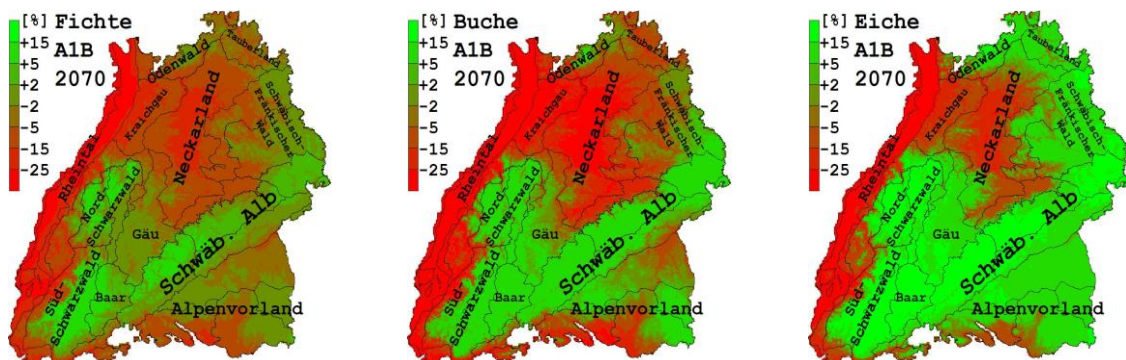


Abb. 13: Einschätzung der Zuwachsentwicklung bis zum Jahr 2070 (Oberhöhenbonität) bei den 3 Hauptbaumarten Baden Württembergs nach Modellergebnissen von NOTHDURFT et al. (2012). Abb. aus NOTHDURFT (2012)

Für die Fichte werden auf den heutigen Hochleistungsstandorten im Südwestdeutschen Alpenvorland nur geringe Bonitätsveränderungen erwartet. Im Neckarland, im Kraichgau und in der Rhein-Ebene werden den Modellwerten nach die Bonitäten der Fichte absinken und in den höheren Lagen der Mittelgebirgsregionen des Schwarzwalds und der Schwäbischen Alb ansteigen. Im Gegensatz zur Fichte werden die Bonitäten der Tanne und der Eiche auch auf größerer Fläche in niedriger gelegenen Regionen ansteigen. Die Bonitäten der Douglasie (hier nicht dargestellt) werden sich in einem ähnlichen relativen Ausmaß und mit einem ähnlichen räumlichen Muster verändern wie die der Fichte. Die Bonitäten der Buche werden im Gegensatz zur Fichte nicht nur in den Hochlagen der Mittelgebirge ansteigen, sondern auch in den tiefer gelegen Mittelgebirgslagen.

### 3.4.1.2 Potenzielle Anbauflächen

Bei der angenommenen Veränderung der klimatischen Bedingungen stellt sich für das Handlungsfeld die Frage, welche Baumarten zukünftig in Baden-Württemberg angebaut und bewirtschaftet werden können. Von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) wurden unter Einbezug der zukünftigen Klimaänderung für die Baumarten Baden-Württembergs Eignungskarten erstellt [vgl. HANEWINKEL et al. 2010 A und B].

#### Methodik:

Von der FVA Baden-Württemberg wurden mittels Level I Flächen und dem Klimamodell Worldclim IPCC3/HADCM3, hier verwendet mit dem Emissionsszenario A2, die Wahrscheinlichkeiten (0-100) des heutigen und des zukünftigen Vorkommens der Baumarten in Baden-Württemberg modellhaft berechnet. Das Klimaszenario beinhaltet eine Temperaturzunahme im Vergleich zur Referenzperiode von 0.9 und 2.0 Grad in den Dekaden 2020 bis 2029 und 2050 bis 2059. Verglichen mit den Median-Werten des LUBW-Ensembles liegen die Werte in diesen Dekaden im Bereich des 85%-Perzentils. Der mittlere Niederschlag der Monate Mai bis September sinkt um 6% und 15%. Zur Darstellung der Flächenentwicklung (Abb. unten) wurden diejenige Flächen als „ungeeignet“ bezeichnet, welche die geringsten Vorkommenswahrscheinlichkeiten aufwiesen. Dazu wurden von der FVA die Wahrscheinlichkeiten nach Perzentilberechnungen in vier Klassen eingeteilt. Von diesen Klassen wurde die Klasse mit den geringsten Vorkommenswahrscheinlichkeiten verwendet, was bei Fichte eine Vorkommenswahrscheinlichkeit zwischen 0-5%, bei Buche 0-2% und bei Eiche 0-1% bedeutete. Bei Eiche wurde die Eignung von Stiel- und Traubeneiche zusammen ausgewertet. War die Fläche nicht „ungeeignet“ wurde sie als potenzielles Anbauggebiet eingestuft. Bei der Modellierung wurden modifizierende Faktoren wie die Wasserspeicherkapazität des Bodens oder die Wahrscheinlichkeit für Insektenschäden nicht eingehender berücksichtigt. Weitere Informationen zur Methodik können den oben genannten Literaturstellen entnommen werden

Nachfolgend sind die bei Unterstellung des projizierten Klimaszenarios denkbaren Anbauflächen innerhalb der Wuchsgebiete für die heimischen Baumarten Fichte, Buche und Eiche für die Zeiträume 2020-2029 und 2050 – 2059 aufgeführt. Die Entwicklung des potentiellen Anbauggebietes nicht-heimischer Baumarten (z.B. Douglasie) ist in dieser Abschätzung nicht enthalten. Der Zeitraum 2080 – 2089 wurde wegen der stark abweichenden Temperaturwerte des zugrunde liegenden Klimaszenarios (4,1°C) im Vergleich zum LUBW-Ensemblewert (Median 3,0 °C) nicht ausgewertet<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> 15-85 %-Perzentilwerte des LUBW-Ensembles: 2,5 – 3,6 °C

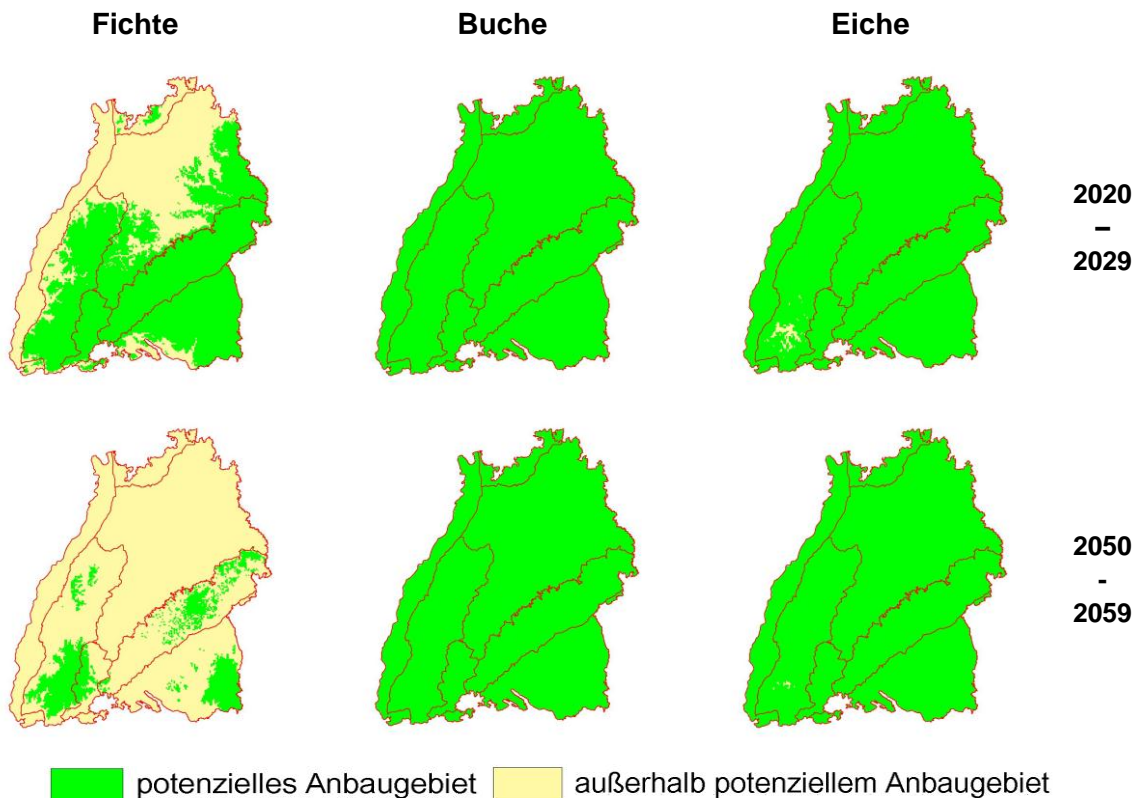


Abb. 14: Mögliche Entwicklung der potenziellen Anbaufläche (grün) in Baden-Württemberg bei den Baumarten Fichte, Buche und Eiche gemäß den Wuchsszenarien der FVA für die Jahre 2020-2029 (obere Reihe) und 2050-2059 (untere Reihe)

Aus den Modellergebnissen kann festgehalten werden, dass bis 2020-29 die submontanen und montanen Lagen für Fichten noch als geeignet eingestuft werden können. Allerdings reduziert sich die geschätzte Anbaufläche bis 2050-59 in großem Umfang und der Anbau würde sich dann auf die Hochlagen des Schwarzwaldes, der Schwäbischen Alb und dem südöstlichen Oberschwaben beschränken. Buche wäre von den Klimabedingungen nahezu überall anbaubar und es träten auch bis 2050-59 keine Flächenverluste auf. Dies gilt auch für die Eichen. Bei Eichen wäre zudem mit einer sehr geringfügigen Zunahme geeigneter Flächen im Schwarzwald zu rechnen (höchste Lagen).

Gemeinsam ist allen drei Baumarten, dass im Wuchsgebiet „Oberrheinischer Tiefgraben“ geeignete Flächen in ferner Zukunft (2080-2089; hier nicht dargestellt) offenbar deutlich reduziert vorlägen und der Anbau alternativer Baumarten diskutiert werden müsste.



### 3.4.2 Teilbereich Holzproduktion

Potentielle Auswirkung	Konkretisierung
Veränderung der Holzproduktion	Auf längere Sicht gesehen Abnahme der verfügbaren Menge an Fichtenholz aus den Wäldern Baden-Württembergs. Betroffen sind insbesondere zukünftig trocken-warme Regionen (Neckarland) und Regionen mit zur Austrocknung neigenden Böden (Schwäbische Alb, Odenwald, Teile Alpenvorland)
	Gleichzeitig Zunahme der Laubholzmengen (v.a. Buche) in nahezu allen Landesteilen
Veränderung bei Angebot und Nachfrage	Zunehmende Konkurrenz um Fichtenholz mit Konsequenzen wie Erhöhung des Kapitalrisikos in den Betrieben <sup>25</sup> und beschleunigtem Strukturwandel in der Holzverarbeitenden Industrie [STEINMÜLLER et al. 2010]
	Verstärkte Verwendung von Baumarten mit ähnlichen Holzeigenschaften wie Fichte (v.a. Tanne, Douglasie, Kiefer), die mit bestehender Technik bearbeitet werden können.
Veränderung der Verarbeitungsbedingungen	Verbesserte Ausnutzung knapper Rohstoffe: Erhöhte Bedeutung effizienter und innovativer Sägetechniken im Nadelholzbereich.
	Mittel- bis langfristig: Umstellung der Verarbeitungstechniken in Richtung Laubholzverwendung. Soweit überhaupt möglich Substitution von Fichtenholz durch andere Holzarten mittels neuer Verarbeitungsverfahren (Bsp. Hybridtechnik)
Betriebs- und volkswirtschaftliche Veränderungen	Verringerung der Erlösmöglichkeiten von Forstbetrieben durch zunehmende Vermarktung und Weiterverarbeitung von weniger lukrativem Laubholz bei gleichzeitiger Verringerung des Nadelholzangebots. Gemäß heutigen Marktbedingungen insgesamt deutliche Verringerung der Bruttowertschöpfung <sup>26</sup> im Cluster „Forst & Holz“ sowie des Steueraufkommens innerhalb der Produktions- und der Verarbeitungskette.
	Bei verringerten Erlösmöglichkeiten Absenkung des Beschäftigungspotenzials im Cluster Forst & Holz:

#### 3.4.2.1 Veränderung des Holzangebots

75% des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes werden im Land verarbeitet. Rund 65% gehen in die Sägeindustrie [MLR, 2010], die damit der bedeutsamste Abnehmer und Verwerter von Holz aus Baden-Württemberg ist. Die Rohstoffbeschaffung erfolgt dabei überwiegend örtlich und ihre wichtigste Holzart ist Fichtenholz, das in nahezu allen Landesteilen gesägt wird. Nachfolgende Abbildung zeigt die Lage der großen Laub- und Nadelholzsägewerke in Baden-Württemberg (ohne Mischbetriebe).

Die höchste Dichte an Laubholzsägewerken ist im Nordosten Baden-Württembergs. Im Vergleich zu den Laubholzsägewerken sind die Anzahl und die Einschnittsmenge größerer

<sup>25</sup> STEINMÜLLER et al. (2010): „Eine Steigerung der Verarbeitungskapazitäten ist angesichts fehlender zusätzlicher Rohholzmengen nicht effektiv, wird aber oft dennoch betrieben, und wenn ein Unternehmen massiv Kapazitäten aufbaut, erhöht dies die Abhängigkeit von Kapitalgebern und von den Risiken der Marktentwicklung.“

<sup>26</sup> Die Bruttowertschöpfung ergibt sich aus dem Gesamtwert der im Produktionsprozess erzeugten Waren und Dienstleistungen abzüglich des Wertes von Vorleistungen. Sie beträgt derzeit rund 55.000 € pro Beschäftigtem im Cluster „Forst & Holz“ [DIETER, 2008]

Betriebe bei den Nadelholzsägewerken deutlich höher. Sie liegen im oder unmittelbar am Rand des Wuchsgebietes Schwarzwald sowie im Osten Baden-Württembergs in Oberschwaben, der Ostalb und bei Schwäbisch Hall.

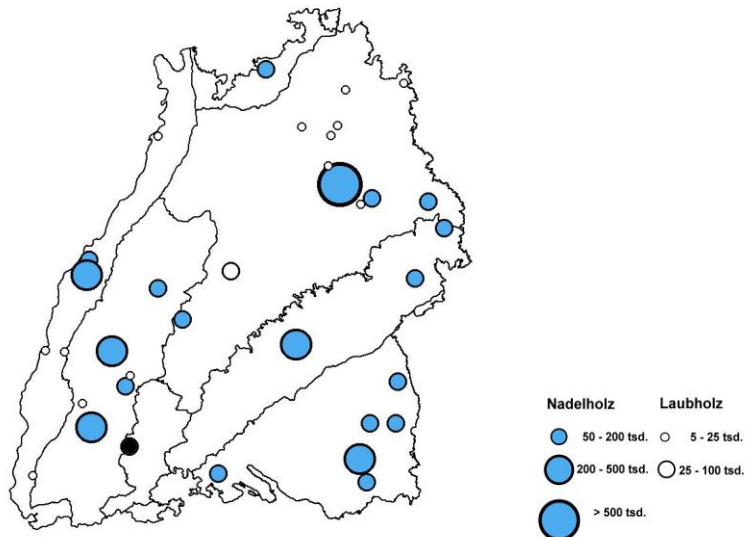


Abb. 15: Laubholzsägewerke ab einem Mindesteinschnitt von 5.000 m<sup>3</sup> und Nadelholzsägewerke ab 50.000 m<sup>3</sup> nach Daten von DÖRING & MANTAU (2012). Linien: Wuchsgebiete. Schwarz: Seit Ende 2012 in Schließung befindliches Nadelholzsägewerk Röttenbach. Darstellung ohne Mischbetriebe.

Möglicherweise wären diese Regionen durch einen Rückgang von Fichtenstammholz besonders betroffen. Zur mittelfristigen Beurteilung eines möglichen Rückgangs des Fichtenstammholzes wurden wuchsgebietsbezogene Prognosen aus der WEHAM-Modellierung<sup>27</sup> für die kommenden 30 Jahre verwendet, die von der FVA nach einer Sonderauswertung zur Verfügung gestellt wurden.

#### Methodik [vgl. BÖSCH, 2004]

Die gesamten Betrachtungen beziehen sich auf die nach der Bundeswaldinventur II zugänglichen Holzbodenflächen. Waldflächen mit 100% Nutzungseinschränkung sind nicht berücksichtigt. Das Rohholzaufkommen umfasst alles Holz, das unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsgrundsätzen geerntet werden kann. Außer Acht gelassen wurden wirtschaftliche oder forsttechnisch relevante Einflussgrößen wie z.B. Geländeneigung, Bringungsdistanzen und Erschließung. Ebenfalls unberücksichtigt sind individuelle Eigentümerziele zur Höhe und Intensität der Nutzung, denen insbesondere im Privatwald hohe Bedeutung zukommt.

Das potenzielle Rohholzaufkommen ist ein modellierte Größe und damit stark von den zugrunde liegenden Modellannahmen abhängig. Die wichtigsten Einflussgrößen des Modells sind der Zuwachs und die waldbaulichen Vorgaben.

- Die Waldbehandlung wird im Modell durch Parameter wie Zieldurchmesser, Umtriebszeit und Durchforstungsturnus gesteuert.
- Der Zuwachs wurde aus den wiederholt gemessenen Bäumen der ersten und zweiten Bundeswaldinventur berechnet und spiegelt damit das Wachstumsverhalten der letzten 15 Jahre wider.

Weitere Informationen zur Methodik sind einsehbar in unter POLLEY & KREIHER (2006)

<sup>27</sup> WEHAM = Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung

Dargestellt wird die theoretische Nutzungsmenge an Nadelstammholz von Fichte und Douglasie für die kommenden 30 Jahre. Es muss nochmals betont werden, dass es sich bei den kalkulierten nachhaltig nutzbaren Potenzialen um theoretische Größen handelt. Wichtige Bestimmungsfaktoren zur Beurteilung der realen Holznutzung wie die Kosten-Erlös-Situation oder die örtlichen Holzbringungsmöglichkeiten müssen bei der Interpretation der Ergebnisse mit Berücksichtigung finden. Zudem ist bei dem gewählten Prognosezeitraum mit deutlich erhöhten Prognoseunsicherheiten zu rechnen (siehe nachfolgende Erläuterungen), die nach einer zukünftigen Auswertung von BWI III – Daten weiter reduziert werden können.

#### Erläuterung zur Interpretation nachfolgender Abbildung

In dem vorliegenden Szenario wird davon ausgegangen, dass nach dem Umtrieb eines Bestandes **die gleichen Baumarten wie im Altbestand** eingesetzt werden. Ein waldbaulich begründeter Wechsel von Fichte zu Douglasie oder zu Buche wird nicht simuliert, die Anbauflächen der Baumarten über den Simulationszeitraum von 42 Jahren bleiben damit konstant. Von daher findet in der Simulation der geplante und insbesondere in den letzten 10 Jahren auch schon durchgeführte (teilweise auch klimatisch begründete) waldbauliche Wandel noch keine Berücksichtigung.

Es ist in den kommenden Jahren insbesondere mit einer Steigerung der Angebotsmengen des **Douglasienholzes** zu rechnen, da viele Bestände erst nach der BWI II im Jahr 2002 mit dieser Baumart begründet wurden, die bis 2042 bereits nennenswerte Holzmenngen produzieren können. Aus oben genannten Gründen werden sich genauere Ergebnisse erst in den WEHAM-Prognosen basierend auf der BWI-III wiederfinden.

Bei der Prognose von **Fichten- und der Buchenholz** ist das Problem grundsätzlich auch vorhanden, und zwar immer dann, wenn Fichtenflächen in Buchenflächen umgewandelt wurden. Wenn auf den endgenutzten Fichtenflächen allerdings schon Buchen vorhanden waren, wird der Waldbestand von dem WEHAM-Modell als Buchenbestand weitergeführt. Dennoch ist auch im Verhältnis von Nadel zu Laubholz mit zunehmender Prognoselaufzeit mit einer Überschätzung des Aufkommens von Fichtenrohholz und mit einer Unterschätzung des Buchenholzaufkommens zu rechnen.

Die skizzierten Unsicherheiten sind ein wesentlicher Grund dafür, warum bei den Holzaufkommensprognosen in der Regel nur kurze Simulationszeiträume (< 10 Jahre) angewendet werden.

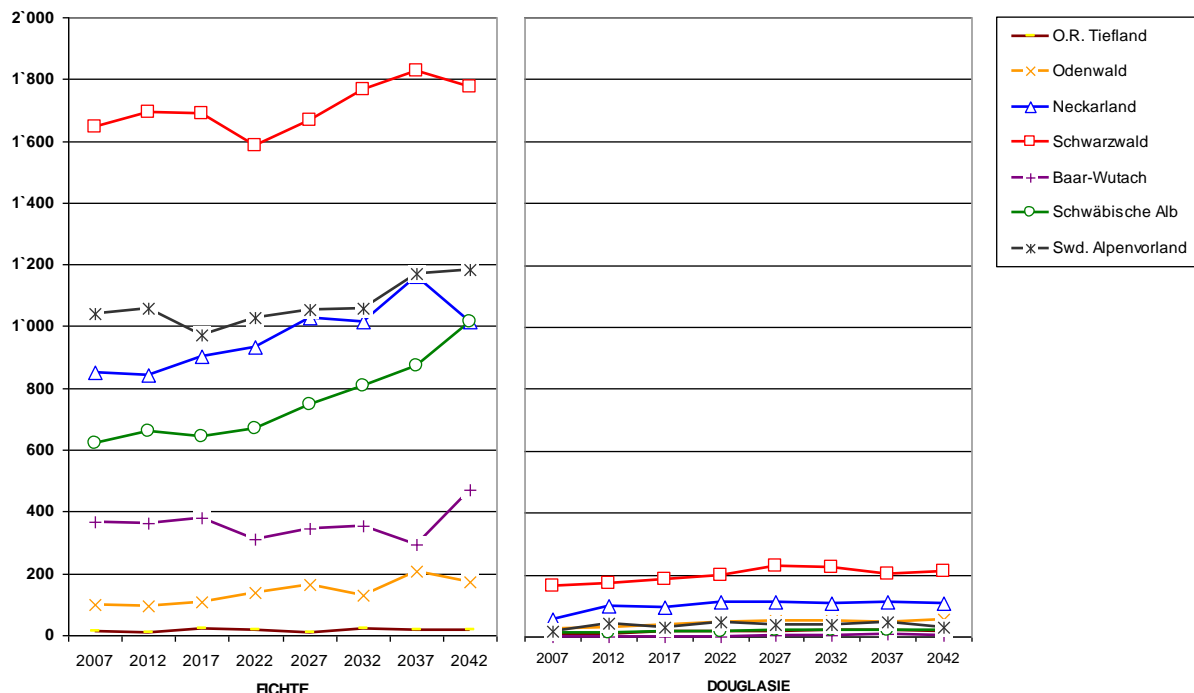


Abb. 16: Holzaufkommensprognose (Stammholz in Efm x 1.000) für die Baumarten Fichte und Douglasie für die Jahre 2007 - 2042 nach Berechnungen aus der WEHAM getrennt nach Wuchsgebieten [FVA Sonderauswertung]. Baumartenbestockung der Flächen: Stand 2002

Für ganz Baden-Württemberg gesehen vergrößert sich das theoretische Holzaufkommen bei Fichtenstammholz in den kommenden 30 Jahren von ca. 4,7 Mio. auf 5,7 Mio Erntefestmeter (Efm) und bei der Douglasie auf den bereits 2002 bestehenden Flächen von ca. 300 auf 450 tsd. Efm (zuzüglich des Holzes der nach 2002 begründeten Flächen). Größere Einbrüche sind den Modellwerten nach in keinem der Wuchsgebiete zu erwarten, vielmehr steigt das theoretische Holzaufkommen bei Fichtenstammholz in nahezu allen Wuchsgebieten an. Eine eingehende Untersuchung nach Landkreisen (hier nicht dargestellt) machte allerdings deutlich, dass das theoretische Aufkommen von Fichtenstammholz in einigen Landkreisen im Schwarzwald bzw. an dessen Peripherie bedeutsam abnehmen wird. Dies betreffe den Modellwerten nach die Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald, Schwarzwald-Baar, Rottweil und Lörrach.

Hot-Spots, in denen sich ein reduzierter Fichtenanbau und folglich ein verringertes Stammholzaufkommen besonders manifestieren, konnten **gemäß der verwendeten Methodik und verfügbaren Daten** (theoretisches Nutzungspotenzial, Stand 2002!) demnach **mittelfristig** in keinem Landesteil beobachtet werden. **Langfristig** wäre damit zu rechnen, dass Nadelholzbetriebe in den nordöstlichen Landesteilen als erste durch ein verringertes Fichtenholzaufkommen betroffen sein könnten, da die Fichtenflächen nach 2002 deutlich verringert wurden und sich zukünftig die potenziellen Fichtenflächen deutlich verringern werden (vgl. Kapitel 3.4.1.2). Andererseits könnten die dort vermehrt vorhandenen Laubholzbetriebe durch ein zukünftig höheres Aufkommen an Laubholzsortimenten eventuell von den Entwicklungen profitieren.

Mit Blick auf die mittelfristige Stammholzbereitstellung muss in Betracht gezogen werden, dass die **Nachhaltigkeit der Produktion** von Fichten-/Tannenstammholz im Land Baden-Württemberg derzeit generell **nicht gewährleistet** ist, weil die Nutzungen den Zuwachs übersteigen. Dies wird auch anhand der Potenziale und des Holzeinschlags in folgender Tabelle deutlich.

Tab.8: Gegenüberstellung von korrigiertem Holzeinschlag (Ø 2002– 2009) und potenziellem jährlichen Holzaufkommen in Baden-Württemberg in 1.000 Efm nach Holzartengruppen

<b>Holzartengruppe</b>	<b>Holzeinschlag (korrigiert)</b>	<b>Holzpotenzial</b>	<b>Differenz (Potenzial – Einschlag)</b>
Fichte/Tanne	7.193	6.799	-394
Kiefer/Lärche	652	767	+115
Buche	2.457	3.953	+1.496
Eiche	397	602	+205
<b>Gesamt</b>	<b>10.698</b>	<b>12.121</b>	<b>+1.423</b>

Aus: MLR (2010) Clusterstudie Baden-Württemberg

Bei Buche und Eiche bestehen im Vergleich dazu zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten in der Größenordnung von jährlich 1,7 Mio. Efm.

### 3.4.3 Teilbereich Arten & Lebensräume

Artenzusammensetzung und Biodiversität in Wäldern können durch Klimaänderungen beeinflusst werden. Es wird vermutet, dass insbesondere Arten mit geringerem Anpassungsvermögen auf sich ändernde Standortbedingungen empfindlich reagieren und es zu größeren Verlusten bei der Artenvielfalt und bei der Ausprägung typischer Waldlebensräume kommt. Andererseits wird angenommen, dass sich bisher nur vereinzelt vorkommende Arten ausbreiten oder in höheren Abundanzen vorkommen können bzw. neu einwandern, so dass neue Artengesellschaften entstehen würden. In der nachfolgenden Tabelle wurden die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels für den Teilbereich „Arten und Lebensräume“ im Wald konkretisiert.

Potentielle Auswirkung	Konkretisierung
Zunahme neuer Arten und Arten mit ehemals geringen Vorkommenshäufigkeiten	Deutliche Zunahme ehemals in geringen Abundanzen auftretende Insekten in Baden-Württemberg insbesondere an Eichen: Eichenprachtkäfer und Eichenprozessionsspinner [DELB, 2012]. Auch eine Zunahme des Buchenprachtkäfers durch eine Erhöhung der Anzahl trockenheitsgefährdeter Buchenbestände wird für die Zukunft vermutet <sup>28</sup> . Verstärktes Vorkommen neuer Arten im Wald aus Südeuropa: Bsp. Buchsbaumzünsler und Esskastanienrindenkrebs [SCHRÖTER, 2011].
Arealverschiebungen bei Arten und Verlust bisheriger Lebensstätten	Veränderung der bisherigen Lebensstätten insbesondere im montanen Bereich [LUBW/MLR/IFOK, 2008] mit seinen lichten und moorigen Flächen. Dadurch erhöhte Wahrscheinlichkeit von Arealverlusten bei boreal-montanen Arten wie Auerhuhn, Dreizehenspecht, Sperlingskauz [BRAUNISCH et al., 2013], sowie befürchtete Arealverluste bei Raufußkauz und Ringdrossel.
Verlust von bisherigen Flächen bei Waldlebensraumtypen / Waldbiotopen	PETERMANN et al. (2007) erstellten eine Rangliste mit Arten und Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie, die von einem Klimawandel besonders betroffen wären. Demnach sind Lebensräume in Auwäldern, Moorwäldern, Schlucht- und Hangmischwäldern sowie natürliche Nadelwälder besonders gefährdet und es wird ein Rückgang vermutet <sup>29</sup> .
Erscheinen neuer Lebensraumtypen und Lebensstätten	BEIERKUHNEIN et al. (2011) in SCHLUMPRECHT (2012) zählt folgende FFH-Lebensraumtypen auf, die auch im Südwesten Deutschlands mit zunehmender Erwärmung auftauchen könnten: Eichenwälder mit Esskastanie, thermophile Eschenwälder mit schmalblättriger Esche, saure Buchenwälder mit Stechpalme und Eibe.
Zunahme von Massenvermehrungen	Zunehmende Temperaturen ermöglichen Insektenarten wie den Borkenkäfern eine Erhöhung der Generationenanzahl pro Jahr und die Anlage von Geschwisterbruten mit dementsprechender Zunahme der Nachkommenschaften und damit des Schadpotenzials. Temperaturerhöhungen begünstigen auch Massenvermehrungen an Eichen wie die des Schwammspinners [DELB, 2012]

<sup>28</sup> Nach früheren Erfahrungen sind Buchen auf flachgründigen Standorten, an untesonnten Rändern, südexponierten Steilhängen und Kuppen aufgrund von Trockenheit besonders disponiert.

<sup>29</sup> PETERMANN et al. (2007) zählen dazu Arten, die am Rand oder jenseits ihres ökologischen Optimums leben, als geografisch begrenzte Arten vorkommen (z.B. auf Bergkuppen, Inseln, u.s.w.), eine starke Spezialisierung aufweisen, eine eingeschränkte Ausbreitungsfähigkeit sowie geringe Vermehrungsraten haben, räumlich begrenzte Populationen einjähriger Arten bilden oder unter anderen Stressfaktoren leiden.

### 3.4.3.1 Verschwinden bisheriger Waldlebensräume

Nachfolgend wird eine Einschätzung besonders betroffener Regionen anhand der Daten der Waldbiotopkartierung sowie von Auswertungen der FVA zur potenziellen Entwicklung bei montanen Tierarten vorgenommen. Bei den gesetzlich ausgewiesenen Waldbiotopen wurden die von PETERMANN et al. (2007) als besonders sensitiv eingestuft Waldbiotoptypen (siehe Anhang) verwendet.

<p><b>Methodik</b></p> <p>Es wurden die Temperaturbereiche ermittelt, in denen die Waldbiotope derzeit in Baden-Württemberg vorkommen. Niederschlagswerte wurden aufgrund der hohen Modellwertstreuungen nicht mit einbezogen. Für jedes Waldbiotop wurde der Mittelpunkt über eine Zentroidberechnung festgelegt. Anschließend wurde für jeden Biotopmittelpunkt das langjährige Temperaturmittel (1971-2000) aus dem Regnie-Raster des DWD (Auflösung 1 x 1 km) bestimmt. Ausreißer wurden eliminiert und der Temperaturbereich für jeden Biotoptyp ermittelt. Anschließend erfolgte eine Verschneidung der Temperaturwerte mit den Modellwerten (<math>\Delta T</math> der Medianwerte) des Klimaensembles der LUBW (25x25 km-Raster, Spline-extrapoliert). Danach wurden der heutige Temperaturbereich (ohne Ausreisser) und die zukünftig herrschenden Temperaturen auf den Waldbiotopflächen miteinander verglichen und die Anzahl der Biotope bestimmt, welche zukünftig außerhalb ihres heutigen Temperaturbereichs liegen.</p> <p>Beachtet werden muss, dass ein Waldbiotoptyp, das sich zukünftig außerhalb des derzeitigen Temperaturbereich befindet, nicht automatisch aufhört zu bestehen. Eventuell existiert der Biotoptyp in benachbarten Ländern in einem breiteren Temperaturbereich, der nicht von der vorliegenden Untersuchung mit erfasst werden konnte.</p>
---

Tab.9: Jahresdurchschnittstemperaturen an den Standorten der als sensibel eingestuften Waldbiotope („Temperaturbereich“; ohne Ausreißer) sowie Anzahl der zukünftig in diesem Temperaturbereich (Modellwerte: Median) noch vorhandenen Biotope inkl. prozentualer Rückgang im Vergleich zu heute.

Waldbiotoptyp	heute	2021-2050	2071-2100
<b>Moorwälder</b>	- heutiger Temperaturbereich: 5,0 - 8,3 °C		
Anzahl Flächen im heutigen Temperaturbereich	557	439	5
Rückgang im Vergleich zu heute		- 21%	- 99%
<b>Bruch-, Sumpf- und Auwälder</b>	- heutiger Temperaturbereich: 5,6 – 10,8 °C		
Anzahl Flächen im heutigen Temperaturbereich	3771	2833	555
Rückgang im Vergleich zu heute		- 25%	-85%
<b>Schlucht-, Blockhalden-, Hangschuttwälder</b>	- heutiger Temperaturbereich: 4,6 – 10,3 °C		
Anzahl Flächen im heutigen Temperaturbereich	2862	2714	565
Rückgang im Vergleich zu heute		- 5%	- 80%
<b>Nadelwälder</b>	- heutiger Temperaturbereich: 4,6 – 8,4 °C		
Anzahl Flächen im heutigen Temperaturbereich	521	422	41
Rückgang im Vergleich zu heute		- 19%	- 92%

Der verwendeten Methodik und dementsprechenden Auswertung entsprechend liegen für den Zeitraum 2021-2050 rund 5 – 25% der heutigen Biotopflächen außerhalb des derzeitigen Temperaturbereichs. Für den Zeitraum 2071-2100 liegen fast alle Biotope (80-99%)

außerhalb des heutigen Temperaturbereichs. Zur Beurteilung der regionalen Unterschiede und der Dringlichkeit wurde nachfolgend der Modellierungszeitraum 2021-2050 näher betrachtet.

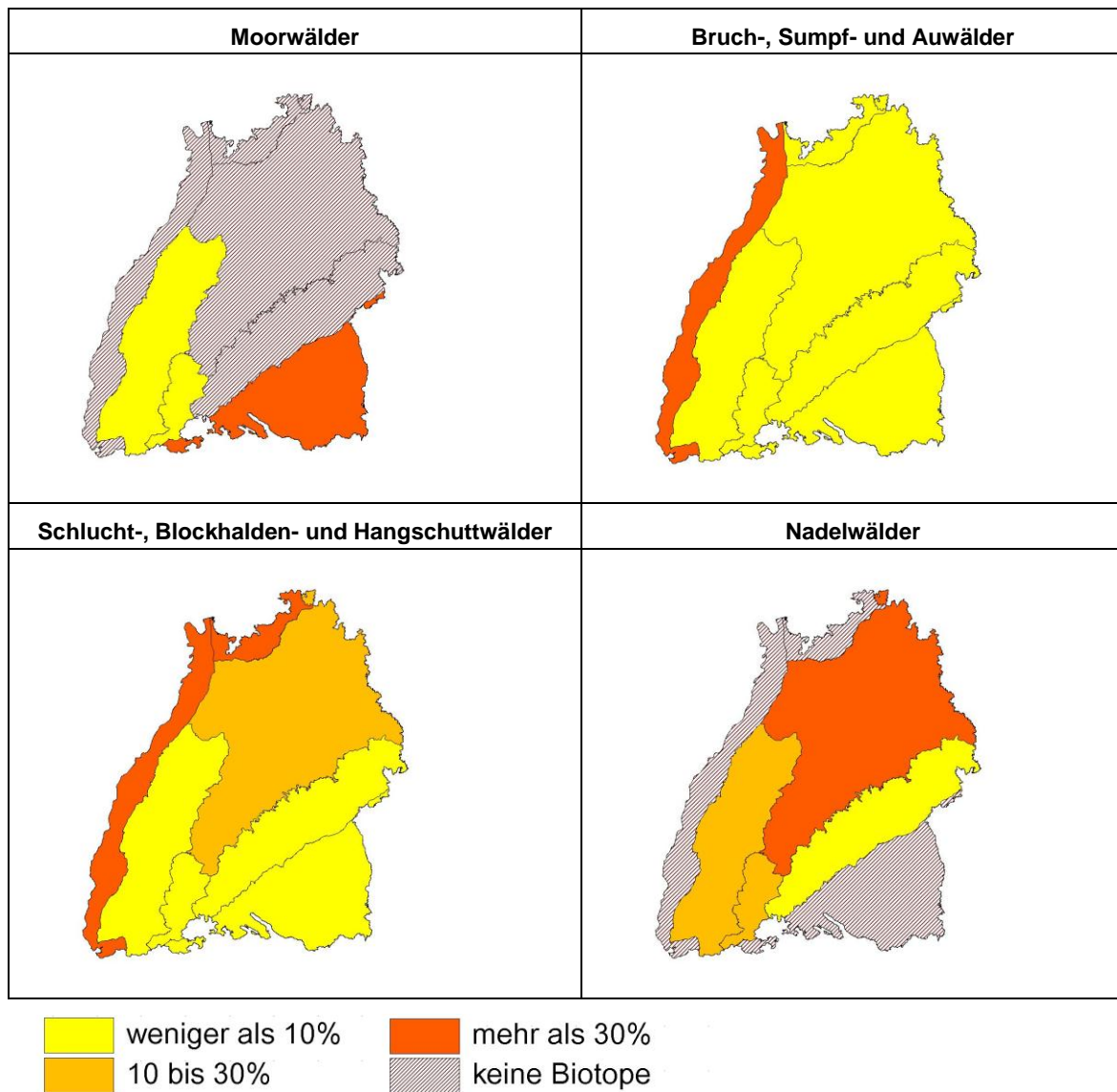


Abb. 17: Relativer Rückgang an gesetzlich ausgewiesenen Waldbiotopen (Bezugsgröße: Anzahl), die gemäß der Klimaentwicklung in der nahen Zukunft 2021-50 nicht mehr in den Temperaturbereich ihres derzeitigen Vorkommens liegen würden. Wuchsgebietsweise Darstellung.

Es zeigt sich, dass viele Moorwälder in Oberschwaben bereits im Zeitraum 2021-2050 außerhalb ihres derzeitigen Temperaturbereichs liegen würden und landesweit gesehen vermutlich als erste gefährdet wären. Bei den Bruch-, Sumpf- und Auwälder träfe dies auf die Waldbiotope im Oberrheingraben, bei den Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder ebenfalls im Oberrheingraben (Bereiche der Vorbergzone) sowie dem Odenwald und bei den natürlichen Nadelwäldern für das Wuchsgebiet Neckarland zu. Auch Schwarzwald und Baar-Wutach wären hier verstärkt betroffen.

### 3.4.3.2 Arealverschiebungen bei Arten und Verlust bisheriger Lebensstätten

In Baden-Württemberg werden negative Auswirkungen des Klimawandels vor allem für montane und subalpine Arten der winterkalten Schwarzwaldhochlagen erwartet. Allerdings wird bei den meisten Einschätzungen mittels „Klimahüllenmodellen“ vernachlässigt, dass Tierarten nicht nur direkt von Klimaparameter, sondern vor allem indirekt von klimabedingten Habitatstrukturen abhängig sind. Ein Kooperationsprojekt der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, der Eidg. Forschungsanstalt WSL und der Universität Bern untersucht derzeit potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung und Lebensraumqualität von vier typischen Vogelarten des Gebirgswaldes: Auerhuhn (*Tetrao urogallus*), Haselhuhn (*Bonasa bonasia*), Sperlingskauz (*Glaucidium passerinum*) und Dreizehenspecht (*Picoides tridactylus*). Anhand umfangreicher Lebensraumanalysen entlang eines Höhengradienten vom Schwarzwald über den Jura, die Voralpen bis in die Inneren Alpen Graubündens wird ermittelt, ob und mit welchen forstlichen Förderungsmassnahmen negative Effekte ausgeglichen werden können. Erste Resultate auf Landschaftsebene zeigen für alle Arten im Mittel einen Rückgang des landschaftsökologischen Lebensraumpotentials (d.h. Gebiete mit geeigneten klimatischen und landschaftsbedingten Rahmenbedingungen), allerdings variieren die Einschätzungen stark.

Tab. 10: Mittlere angenommene Veränderung des Landschaftsökologischen Lebensraumpotentials (in% von 2010) für vier naturschutzrelevante boreal-montane Vogelarten in Baden-Württemberg und der Schweiz. Median und Interquartilbereich basierend auf je 20 Modellen pro Art (5 Modell-Parameterisierungen x 4 GCM/RCM-Kombinationen für das Emissions-Szenario A1B). Quelle: BRAUNISCH et al. (2013)

Art	Veränderung bis 2050	
	Median	Interquartilbereich
Auerhuhn ( <i>Tetrao urogallus</i> )	-44%	-17/-66
Haselhuhn ( <i>Bonasa bonasia</i> )*	-31%	-13/-43
Dreizehenspecht ( <i>Picoides tridactylus</i> )	-34%	-12/-49
Sperlingskauz ( <i>Aegolius funereus</i> )	-33%	-17/-67

\*in Baden-Württemberg derzeit keine Population vorhanden

Die Analysen auf lokaler Ebene zeigen, dass das Klima für alle Modellarten eine bedeutende Rolle spielt, Landschaftsvariablen und Vegetationsstruktur das Artvorkommen aber ebenso gut erklären. Hierbei handelt es sich nicht nur um Baumartenanteile, sondern vor allem auch um Strukturparameter wie Lücken, Randlinien, Totholz oder vertikaler und horizontaler Aufbau der Bestände, d.h. Faktoren, die mit forstlichen Maßnahmen beeinflusst werden können. Damit besteht auch unter Klimawandel ein Spielraum für Artenförderungsprogramme [BOLLMANN & BRAUNISCH, 2013]. Das Ausmaß von Kompensationsmöglichkeiten wird derzeit evaluiert.



### 3.4.4 Teilbereich Wasser

Potentielle Auswirkungen auf den Teilbereich „Wasser“ bestehen bei der Wasserqualität und der Wassermenge, die aus Waldgebieten abfließen. Neben direkten Einwirkungen des Klimas werden sie maßgeblich von den Standortseigenschaften sowie dem aufstockenden Waldbestand (Struktur inkl. Baumarten) beeinflusst.

Potentielle Auswirkung	Konkretisierung
Veränderung der Wasserqualität	Bei zunehmender Mineralisierung erhöhte Bildung und Auswaschung von Nitrat sowie gelösten Kohlenstoffverbindungen. Schwerpunktfächen im Wald sind fichtendominierte Wälder, insbesondere in Hochlagen sowie Wälder, die mittels Kleinkahlfächen (auch Lochhiebe) bewirtschaftet werden
Veränderung der Wassermenge	Die Sickerwasserraten unter Wald liegen deutlich unter denen landwirtschaftlich genutzter Flächen. Eine zunehmende Evapotranspiration bei steigenden Temperaturen könnte die Sickerwassermengen weiter einschränken. Abnahme der Versickerungsrate und Zunahme des Oberflächenabflusses bei zunehmenden Starkregenereignissen in Hanglagen. Dadurch veränderte Wassermengen im Vorfluter und als pflanzenverfügbares Wasser im Waldboden.

Zur Beurteilung von möglichen räumlichen Schwerpunkten bei potenziellen Veränderungen in der Wasserqualität wurden in nachfolgender Tabelle die Anteile von Waldschutzgebieten in nadelholzdominierten Beständen an der gesamten Waldfläche dargestellt<sup>30</sup>. Als Datengrundlagen dienten die Flächen der Waldfunktionskartierung und Atkis-Daten<sup>31</sup>.

Tab. 11: Waldflächen mit den Kategorien „Wasserschutzwald“ und „Wasserschutzgebiet“ sowie Flächenanteile, die mit Nadelbaum dominierten Waldbeständen bestockt sind.

	Wuchsgebietsnummer							Gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Wasserschutzwald</b>								
Fläche (ha)	27.481	1.746	27.971	22.535	937	21.230	7.867	109.767
davon in Nadelwald Anteil (%)	5	0	60	24	69	9	25	25
<b>Wasserschutzgebiet</b>								
Fläche (ha)	28.975	15.662	57.878	73.635	10.780	142.110	30.659	359.700
davon in Nadelwald Anteil (%)	3	1	53	14	70	12	26	21

WGNr: 1 Oberrh. Tiefland 2 Odenwald 3 Schwarzwald 4 Neckarland 5 Baar-Wutach 6 Schw. Alb 7 Südw. Alpenvorland

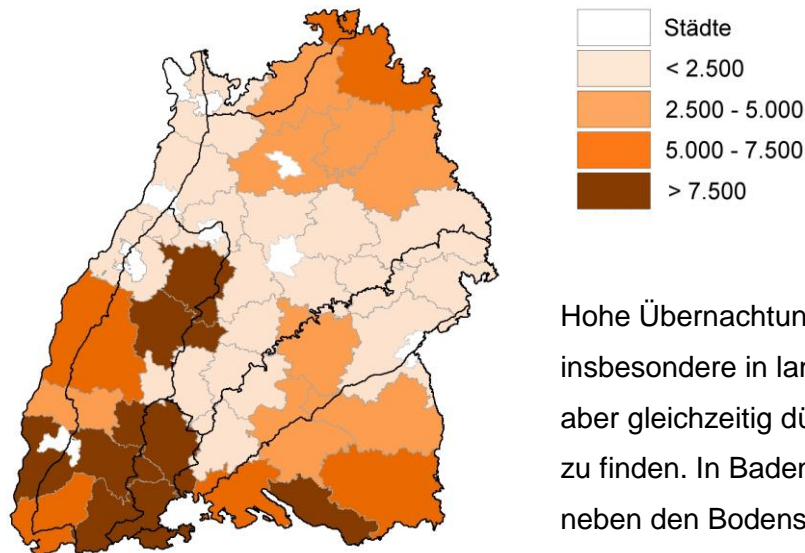
Im Wuchsgebiet 3 „Schwarzwald“ mit seinen ohnehin zumeist sauren bis stark sauren Bodensubstraten befinden sich nicht nur die größte Fläche mit Wasserschutzwald (ca. 28.000 ha) und große Flächen in Wasserschutzgebieten, die Flächen befinden sich dort im Vergleich zu den anderen Wuchsgebieten auch überdurchschnittlich oft in Nadelholzbeständen (60 bzw. 53%). Im Wuchsgebiet 5 „Baar-Wutach“ gibt es kaum Wasserschutzwälder, dafür überdurchschnittlich viele Wasserschutzgebiete in Nadelwaldbeständen.

<sup>30</sup> Es handelt sich um eine erste grobe Einschätzung über den Atkis-Waldtyp „Nadelwald“. Weitere wichtige Einflussgrößen konnten im Rahmen dieses Berichtes nicht berücksichtigt werden.

<sup>31</sup> ATKIS - Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

### 3.4.5 Teilbereich Erholung

Dargestellt ist die Übernachtungsdichte (Anzahl der Übernachtungen je 1.000 Einwohner) als Gradmesser für die quantitative Bedeutung des Tourismus in einer Region [Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg].



Hohe Übernachtungsdichten sind insbesondere in landschaftlich attraktiven, aber gleichzeitig dünn besiedelten Regionen zu finden. In Baden-Württemberg sind dies neben den Bodenseeregionen vor allem die waldreichen Landschaften wie Schwarzwald und Baar.

Abb. 18: Übernachtungsdichte in Baden-Württemberg nach Landkreisen im Jahr 2011 und forstliche Wuchsgebiete (schwarze Linie)  
Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. Abb. Unseld, (2013)

Nachfolgend werden die in potenziellen Auswirkungen des Klimawandels konkretisiert.

Potentielle Auswirkung	Konkretisierung
Veränderung der Temperaturen	„Im Unterschied zum Wintertourismus wird für den Sommertourismus in Baden-Württemberg eine positive klimatische Entwicklung prognostiziert.“ [STOCK, 2005; ENDLER et al..2008]. Es wird damit gerechnet, dass im (Süd-) Schwarzwald öfters wärmere und trockenere Tage auftreten, die sich günstig auf den dortigen Wandertourismus auswirken („Saisonverlängerung“). Folgen wären ein erhöhter Nutzungsdruck auf Waldflächen mit dementsprechend negativen Effekten für störungsempfindliche Waldlebensräume.
Veränderung der Schneeverhältnisse	Durch Abnahme der Schneelagendauer, insbesondere in den tieferen Lagen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb werden sich die Gebiete mit geeigneten Wintersportbedingungen auf die Schwarzwaldhochlagen konzentrieren [SCHÖNBEIN & SCHNEIDER, 2003]. Durch den lokal erhöhten Nutzungsdruck kann ein erhöhtes Konfliktpotential mit Naturschutzziele entstehen: Störung von Wildtieren insbesondere durch infrastruktur-unabhängige Wintersportarten, in Rotwildgebieten ggf. verbunden mit lokal erhöhter Verbiss/Schälproblematik.
Veränderung der Landschaft	Durch Abnahme der Fichtenanteile und zunehmend besseren Bedingungen für Buche und andere Laubbölzer kann sich mittel- bis langfristig der als typisch angesehene Charakter einer Waldlandschaft verändern. Betroffen sind hier vor allem die submontanen Lagen des heute noch nadelholzreichen Schwarzwaldes und der Baar.

Veränderung der Filterwirkung	Nadelholzdominierte Wälder haben eine deutlich höhere Filterwirkung (Aerosole) als winterkahle Laubholzbestände [MIESS & MIESS, 1987]. Eine Änderung der Luftqualität bei zunehmendem Laubholzanteil in typischen Luftkurortgebieten (v.a. Schwarzwald) kann nicht ausgeschlossen werden.
Veränderung der Vermarktungsmöglichkeiten	Marketingstrategien setzen auf ein bestimmtes Image von Landschaften. Im Schwarzwald ist dies stark mit einem hohen Nadelholzanteil (dunkle Wälder, „Das kalte Herz“) verbunden. Mit zunehmendem Laubholzanteil erfolgt möglicherweise ein Imageverlust.

### 3.4.6 Fazit

Zur Beurteilung der potenziellen Auswirkungen auf das Handlungsfeld Wald / Forstwirtschaft ist folgendes festzuhalten:

- Die oben skizzierten Auswirkungen stehen fast alle in unmittelbarem Zusammenhang mit der projizierten Temperaturerhöhung. Die für diese Klimaparameter berechneten Modellwerte wurden im Gegensatz zu anderen Klimaparameter als zuverlässig eingestuft. Folglich kann die Eintrittswahrscheinlichkeit der dadurch ausgelösten Auswirkungen im Vergleich zu den möglichen Effekten anderer Klimaparameter (z.B. Niederschlag) als deutlich höher eingestuft werden.
- Für den zentralen Bereich „Standort & Baumwachstum“ werden massive Auswirkungen vermutet. Dadurch sind mit unterschiedlichen Zeitverzögerungen auch alle anderen Teilbereiche von den Auswirkungen durch den Klimawandel massiv betroffen, da sie allesamt eng mit „Standort & Baumwachstum“ verknüpft sind (vgl. Kap. 3.1).

**Aus diesen Überlegungen heraus können die potenziellen Auswirkungen im Handlungsfeld insgesamt als hoch eingestuft werden.** Für spezielle Auswirkungen in Teilbereichen des Handlungsfeldes sind räumliche Schwerpunkte möglich (siehe oben).

## 3.5 Anpassungskapazität

Die Anpassungskapazität soll gemäß LUBW anhand bestehender Anpassungsmöglichkeiten dem Anpassungswissen und der Anpassungsbereitschaft beurteilt werden.

### 3.5.1 Anpassungsoptionen

Die Anpassungsoptionen sind durch natürliche und sozio-ökonomische Besonderheiten stark eingeschränkt.

Bewirtschaftungszeiträume bzw. Lebensdauer	Aufgrund der langen Lebensdauer von Waldbeständen bzw. der langen Bewirtschaftungszeiträume sind rasche und häufige Korrekturen bestehender Bestände zur Adaption an den Klimawandel nur beschränkt möglich.
Planungshorizont	Forstliche Entscheidungen wirken sich langfristig aus und können nur schwer nachträglich abgeändert werden, dies betrifft im Besonderen die Baumartenwahl bei einer Bestandesverjüngung.
Räumliche Bindung	Forstbetriebe können im Gegensatz zu vielen anderen Wirtschaftsbetrieben bei veränderten Rahmenbedingungen keine Verlagerung ihres Standorts vornehmen.
Standortfaktoren	Die Waldbewirtschaftung hängt stark von Standortfaktoren, die auch aufgrund der Großflächigkeit nicht verändert werden können
Kleinräumiges Wirtschaften	Im Vergleich zur Landwirtschaft ist kein einheitliches und schematisches Arbeiten möglich. Bewirtschaftungstätigkeiten im Wald sind vergleichsweise arbeitsintensiv und haben vergleichsweise noch einen hohen Anteil an manueller Arbeit.
Langfristige Kapitalbindung	Rasch durchgeführte Anpassungsmaßnahmen können langfristig gebundenes Kapital vernichten. Im Vergleich zur Landwirtschaft verzinsen sich Investitionen im Wald über einen langen Zeitraum.
Konkurrierende Nutzungsansprüche an den Wald	Die Durchsetzbarkeit von Anpassungsmaßnahmen ist durch die Ansprüche verschiedener Akteure an den Wald erschwert bzw. es besteht zunehmend ein erhöhter Diskussions- und Abstimmungsaufwand.
Ausgangslage	Häufig suboptimale Ausgangsbedingungen für rasche Anpassungen durch frühere gesellschaftliche Ansprüche an den Wald.

### 3.5.2 Anpassungswissen und -bereitschaft

Anpassungskennnisse und ein Bewusstsein über die bevorstehenden klimabedingten Waldprobleme sind insbesondere bei Fachleuten der Forstbetriebe vorhanden, wenn auch sicherlich mit unterschiedlichem Wissensstand. Es bestehen für etliche Fragestellungen allerdings noch insgesamt große Wissenslücken (Standortveränderung, Baumartenwahl: Genetik und Herkünfte; Konkurrenzverhalten, Schadorganismen) zu Auswirkungen und dem Anpassungspotenzial, die über Forschungsarbeiten weiter geschlossen werden müssen (vgl. Teil B „wissenschaftlicher Hintergrund“). Der Kenntnisstand von Kleinprivatwaldbesitzern über das Ausmaß der Klimaänderungen und möglichen Anpassungsmaßnahmen ist nicht bekannt. Möglichkeiten zur Informationsweitergabe und Weiterbildung sind z.B. an den

forstlichen Bildungszentren und im Rahmen der Privatwaldberatung und -betreuung vorhanden, werden aber durch die seit längerer Zeit anhaltenden Einsparmaßnahmen im Forstsektor merklich gefährdet. Generell ist bei allen Waldbesitzarten angesichts der noch verbleibenden Unsicherheiten über das Ausmaß und den Verlauf zukünftiger klimatischer Veränderungen eine gewisse Zurückhaltung bei der Anpassung der Wälder zu vermerken [MICHIELS, 2012; mdl. Mitteilung]. Unklarheiten bestehen außerdem hinsichtlich der Folgeabschätzungen für Anpassungsmaßnahmen.

### 3.5.3 Fazit

Aufgrund der oben skizzierten Eigenheiten des Handlungsfeldes Wald/Forstwirtschaft sind vor allem im zentralen Bereich „Standort & Baumwachstum“ rasche

**Anpassungsmöglichkeiten nur eingeschränkt oder nicht vorhanden.** Sie sind vor allem durch die langen Bewirtschaftungszeiträume von Waldbeständen bzw. lange Lebensdauer von Bäumen limitiert.

Anpassungswissen über bestimmte Maßnahmen besteht bei Fachleuten zwar insbesondere bei waldbaulichen Möglichkeiten, allerdings verläuft die konkrete Umsetzung auf der Fläche eher zögerlich. Dies ist aufgrund der bestehenden Unsicherheiten und deswegen wenig präziser Handlungsempfehlungen, z.B. bei Angaben zur Standortentwicklung und dementsprechend angepasster Baumartenwahl, aber auch einer zunehmend extensiven Betreuung und Beratung der Wälder durch Fachpersonal geschuldet.

## 3.6 Dringlichkeit

Abschließend soll die Dringlichkeit für Anpassungsmaßnahmen in jedem Teilbereich beurteilt werden. Als Kriterien sollten gemäß LUBW-Vorgaben herangezogen werden:

- **Geschwindigkeit** der bisherigen und zukünftigen Klimaänderungen (Kap.3.2)
- **Handlungsdruck**, der sich aus der zeitlichen Perspektive ergibt.
- Weitere Faktoren wie aktuelle bzw. zu erwartende **ökonomische Belastungen**.

Zusätzlich wurden weitere Kriterien seitens des Bearbeiters eingefügt:

- Vorhandensein bereits **beobachteter Veränderungen**, die zum größten Teil auf eine kontinuierliche Klimaänderung zurückgeführt werden.
- **Kenntnisstand**: Mehrzahl der Maßnahmen können aufgrund der heutigen Forschungserkenntnisse sofort oder erst später nach weiterem Erkenntnisgewinn umgesetzt werden.
- **Relevanz** für das gesamte Landesgebiet oder nur für bestimmte Regionen

*Tab.12: Beurteilung der Dringlichkeit für die Teilbereiche*

Teilbereich	Geschwindigkeit Klimav.	Handlungsdruck <sup>32</sup>	Ökonom. Belastung	Bereits Veränderungen	Kenntnisstand	Landesweite Relevanz	Dringlichkeit
<b>Standort &amp; Baumwachstum</b>	hoch	hoch	aktuell nicht ermittelbar	ja	Teilweise vorhanden	ja	III
<b>Holzproduktion</b>	hoch	hoch	Siehe Fußnote <sup>33</sup>	-	Teilweise vorhanden	ja	III
<b>Arten &amp; Lebensräume</b>	hoch	hoch	aktuell nicht ermittelbar	ja	Teilweise vorhanden	ja	III
<b>Wasser</b>	hoch	mittel	aktuell nicht ermittelbar	-	Teilweise vorhanden	nein	I
<b>Erholung</b>	hoch	mittel	aktuell nicht ermittelbar	-	Teilweise vorhanden	nein	I

I: gering II: mittel III: hoch

Maßgeblich für das Handlungsfeld sind die modellierte Temperaturentwicklung und die Entwicklung der daraus abgeleiteten Klimaparameter (vgl. Kap. 2). Die Veränderungsgeschwindigkeit wurde als hoch bewertet, da gemäß Modellwerten bereits kurzfristig (2021-2050) eine weitere Klimaerwärmung erfolgt.

Wie in fast keinen anderen Sektoren ist im Handlungsfeld Wald/Forstwirtschaft aufgrund der langen Lebensspanne von Bäumen ein vorausblickendes und zeitnahes Handeln erforderlich. Dies betrifft alle Teilbereiche des Handlungsfeldes, wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung.

Obwohl bei der Holzproduktion mittelfristig gemäß Modellierungsergebnissen nur in einigen Landkreisen deutliche Versorgungseinbrüche mit Fichtenstammholz erfolgen könnten, wurde der zeitliche Handlungsdruck für den Teilbereich „Holzproduktion“ dennoch als hoch eingestuft, da auf lange Sicht eine dauerhafte Mengenbereitstellung an Fichtenholz in Baden-Württemberg nicht gewährleistet ist („Abbaubetrieb“). Der Handlungsdruck zur Steuerung der Holzproduktion ergibt sich insbesondere aus der Notwendigkeit, die Baumartenwahl pro-aktiv an zukünftige Klimabedingungen anzupassen. Beim Teilbereich „Wasser“ wurde der Handlungsdruck als mittel eingestuft. Es wurde davon ausgegangen, dass zum einen wichtige Maßnahmen bereits mit Tätigkeiten im Bereich „Standort & Baumwachstum“ abgedeckt werden (naturnahe und klimagerechte Waldwirtschaft). Zum anderen ergibt sich vermutlich bei der Bereitstellung einer ausreichenden Wasserqualität aus Waldflächen im Gegensatz zur Bereitstellung aus Landwirtschaftsgebieten kein entsprechend hoher Handlungsbedarf<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> Hier: Zeitlicher Handlungsdruck. Weiter unten (Kap.3.7) gesamter Handlungsdruck unter Einbezug der Vulnerabilität

<sup>33</sup> Den durch die Klimaerwärmung resultierende Verlust an potenziellen Fichtenflächen bei gleichzeitiger Substitution mit Buche wurde von HANEWINKEL (2010) nach heutigen Bedingungen ökonomisch quantifiziert. Seinen Berechnungen nach belaufen sich die Verluste des gesamten Bodenertragswerts durch den Rückgang von potenziellen Fichtenflächen für ganz Baden-Württembergs auf 700 Mio. € bis zum Jahr 2030 und 3.2 Mrd. € bis zum Jahr 2100.

<sup>34</sup> Hinweis auf die Gutachten der Handlungsfelder „Wasserwirtschaft“, „Boden“ und „Landwirtschaft“

### 3.7 Gesamtbeurteilung

Die Vulnerabilität ergibt sich gemäß LUBW-Schema aus der Einschätzung der

- Exposition (Kap.3.2)
- Sensitivität und Auswirkungen (Kap.3.3 und 3.4)
- Anpassungskapazität (Kap.3.5)

Daraus ergaben sich folgende Einschätzungen:

Tab.13: Bewertung der Vulnerabilität nach Teilbereichen

Teilbereich	Exposition	Beobachtete Sensitivität	potentielle Auswirkungen	Anpassungs-kapazität	Vulnera-bilität
<b>Standort &amp; Baumwachstum</b>	hoch	hoch	hoch	eingeschränkt	III
<b>Holzproduktion</b>	hoch	-	hoch	eingeschränkt	III
<b>Arten &amp; Lebensräume</b>	hoch	hoch	hoch	eingeschränkt	III
<b>Wasser</b>	hoch	-	mittel - hoch	eingeschränkt	III
<b>Erholung</b>	hoch	-	mittel	mittel	II

I: gering (Exposition gering, Sensitivität und Auswirkungen mittel - gering, Anpassungskapazität hoch)

II: mittel

III: hoch (Exposition, Sensitivität und Auswirkungen hoch, Anpassungskapazität eingeschränkt)

Wie in den einzelnen Kapiteln erörtert wurde, sind die Exposition und die Sensitivität für das Handlungsfeld und seine Teilbereiche aus den dort dargelegten Gründen insgesamt als hoch einzuschätzen. Unter Einbezug der potenziellen Auswirkungen sowie der Anpassungskapazität wurde auch die Vulnerabilität für die meisten Teilbereiche insgesamt als „hoch“ eingestuft. Lediglich beim Teilbereich „Erholung“ wurde die Vulnerabilität als „mittel“ bewertet, da sich die potenziellen Auswirkungen räumlich zum größten Teil auf die Schwarzwaldregion beschränken und Anpassungsmaßnahmen über Tourismuskonzepte und technische Maßnahmen (z.B. Beschneigung) relativ schnell vorgenommen werden könnten. Auch der Teilbereich „Holzproduktion“ könnte dementsprechend als flexibler eingestuft, da auch hier in den nächsten Jahrzehnten technische Anpassungsmöglichkeiten erfolgen könnten. Die holztechnologischen Unterschiede zwischen den Laub- und den Nadelholzarten lassen jedoch derzeit befürchten, dass in einigen wesentlichen Bereichen, wie z.B. beim Bauholz, eine Substitution von Nadelholz durch Laubholz nicht in ausreichendem Ausmaß erfolgen könnte.

Mit dieser Vulnerabilitätseinschätzung sollte unter Berücksichtigung der Dringlichkeit (Kap. 3.6) und bereits vorhandener Anpassungsstrategien der Handlungsdruck beurteilt werden.

Tab. 14: Gesamtbewertung gemäß LUBW-Schema [LUBW, 2012]

Teilbereich	Vulnerabilität	Dringlichkeit	Anpassungsstrategie vorhanden ?	Handlungsdruck
<b>Standort &amp; Baumwachstum</b>	III	III	II (teilweise)	hoch
<b>Holzproduktion</b>	III	III	I (teilweise bis nein)	hoch
<b>Arten &amp; Lebensräume</b>	III	III	II (teilweise)	hoch
<b>Wasser</b>	III	I	II (teilweise)	mittel
<b>Erholung</b>	II	I	- (nein)	mittel-gering

Für den Teilbereich „Standort & Baumwachstum“ wurden bereits waldbauliche Anpassungsstrategien formuliert [z.B. KOHNLE et al. 2008], mit denen jedoch nicht alle Auswirkungen in diesem zentralen Bereich abgedeckt werden können. Wichtige Belange des Teilbereichs „Wasser“ sind von den dort aufgeführten Maßnahmen bereits mit abgedeckt.

Für den Teilbereich „Holzproduktion“ bestehen in seiner ersten Auswirkungsstufe durch Einbezug wuchskräftiger Baumarten, wie z.B. Douglasie, aber auch der Weißtanne, Strategien zur Substitution von Fichtenholz. Weitere Überlegungen zur Anpassung vor allem im Bereich der Holzverarbeitung konnten für Baden-Württemberg nicht ermittelt werden.

Für den Teilbereich „Arten & Lebensräume“ wurden von Naturschutzseite ebenfalls Anpassungsvorschläge vorgestellt [z.B. SCHLUMPRECHT et al., 2011], speziell für Lebensräume im Wald sind weiterreichende Überlegungen weitestgehend unbekannt.

Für den Teilbereich „Erholung“ wurden bisher keine Strategien oder Empfehlungen gefunden.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Das derzeit für das Handlungsfeld „Tourismus“ erstellte Gutachten im Auftrag der LUBW bleibt hier unberücksichtigt.



### 3. Anpassungsziele und Maßnahmenempfehlungen

In diesem Kapitel soll auf Grundlage der Vulnerabilitätseinschätzung für jeden Teilbereich des Handlungsfeldes möglichst genau und detailscharf Anpassungsziele und -maßnahmen benannt werden. Vom Auftraggeber waren die Nennung bestehender Maßnahmen und deren Stand als auch neuer Maßnahmen erwünscht. Ziele und Maßnahmen sollten, soweit möglich, zudem nach Effektivität und Aufwand gewichtet werden. So genannte „No regret-Maßnahmen“ sollten extra gekennzeichnet werden. Zudem sollten so weit möglich Angaben zum Zeithorizont und zur Dringlichkeit der Anpassungsmaßnahmen erfolgen. Ausgewählte Maßnahmen wurden in das Maßnahmenformblatt der LUBW eingetragen.

#### **Glossar LUBW (2012):**

„no regret“-Maßnahme: dt = „Maßnahme ohne Bedauern“  
„No-Regret-Strategien beinhalten Modelle und Maßnahmen, die auch unabhängig vom Klimawandel ökonomisch und ökologisch sinnvoll sind. Sie werden vorsorglich ergriffen, um mögliches Unheil zu vermeiden oder zu lindern. Ihr gesellschaftlicher Nutzen ist dann immer noch hoch, wenn der Grund für die ergriffene Strategie nicht eintritt“ [ARL®].

Zur Herleitung der Anpassungsziele und Maßnahmen werden nachfolgend zuerst die übergeordneten Ziele einer Anpassungsstrategie benannt. Für die einzelnen Teilbereiche (Abb.1) wurden Zwischen- und Unterziele definiert. Aus ihnen ließen sich dann detaillierte Zielsetzungen ableiten, für die konkrete Maßnahmen vorgeschlagen wurden.

Für den Teilbereich „Standort & Baumwachstum“ war im Gegensatz zu den anderen Teilbereichen keine spezielle Zielsetzung hinsichtlich einer funktionalen Ausrichtung formulierbar, da er Aspekte aller Waldfunktionen/Teilbereiche vereint. Für ihn wurden daher Ziele formuliert, die funktionsübergreifend mehrere Teilbereiche betreffen und die vorgeschlagenen Maßnahmen somit nicht in jedem Teilbereich nochmals wiederholt und erläutert werden müssen („Klammer“). Gleichwohl kann es bei einer weiteren Konkretisierung in der Folge zu unterschiedlichen Zielsetzungen für die Teilbereiche kommen. Ein Beispiel ist die „Naturnahe Waldwirtschaft“. Die meisten der dort formulierten Ziele treffen für mehrere Teilbereiche zu. Einige konkrete Maßnahmen, wie z.B. die geeignete Baumartenwahl, müssen in den einzelnen Teilbereichen mit ihren speziellen Zielsetzungen jedoch unterschiedlich formuliert werden.

Tab.15: Übergeordnete Anpassungsziele

Oberziel	Zwischenziele		Konkretisierung	Unterziele	
Erfüllung der Funktionen des Waldes gemäß LWaldG unter veränderten klimatischen Bedingungen	- A - Sicherung vitaler, stabiler und anpassungsfähiger Waldbestände	- B - Sicherung der nachhaltigen Bereitstellung des Rohstoffes Holz aus den Wäldern Baden-Württembergs.	Sicherung einer ausreichenden Versorgung des holzverarbeitenden Gewerbes mit geeigneten Holzarten, -qualitäten, -sortimenten und -mengen	- B1 - Langfristige Absicherung ausreichender Nadelholzmengen hoher Qualität	- B2 - Schaffung von alternativen Verarbeitungs- und Verwendungsmöglichkeiten
		- C - Sicherung der Funktion als Lebensraum.		Erhalt und Förderung der Biodiversität sowie Schutz und Erhaltung einer vielfältigen Flora und Fauna	- C1 - Sicherung und Entwicklung bestehender Lebensraumtypen und Lebensstätten im Wald (inkl. Alt-/Totholz)
		- D - Sicherung der Wasserschutzfunktionen.			- D1 - Sicherung einer hohen Wasserqualität
		- E - Sicherung des Waldes als Erholungs- und Erlebnisraum.			- E1 - Sicherung der landschaftstypischen Eigenheiten in Erholungsräumen

## 4.1 Teilbereich „Standort und Baumwachstum“

Zwischenziel – A - Sicherung vitaler, stabiler und anpassungsfähiger Waldbestände

Detailziel	Maßnahmen
<p>Entwicklung und Umsetzung eines <b>klimagerechten Waldbaus</b> für nachhaltig bewirtschaftete Waldbestände:</p> <p>Verbesserung der Anpassungskapazität, Resilienz und Risikoverteilung durch waldbauliche Ziele wie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- geeignete Baumarten</li> <li>- Mischbestände</li> <li>- genetische Variabilität</li> <li>- geeignete Naturverjüngung</li> <li>- bodenschonende Verfahren</li> </ul>	Entwicklung von Methoden zur Dynamisierbarkeit von Zielgrößen der forstlichen Standortkartierung inklusive kleinräumigen Geländemodellen zum Wasserhaushalt
	Integration der Aspekte des Klimawandels in Waldentwicklungstypen: Anpassung und Neuentwicklung
	Weiterentwicklung des Konzeptes Naturnaher Waldbau (siehe nachfolgender Kasten)
	Ausbau und Modifizierung forstlicher Fördermaßnahmen
	Entwicklung eines Beratungskonzeptes für Waldbesitzer bzgl. der Anpassung der Wälder an den Klimawandel sowie eines umfassenden Entscheidungsunterstützungssystems (DSS Decision Support System) mit einer Integration klimasensitiver wachstums- und bodenkundlicher, evtl. ökonomischer Modellgrößen sowie von Risikomodellen (Waldschutz, Sturmwurf)
	Vermeidung negativer Auswirkungen von Wildbeständen auf verbissempefindliche klimaplastische Arten (z.B. Eiche)
	Durchführung genetischer Untersuchungen und Auslesezüchtung <sup>36</sup>
	Monitoring: Fortführung bzw. Modifizierung der derzeitigen Großrauminventuren und langfristigen Versuchsflächennetze.
<p>Präventive und kurative Regulierung von <b>Schadorganismen</b></p>	Eine auf die Klimaänderungen ausgerichtete Forschung: Einrichtung und Auswertung von Versuchsflächen inkl. Bannwäldern (Waldbau, Ertragskunde, Boden, Waldschutz).
	Optimierung der Monitoring-Systeme zur zeitnahen und raumbezogenen Erfassung von Schadorganismen und gegebenenfalls rechtzeitigen Einleitung von Gegenmaßnahmen und Entwicklung von Frühwarnsystemen
	Aufrechterhaltung und Verbesserung der Beratungs- und Dienstleistungstätigkeit
	Entwicklung von alternativen Pflanzenschutzverfahren
	Erstellung von Risikoanalysen und –modellen; ggf. Integration in ein DSS

<sup>36</sup> Stabilität und Resistenz der Waldbestände gegenüber den Klimaveränderungen wird heute als vorrangiges Züchtungsziel angesehen (früher: vor allem Produktivität/Qualität). Trockenheitsangepasste Herkünfte könnten an Bedeutung gewinnen.

Detailziel	Maßnahmen
Erhaltung der <b>Bodenfruchtbarkeit</b> und Verbesserung Durchwurzelung	Monitoring: Fortführung bzw. Modifizierung von Dauerbeobachtungsflächen (Level I und II / BZE) unter besonderer Berücksichtigung von klimasensitiven Bodenprozessen.
	Erstellung einer räumlich hoch aufgelösten Analyse besonders gefährdeter Waldstandorte
	Weiterentwicklung des Konzeptes Naturnaher Waldbau mit Fokus auf Bestandstypen, die zu Humusverbesserung und Versauerungsminderung auf gefährdeten Waldstandorten beitragen.
	Standortsdifferenzierte Kalkung als Stabilisierungsmaßnahme auf unnatürlich stark versauerten Flächen mit trockenheitsgefährdeten Waldbeständen. Im Zuge der Bodenschutzkalkung kann bei nachgewiesenem Kaliummangel die Verabreichung ernährungswirksamer Kaliumträger sinnvoll sein <sup>37</sup> .

### Erläuterung zu Einzelmaßnahmen des klimagerechten Waldbaus

#### Entwicklung von Methoden zur Dynamisierbarkeit von Zielgrößen der forstlichen Standortskartierung

In den zurückliegenden Standortskartierungen wurden der Wasserhaushalt und die Trophie von Waldstandorten aufgrund der damals wirkenden Eingangsgrößen bestimmt. Klimatische Veränderungen werden zu einer Neubewertung führen müssen. Erforderlich wird die modellgestützte Quantifizierung des Wasserhaushaltes und sonstiger Standortseigenschaften auf der Basis im Gelände georeferenziert erfasster Standortmerkmale und regionalisierter Klimaparameter. Das Verfahren zielt auf eine räumlich hoch aufgelöste Darstellung heutiger und zukünftiger Standortseigenschaften. Darauf aufbauend müssen die Empfehlungen zur Baumarten- und Herkunftswahl angepasst werden. Die Maßnahme stellt die wichtigsten Grundlagen zur weiteren waldbaulichen Planung und Entwicklung angepasster Waldentwicklungstypen dar. Im Vergleich zum bisherigen Kartierungsverfahren kann ein deutlicher Mehraufwand entstehen.

#### Definition neuer Waldentwicklungstypen

Die derzeitigen Waldentwicklungstypen (WET) decken nicht alle Erfordernisse ab, die unter Berücksichtigung der Anpassung der Wälder an Klimaänderungen nötig sind. Bei fortschreitender Veränderung der ökologischen Rahmenbedingungen für den Waldbau wird auch die Einführung neuer WET notwendig werden, die Baumarten aus warm-trockenen Verbreitungsgebieten einbeziehen. Für die Steuerung von Forstbetrieben über eine nachvollziehbare waldbauliche Planung im Rahmen der Forsteinrichtung ist eine Anpassung und gegebenenfalls Neuentwicklung der WET dringend notwendig. Gleichzeitig stellt dies die Grundlage einer Beratung und Förderung von Privatwaldbesitzern in Richtung einer naturnahen Waldwirtschaft dar.

#### Weiterentwicklung des Konzeptes „Naturnaher Waldbau“

Das Konzept „Naturnaher Waldbau“ beinhaltet schwerpunktmäßig die Aspekte:

- geeignete Baumartenwahl auf standörtlicher Grundlage
- Mischwaldprinzip und Stufigkeit
- Naturverjüngung und daher waldbaulich tragbare, angepasste Wildbestände
- Qualitäts- und stabilitätsorientierte Pflege der Bestände

Nach diesen Vorgaben wird bereits seit rund 20 Jahren im Staatswald gewirtschaftet mit dem Ziel stabile, vitale und ökologisch wertvolle Wälder unter Einbezug natürlich ablaufender Prozesse zu entwickeln. Dazu erfolgten umfangreiche Umbaumaßnahmen sturmlabiler Nadel- in stabilere

<sup>37</sup> Im Falle der Waldkalkung wird der Wurzelraum vergrößert und dadurch die Anfälligkeit gegenüber Trockenstress verringert. Kalkungsbedarf besteht auf entkalkten Standorten durch die „Altlast“ depositionsbedingter Bodenversauerung, sowie in Waldbeständen, die aufgrund ihrer Nutzungsgeschichte unnatürlich stark versauert sind oder eine starke Versauerung prognostizierbar ist, welche mittelfristig nicht mit waldbaulichen Mitteln behoben werden können. Naturschutzanforderungen müssen hier beachtet werden.

Laubmischbestände. Diese Umbaumaßnahme kann zwar zwischenzeitlich im Staatswald zu großen Teilen als abgeschlossen gelten, wird nun jedoch durch den Aspekt des Umbaus klimalabiler in klimastabilere Bestände erweitert. Bei diesem Umbau aus Gründen der Klimabilisierung steht bei Baumartenwahl der Aspekt der längerfristigen Klima-Eignungsprognose klar im Vordergrund und kann gegebenenfalls auch an die Stelle des Primates der Naturnähe bei der Baumartenwahl treten (Einbeziehung standorts- bzw. gebietsfremder Baumarten). Analoges gilt für den Aspekt des waldbautechnischen Vorgehens bei der Verjüngung: bei Umbaumaßnahmen aus Gründen der Klimabilisierung steht ein zielorientiertes Vorgehen im Vordergrund, das durchaus in größerem Umfang auf kurzfristige Verjüngungsgänge zurückgreifen kann; das Primat der Arbeit mit langfristigen Naturverjüngungen kann hierbei in den Hintergrund treten und Pflanzung/Saat zur gezielten, situationsspezifischen Einbringung anpassungsfähiger Baumarten eine größere Bedeutung erlangen.

#### Anpassung der Schalenwildbestände

Das Arbeiten mit Naturverjüngung ist eine wichtige Komponente der Naturnahen Waldwirtschaft und zur Risikominderung bei einer Klimaänderung. Naturverjüngungen weisen bei den meisten Baumarten eine hohe genetische Vielfalt auf. Die Anpassung der Schalenwildbestände zur Minderung des Verbissdruckes ist dazu eine wichtige Voraussetzung. Eine Anpassung der Schalenwildbestände wird seit langem gefordert und wurde nur teilweise umgesetzt. Eventuell müssen zur besseren Erfüllung zuerst weitere Voraussetzungen geschaffen werden.

#### Durchführung genetischer Untersuchungen und Züchtung

Mit den Untersuchungen sollten die genetischen Variationsmuster der phänotypischen Plastizität und physiologischen Anpassung von Baumartenpopulationen überprüft werden. Unterschiede in der genetischen Ausstattung und Diversität regionaler Baumpopulationen und damit auch hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit sind aufzuzeigen. In einem weiteren Schritt sollten geeignete Bestände der Populationen weitervermehrt werden und die Pflanzen dem Waldbesitzer zur Ausbringung zur Verfügung stehen.

## 4.2 Teilbereich „Holzproduktion“

Zwischenziel - <b>B</b> -	Sicherung der nachhaltigen Bereitstellung des Rohstoffes Holz aus den Wäldern Baden-Württembergs.
Unterziele - <b>B1</b> -	Langfristige Absicherung ausreichender Nadelholzmengen hoher Qualität
- <b>B2</b> -	Schaffung von alternativen Verarbeitungs- und Verwendungsmöglichkeiten

Detailziel	Maßnahmen
Entwicklung und Umsetzung eines <b>klimagerechten Waldbaus</b> unter spezieller Berücksichtigung der Nadelholzerträge.	Definition neuer produktiver Waldentwicklungstypen und Waldbausysteme unter Einbezug wuchskräftiger Baumarten wie Douglasie
	Durchführung genetischer Untersuchungen zur Identifizierung trockenheitsangepasster Herkünfte und Auslesezüchtung mit dem Schwerpunkt auf wuchskräftigen, wenig klimasensitiven Baumarten (z.B. Douglasie)
	Verkürzung der Produktionszeiträume zur Risikominderung: Arbeiten mit reduzierten Bestandeshöhen (v.a. bei Fichte)
	Anwendung von Durchforstungsstrategien insbesondere in Nadelholzbeständen zur Förderung optimaler Resilienzen.
<b>Mobilisierung</b> von ungenutzten Holzpotenzialen	Für Kleinprivatwald: Information, Förderung der Organisation & Logistik, sowie Bereitstellung von Fördermitteln zur Bewirtschaftung (Prämien)
	Alle Besitzarten: Entwicklung optimierter waldbaulicher Nutzungsstrategien (Durchforstung; Endnutzung)
Vorbeugung von großflächigen <b>Kalamitäten</b> <sup>38</sup> und Gewährung des <b>Vorratsschutzes</b>	Schadmanagement: Optimierung von Logistikketten
Entwicklung <b>effizienter Verarbeitungsmethoden</b> v.a. für Nadelholz	Bereitstellung von Forschungs- und Fördermitteln für Holztechnologieinstitutionen/KMU
Förderung neuer <b>Verarbeitungstechnologien</b> v.a. für Laubholz	

<sup>38</sup> Über eine sogenannte „saubere Forstwirtschaft“ (Aushieb befallener Bäume, schnelle Aufarbeitung von Sturmholz, Entrindung u.s.w.) kann Massenvermehrungen durch Borkenkäfer vorgebeugt werden (JOHN, 2012).

### 4.3 Teilbereich „Arten & Lebensräume“<sup>39</sup>

Zwischenziel - C - Sicherung der Funktion des Waldes als Lebensraum.

Unterziele: - C1 - Sicherung und Entwicklung bestehender Lebensraumtypen und Lebensstätten im Wald (inkl. Alt-/Totholz)

- C2 - Sicherung neuer Lebensraumtypen und Lebensstätten im Wald

Detailziel	Maßnahmen
Erhaltung der als <b>klimasensibel</b> eingestuften <b>Waldlebensräume</b>	Basismaßnahmen siehe 4.1 „klimagerechter Waldbau“
	Erstellung und Umsetzung einer Biotopverbundkonzeption unter Einbeziehung von Kern-, Trittstein- und Verbindungsflächen aus Waldschutzgebieten, Waldbiotoptypen und Lebensstätten.
	Erforderlichenfalls Durchführung von Pflegemaßnahmen zur Stabilisierung der Lebensräume.
Erhaltung vitaler Populationen der als besonders <b>klimaempfindlich</b> eingestuften <b>Tierarten</b>	Monitoring von klimagefährdeten Arten und Lebensraumtypen
	Ermittlung des Kompensationspotentials negativer Auswirkungen auf Lebensräume gefährdeter Arten durch waldbauliche und habitatverbessernde Maßnahmen.
	Erstellung und Umsetzung einer Biotopverbundkonzeption unter Einbeziehung von Kern-, Trittstein- und Verbindungsflächen aus Waldschutzgebieten, Waldbiotoptypen und Lebensstätten.
	Erforderlichenfalls Durchführung von Pflegemaßnahmen zur Stabilisierung der Lebensstätten
Sicherung <b>neu auftauchender FFH-Arten und FFH-Lebensraumtypen</b>	Beschreibung und Aufnahme in die entsprechenden Fachplanungen

<sup>39</sup> Möglichkeiten einer fortlaufenden Anpassung der naturschutzfachlichen Bewertung von Schutzgütern werden hier nicht behandelt. Optionen sind im Gutachten des Handlungsfeldes „Naturschutz“ aufgeführt.

#### 4.4 Teilbereich „Wasser“

Zwischenziel - D - Sicherung der Wasserschutzfunktionen des Waldes.

Unterziele - D1 - Sicherung einer hohen Wasserqualität aus Waldflächen

- D2 - Sicherung ausreichender Wassermengen aus Waldflächen

Detailziel	Maßnahme
Entwicklung und Umsetzung eines <b>klimagerechten Waldbaus</b> unter spezieller Berücksichtigung der <b>Wasserqualität</b> .	Fortführung des Forschungs- und Monitoringsystems zur Erfassung klimasensitiver Sickerwasserparameter unter Wald
	Siehe 4.1 „klimagerechter Waldbau“ Weiterentwicklung des Konzeptes Naturnaher Waldbau mit Fokus auf Bestandstypen und Bestandesbehandlungen, die in Wasserschutzgebieten oder als Wasserschutzwald zur Erhaltung oder Verbesserung der Wasserqualität beitragen können.
	Kurz- bis mittelfristige Veränderung der Bodeneigenschaften durch Kalkung als Sofortmaßnahme auf ausgesuchten Flächen.

#### 4.5 Teilbereich „Erholung“

Zwischenziel - E - Sicherung des Waldes als Erholungs- und Erlebnisraum.

Unterziel - E1 - Sicherung der landschaftstypischen Eigenheiten in Erholungsräumen

Detailziel	Einzelmaßnahmen
Entwicklung und Umsetzung eines <b>klimagerechten Waldbaus</b> unter Berücksichtigung <b>landschaftstypischer Eigenheiten</b> .	Siehe 4.1 „klimagerechter Waldbau“
	Weiterentwicklung des Konzeptes Naturnaher Waldbau mit Fokus auf Bestandstypen und Bestandesbehandlungen, die das landschaftstypische Erscheinungsbild sowie die Filterwirkung des Waldes mit berücksichtigen.
	Durchführung von Landschaftsanalysen mit in Frage kommenden Waldentwicklungstypen



## 4.6 Gewichtung und Priorisierung

Maßnahme	Effektivität	Aufwand <sup>40</sup>	No regret	Priorität
<b>Standort &amp; Baumwachstum</b>				
Klimagerechter Waldbau: Standortskartierung	Hoch	Hoch	Ja	III
Klimagerechter Waldbau: Waldentwicklungstypen	Hoch	Hoch	Ja	III
Klimagerechter Waldbau: Entscheidungsunterstützungssystem	Hoch	Hoch	Ja	III
Klimagerechter Waldbau Beratungskonzept & Förderung	Hoch	Hoch	Nein	III
Klimagerechter Waldbau Langzeitbeobachtungen	Hoch	Hoch	Ja	III
Schadorganismen / Neobiota	Hoch	Hoch	Ja	III
Bodenfruchtbarkeit / Kalkung	Mittel	Hoch	Ja	II
<b>Holzproduktion</b>				
Klimagerechter Waldbau „Wuchskräftige Baumarten“	Hoch	Hoch	Ja	III
Verkürzte Produktionszeiträume	Hoch	Gering	Nein	III
Mobilisierung	Mittel	Mittel	Ja	I
Kalamitätenmanagement	Mittel	Mittel	Ja	I
Holztechnologie	Hoch	Hoch	Ja	III
<b>Arten &amp; Lebensräume</b>				
Biotopverbundkonzeption	Hoch	Hoch	Ja	III
Pflegeeingriffe inkl. Kompensationspotenzial	Hoch	Hoch	Ja	III
Erfassung und Schutz neuer Arten	Hoch	Hoch	Nein	II
<b>Wasser</b>				
Klimagerechter Waldbau „Wassermenge und -qualität“	Mittel	Hoch	Ja	I
<b>Erholung</b>				
Klimagerechter Waldbau „Landschaft & Luft“	Hoch	Hoch	Ja	I

III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich

<sup>40</sup> LUBW: technischer und verfahrenstechnischer Aufwand

## 4. Zitierte Literatur

- ALBRECHT, A.; SCHINDLER, D.; GREBHAN, K.; KOHNLE, U.; MAYER, H. (2009): Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region vor dem Hintergrund des Klimawandels - eine Literaturübersicht. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 180, S.109-118.
- BEIERKUHNLEIN, C.; JENTSCH, A.; REINEKING, B.; SCHLUMPRECHT, H.; ELLWANGER, G. (HRSG.) (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg 2011, Naturschutz und Biologische Vielfalt.
- BÖSCH, B. (2004): Das künftige Holzaufkommen in Baden-Württemberg. FVA-einblick; Nr. 4; Jahrgang 8; S.10-13
- BOLLMANN, K.; BRAUNISCH, V. (2013): Klimawandel und Artenvielfalt im Gebirgswald: Kann eine angepasste Waldbewirtschaftung negative Auswirkungen des Klimawandels für seltene Vogelarten abschwächen? Hotspot 1/2013, in press.
- BRAUNISCH, V.; COPPES, J.; SCHMID, H.; SUCHANT, R.; ARLETTAZ, R.; BOLLMANN, K. (2013): Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, in press.
- DELB, H. (2012): Eichenschädlinge im Klimawandel in Südwestdeutschland. FVA-einblick 02/2012; S.11-14
- DIETER, M. (2008): Analyse der Wertschöpfung durch Holznutzung aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Band 179, Heft 10, S. 202-207
- DÖRING, P.; MANTAU, U. (2012): Standorte der Holzwirtschaft : Holzrohstoffmonitoring ; Sägeindustrie - Einschnitt und Sägenebenprodukte 2010. Hamburg: Universität Hamburg, 50 S.
- ENDLER, C.; OEHLER, K.; MATZARAKIS, A. (2008): Klimawandel im Schwarzwald – die tourismusklimatische Komponente; Freiburger Forstliche Forschung Heft 76; S.98
- FORSTBW (2010): Forstliches Gutachten 2010 – 2012 zum Rehwildabschussplan. Ergebnisse der landesweiten Auswertung des Forstlichen Gutachtens 2010-2012. 29 S.
- FRANK, C.; GREBHAN, K.; KOTTMEIER, CH.; KUNZ, M.; MAYER, H.; RAUTHE, M.; RUCK, B.; SCHINDLER, D.; SCHÖNBORN, J. (2010a): Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder. Verbundprojekt RESTER. - Tagungsband - Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg Abschluss-symposium des Forschungsprogramms 12. Mai 2010 Stuttgart der LUBW; S.38 - 46
- FRANK, C.; GREBHAN, K.; KOTTMEIER, C.; KUNZ, M.; LUX, R.; MAYER, H.; MOHR, S.; RAUTHE, M.; RUCK, B.; SCHINDLER, D.; SCHÖNBORN, J. (2010b): Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder (Verbundprojekt RESTER) innerhalb des Forschungsprogramms Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. Abschlussbericht; 141 S.
- HANEWINKEL, M.; HUMMEL, S.; CULLMANN, D. (2010A): Modelling and economic evaluation of forest biome shifts under climate change in Southwest Germany. *Forest Ecol. and Manag.* 259(4); S. 710-719
- HANEWINKEL, M.; CULLMANN, D.; MICHIELS, H.G. (2010B): Künftige Baumarteneignung für Fichte und Buche in Südwestdeutschland. *AFZ-DerWald* 65 (19), S.30-33
- HOLZ, I.; FRANZARING, J.; BÖCKER, R.; FANGMEIER, A. (2011): Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima L Darstellung und Auswertung phänologischer Langzeit-Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg. LUBW Landesanstalt für Umwelt; 120 S.
- IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B.; V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 S.
- JANSEN, M.; DÖRING, C.; AHRENDTS, B.; BOLTE, A.; CZAJKOWSKI, T.; PANFEROV, O.; ALBERT, M.; SPELLMANN, H.; NAGEL, J.; LEMME, H.; HABERMANN, M.; STAUPENDAHL, K.; MÖHRING, B.; BÖCHER, M.; STORCH, S.; KROTT, M.; NUSKE, R.; THIELE, J.C.; NIESCHULZE, J.; SABOROWSKI, J.; BEESE, F. (2008): Anpassungsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter sich wandelnden

Klimabedingungen. Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems "Wald und Klimawandel" (DSS-WuK). Forstarchiv 79, 4; S.131-142

JOHN,R. (2012): Es (f)liegt was in der Luft– kleiner Einblick in den Borkenkäferalltag; FVA-einblick 02/2012;S.3-6

KAHLE, H.P.; UNSELD, R. SPIECKER, H. (2004): Räumliche Variabilität der Radialzuwachsreaktionen von Fichten (*Picea abies* L. Karst.) in Baden-Württemberg im Jahr 1976. Tagung Sektion Ertragskunde im DVFF, 02.-03.06.2003 in Torgau. Tagungsband. 15 S.

KAHLE, H.P.; MUTSCHLER, A.; SPIECKER, H. (2007): Zuwachsreaktionen von Waldbäumen auf Trockenstress - Erste Ergebnisse retrospektiver Analysen in verschiedenen Höhenlagen des Südschwarzwaldes unter besonderer Berücksichtigung der Jahre 1947, 1976 und 2003. Bericht Sektion Ertragskunde im DVFF; S. 6-16.

KÄNDLER, G.; SCHMIDT, M.; BREIDENBACH, J.(2004): Die wichtigsten Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur. FVA-Einblick 4/2004; S.1-5.

KLIWA (2002): AK KLIWA - Statusbericht 2001 des Projektes „Klimaveränderung und Wasserwirtschaft“, Online-Dokument; 34 S.

KOHNLE, U.; HEIN,S.; MICHIELS, H.-G. (2008): Waldbauliche Handlungsalternativen angesichts des Klimawandels. FVA-einblick 12, S.50-53.

LUBW (ed. 2012): Kurzfassung Vergleich regionaler Klimaprojektionen für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Karlsruhe. Stand 9.5.2012. 37 S.

MEINING, S.; V. WILPERT, K. (2006A): Waldzustandsbericht 2006. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 63 S.

MEINING, S.; V.WLPERT, K. (2006B): Baden-Württembergs Wälder leiden weiterhin – Auswirkungen eines Jahrhundertsommers. AFZ/Der Wald 11, S. 603-606

MEINING, S.; V. WILPERT, K.; SCHRÖTER, H.; HANEWINKEL, M. (2010): Waldzustandsbericht 2010. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 57 S.

MEINING, S.; V. WILPERT, K.; SCHÄFFER,J.; HARTMANN,P.; SCHUMACHER,J.; DELB,H.; AUGUSTIN,N. (2012): Waldzustandsbericht 2012. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 69 S.

MENZEL, A.(2003): Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt. LWF aktuell Heft 37 der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.). S.14-18

MENZEL, A.; JAKOBI, G.; AHAS, R.; SCHEINGINGER, H.; ESTRELLA, N. (2003): Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. - International Journal of Climatology, 23 (7), S.793-812.

MIESS,B.; MIESS,M. (1987): Materialien zur Grünordnungsplanung Teil 1. Siedlungsökologische und gestalterische Grundlagen. Untersuchungen zur Landschaftsplanung 10, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe; 215 S.; [www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de)

MLR (1993): Wald, Ökologie und Naturschutz - Leistungsbilanz und Ökologieprogramm der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart, 128 S.

MLR (ED. 2010): Clusterstudie Forst & Holz Baden-Württemberg. Analyse der spezifischen Wettbewerbssituation des Clusters Forst & Holz und Ableitung von Handlungsempfehlungen, Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart 177 S..

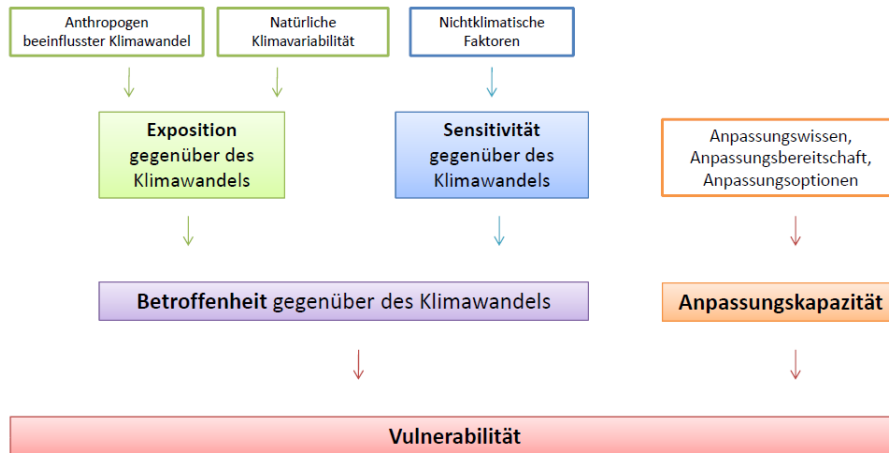
MLR (2011): Aktuelle Waldsituation in Baden-Württemberg. Stellungnahme des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz im Landtag von Baden-Württemberg am 6.6.2011; 5 S..

NOTHDURFT,A.; WOLF,W.; RINGELER,A.; BÖHNER,J.; SABOROWSKI,J. (2012): Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. Forest Ecology and Management 279; S. 97–111

PETERCORD,R.; DELB,H.; SCHRÖTER,H.; VEIT,H. (2008): Forstinsekten im Klimawandel – alte Bekannte mit neuem Potenzial? 2. Auflage FVA einblick+ 01/08: S.34-37

- PETERMANN, J.; BALZER, S.; ELLWANGER, G.; SCHRODER, E.; SSYMANK, A. (2007): Klimawandel – Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. Naturschutz und Biologische Vielfalt 46, S.33-48.
- PISTORIUS, T.; ZELL, J.; HARTEBRODT, C. (2007): Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg. In: Berichte Freiburger Forstl. Forschung. Heft 73, 182 S.
- POLLEY, H.; KROIHER, F. (2006): Entwicklung des potenziellen Rohholzaufkommens. Teil 1: Die wichtigsten Ergebnisse und methodischen Grundlagen der Studie. Holz-Zentralblatt, Nr. 34, S. 979-980
- PUHLMANN, H.; VILPERT, K. (2011): Database of soil-hydraulic properties of forest soils in Baden-Württemberg/Germany. In: BLUM, W.H.; GERZABEK, M.H.; VODRAZKA, M. (Eds.): Book of Abstracts. Eurosoil 2008. BOKU, Vienna, Austria, August 2008-08-04, S.42-43
- LUBW/MLR/IFÖK (2008): Strategiepapier Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg Klimawandel und biologische Vielfalt - welche Anpassungen von Naturschutzstrategien sind erforderlich? Teil C: Materialsammlung. 134 S.
- SCHEFFOLD, H. (2012): Holznutzung und Naturschutz - Wege zum Ausgleich. Fachtagung der FVA Oktober 2011; Tagungsband „100 Jahre Bannwald in Baden-Württemberg Schutz durch Stilllegung – Wertvolle Wildnis oder wirtschaftlicher Unsinn?“ FVA Bd. 15, S. 109-113
- SCHLUMPRECHT, H.; BITTNER, T.; GELLESCH, E.; GOHLKE, A.; JAESCHKE, A.; NADLER, S. (2011): Klimawandel und Natura 2000. Broschüre des Bundesamtes für Naturschutz; 79 S.
- SCHÖNBEIN, J.; SCHNEIDER, C. (2003): Snow Cover Variability in the Black Forest Region as an Example of a German Low Mountain Range under the Influence of Climate Change Geophysical Research Abstracts, 2003 (European Geophysical Union, Joint Assembly, Nice, France, 7.-11. April 2003) (download: <http://www.cosis.net/abstracts/EAE03/05993/EAE03-J-05993.pdf>)
- SCHMIDT, W. (2005): Zeitliche Veränderung der Fruktifikation bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in einem Kalkbuchenwald (1981-2004). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 177/1, S. 9-19
- SCHRÖTER, H.; DELB, H.; JOHN, R.; METZLER, B.; SCHUMACHER, J. (2011): Waldschutzsituation 2010/2011 in Baden-Württemberg; AFZ/DerWald (7); S. 8-11.
- SCHRÖTER, H.; DELB, H.; JOHN, R.; METZLER, B.; MÖSCH, S. (2012): Waldschutzsituation 2011/2012 in Baden-Württemberg. AFZ-Der Wald 7/2012, S. 8-11.
- SCHMALFUß, N.; LORHO, F.; BRAUN, W. (2010): Alt- und Totholzkonzept Baden-Württemberg; 37S.
- STEINMÜLLER, K.H.; SCHULZ-MONTAG, B.; VEENHOFF, S. (2009): Waldzukünfte 2100- Szenarioreport. Z\_punkt GmbH The Foresight Company; 92 S.
- STOCK, M. (ED.; 2005): Klara Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK-Report No. 99; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V. 222 S.
- WALDPROGRAMM BADEN-WÜRTTEMBERG (2006): Ergebnisse der 3. Dialogphase. Klimafolgen für den Wald und ihre Abschätzung; Wald und Biodiversität. Online-Dokument: <http://www.forstbw.de/>; 99 S.
- WILPERT V., K.; ZIRLEWAGEN, D.; TEUFFEL V., K. (2004): Die Rolle der Forstwirtschaft im Klimaschutz. 1. Statusseminar des fachübergreifenden Programms „Klimawandel, Auswirkungen, Risiken, Anpassung (KLARA)“. Vortrag vom 7.7.2004. Online-Dokument [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)
- YUE, C.; KOHNLE, U.; HANEWINKEL, M.; KLÄDTKE, J. (2011): Extracting environmentally driven growth trends from diameter increment series based on a multiplicative decomposition model. Can. J. For. Res. 41; S.1577-1589
- YUE, C.; KOHNLE, U.; KAHLE, H.P.; KLÄDTKE, J. (2012): Exploiting irregular measurement intervals for the analysis of growth trends of stand basal area increments: A composite model approach. Forest Ecology and Management 263; S.216-228

## 5. Anhang



FROMMER 2010; SCHUCHARDT 2011

Abb.A1: Verlauf einer Vulnerabilitätsanalyse<sup>41</sup>

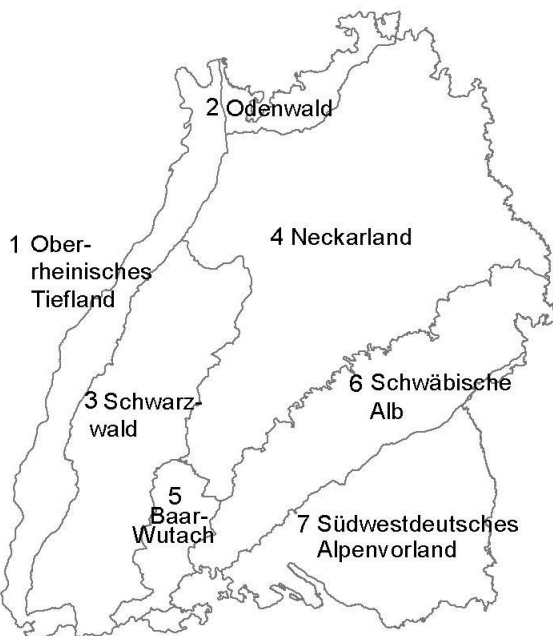


Abb.A2: Forstliche Wuchsgebiete in Baden-Württemberg

<sup>41</sup> Abbildung aus Hellmich (2011): Klimawandel als Aufgabe der Regionalplanung. PP-Vortrag.

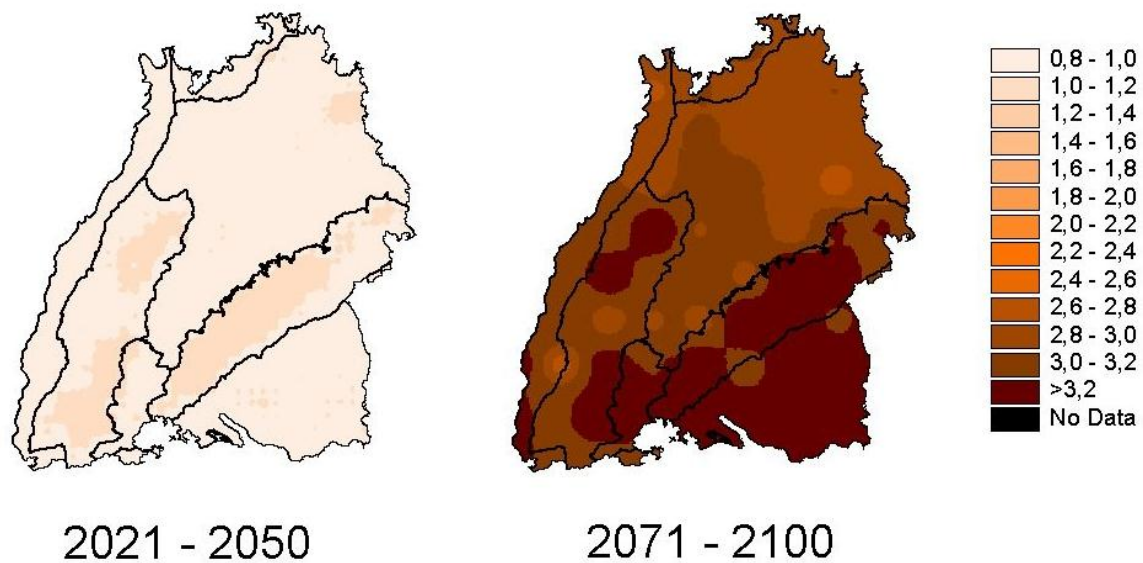


Abb.A3: Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur (°C) nach Werten des Klimaensembles der LUBW (2012) im Vergleich zum langjährigen Mittel der Jahre 1971-2000 (regionalisiertes 25 x 25 km-Raster)

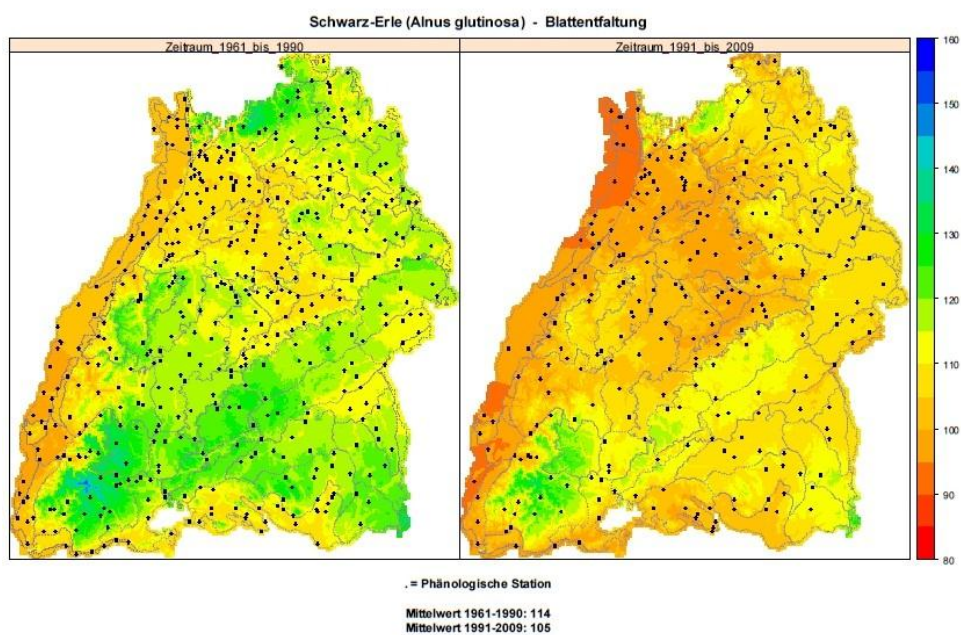


Abb.A4: Mittlerer Beginn der Blattenfaltung von Schwarzerle in Baden-Württemberg in den Zeiträumen 1961-90 (links) und 1991-2008 (rechts). Abbildungen aus HOLZ et al.(2011). Legende: Tag des Jahres; minimal 80ster Tag (rot) und maximal 160er Tag (blau)

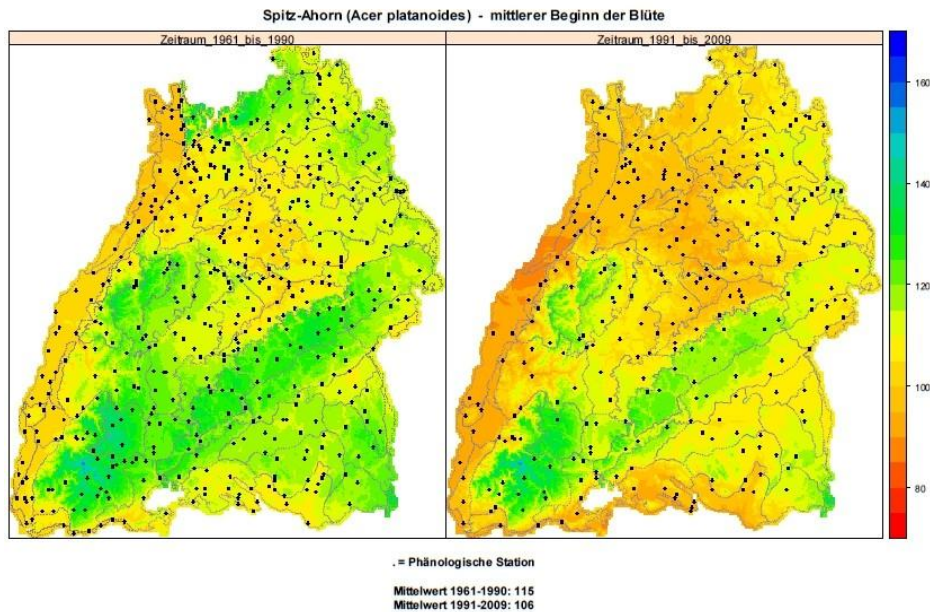


Abb.A5: Mittlerer Beginn der Blüte von Spitz-Ahorn in Baden-Württemberg in den Zeiträumen 1961-90 (links) und 1991-2008 (rechts). Abbildungen aus HOLZ et al.(2011).  
Legende: Tag des Jahres; minimal 80ster Tag (rot) und maximal 160er Tag (blau)

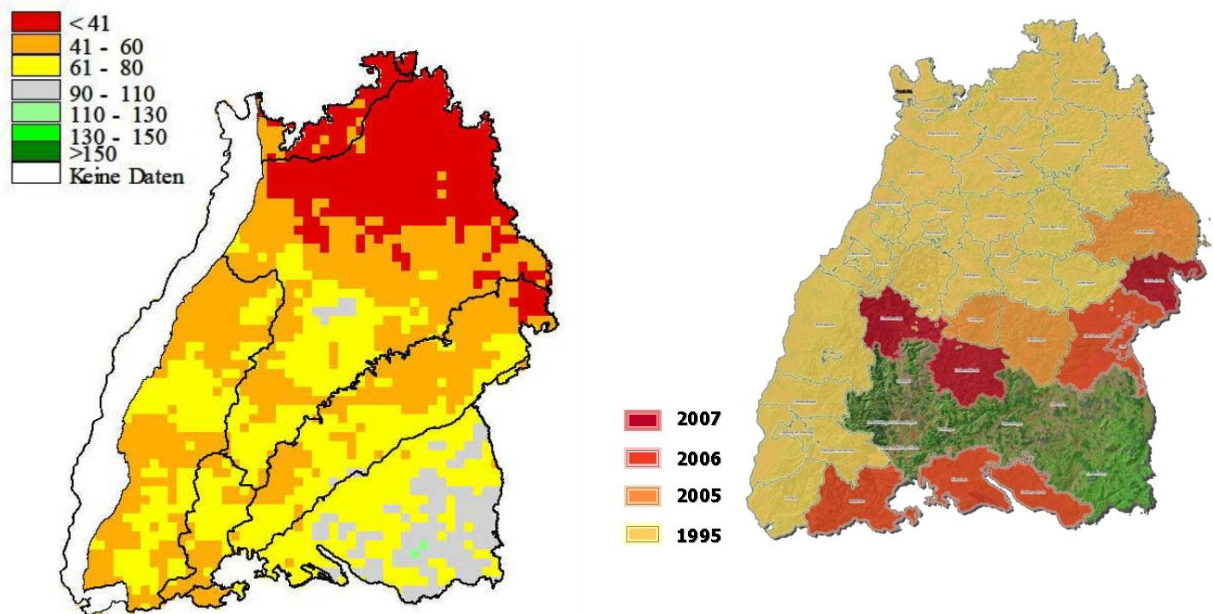


Abb.A6: Rückgang des Durchmesserzuwachses bei Fichten in Baden-Württemberg im Vergleich zum langjährigen Mittel (Index = 100). Dargestellt ist der Radialzuwachsindex für das Trockenjahr 1976. Daten der Terrestrischen Waldinventur TWI. Abbildung aus KAHLE et al. (2004).

Abb.A7: Meldungen und Beratungsfälle 1995, 2005, 2006 und 2007 in Bezug auf das Auftreten des Eicheprozessionsspinners in Baden-Württemberg. Abb. von FVA/Geomnia (2007)

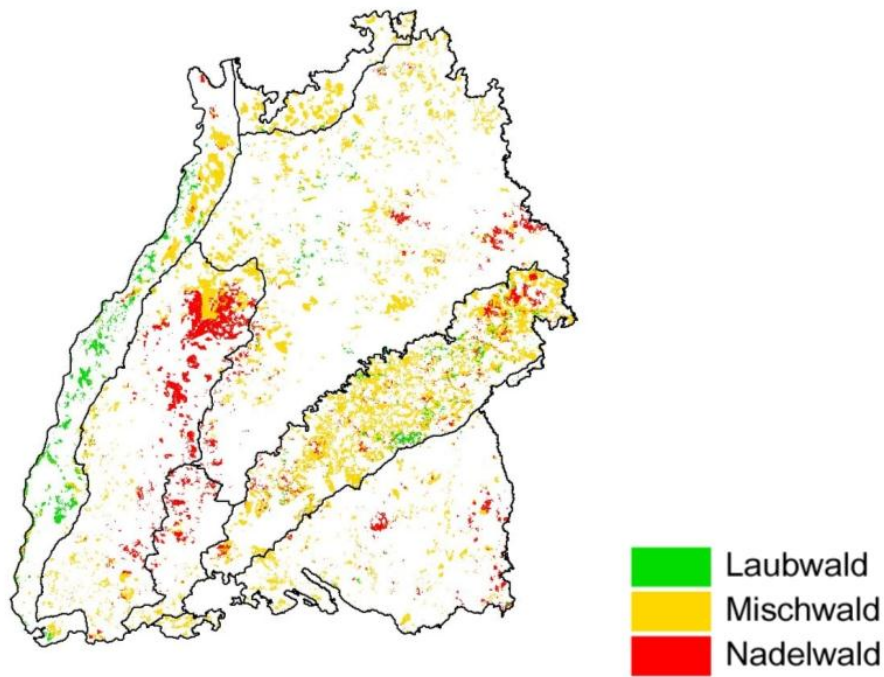


Abb.A8: Wasserschutzgebiete (Daten LUBW) und Wasserschutzwald (Daten FVA) in Waldtypen Baden-Württembergs.

nFK\_50m Klassen

- sehr gering (<50mm)
- gering (50-90mm)
- mittel (90-140mm)
- hoch (140-200mm)
- sehr hoch (200-270mm)
- extrem hoch (>270mm)

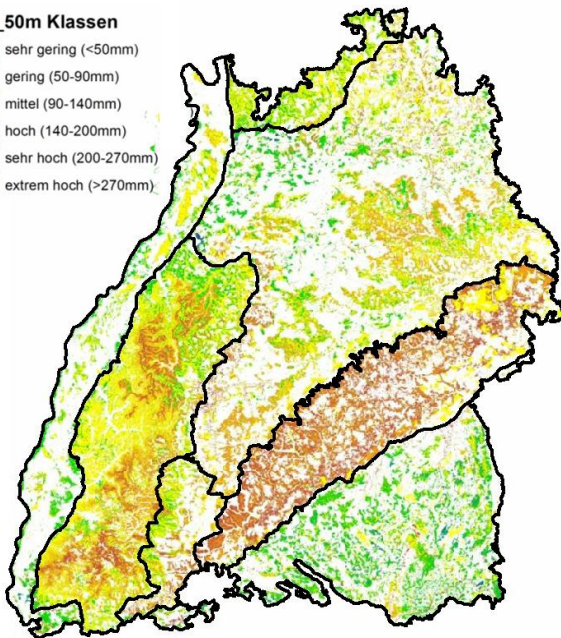
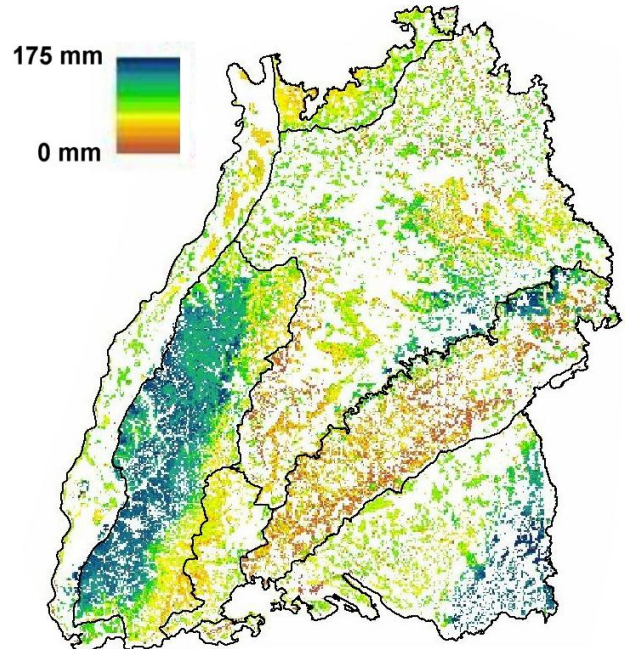


Abb.A9: Nutzbare Feldkapazität (nFk) der Waldböden in Baden-Württemberg. Veränderte Abbildung aus PUHLMANN & v.WILPERT (2008)



Puhlmann & Wilpert (2008)

Abb.A10: Simulierte Wasserspeicherfüllung für den Monat August des Jahres 2056 in Waldböden Baden-Württembergs. Veränderte Abbildung aus PUHLMANN & v.WILPERT (2008)



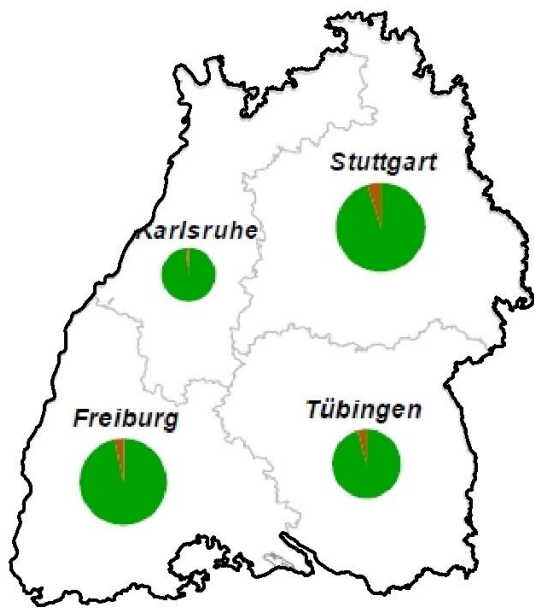


Abb.A11: Verarbeitete Sägeholzmengen nach Regierungsbezirken in Baden-Württemberg. Stand 2012 Grün: Nadelholz Braun: Laubholz. Veränderte Abbildung aus DÖRING & MANTAU (2012)

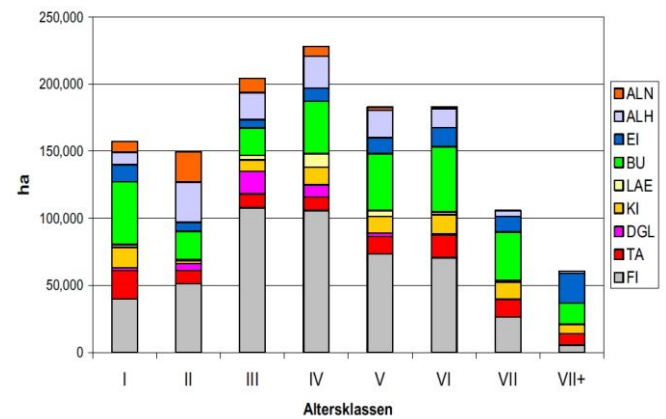
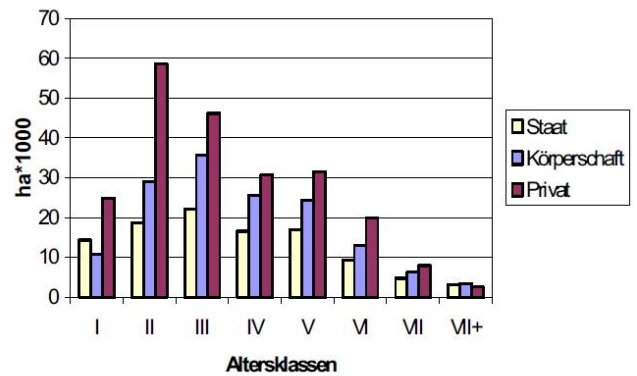


Abb.A12 oben: Altersklassenverteilung Fichte nach Eigentumsarten gemäß Datenauswertung der BWI 2002 [BÖSCH, 2004].

Abb.A13 unten: Altersklassenverteilung nach Baumarten in Baden-Württemberg gemäß WEHAM-Szenario für das Jahr 2022 [BÖSCH, 2004]

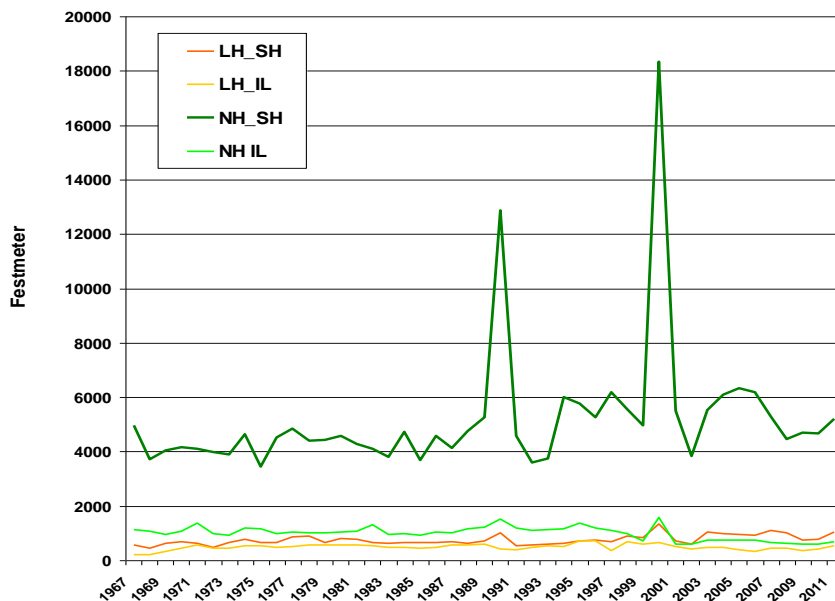


Abb.A14: Holzeinschlag in Baden-Württemberg nach Holzarten 1967-2011 Einheit: fm x 1.000 Derbholz ohne Rinde; Datenquelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. LH = Laubholz NH = Nadelholz SH = Stammholz IL = Industrieholz

Tab.A1: Erläuterung zur Anzahl der Rasterpunkte des LUBW-Klimamodellensembles [LUBW, 2012]

Wuchsgebiet	Klimarasterpunkte		Wuchsgebiet	Klimarasterpunkte	
	7 x 7 km	25 x 25 km		7 x 7 km	25 x 25 km
1 Oberrheinisches Tiefland	75	6	5 Baar-Wutach	28	1
2 Odenwald	23	2	6 Schwäbische Alb	106	8
3 Schwarzwald	120	8	7 Südw.dt. Alpenvorland	119	9
4 Neckarland	273	20			

Tab.A2: Derzeit potenziell geeignete Anbauflächen der Hauptbaumarten in Baden-Württemberg sowie deren relative Entwicklung im Vergleich zu heute und für die Dekaden 2020-29, 2050-59, 2080-89 nach FVA-Modellergebnissen (vgl. HANEWINKEL et al., 2010)

Verwendet wurde das Emissionszenario A2, Worldclim IPCC3/HADCM3; unterste Wahrscheinlichkeitskategorie des Vorkommens. Anmerkung: Werte der Dekade 2080-89 in Klammer, da den Berechnungen hinterlegte Temperaturwerte sich deutlich über dem 85%Perzentilbereich des vorgegebenen LUBW-Ensembles befinden.

Baumart	Dekade		Wuchsgebietsnummer							Gesamt
			1	2	3	4	5	6	7	
<b>Gesamtfläche</b> Wuchsgebiet		ha	359.321	107.295	592.256	1.299.065	125.296	526.984	564.918	3.575.135
Klimatisch potenziell geeignete	heute	ha	41.808	89.660	560.250	1.016.448	125.296	526.984	564.918	2.925.364
<b>Fichtenanbaufläche</b>	2020-29	%	-86	-82	-20	-52	-2	0	-14	-28
	2050-59	%	-100	-100	-70	-100	-62	-78	-80	-85
	2080-89	%	(-100)	(-100)	(-100)	(-100)	(-100)	(-100)	(-100)	(-100)
Klimatisch potenziell geeignete	heute	ha	359.321	107.295	592.256	1.299.065	125.296	526.984	564.918	3.575.135
<b>Buchenanbaufläche</b>	2020-29	%	0	0	0	0	0	0	0	0
	2050-59	%	0	0	0	0	0	0	0	0
	2080-89	%	(-98)	(-76)	(-20)	(-63)	(-2)	(0)	(-9)	(-40)
Klimatisch potenziell geeignete	heute	ha	359.321	107.295	514.488	1.299.065	122.282	526.984	564.831	3.494.266
<b>Eichenanbaufläche</b>	2020-29	%	0	0	+13	0	+2	0	0	+2
	2050-59	%	0	0	+15	0	+2	0	0	+2
	2080-89	%	(-72)	(-3)	(+14)	(-4)	(+2)	(0)	(0)	(+7)

WGNr: 1 Oberrh. Tiefland 2 Odenwald 3 Schwarzwald 4 Neckarland 5 Baar-Wutach 6 Schw. Alb 7 Südw. Alpenvorland

Tab. A3: Biotoptypen (links) und FFH-Lebensraumtypen (rechts) in Baden-Württemberg mit einer hohen Sensitivität gegenüber einem Klimawandel gemäß PETERMANN ET AL. (2007).

Anmerkung: Die Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie wurden bisher nur bis ca. 30-40% kartiert. Es wurde daher bei den Auswertungen auf die Daten der Waldbiotopkartierung zurückgegriffen.

CODE	Biotoptyp	CODE	LRT-Typ
5111	Bergkiefern-Moorwald	9180*	Schlucht- und Hangmischwälder*
5112	Waldkiefern-Moorwald	91D0*	Moorwälder*
5120	Rauschbeeren-Fichten-Moorwald	91E0*	Auenwälder mit Erle, Esche, Weide*
5211	Schwarzerlen-Bruchwald	91F0	Hartholzauwälder
5212	Birken-Bruchwald		
5221	Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Wald		
5231	Hainmieren-Schwarzerlen-Auwald		
5232	Schwarzerlen-Eschen-Wald		
5233	Gewässerbegleitender Auwaldstreifen		
5234	Grauerlen-Auwald		
5240	Silberweiden-Auwald (Weichholz-Auwald)		
5250	Stieleichen-Ulmen-Auwald (Hartholz-Auwald)		
5341	Kiefern-Steppenheidewald		
5411	Ahorn-Eschen-Schluchtwald		
5413	Ahorn-Eschen-Blockwald		
5414	Drahtschmielen-Bergahorn-Blockwald		
5440	Fichten-Blockwald		
5720	Geißelmoos-Fichten-Wald		
5731	Labkraut-Tannen-Wald		
5732	Beerstrauch-Tannen-Wald		
5733	Beerstrauch-Tannen-Wald mit Kiefer		
5734	Artenreicher Tannenmischwald		
5735	Hainsimsen-Fichten-Tannen-Wald		

Tab.A4: Nähere Beschreibung und Anteile der nach PETERMANN et al. (2007) als besonders sensibel eingestuft Waldlebensraumtypen an der gesamten Waldbiotopfläche

Code	Biotoptyp	Genaue Beschreibung	ha	Anteil
5100	Moorwälder	Moorwälder und Moorrandwälder aus Spirke, Fichte oder Bergkiefer. Geißelmoos-Fichtenwald Beerstrauch-Tannenwald	7.060	9%
5200	Bruch-, Sumpf- und Auwälder	Überwiegend bezeichnet als Auewälder, Sumpfwälder und Bruchwälder; Hartholzauwe, Weichholzauwe, Erlen-Eschenwälder, Erlenbrüche, Erlenwälder, Eschenwälder, Silberweidenwälder.	9.809	12%
5400	Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder	Überwiegend bezeichnet als Schluchtwald, Blockwald, Ahorn-Eschenblock- oder Schluchtwald, Eschenwald, Hangwald, Kleeblattwald, Schatthangwald, Ahorn-Linden-Blockwald	10.765	13%
5700	Natürliche Nadelwälder	Überwiegend bezeichnet als Tannenwald, Fichtenwald, Geißelmoos-/Peitschenmoos-Fichtenwald, Hainsimsen-/Labkraut-Beerstrauch-Tannenwald,	2.961	4%

Tab.A5: Flächenanteile in den Wuchsgebieten der nach PETERMANN et al. (2007) als besonders sensibel eingestuften Waldlebensraumtypen

Biotoptyp	Wuchsgebietsnummer							Gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Moorwälder</b>								
ha			1.609		222		5.228	7.059
Anteil%			23		3		74	100
<b>Bruch-, Sumpf- und Auwälder</b>								
ha	5.271	218	747	1.545	215	106	1.708	9.809
Anteil%	54	2	8	16	2	1	17	100
<b>Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder</b>								
ha	35	260	1.321	793	939	6974	420	10.742
Anteil%		2	12	7	9	65	4	100
<b>Natürliche Nadelwälder</b>								
ha			2.655	109	172	10	17	2.963
Anteil%			90	4	6		1	100
Gesamtfläche ha	5.310	479	6.350	2.453	1.548	7120	7.372	30.633
Anteil%	17	2	21	8	5	23	24	100

WGNr: 1 Oberrh. Tiefland 2 Odenwald 3 Schwarzwald 4 Neckarland 5 Baar-Wutach 6 Schw. Alb 7 Südsw. Alpenvorland

Tab.A6: Anzahl der nach PETERMANN et al. (2007) als besonders sensibel eingestuften Waldlebensraumtypen in den Wuchsgebieten sowie Anteil der Waldbiotope, die gemäß der Klimaentwicklung in der nahen Zukunft (2021-50) und fernen Zukunft (2071-2100) nicht mehr im baden-württembergischen Temperaturbereich ihres Vorkommens liegen.

Biotoptyp	Wuchsgebietsnummer							Gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Moorwälder</b>								
Anzahl heute			302		52		203	557
Rückgang 2021-2050			- 6% (284)		- 0% (52)		-49% (103)	-21% (439)
Rückgang 2071-2100			- 98% (5)		- 100% (0)		- 100% (0)	-99% (5)
<b>Bruch-, Sumpf- und Auwälder</b>								
Anzahl heute	889	165	616	1115	113	92	781	3771
Rückgang 2021-2050	- 95% (41)	-2% (161)	-3% (596)	-2% (1093)	- 0% (113)	- 0% (92)	- 0% (781)	-24% (2.877)
Rückgang 2071-2100	- 100% (0)	- 99% (2)	- 62% (236)	- 94% (70)	- 35% (74)	- 45% (51)	- 85% (119)	-85% (552)
<b>Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder</b>								
Anzahl heute	21	100	630	322	265	1372	131	2841
Rückgang 2021-2050	- 62% (8)	- 36% (64)	- 3% (611)	- 18% (263)	- 0% (265)	- 0% (1372)	- 0% (131)	- 4% (2714)
Rückgang 2071-2100	- 100% (0)	- 100% (0)	- 70% (187)	- 100% (1)	- 99% (3)	- 73% (371)	- 98% (3)	- 80% (565)
<b>Natürliche Nadelwälder</b>								
Anzahl heute			446	32	36	5	2	521
Rückgang 2021-2050			- 14% (385)	- 97% (1)	- 17% (30)	- 0% (5)	- 50% (1)	19 (422)
Rückgang 2071-2100			- 91% (41)	-100% (0)	-100% (0)	-100% (0)	-100% (0)	- 92% (41)

WGNr: 1 Oberrh. Tiefland 2 Odenwald 3 Schwarzwald 4 Neckarland 5 Baar-Wutach 6 Schw. Alb 7 Südsw. Alpenvorland