

Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels

Fachgutachten für das Handlungsfeld
Wald und Forstwirtschaft

- Teil B: Wissenschaftlicher Hintergrund -

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 Gutachtens 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 Bauhus, 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

 Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg
www.fva-bw.de

Bearbeitet von

Dr. Rüdiger Unseld
www.unseld-forst.com

Stand: Mai 2013

Dieses Gutachten dient der Erstellung einer Anpassungsstrategie.
Verantwortlich für den Inhalt des vorliegenden Gutachtens 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

INHALT	
1. VERLÄNGERUNG DER VEGETATIONSPERIODE	1
2. VITALITÄT, PRODUKTIVITÄT & RESILIENZ	3
3. BAUMARTEN & WALDBAU	7
4. STANDORTSKARTIERUNG	14
5. BODENFRUCHTBARKEIT	16
6. SCHADORGANISMEN & STURMGEFÄHRDUNG	19
7. WALDBIOTOPE, ARTEN & IHRE LEBENSSTÄTTEN	24

1. Verlängerung der Vegetationsperiode

In Baden-Württemberg erfolgte ein Anstieg der Durchschnittstemperatur zwischen 1900 und 2000 um rund 0,8 °C (LUBW, 2013), der allerdings nicht konstant verlief. Ab 1980 setzte, vergleichbar mit der globalen Temperaturentwicklung, ein deutlicher Anstieg der Temperatur ein. Im Sommerhalbjahr betrug die Erwärmung 1,1 °C [LUBW, 2013] und übertraf somit den Anstieg im Winterhalbjahr. Bei den Niederschlagsmengen waren bisher nur schwach ausgeprägte Trends erkennbar. Während zwischen 1900-2000 im Winter und im Frühjahr ein Zunahmetrend bei den Niederschlägen registriert werden konnte, war für das Sommerhalbjahr bisher kein klarer Trend zu beobachten. Mit den raschen Klimaänderungen können gemäß GRAßL (2007) die gemächlichen Wanderungsgeschwindigkeiten der Bäume in den kommenden Jahrzehnten nicht mehr Schritt halten und er befürchtet, dass „unsere Bäume in immer stärkerem Maße in ihrem heutigen Verbreitungsgebiet ihre seit Jahrtausenden bewährte Anpassung verlieren.“ THOMASIU (1991) schätzt die Wandergeschwindigkeit von Baumarten auch bei Windverbreitung lediglich auf 5 Kilometer pro Jahrzehnt. DOBBERTIN & GIUGGIOLA (2006) beschreiben, dass Bäume in Hochlagen und nordische Herkünfte anscheinend optimal an die „an ihrem Wuchsort durch niedrige Temperatur vorgegebene kürzere Vegetationszeit angepasst“ sind. Sie könnten sich aber nicht völlig an die besseren Bedingungen der Tieflagen oder südlichen Lagen anpassen.

Mit dem Temperaturanstieg wird die **Vegetationsperiode** für Waldbäume verlängert. Sie gibt den Zeitraum an, in welcher Baumwachstum potentiell möglich ist. Nach LINDERHOLM [2006 zit. in DOBBERTIN & GIUGGIOLA, 2006] wird die Vegetationsperiode in den gemäßigten Breiten in der Regel durch das Auftreten von Spät- und Frühfrost begrenzt. In den letzten 40 Jahren haben sich in Europa besonders die phänologischen Frühjahrsphasen, wie z.B. Blattentfaltung und Blüte deutlich verfrüht [MENZEL et al., 2003]. In Deutschland hat sich die Vegetationszeit zwischen 1951 und 2000 insbesondere für Laubbaumarten um mehr als 10 Tage verlängert [MENZEL et al., 2003]. Bei den in Baden-Württemberg beobachteten Baumarten Schwarzerle und Birke zeigt sich 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]. ZIEGLER (2011) beobachtete das Austreiben von Rotbuchen in Nordrhein-Westfalen. Seine Auswertungen der Jahre 2001 bis 2010 haben gezeigt, dass sich die Vegetationsperiode der Buchen 2010 im Ver-

gleich zu 2001 um 0,6 Tage pro Jahr verlängerte. Er erwähnt, dass die Tagesmaximaltemperaturen über 18°C den Austrieb der Buche sehr stark beeinflussen würden. Daneben zeige sich in den Mastjahren wiederholt ein früherer Austrieb als in Jahren ohne Blüte. Zudem reagierten Buchen im Bergland auf ein erhöhtes Wärmeangebot deutlich stärker mit einem vorzeitigen Austrieb als im Flachland. AHRENDT et al. (2008) vermuten durch die Veränderung der Vegetationsperiode bei Waldbäumen eine geänderte Dynamik der Blattflächenindizes (LAI) und damit in hohem Masse auch der baumartenspezifischen Transpirationsleistung. Sie beeinflusse neben standörtlichen und klimatischen Gegebenheiten maßgeblich die Intensität von Trockenstress.

LITERATURQUELLEN

AHRENDT, B.; PANFEROV, O.; DÖRING, C.; JANSEN, M. (2008): Einfluss veränderter Vegetationsperioden auf das baumartenspezifische Trockenstressrisiko in Deutschland. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 76*; S.32

DOBBERTIN, M.; GIUGGIOLA, A.(2006) Baumwachstum und erhöhte Temperaturen. *Forum für Wissen 2006*; S.35–45

GRAßL, H.(2007): Der Klimawandel - zu schnell für jeden Baum; Rasante Klimaänderung überfordert Anpassungsfähigkeit der Bäume. *LWF aktuell 60/2007*; S.3-4

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.

LUBW (2013) *Klimaatlas*. Online-Dokument http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt5/klimaatlas_bw/klima/aenderungen/ba-wue/temperatur/index.html

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.

THOMASIU, H. (1991): Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Wälder in Mitteleuropa. - *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110; S.305-330.

ZIEGLER, C. (2011): Phanologische Beobachtungen an Buchen; *Natur in NRW Nr. 1/2011*

2. Vitalität, Produktivität & Resilienz

Nach den Untersuchungen von MEINING et al. (2011) werden die Auswirkungen des Klimawandels in der Veränderung des **Vitalitätszustands** der Wälder Baden-Württemberg sichtbar. Ab dem Jahr 2000 zeigen Buchen und Fichten in Baden-Württemberg auch auf gut nährstoffversorgten Standorten deutliche Kronenschäden. MEINING et al. (2012) beobachteten in den Waldflächen Baden-Württembergs signifikante Zusammenhänge zwischen Wasserhaushaltsparametern des Vorjahres und den Nadel-/Blattverlusten der Bäume. „Der direkte Vergleich der Wasserhaushaltsparameter der Jahre vor der Aufnahme der Bodenzustandserhebung BZE1 und der BZE2 mit den Nadel-/Blattverlusten der Aufnahmejahre geben einen Hinweis darauf, dass erhöhte Temperaturen und somit erhöhte Transpirationsleistungen im Zusammenhang mit erhöhten Nadel- /Blattverlustwerten stehen.“ MEINING et al. (2011) gehen davon aus, dass „hierfür veränderte klimatische Bedingungen, wie zunehmender Trockenstress, verantwortlich sind.“ Nach KAHLE et al. (2007) zeigen die Wuchsergebnisse und Erfahrungen aus vergangenen Trockenphasen, „dass in den gemäßigten Breiten erhöhte Temperaturen und verringerte Wasserverfügbarkeit massive Auswirkungen auf das Wachstum und die Vitalität von Waldbäumen haben.“

Es wird vermutet, dass längere und wärmere Vegetationsperioden auf bestimmten Standorten zu einer erhöhten **Produktivität** der Wälder führen könnten. Auswertungen großräumig angelegter Stichprobenerhebungen ließen bis Mitte der 1990er den Schluss zu, dass die Wälder in Mitteleuropa mehr an Volumen zuwachsen als früher (SPIECKER et al. 1996; PRETZSCH, 1992). Als Hauptursache wurde allerdings die Düngewirkung anthropogen verursachter Stickstoffeinträge und weniger der Temperaturanstieg vermutet. Auch in Österreich registrierten HASENAUER et al. (1999) damals eine Verlängerung der Wachstumsperiode und zeitgleich einen Anstieg des Durchmesserzuwachses. Neueste Forschungen in Baden-Württemberg zeigten jedoch, dass gerade für Fichten offensichtlich langfristige Schwankungen des Zuwachstrends typisch sind (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 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 (YUE et al. 2011, 2012). NOTHDURFT et al. (2012) untersuchten für Baden-Württemberg die Zusammenhänge zwischen der Oberhöhenbonitäten und Klimagrößen. Ihren Modellergebnissen nach sind für die Fichte auf den heutigen Hochleistungsstandorten im Südwestdeutschen Alpenvorland nur geringe Bonitätsveränderungen zu erwarten. Im Neckarland, im Kraichgau und in der

Rhein-Ebene würden die Bonitäten der Fichte absinken und in den höheren Lagen der Mittelgebirgsregionen des Schwarzwalds und der Schwäbischen Alb ansteigen. Im Gegensatz zur Fichte würden die Bonitäten der Tanne und der Eiche auch auf größerer Fläche in niedriger gelegenen Regionen ansteigen. Die Bonitäten der Douglasie würden sich in einem ähnlichen relativen Ausmaß und mit einem ähnlichen räumlichen Muster verändern wie die der Fichte. Die Bonitäten der Buche würden im Gegensatz zur Fichte nicht nur in den Hochlagen der Mittelgebirge ansteigen, sondern auch in den tiefer gelegenen Mittelgebirgslagen. Wesentliche Aussagen decken sich hierbei mit den Prognosen von DOBBERTIN & GIUGGIOLA (2006) für die Schweiz. Sie schätzen anhand der bisher gewonnenen wissenschaftlichen Ergebnisse, dass in den Hochlagen ansteigende Temperaturen auch ansteigende Zuwächse der Stämme und Baumhöhe für praktisch alle Baumarten bewirken werden. Sie vermuten dass die Temperaturen „allerdings von den an kühlere Standorte angepassten Arten und Herkünften nicht optimal ausgenutzt werden. In den Tiefenlagen wird der Zuwachs in den warmfeuchten Jahren ebenfalls ansteigen. Doch werden hier extreme Trockensommer diesen Anstieg reduzieren oder negieren“. UTSCHIG et al. (2006) beobachteten bei Eichen in Bayern eine Wuchsdynamik auf Versuchsfeldern, die deutlich von den Ertragstafelwerten abwich. Die Bestände wiesen nach Ausschluss von Durchforstungseffekten ein gegenüber früher um 13 Prozent gestiegenes Wachstum auf. Als Grund nennen sie die Klimaerwärmung in Kombination mit erhöhten Stickstoffeinträgen und dem Konzentrationsanstieg des Treibhausgases CO₂. Sie folgern daraus, dass zukünftig Eichen auf besseren Standorten im Alter von 140 Jahren Durchmesser von 70 cm erwarten lassen. Dadurch seien die bisher diskutierten extremen Stammzahlabstürze oder die Festlegung auf sehr wenige Auslesestämme für kürzere Produktionszeiträume offenbar nicht notwendig.

Die **Resilienz** von Waldbäumen nach Trockenereignissen wird neben den Bodeneigenschaften und der Baumart auch von der **Exposition und Höhenlage** sowie über die Bestandesbehandlung beeinflusst. KAHLE et al. (2008) stellten anhand des Trockenjahres 2003 fest, dass die Radialzuwächse aller Untersuchungsbaumkollektive mit Ausnahme von Buchen auf einem Nordost exponierten Hochlagenstandort im Jahr 2003 „deutlich unter den Durchschnittswert abgesunken“ waren. Dagegen war die Reaktion der Radialzuwächse von untersuchten Fichten von Sommer- und Winterhängen nicht unterschiedlich. Zur Höhenlage erklären KAHLE et al.: „Sowohl bei Buchen als auch bei Fichten fielen die Zuwachsreduktionen im Jahr 2003 mit zunehmender Höhenlage geringer aus.“

Eine Stabilisierung auf Einzelbaumebene durch eine geeignete **Bestandesbehandlung** ist eine wichtige waldbauliche Anpassungsmaßnahme [BRANG et al. 2008; KOHNLE et al; 2008]. Ergebnisse aus Durchforstungsversuchen zeigten, dass mit einer geeigneten Bestandesbehandlung die Klimastabilität bei Fichten offenbar merklich beeinflusst werden kann. So konnte im nördlichen Oberschwaben nachgewiesen werden, dass in stärker durchforsteten Fich-

tenbeständen die Resilienz erhöht werden kann und Bäume mit größerem Wuchsraum schneller wieder das ursprüngliche Grundflächenwachstum erreichen (KÖHLER et al. 2010). KÖHLER et al. (2010) schlossen daraus, dass die weitständigeren Bäume über einen kürzeren Zeitraum Trockenstress ausgesetzt sind als in dichteren Beständen und dadurch eine eventuell erhöhte Schädlingsdisposition verringert werden kann. GEBHARDT et al. (2012) berichten von ersten Ergebnisse ihrer Fichtenversuche in Bayern, wie sich eine kräftige Durchforstung insgesamt entlastend auf den Wasserhaushalt der verbleibenden Bäume auswirkt. Auch HÖLLERL & MOSANDL (2009) betonen die Notwendigkeit der Pflege in jungen Beständen montaner Fichten zur Stabilisierung und Erhöhung ihrer Resistenz.

Forschungsbedarf gemäß Literatur

BEESE (2011) nennt die Aufklärung der physiologischen und morphologischen Anpassungsstrategien wichtiger Baumarten an Trockenstress, inklusive des Wurzelsystems als wichtige Forschungsaspekte. Vor allem die Auswirkungen periodischer Trockenheit bei erhöhtem CO₂-Gehalt der Luft und weiter hohen N-Depositionen auf die Wuchsleistung von Bäumen sollte untersucht werden. Nach GEBHARDT (2002) besteht zur Wirkung einzelner Klimaelemente auf Wälder immer noch erheblicher Forschungsbedarf. Dies gilt seiner Meinung nach insbesondere für Zusammenhänge zwischen dem Temperatur- und Kohlendioxidanstieg und den Photosyntheseleistungen, dem Pflanzenwachstum und der Biomasseproduktion.

LITERATURQUELLEN

AHRENDT, B.; PANFEROV, O.; DÖRING, C.; JANSEN, M. (2008): Einfluss veränderter Vegetationsperioden auf das baumartenspezifische Trockenstressrisiko in Deutschland. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 76*; S.32

BEESE, F. (2011): Einfluss des Klimawandels auf Forstökosysteme Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen Klimafolgenforschung Niedersachsen „KLIFF“ Beese, F. (2011) Tagungsvortrag „Klimawandel in Niedersachsen – Auswirkungen auf Wasser und Boden“ des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover, 05.05.2011

BRANG, P.; BUGMANN, H.; BÜRGI, A.; MÜHLETHALER, U.; RIGLING, A.; SCHWITTER, R., (2008): Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz Z Forstwes* 159/10; S. 362–373

GEBHARDT, H. (2002): Klimaveränderungen und Auswirkungen auf Ökosysteme. *KLIWA-Symposium 2000. der LUBW*; S.255-268

GEBHARDT, T.; GRAMS, T., HÄBERLE, K.H.; MATYSSEK, R.; SCHULZ, C.; GRIMMEISEN, W.; AMMER, C. (2012): Helfen Durchforstungen bei Trockenheit? *LWF aktuell* 87/2012; S.8-10

HASENAUER, H.; NEMANI, R.R.; SCHADAUER, K.; RUNNING, S.W., 1999: Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria. *For. Ecol. Manage.* 122; S. 209–219.

HÖLLERL, S.; MOSANDL, R. (2009): Stabilisierung montaner Fichtenbestände. *LWF aktuell* 68/2009. S.11-13

KAHLE, H.P.; MUTSCHLER, A.; SPIECKER, H. (2007): Zuwachsreaktionen von Waldbäumen auf Trockenstress - Erste Ergebnisse retrospektiver Analysen in verschiedenen Höhenlagen des Südschwarzwald-

des unter besonderer Berücksichtigung der Jahre 1947, 1976 und 2003. Bericht Sektion Ertragskunde im DVFF: 6-16.

KAHLE, H.P.; SPIECKER, H.; ALDINGER, E.; MICHIELS, H.G. (2008): Auswirkungen extrem warmer und trockener Witterungsbedingungen auf das Wachstum von Fichten und Buchen in verschiedenen Höhenlagen im Südschwarzwald. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 76*; S.34

KOHLER, M.; SOHN, J.; NÄGELE, G.; BAUHAUS, J. (2010): Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? *Eur J Forest Res* (2010) 129; S.1109–1118

KOHNLE, U.; HEIN, S.; MICHIELS, H.G. (2008); *Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts Klimawandel*. FVA-einblick 01/08; S. 50-53.

MEINING, S., v. WILPERT, K., SCHRÖTER, H., AUGUSTIN, N., KRAMER, P. (2011): *Waldzustandsbericht 2011*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.); 64 S.

MEINING, S.; v. WILPERT, K.; SCHÄFFER, J.; HARTMANN, P.; SCHUMACHER, J.; DELB, H.; AUGUSTIN, N. (2012): *Waldzustandsbericht 2012 für Baden-Württemberg*. Forst BW; 68 S.

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.

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

PRETZSCH, H., 1992: Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. *Forstwiss Cent.bl.* 111; S.366–382.

SPIECKER, H.; MIELIKÄINEN, K.; KÖHL, M.; SKOVSGAARD, J.P. (eds) 1996: *Growth Trends in European Forests*. Berlin, Springer

UTSCHIG, H.; HORLING, H.; PRETZSCH, H. (2006): Wachstumstrends der Eiche. *Veränderte Umweltbedingungen schaffen 13 Prozent mehr Wachstum*. LWF aktuell 52/2006; S.44-46

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

3. Baumarten & Waldbau

Von den Hauptbaumarten wird von Fachleuten einheitlich die **Fichte** als die Baumart angesehen, die an die zu erwartenden Klimabedingungen als am schlechtesten angepasst eingestuft werden kann [BOLTE et al., 2009]. KOHNLE et al. (2008) führen aus dass bei der Fichte sich unter gravierend wärmeren Verhältnissen das Temperaturregime begrenzend auswirkt und nicht mehr durch eine entsprechend günstige Wasserversorgung ausgeglichen werden kann. Gemäß ihrer Einschätzung zeichnet sich für Baden-Württemberg daher deutlich ab, dass der Fichte in den wärmeren, tiefer gelegenen Bereichen auf größeren Flächen verloren gehen wird. Als vollwertige Nadelbaum-Alternative für die Fichte nennen KOHNLE et al. (2008) die **Douglasie**. Die Douglasie kommt den Ergebnissen von PRIEZEL & BACHMANN (2011) zufolge mit Trockenjahren deutlich besser zu Recht als die Fichte, jedoch schlechter als die Buche. BOLTE et al. (2009) bescheinigen der Douglasie eine relativ gute Anbauperspektive bereits heute und insbesondere bei sich ändernden Klimabedingungen. EGIDI (2009) nennt als wichtige Punkte zur stärkeren Einbeziehung der Douglasie die Herkunftsforschung, regionale Waldentwicklungsplanung und Waldentwicklungs-Szenarien unter Beachtung der Invasivität der Douglasie. Auch REIF et al. (2011) zitieren aus Naturschutzsicht als wesentliche negative Auswirkung der Douglasie „die Gefahr der selbstständigen, unkontrollierbaren Ausbreitung, damit einhergehend die mögliche Verdrängung heimischer Arten beispielsweise...auf bodensauer-trockenen Standorten“. Zudem befürchten REIF et al. (2011) einen nachteiligen Einfluss auf die Diversität und vermuten, dass künftig vermehrt Parasiten oder Herbivoren auf eingebürgerten nicht heimischen Arten in Mitteleuropa auftreten. Als Beispiel nennen sie die derzeit noch nicht eingeschleppte Mistelart *Arceuthobium vaginatum* als potenziellen Schädling der Douglasie. Die Mistel könne auch an anderen Nadelhölzern in Europa erhebliche Schäden anrichten.

Als weitere Alternative zur Fichte wird auch der verstärkte **Tannenbau** diskutiert. KOHNLE et al. (2008) empfehlen für Baden-Württemberg innerhalb des natürlichen Tannengebietes „bis auf weiteres auch eine Verschiebung zur Tanne, die hinsichtlich wärmerer Witterungsregime ein etwas höheres Anpassungs- und geringeres Risikopotenzial als die Fichte verspricht“.

Buchenwaldgesellschaften nehmen in Baden-Württemberg den weit überwiegenden Flächenanteil an der potenziellen natürlichen Vegetation ein. Die Gefährdung der Buchenwälder durch den Klimawandel wird sehr unterschiedlich diskutiert. Während manche Autoren große Probleme für die Buchenwälder sehen [RENNENBERG et al. 2004] wird diese Einschätzung von vielen Fachleuten stark bezweifelt [AMMER et al., 2005]. In heute schon niederschlagsarmen und warmen Regionen Deutschlands mehren sich nach BOLTE & CZAJKOWSKI (2008)

die Zweifel, ob die Buche in der Lage sein wird, sich an die Bedingungen des Klimawandels anzupassen und in Zukunft wirtschaftliche Erträge zu liefern. Für Baden-Württemberg beschreiben MEINING et al. (2011), dass sich der Kronenzustand der Buchen ab dem Jahr 2001 deutlich verschlechtert hätte, was als Reaktion der Bäume auf die sich verändernden Klimabedingungen angesehen werden kann. Durch die weiter zunehmende Erwärmung wird bei der Buche neben einem erhöhten Schädlingsdruck und einer Verschiebung der Vegetationszeiten, auch eine zunehmende Häufung der Fruktifikation vermutet [SCHMIDT, 2005], was gemäß MEINING et al. (2011) zu einer "chronischen Belastung, einer verminderten Vitalität und eingeschränktem Wachstum der Buchen" führe. Ein warm-trockener Sommer fördert nach den Ergebnissen von WACHTER (1964) die Anlage von Blütenknospen, so dass sich hieraus im Sommer des folgenden Jahres Bucheckern ausbilden können. Nach MEINING et al. (2011) belegen die Witterungsaufzeichnungen der letzten Jahre für Baden- Württemberg „eine Häufung von ausgeprägten trocken- warmen Frühsommerphasen, die sicherlich zu einer erhöhten Fruktifikation der Buchen beigetragen haben.“ GRUBER [2004] zählt zahlreiche Unsicherheitsfaktoren bei der Bewertung des Vitalitätszustandes der Buche auf und weist auf grundlegende Kenntnislücken in der Morphologie und Ökophysiologie bei unseren Waldbäumen hin.

Besonders die Bedeutung der heute noch **seltene Neben- und Mischbaumarten** wie Spitz- und Feld-Ahorn, Vogel-Kirsche, Wild-Apfel, Elsbeere oder Speierling wird gemäß GRUNDMANN & ROLOFF (2008) zunehmen, da diese Baumarten bei einer Temperaturzunahme auf vielen Standorten als besonders stabil eingestuft werden können. METZLER (2007) beschreibt die Esskastanie als eine wärmeliebende, landeskulturell wichtige Baumart für Baden-Württemberg, die zunehmend für die Gewinnung von Wertholz eine Rolle spielt und von einer weiteren Klimaerwärmung profitieren könnte. Allerdings ist sie durch einen aus Ostasien eingeschleppten Rindenkrebs (*Cryphonectria parasitica*) bedroht, der sich in wärmebegünstigter Umgebung erfolgreich behaupten kann [MÖßMER & ABS, 2009]. Bei Esskastanien in Baden-Württemberg wurden durch den Pilz verursachte Rindennekrosen, Kronenverlichtungen, Absterben von Baumkronen und die Bildung von Wasserreisern beobachtet [METZLER, 2007]. Gleichwohl bemerkten SCHRÖTER et al. (2012), dass in manchen Beständen die Aggressivität des Schadpilzes bereits deutlich zurückgeht.

ZIMMERMANN et al. (2006) stellten zusammenfassend fest, dass viele Szenarien zur Entwicklung der **zukünftigen Baumartenverbreitungen** sehr starke Veränderungen erwarten ließen, was den Waldbau vor große Herausforderungen stellen wird. Die Unsicherheit läge einerseits in der zukünftigen Klimaentwicklung selber, und andererseits in der Frage, wie die einheimischen Baumarten auf diese Veränderungen reagieren würden. Herausforderungen bei der Baumarten-Eignungsbeurteilung ergeben sich zukünftig daraus, dass die Eignungseinschätzung hinsichtlich der zu erwartenden Änderungsraten fortlaufend angepasst („dyna-

misiert“) werden [MICHIELS, 2008]. HANEWINKEL et al. (2010 a; 2010b) verwendeten für ihre Modellierungen der potentiellen Baumartenareale Baden-Württembergs das B2-Szenario mit moderaten Temperaturerhöhungen und das A2-Szenario mit starken Temperaturerhöhungen bis zum Jahr 2100. Demnach reduziert sich die Präsenz von Fichten von Flächenanteilen von derzeit 55 % über 33 % im Jahr 2065 bis auf nur 5 % in den obersten Höhenlagen Baden-Württembergs im Jahr 2100. Die Ergebnisse des auf Bundesebene anwendbaren Decision Support Systems „Wald und Klimawandel“ [JANSEN et al, 2008] mit dem hinterlegten Klimaszenario A1B zeigen dagegen nur für wenige Regionen Baden-Württembergs bis zum Jahr 2100 eine ernsthafte Gefährdung der Fichte. Ein Nachteil des Modells ist die sehr grobe Auflösung für einen Landschaftsausschnitt von 25 x 25 km. 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. Dies bedeute pro Hektar ehemals geeigneter Fichtenfläche einen durchschnittlichen Verlust von 600 € / ha bis zum Jahr 2030 bzw. 2800 €/ ha bis zum Jahr 2100.

Die heimischen Waldökosysteme werden gemäß GRUNDMANN & ROLOFF (2008) auch in Zukunft die vielfältigen Waldfunktionen erfüllen können, allerdings muss die Artenzusammensetzung und ihre Struktur zukünftig anders gestaltet werden. Beim Vergleich der Anpassungsstrategien des Handlungsfeldes Forstwirtschaft in den Bundesländern durch BOLTE et al. (2009) wurde deutlich, dass einzelne Länder wie Baden-Württemberg oder Bayern eher eine gerichtete aktive Anpassung wie z. B. Waldumbau mit dem Ersatz sensibler Baumarten, andere Länder eher eine Kombination aus Waldumbau und ungerichteter Risikominderung mit Mischwaldoption befürworten. Eine passive Anpassungsoption wird überwiegend eher negativ bewertet.

Die Etablierung von **Mischbeständen** zur Risikostreuung wird länderübergreifend als wichtige Anpassungsmaßnahme genannt [BOLTE et al., 2009; BROSINGER & TRETTER, 2007; KOHNLE et al; 2008]. Nach den Untersuchungen von PRETZSCH (2012) hat die Fichte zwar in Reinbeständen die geringste Resistenz gegenüber Trockenstress, zeigt dort aber eine bemerkenswert rasche Erholung. Im Vergleich zur Fichte waren laut seinen Ergebnissen Eiche und Buche in Reinbeständen resistenter gegenüber Trockenheit als Fichten, sie erholten sich aber wesentlich langsamer von, Trockenstress als in Mischbeständen. PRETZSCH (2012) führt aus: „Die überlegene Stressverträglichkeit der Buche im Mischbestand bedeutet eine Steigerung ihrer Fitness und einen Beitrag zu ihrem wiederholt berichteten Mehrzuwachs in Mischung gegenüber ihrem Wachstum im Reinbestand.“ Er vermutet, dass die Minderung des Wasserstresses bei der Buche im Mischbestand insbesondere dann auftritt, wenn sie

Arten, wie der Fichte oder Eiche gemischt sind, die ihre Stomata unter Trockenstress wesentlich früher schließen, während die Buchen noch weiter von den knappen Wasserreserven profitieren können.

Nach REIF et al. (2010) befürworten sowohl Naturschutz- als auch Forstexperten einen raschen Waldumbau hin zu wärme- und trockenheitsangepassten Mischbeständen zur Stabilisierung der Wälder. **Nicht heimische Baumarten¹ in Mischbeständen** sollten laut REIF et al. (2010) allerdings nur mit einheimischen Arten begründet werden. FLAIG et al. (2003) sehen für Baden-Württemberg auf geeigneten Standorten die Verwendung der Douglasie als Beimischung zur Buche bei den derzeit sich abzeichnenden Klimaentwicklungen fast ohne Alternative, „da die Konkurrenzkraft der anderen Baumarten deutlich hinter der Wuchskraft der Buche zurückbleibt“. Neben der Etablierung von Mischbeständen werden für Süddeutschland als waldbauliche Ziele und Maßnahmen zur Erreichung einer besseren Anpassungsfähigkeit noch folgende Punkte genannt: Sicherung einer hohen genetischen Vielfalt und Waldstrukturen [BROSINGER & TRETTER, 2007; LUWG, 2007], Schaffung geeigneter Verjüngung natürlich oder künstlich [KOHLE et al; 2008], eine Intensivierung des Waldumbaus, [BROSINGER & TRETTER, 2007] bzw. Umbau von Beständen aus Baumarten, die an ihren Wuchsorten bereits jetzt als „klimalabil“ eingestuft werden [KOHLE et al; 2008], naturnaher Waldbau unter Erhöhung der Laubholz- und Tannenanteile [BROSINGER & TRETTER, 2007] bzw. naturnaher Waldbau und die kontinuierliche Erhaltung einer Vegetationsbedeckung [LUWG, 2007]. KOHNLE et al. (2008) nennen weiterhin die Begrenzung von Endhöhen/ Vorräten sowie Durchforstungskonzepte zur schnellen Erreichung der Zieldurchmesser als möglich Anpassungsmaßnahmen. Die Förderung und Erhaltung der Bodenporenstruktur durch Schutzkalkung versauerter Wälder wird von der LUWG (2007) und MEINING et al. (2012) aufgeführt. Die LUWG (2007) nennt weiterhin Aufforstungen zur Abflusshemmung in ausgedehnten landwirtschaftlichen Arealen, den Einsatz Boden schonender Holzernte- und Bringungstechnologien, die Vermeidung von Linienstrukturen, Schließen von Entwässerungsgräben, Schaffung und Erhaltung von naturnahen Wasserrückhalteräumen im Wald, Renaturierung der Waldbäche, der Uferbereiche und Bachauen sowie von Feuchtgebieten, Bruchflächen und Mooren, Wasserableitung von Waldwegen und Versickerung in benachbarte Waldflächen als sinnvolle Maßnahmen. Eine rasche Umsetzung der waldbaulichen Maßnahmen sollen in klimatischen Risikogebieten Bayerns gemäß BACHMANN & JAKOB (2009) mittels zielgruppenorientiertem Training und Workshops über geschulte Waldbautrainer gewährleistet werden.

¹ Als dauerhaft etablierte, nicht heimische Baumarten gelten in Mitteleuropa laut KOWARIK (2010) je nach Region Douglasie, Rot-Eiche, Robinie, Japanische Lärche, Spätblühende Traubenkirsche, Strobe und Rot-Esche. Für Baden-Württemberg sind insbesondere Vorkommen der Douglasie und Rot-Eiche von Bedeutung.

Forschungsbedarf gemäß Literatur

LINDNER (1998) sieht einen erhöhten Forschungsbedarf in der Analyse der ausschlaggebenden Faktoren für trockenheitsbedingten Verbreitungsgrenzen der Baumarten. Er führt aus: „Wünschenswert wären Informationen über die tatsächliche physiologische Amplitude der Arten, denn oft sind statt dieser lediglich die ökologisch realisierten Verbreitungsamplituden bekannt“. Nach REIF et al. (2010) besteht ebenfalls Forschungsbedarf zur Anpassungsfähigkeit sowie zu den ökologischen Grenzen des Vorkommens heimischer als auch fremdländischer Baumarten. Weiterhin sollten Stresstoleranz, Anpassungsfähigkeit und Grenzen des Vorkommens, die Gen-Ausstattung und genetisch-morphologische Anpassung, alternative Optionen im Waldbau sowie Auswirkungen des Wegebaus und eine verstärkte Biomassennutzung untersucht werden. RIGLING et al. (2008) nennen als offene Forschungsfragen die Eignungseinschätzung einheimischer und nicht-einheimischer Baumarten, die Risikoeinstufung nicht einheimischer Baumarten, Verfahren für die Bestandesbegründung und die Entwicklung waldbaulicher Eingriffe zur Stärkung der Widerstandskraft der Wälder. BOLTE (2005) sieht generell einen erhöhten Forschungsbedarf bei der Entwicklung von Strategien und geeigneten Verfahren eines Waldbaus, der auf Klimawandel ausgerichtet ist. BEESE (2011) führt als wichtige Forschungsbereiche die Erarbeitung von Indikatoren zur genetischen und epigenetischen Plastizität verschiedener Baumarten an Trockenstress, die Veränderungen des Konkurrenzverhaltens verschiedener Baumarten in Mischbeständen bei gleichzeitiger Veränderung des chemischen und physikalischen Klimas sowie die Entwicklung von standortspezifischen Wirkungsmodellen des Klimawandels auf. Auch REIF et al. (2010) sehen in einer profunden Analyse von Mischbeständen hinsichtlich ihrer Klimawirkung einen erheblichen Forschungsbedarf. Für Österreich identifizierten GINGRICH et al. (2008) einen prioritären Forschungsbedarf im Bereich Waldumbau und -bewirtschaftung, sowie zur genetischen Vielfalt in Wäldern unter geänderten Klimabedingungen. AMMER et al. (2005) sehen einen besonderen Forschungsbedarf zur Trockenheitstoleranz der Baumart Buche. Sie schlagen systematische und interdisziplinäre, aut- und synökologische Untersuchungen vor, die möglichst lange Zeiträume und Studien an den bisher bekannten Arealgrenzen einschließen. Auch VESTE (2007) sieht in der Erforschung der Anpassungsfähigkeit der Buche an die sich ändernden Klimabedingungen einen gesteigerten Forschungsbedarf. RENNENBERG et al. (2004) vermuten in der Beimischung von trockenstress- und überflutungstoleranten Baumarten, z.B. verschiedenen Eichenarten, eine geeignete Anpassungsstrategie für bestimmte Waldbestände. Die Wirksamkeit kann allerdings noch nicht ausreichend abgeschätzt werden, da entsprechende Untersuchungen „quasi vollständig fehlen“. RIGLING et al. (2008) und die BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2010) nennen angesichts der zukünftig veränderten Baumartenzusammensetzung von Wäldern als notwendige For-

schungsvorhaben die Prognose künftiger Holzsortimente und die entsprechende Entwicklung innovativer Holzprodukte und Verarbeitungstechnologien.

LITERATURQUELLEN

- AMMER, C., ALBRECHT, L., BORCHERT, H., BROSINGER, F., DITTMAR, C., ELLING, W., EWALD, J., FELBERMEIER, B., VON GILSA, H., HUSS, J., KENK, G., KÖLLING, C., KOHNLE, U., MEYER, P., MOSANDL, R., MOOSMAYER, H.-U., PALMER, S., REIF, A., REHFUESS, K.-E., STIMM, B., 2005: Zur Zukunft der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Mitteleuropa. Kritische Anmerkungen zu einem Beitrag von Rennenberg et al. (2004). *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 176; S.60–67.
- BACHMANN, M.; JAKOB, P. (2009): *Waldbaukonzepte in Zeiten des Klimawandels.. LWF aktuell* 68/2009. S.6
- BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2010): *Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS)*; 68 S.
- BOLTE, A. (2005): *Zur Zukunft der Buche in Mitteleuropa. AFZ – Der Wald* 60, 20; S.1077-1078
- BOLTE, A.; CZAJKOWSKI, T. (2008): *Unterschätzen wir die Anpassungsfähigkeit der Buche an den Klimawandel? Freiburger Forstliche Forschung Heft* 76; S.44
- BOLTE, A., EISENHAEUER, D.-R., EHRHART, H.-P., GROß, J., HANEWINKEL, M., KÖLLING, C; PROFFT, I; ROHDE, M.; RÖHE, P.; AMERELLER, K. (2009): *Klimawandel und Forstwirtschaft – Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer. Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research* 4 2009 (59); S.269-278
- BROSINGER, F.; TRETTER, S. (2007): *Waldbau im Zeichen des Klimawandels. LWF aktuell* 60/2007; S.21-23
- EGIDI, H. (2009): *Perspektiven zum Anbau der Douglasie in Rheinland-Pfalz. Fachvortrag* www.wald-rlp.de/fileadmin/website/fawfseiten/fawf/.../Egidi.pdf
- FLAIG, H.; ARETZ, A.; ELSNER, D.; WEIMER-JEHLE, W. (2003): *Klimaentwicklung und Wald – ein Beitrag zum Waldprogramm Baden-Württemberg 2003 –Nr. 247 / Dezember 2003*; S.59
- GINGRICH, S., BALAS, M., DRACK, A., ERB, K., FORMAYER, H., HABERL, H., HACKL, J., MAYER, S., PAZDERNIK, K., RADUNSKY, K. & SCHWARZL, I. (2008): *Anpassungsstudie - Ist-Stand-Erhebung zur Anpassung an den Klimawandel in Österreich Kurzbericht an das BMLFUW*; 9 S.
- GRUBER, F. (2004): *Vitalität der Buche anhand des „Blattverlustes“ falsch bewertet. AFZ Der Wald* 6; S.320-322
- GRUNDMANN, B.; ROLOFF, A. (2008): *Forschungsstudie TU-Dresden: Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme im Auftrag der Stiftung Wald in Not*; 46 S.
- HANEWINKEL, M. (2010): *Klimawandel: Arealverschiebung von Hauptbaumarten in Südwestdeutschland. <http://www.waldwissen.net>, 08.02.2010*
- 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
- JANSEN, M; DÖRING, C.; AHREND, 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(7-8); S.131-142

- KOHNLE, U.; HEIN, S.; MICHIELS, H.G. (2008): *Waldbauliche Handlungsmöglichkeiten angesichts Klimawandel*. FVA-einblick 01/08; S.50-53.
- KOWARIK, L. (2010): *Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. 2. Aufl. Ulmer. Stuttgart. 492 S.
- LINDNER, M. (1998): *Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern*. PIK Report; Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.; 111 S.
- LUWG (2007): *Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007*. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz; Hrsg. Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz. 184 S.
- MEINING, S., v. WILPERT, K.; AUGUSTIN, N.; KRAMER, P. (2011): *Waldzustandsbericht 2011*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), 64 S.
- METZLER, B. (2007): *Bedrohung der Esskastanie durch den Rindenkrebs*. FVA-einblick 1/2007; S.21
- MICHIELS, H.-G. (2008): *Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung*. FVA einblick+ . 01/08; S.44-49.
- MÖßMER, E.M.; ABS, C. (2009): *Manche mögen's heiß* Waldschädlinge im Klimawandel. DBU-Schriften 40 S.
- PRETZSCH, H. (2012): *Zuwachsreaktionen auf Trockenstress in Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen* DVFFA – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2012; S.21-32
- PRIETZEL, J.; BACHMANN, S. (2011): *Verändern Douglasien Wasser und Boden?* LWF aktuell 84, S.50 – 52.
- REIF, A., AAS, G., ESSL, F. (2011): *Braucht der Wald in Zeiten des Klimawandels neue, nicht heimische Baumarten?* Natur und Landschaft, 86/6; S.256-260.
- REIF, A.; BRUCKER, U.; KRATZER, R.; SCHMIEDINGER, A.; BAUHUS, J. (2010): *Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes*; BfN-Skripten 272; 2010; 130 S.
- RENNENBERG, H., SEILER, W., MATYSSEK, R., GESSLER, A.; KREUZWIESER, J.: *Die Buche (Fagus sylvatica L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa?* Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 175, S.210–224
- RIGLING, A.; BRANG, P.; BUGMANN, H.; KRÄUCHI, N.; WOHLGEMUTH, T.; ZIMMERMANN, N. (2008): *Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung*. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159/10; S. 316-325.
- 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.J.; DELB, H.; REINHOLD, J.; METZLER, B.; MÖSCH, S. (2012): *Waldschutzsituation 2011/2012 in Baden-Württemberg*. AFZ-Der Wald 7/2012, S.8-11.
- VESTE, M. (2007): *Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldvegetation: Anpassungsfähigkeit und ihre Grenzen*. Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland IV – Ergebnisse und Dokumentation des 4. Workshops an der Internationalen Naturschutzakademie des Bundesamtes für Naturschutz, Insel Vilm 14.-17.10.2007. S.31-34
- WACHTER, H. (1964): *Über die Beziehung zwischen Witterung und Buchenmastjahren*. Forstarchiv, S.69-78
- ZIMMERMANN, N.E.; BOLLIGER, J.; GEHRIG-FASEL, J.; GUISAN, A.; KIENAST, F.; LISCHKE, H. RICKEBUSCH, S.; WOHLGEMUTH, T. (2006): *Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren?* Forum für Wissen 2006; S.63–71

4. Standortkartierung

Freiheiten bei der Baumartenwahl sollten laut KOHNLE et al. (2008) dahingehend genutzt werden, dass prinzipiell nur solche Baumarten zum Anbau kommen, deren Ansprüche in den nächsten drei bis vier Jahrzehnten in vollem Umfang erfüllt werden. Beim bisherigen Ablauf der Forstlichen Standortserkundung wurde von weitestgehend unveränderlichen Standortgrößen ausgegangen. KÖLLING (2006) fordert, dass durch den Klimawandel auch auf Langfristigkeit angelegte Standortserkundungen aktualisiert werden müssen, wenn sie weiterhin ihre Gültigkeit als zentrale Entscheidungsgrundlage im Forstbetrieb behalten sollen. Er prognostiziert, dass bereits „kleine Veränderungen in Menge und Abfolge der Niederschlagsereignisse und temperaturbedingte Veränderungen im Wasserbedarf der Bäume dazu führen können, dass der Bodenvorrat an Wasser häufig nicht mehr ausreicht“ und nennt daher eine Neubewertung des **Wasserhaushalts** als eine zentrale Aufgabe. Auch GAUER et al. (2011) sehen in der Erfassung und Bewertung des Wasserhaushalts in Zukunft die entscheidende Größe für die standortgerechte und nachhaltige Bewirtschaftung sowie Multifunktionalität von Wäldern. Als wesentliche Anforderung nennen sie eine modellgestützte Quantifizierung des Wasserhaushaltes sowie der Integration dynamischer Klima-, Boden und Bestandseigenschaften und der „Übertragung vom Punkt auf die Fläche und die Einzugsgebietsebene.“ RÖRIG-WEISBROD (2012) präzisiert für Baden-Württemberg die Anforderungen an ein modellgestütztes Standortkundliches Verfahren. Er sieht die wesentlichen Herausforderung für die Standortkartierung darin, dass man „die bislang kartierten relativen Geländewasserhaushaltsstufen durch ein Modellsystem ergänzt, mit welchem einzelne für die Pflanzen und Waldbäume relevante Kenngrößen des Wasserhaushalts (beispielsweise die Ausschöpfung des Bodenwassergehalts oder die Einschränkung der Transpiration), bei Hinterlegung verschiedener Klimaszenarien auf lokaler Ebene (50 m Auflösung) errechnet und dynamisiert werden können.“ Schwächen von Modellansätzen bestünden derzeit insbesondere noch bei **wechselfeuchten Bodenbedingungen**, die durch die „Modellbildung standörtlicher Zielgrößen mit der Kartierung sensibler oder nur mit schwächerer Modellgüte modellierbarer Standorte kombiniert“ werden könnten.

Forschungsbedarf gemäß Literatur

GAUER et al. (2011) sehen in der Ableitung kausaler Beziehungen zwischen Bestandeswachstum, klimatischen Faktoren und Bodeneigenschaften sowie der Modellierung von Hangzugwasser wichtige Herausforderungen an zukünftige Verfahren. Als wesentliche Forschungsfragen nennen REIF et al. (2010) nach einer Expertenbefragung die Entwicklung einer dynamisierten Standortkartierung und verbesserte Wasserhaushaltmodelle. Nach WILPERT et al. (2004) bestehen zukünftige Aufgaben in der Verknüpfung von Klimaszenarien

mit waldwachstumskundlichen Modellen, Inventurdaten und Standorts- und Bodeneigenschaften.

LITERATURQUELLEN

GAUER, J.; FEGER, K.H.; SCHWÄRZEL, K. (2011): Erfassung und Bewertung des Wasserhaushalts von Waldstandorten in der forstlichen Standortskartierung: Gegenwärtiger Stand und künftige Anforderungen Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz Heft 12 (2011)S.7–16

KÖLLING, C. (2006): Waldbau im Klimawandel – Eine Herausforderung für die Forstliche Standortserkundung. Forstinfo Nr. 3/2006, S.1-4.

REIF, A.; BRUCKER, U.; KRATZER, R.; SCHMIEDINGER, A.; BAUHUS, J. (2010): Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes; BfN-Skripten 272; 2010; 130 S.

RÖRIG-WEISBROD, C.(2012): Modellgestütztes Standortkundliches Verfahren. FVA-einblick 02/2012; S.15-16

WILPERT V., K.; ZIRLEWAGEN, D.; TEUFFEL V., K. (2004): Die Rolle der Forstwirtschaft im Klimaschutz. Vortrag anlässlich des 1. Statusseminars „Klimawandel, Auswirkungen, Risiken, Anpassung“ (KLARA); 22 S.

5. Bodenfruchtbarkeit

Böden sind die bedeutsamsten Kohlenstoffspeicher terrestrischer Ökosysteme; sie enthalten etwa dreimal so viel organischen Kohlenstoff (C) wie die Biomasse und dreimal mehr C als die Atmosphäre in Form von CO₂ [SOLOMON et al., 2007 in HAGEDORN et al., 2010]. Böden binden CO₂ durch die Bildung von Humus. Mit einem Humusabbau kann jedoch auch CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben werden. Bei einer zunehmenden Klimaerwärmung wird befürchtet, dass die **Bodenrespiration** zunimmt [SCHINDLBACHER et al., 2009] und es zu C-Verlusten aus den Böden kommt. HAGEDORN et al. (2010) zeigten anhand ihrer Untersuchungen zur Kohlenstoffdynamik entlang natürlicher und experimenteller Temperaturgradienten, dass die Klimaerwärmung zu nennenswerten CO₂-Verlusten aus dem Boden führen kann. Eine experimentelle Bodenerwärmung um 4°C steigerte die CO₂-Freisetzung aus dem Boden an der alpinen Waldgrenze deutlich. Mit Isotopenmessungen konnten HAGEDORN et al. zeigen, dass die zunehmende CO₂-Freisetzung nicht aus Wurzelatmung stammte, sondern durch eine zunehmende mikrobielle Aktivität aus dem Abbau von Humus verursacht wurde. HAGEDORN et al. (2010) gehen davon aus, dass dieser Effekt durch die gleichzeitige Zunahme von Laubwäldern in den Höhenlagen zusätzlich verstärkt wird. Als Grund nennen sie die natürlicherweise geringeren Mengen an organischer Bodensubstanz unter Laub- im Vergleich zu Nadelwald. HAGEDORN et al. (2010) schätzen den Kohlenstoffverlust mit 15 bis 34 Millionen t C aus Schweizer Waldböden durch eine langfristige Klimaerwärmung innerhalb einiger Jahrzehnte, was für die Schweiz eine bedeutsame Größe in ihrer Treibhausgasbilanz bedeuten würde. Ebenfalls hohe Kohlenstoffverluste fanden SCHINDLBACHER et al. (2009) bei einer vergleichbaren experimentellen Erwärmung in den Böden unter montanen Nadelwäldern in Österreich. Ihre Ergebnisse zeigten, dass es bei einer Erwärmung zumindest anfänglich zu hohen Kohlenstoffverlusten kommt. SCHULZ & KLEIN (2011) gehen dagegen für bayerische Verhältnisse derzeit eher von einem Aufbau des Kohlenstoffspeichers im Boden aus. Mit ihren Respirationenversuchen konnten auch unter sehr milden Verhältnissen bisher kein Anstieg der Respiration nachgewiesen werden. Sie vermuten, dass bei ausreichender Wasserversorgung und einer erhöhten Biomasseproduktion von Wäldern eventuell auftretende Respirationsverluste von Bodenkohlenstoff durch einen zunehmenden Streuanfall ausgeglichen werden könnten.

Ausgeprägte Trockenperioden können in Wäldern zu Stickstoffanreicherungen und schließlich zu **Nitrataustrag**, Verlust von Nährstoffkationen und **Bodenversauerung** führen (WEIS, 2004). Weiterhin wird die Bodenversauerung über die zukünftige Zusammensetzung klimastabiler Bestände indirekt beeinflusst. PRIETZEL & BACHMANN (2011) kommen aufgrund ihrer Ergebnisse zum Schluss, dass Mischbestände mit Douglasie für wichtige Bodeneigenschaften im Vergleich zur Fichte vorteilhaft sind. Als Vorteile führen sie eine Reduktion der Boden-

versauerung und eine Verbesserung der Humusform an. Gleichwohl gehen offenbar die Sickerwasserraten unter Douglasien allerdings merklich zurück.

Kalium ist gemäß BRÜNING (1959) ein wichtiger Makronährstoff, der die Anfälligkeit von Koniferen gegenüber Trockenstress beeinflusst. Kalium ist maßgeblich an der Regulierung des Turgordrucks beteiligt und ein Kaliummangel kann zu einer Störung der Wasserversorgung führen. Eine ausreichende Kaliumversorgung wird besonders für Bäume auf trockenen Standorten bzw. in Trockenperioden als wichtig angesehen. MEINING et al. (2008) beschreiben für Baden-Württemberg einen Kaliummangel bei Bäumen unter anderem auf „entkalkten, lehmgeprägten Standorten“ trotz geogen höherer Kaliumvorräte. Als wichtigste Ursache der geringen Pflanzenverfügbarkeit von Kalium nennen sie die Oberbodenversauerung und deren Auswirkungen auf die Oberflächen der Bodenaggregate. Umfangreiche Untersuchungen zum Zusammenhang von Kaliumernährung und Trockenresistenz bei Fichten wurden in Österreich durchgeführt. Nach den ersten Ergebnissen kommen KATZENSTEINER et al. (2008) bisher zum Schluss, dass ein ausreichend guter Zusammenhang zwischen einer geänderten Kaliumernährung und der Vitalität, Resistenz und Resilienz von Waldbeständen erst durch länger andauernde Beobachtungen geklärt werden kann. Bisher zeigten kaliumgedüngte Bestände zumindest tendenziell ein besseres Wachstum.

Forschungsbedarf gemäß Literatur

Nach STOCK (2005) soll im Bereich Forstwirtschaft für einzelne fachliche Sektoren wie z.B. Bodenwasserhaushalt bei unterschiedlichen Klimaszenarien und Bodentypen, C- und N-Speicherung und –mobilisierung Prognosemodelle erstellt und validiert werden. Die REGIERUNGSKOMMISSION KLIMASCHUTZ (2012) sieht vor allem Forschungsbedarf zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Biodiversität im Boden und zu den ökologischen Folgen einer Veränderung der Bodenfauna. LÜSCHER & ZÜRCHER (2003) nennen als wesentlichen Forschungsbedarf hinsichtlich Klimaveränderungen die Rolle von Durchwurzelung und Porenstruktur bei Starkregenereignissen.

LITERATURQUELLEN

BRÜNING, D. (1959): *Forstdüngung. Ergebnisse älterer und jüngerer Versuche.* – Leipzig (Neumann Verlag), 210 S

KATZENSTEINER, K.; SCHUME, H.; WRESOWAR, M.; SPITZER, H. (2008): *Auswirkung des Kaliumernährungszustandes auf die Trockenstressdisposition von Fichte (Picea abies Karst.)* Forschungsauftrag BMLFUW GZ LE.3.2.3./0013-IV 2/2005; *Endbericht Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*

MEINING, S.; WILPERT, K. V.; SCHÄFFER, J.; SCHRÖTER, H. (2008): *Waldzustandsbericht 2008 der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.* FVA, Freiburg, 56 S.

HAGEDORN, F., MOERI, A., WALTHER, L., ZIMMERMANN, S. (2010): Kohlenstoff in Schweizer Waldböden – bei Klimaerwärmung eine potenzielle CO₂-Quelle. *Schweiz Z Forstwes* 161 (2010) 12; S.530–535

LÜSCHER, P., ZÜRCHER, K., 2003. *Waldwirkung und Hochwasserschutz. Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angesagt. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*, 40: S. 30–33.

REGIERUNGSKOMMISSION KLIMASCHUTZ (2012): *Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels*. 113 S.

SCHINDLBACHER, A., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., JANDL, R (2009) Carbon losses due to soil warming: Do autotrophic and heterotrophic soil respiration respond equally? *Glob Change Biol* 15; S.901–913

SCHULZ, C.; KLEIN, D. (2011): *Der kräftige Atem der Waldböden*. *LWF aktuell* 82/2011; S.23-25

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (2007): *IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

STOCK, M. (Hrsg. 2005): *Klara Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung PIK-Report No. 99*.

WEIS, W. (2004): *Trockenjahre beeinflussen Sickerwasserchemie und Bodenversauerung*. *LWF aktuell* 43, S. 19-20.

6. Schadorganismen & Sturmgefährdung

Gemäß PETERCORD et al. (2008) ist es schwer einzuschätzen, inwieweit der bereits eingetretene und der noch zu erwartende Klimawandel sich in den nächsten Jahrzehnten auf die **Forstinsekten** auswirken wird, ebenso das damit verbundene Risiko für die Waldwirtschaft. PETERCORD et al. (2008) betonen aber, dass sich bereits heute eine Reihe von Beispielen finden lassen, die auf eine sich verschärfende Gefährdungssituation durch Schaderreger in Folge des Klimawandels hinweisen. FEEMERS et al. (2003) erklären, dass einzelne oder mehrere trockene und warme Jahre in Folge zwar förderlich für die Entwicklung von Insektenkalamitäten seien, es dürfe aber nicht daraus geschlossen werden, dass dies auch für eine dauerhafte Klimaerwärmung gelte. Dazu führen FEEMERS et al. (2003) aus: „Letztlich muss festgestellt werden, dass die ökosystemaren Zusammenhänge zwischen Wirtspflanzen und Schadorganismen sowie ihre Beeinflussung durch die Klimabedingungen noch bei weitem nicht ausreichend geklärt sind, um fundierte mittel- oder gar langfristige Prognosen einer zukünftigen Entwicklung oder eines Gefährdungspotenzials herleiten zu können. In diesem Zusammenhang kommt neben den vorhandenen langjährigen Zeitreihen der Entwicklung von Schädlingspopulationen und der genaueren differenzialdiagnostischen Analyse der Schadensentwicklung bei den Hauptbaumarten nach dem extrem trocken-warmen Sommer 2003 und der sommerlichen Dürreperiode 2006 besondere Bedeutung zu.“ WERMELINGER & SEIFERT (1998) sehen für Österreich im Hinblick auf den bereits eingetretenen Klimawandel besonders die **Fichte** in tieferen bis mittleren Lagen auch ohne Borkenkäferbeeinträchtigungen zunehmend in Bedrängnis. Temperaturerhöhungen würden zusätzlich die Entwicklung von Insekten begünstigen und vermehrt zu Insektenkalamitäten auch in Hochlagen führen. Sie nennen neben Forstschutzmaßnahmen auch angepasste Waldbaumaßnahmen als zentral bedeutend für die Waldgesundheit. PETERCORD (2009) verdeutlichte, dass die verschiedenen Schädlinge der Fichte artspezifisch unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren können. Er betont, dass die Jahresdurchschnittstemperatur von untergeordneter Bedeutung sei und es vielmehr auf den Witterungs- und Temperaturverlauf während bestimmter Entwicklungsphasen der jeweiligen Insektenart ankäme. Er vermutet, dass die Borkenkäfer dank ihres raschen Generationswechsels in besonderem Maße von wärmeren Temperaturen profitieren könnten, Borkenkäferschäden aber mit altbekannten Maßnahmen der sauberen Waldwirtschaft aber deutlich einschränkbar wären. Als Hauptmaßnahme zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Wälder sieht er ebenfalls den Waldumbau in klimastabile Wälder. HALBIG et al. (2011) zählen den Pinienprozessionsspinner zu den Insektenarten, die ihr Verbreitungsgebiet in Baden-Württemberg im Zuge der Klimaerwärmung nach Norden und in größere Höhen ausdehnen könnten. Sie vermuten, dass rund 25 % der Waldfläche der ba-

den-württembergischen Oberrheinebene auf Grund des hohen Anteils an **Kiefern** potentiell gefährdet sind.

Bei den Laubbaumschädlingen vermuten FEEMERS et al. (2003), dass es möglicherweise zu vorübergehend häufigeren Kalamitäten als bei Nadelhölzern kommt. Als Beispiel nennen sie die zu erwartende Entwicklung bei typischen Kiefern-schädlingen. Sie schätzen, dass es in Kiefernbeständen bei zukünftig milderen Wintern zu selteneren Massenvermehrungen kommt. Die Situation der **Eiche** beschreibt DELB (2012) folgendermaßen: „Gleichwohl bestehen bei dieser Baumart in Verbindung mit Schaderregern schon heute viele Risiken, die unter dem Stichwort „Eichensterben“ intensiv analysiert und diskutiert werden. Dabei wird die zunehmende Bedeutung dieser Schaderreger auch dem Einfluss veränderter klimatischer Bedingungen zugeschrieben“. Seit etwa zwanzig Jahren fänden die besonders wärmeliebenden Eichenschädlinge wie Schwammspinner, Eichenprozessionspinner und Eichenprachtkäfer im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen deutlich günstigere Entwicklungsbedingungen als in der Vergangenheit vor. DELB (2012) schlägt vor, dass zur Sicherung der Eichenwälder im Rahmen einer integrierten Waldschutzstrategie differenzierte und ausgewogene Maßnahmen gegen diese Schaderreger durchaus in Erwägung gezogen werden sollten, wobei ein hohes Konfliktpotenzial durch die vielfältigen Ansprüche des Naturschutzes an ältere Eichenbestände bestünde. **Rotbuchen** seien in und nach Jahren mit extremer Trockenheit, Hitze und hoher Sonneneinstrahlung oft derart geschwächt, dass sie von Rindenbrütern stehend befallen werden können und so eine schnelle Erholung der Bäume verhindert würde [DELB, 2004]. In der Folge könne es zu Massenvermehrungen kommen, wodurch grundsätzlich auch gesunde Buchen gefährdet sein können. Beispielsweise wurde nach dem Trockenjahr 2003 ein starker Befall von Rotbuchen durch den Kleinen Buchenborckenkäfer und dem Buchenprachtkäfer gemeldet.

Pilzliche Schädlinge bedrohen laut FEEMERS et al. (2003) durch Wasserstress beeinflusste Bäume stärker als optimal wasserversorgte. Aussagen, ob bestimmte Pilzarten künftig größere Probleme in Wäldern verursachen werden, seien dem heutigen Kenntnisstand gemäß allerdings nicht möglich. METZLER (2008) erwähnt, dass extreme Sommertrockenheit den Resistenzmechanismen von Waldbäumen gegen bestimmte Pilzkrankheiten teilweise außer Kraft setzt. Als pilzliche Schadorganismen, die in Folge des Extremsommers 2003 in Baden-Württemberg in ungewöhnlicher Stärke auftraten, nennt er Hallimasch an Fichte und die Russrindenkrankheit (*Cryptostroma corticale*) an Bergahorn.

NÖRR et al. (2003) betont, dass die Mehrzahl unserer Waldbäume auf **Mykorrhizapilze** angewiesen ist, deren Hyphen die Oberfläche der Wurzeln enorm vergrößern und eine wichtige Funktion bei der Wasser- und Nährstoffaufnahme erfüllen. Gerade auf Extremstandorten könnten dadurch Bäume trotz widriger Bedingungen überleben. Zumindest bei jungen Waldbäumen wird das Auftreten von Trockenstress stark von der Mykorrhizierung beeinflusst was

unter Versuchsbedingungen nachgewiesen werden konnte [KOTTKE et al., 1999]. Versuche zeigten auch, dass Trockenperioden das Auftreten potentiell pathogener, endophytischer Mikropilze an den Feinwurzeln mit begünstigen kann [KATTNER, 1992]. KOTTKE et al. (1999) erörtern, dass „im Hyphenmantel unter Trockenstressbedingungen Nährelemente gespeichert werden, was als eine Anpassung der Bäume an das Jahreszeitenklima verstanden werden kann“. Es zeigten sich bei Jungbuchen verschiedener Herkunft aus Baden-Württemberg deutliche Unterschiede: Von Mykorrhizen der Buchen-Ökotypen mit höherer Trockenstresstoleranz und damit höherer Photosyntheseleistung wurden mehr Aminosäuren, Proteine und Glycogen gespeichert.

Untersuchungen zu Entstehung, Ausmaß und Ausprägung von **Sturmschäden** in den Wäldern wurden im Verbundprojekt „Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder“ (RESTER) geleistet. Sie beinhalteten unter anderem die Modellierung des zukünftigen Sturmrisikos sowie die flächenhafte Darstellung der Vulnerabilität der Wälder gegenüber Winterstürmen. Den Ergebnissen nach scheint sich die Ausprägung des zukünftigen Wintersturmgeschehens über Baden-Württemberg gegenüber heute mit großer Wahrscheinlichkeit nicht gravierend zu ändern. Auch 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.“

Forschungsbedarf gemäß Literatur

WILPERT et al. (2004) identifizierten einen erhöhten Forschungsbedarf zur zukünftigen Einschätzung der Virulenz und Abundanz von Schädlingen. Auch BEESE (2011) nennt die Abschätzung der Populationsdynamiken von Forstschädlingen bei verändertem Klima als wichtige Fragestellung. BOLTE et al. (2009) sehen als gemeinsamen Forschungsbereich der Bundesländer die Entwicklung alternativer Waldbausysteme sowie die Schädlingsforschung bzw. den Waldschutz. Sie führen aus: „Präventive und kurative Maßnahmen für anfällige Bestände müssen teilweise erst entwickelt werden. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf“. Gemäß RIGLING et al. (2008) ist für Schweizer Wälder zu klären, ob es Anpassungsmaß-

nahmen in der Bekämpfung von Schadorganismen braucht und ob das bestehende Frühwarnsystem ausgebaut werden muss.

LITERATURQUELLEN

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.

BEESE, F. (2011): Einfluss des Klimawandels auf Forstökosysteme Forschungszentrum Waldökosysteme Göttingen Klimafolgenforschung Niedersachsen „KLIFF“ Beese, F. (2011) Tagungsvortrag „Klimawandel in Niedersachsen – Auswirkungen auf Wasser und Boden“ des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover, 05.05.2011

BOLTE, A.; EISENHAUER, D.-R.; EHRHART, H.-P.; GROß, J.; HANEWINKEL, M.; KÖLLING, C.; PROFFT, I.; ROHDE, M.; RÖHE, P.; AMERELLER, K. (2009): Klimawandel und Forstwirtschaft – Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer. *Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research* 4 2009 (59); S.269-278

DELB, H. (2004): Rindenbrüter an Buche Kleiner Buchenborkenkäfer [*Taphrorychus bicolor* (Hrbst.)] Buchenprachtkäfer [*Agrilus viridis* L.] *WALDSCHUTZ-INFO*;4 / 2004; 16 S.

DELB, H. (2012): Eichenschädlinge im Klimawandel in Südwestdeutschland. *FVA-einblick* 02/2012; S.11-14

FEMERS, M., BLASCHKE, M., SKATULLA, U. AND GULDER, H.-J. (2003), *Waldschutz – Klimaveränderungen und Biotische Schäden im Wald*; *LWF-aktuell* (9)37, S.19-22.

FRANK, C.; GREBHAN, K.; KOTTMEIER, C.; KUNZ, M.; MAYER, H.; RAUTHE, M.; RUCK, B.; SCHINDLER, D.; SCHÖNBORN, J. (2010): Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder - Verbundprojekt RESTER 38 Abschluss Symposium zum Forschungsprogramm Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. *LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg*

HALBIG, P.; DELB, H.; HENKE, L.; WAGENHOFF, E.; KLIMETZEK, D. (2011): Monitoring und Gefahrenanalyse des Pinienprozessionsspinners, *Thaumetopoea pityocampa*, für die Oberrheinebene. *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 18. S.405-408

KATTNER, D. (1992): Der Einfluß von Trockenstreß auf die Besiedelung von Fichtenfeinwurzeln (*Picea abies* Karst.) durch *Trichoderma viride* und andere endophytische Mikropilze. *Forstw. Cbl.* 111, S.383-389

KOTTKE, I.; SORO, A.; BERGER, A. (1999): Untersuchungen zur Bedeutung der Stickstoffspeicherung in der Mykorrhiza für die Trockenstreßtoleranz verschiedener Ökotypen der Buche.

METZLER, B. (2008): Pilzbefall am Waldbäumen nach extremer Trockenheit. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft* 76; S.105

NÖRR, R.; KOTTKE, I.; BLASCHKE, M. (2003): Das unterirdische Geheimnis von Steinpilz und Trüffel. *LWF aktuell* 41, S.26-28.

PETERCORD, R. (2009) *Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf mit den Schädlingen ? LWF Wissen* 63; S.61-69

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

RIGLING, A.; BRANG, P.; BUGMANN, H.; KRÄUCHI, N.; WOHLGEMUTH, T.; ZIMMERMANN, N. (2008): Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 159(10); S.316-325.

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.

WERMELINGER, B., SEIFERT, M. (1998): Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 122(4); S.185-191.

WILPERT V., K.; ZIRLEWAGEN, D.; TEUFFEL V., K. (2004): Die Rolle der Forstwirtschaft im Klimaschutz. Vortrag anlässlich des 1. Statusseminars „Klimawandel, Auswirkungen, Risiken, Anpassung“ (KLARA)“; 22 S.

7. Waldbiotope, Arten & ihre Lebensstätten

Vom Klima werden die Verbreitungsareale aller Arten gesteuert [MÜLLER-KROHLING et al, 2007]. Einerseits gelten Klimaänderungen insbesondere bei sehr raschem Verlauf als zusätzlicher Beschleunigungsfaktor des Artensterbens: Von offizieller Naturschutzseite (BfN) werden für Deutschland Artenverluste zwischen 5-30 % erwartet, die durch den Klimawandel verursacht werden könnten. Den Berechnungen von NORMAND et al. (2007) zur Folge werden mehr als zwei Drittel aller Charakterarten von FFH-Gebieten negativ betroffen sein, so dass der günstige Erhaltungszustand dieser Lebensraumtypen gefährdet sei. Andererseits lassen sich Klimaänderungen in der Vergangenheit entwicklungsgeschichtlich durchaus auch als wesentlicher Anstoß für die Etablierung neuer Arten und Artengemeinschaften identifizieren.

Wegen der komplexen ökologischen Wechselwirkungen in den Biozöosen gelten die tatsächlichen Auswirkungen der Klimaänderung als vielfach unvorhersehbar und es wird vermutet, dass einzelne Tier- und Pflanzenarten innerhalb einer Biozönose sehr unterschiedliche Reaktionen zeigen können. Genauere Prognosen werden dadurch deutlich erschwert.

PETERMANN et al. (2007) erstellten eine Rangliste mit **Waldbiotopen und Lebensraumtypen** der FFH-Richtlinie, die von einem Klimawandel besonders betroffen wären. Als besonders klimasensibel wurden Waldbiotope bzw. Lebensraumtypen eingestuft, in denen charakteristische Arten 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. In den Wäldern Baden-Württembergs wären demnach Auwälder, Moorwälder, Schlucht- und Hangmischwälder sowie natürliche Nadelwälder besonders gefährdet und es wird für die Zukunft ein Rückgang vermutet. Namentlich wassergebundene Biotoptypen wären vorrangig betroffen. MÜLLER-KROEHLING et al. (2007) stufen vorrangig Wald-Lebensraumtypen als empfindlich ein, die gegenüber Wassermangel, Hitzeperioden und Eutrophierung besonders disponiert sind. Als überdurchschnittlich gefährdet nennen sie wie bereits PETERMANN et al. Moorwälder, Bruch- und Sumpfwälder, montane Nadelwälder und Teile der Schlucht- und Blockwälder. Für die Weich- und Hartholzauenwälder sehen sie eine

spezielle Gefährdung durch eine „Neophyten-Invasionen“ wie z.B. durch den Eschen-Ahorn (*Acer negundo*).

Im Projekt KLIBB des Landes Baden-Württemberg wurde möglichen Auswirkungen eines Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Biotopen mit unterschiedlichem Grundwasserangebot mittels Felderhebungen und Anwendung von Modellen nachgegangen [KONOLD & WATTENDORF, 2010]. Die Ergebnisse zeigten, dass auf grundwasserbeeinflussten Standorte mit einem deutlichen Rückgang der Wasserstände gerechnet werden muss. Anhand der Entwicklung in einem Erlenbruch wurde insbesondere bei gestörtem Wasserzufluss ein drastischer Rückgang prognostiziert [KONOLD & WATTENDORF, 2010; WATTENDORF et al. 2010]. Es wird vermutet, dass in grundwasserbeeinflussten Biotopen das sommerliche Absinken der Wasserstände eine verstärkte Mineralisierung der organischen Substanz nach sich ziehen wird. Weitere Folgen wären Stoffverlagerungen, Eutrophierung, Verdrängen bisher typischer Arten für nährstoffarme Bedingungen durch vermehrt aufkommende Gehölze oder Nitrophyten, sowie ein Abbau des Torfkörpers. MÜLLER-KROHLING et al (2007) sehen daher im Verschließen von Entwässerungsgräben für Waldmoore eine wichtige Anpassungsmaßnahme. Weiterhin nennen sie für Waldbestände den Erhalt eines ausreichenden Vorrats an Totholz als kühl-feuchten Bodenlebensraum als wichtige Maßnahme im Wald.

Eine Modellierung zukünftiger Waldbiotopvorkommen auf Rasterbasis wird laut MICHIELS (2008) dadurch stark beeinträchtigt, als dass bei azonalen Waldgesellschaften lokale Mesoklimate nicht ausreichend berücksichtigt werden können, was bei Baumpopulationen am klimatischen Arealrand durchaus notwendig wäre (Bsp. Schluchtwaldeffekt in engen Tälern). MICHIELS (2008) führt hinsichtlich der Verwendung von Klimahüllen weiter aus: „Weil der Boden mit seinem Wasserhaushalt nicht einbezogen wird, fehlt auch die notwendige Betrachtung der örtlichen standortsökologischen Einnischung. So kann eine Baumart wie die Schwarzerle zwar in mediterranen Klimatypen vorkommen, bleibt dort aber strikt auf grundwassernahe Wälder beschränkt. Allein mit der Darstellung der Klimahülle fällt daher die standortsökologische Beschreibung sehr unvollständig aus.“

Bei den **seltenen Tierarten** werden negative Auswirkungen des Klimawandels in Baden-Württemberg vor allem für montane und subalpine Arten der winterkalten Schwarzwaldhochlagen erwartet. 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*) [vgl. BRAUNISCH et al., 2013]. Anhand umfangreicher Lebensräumanalysen entlang eines Höhengradienten vom Schwarzwald über den Jura, die Voralpen bis in die Inneren Alpen Graubündens wird ermittelt, ob und mit welchen forstlichen Förderungs-

massnahmen 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. 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, in press]. Das Ausmaß von Kompensationsmöglichkeiten wird derzeit evaluiert.

Forschungsbedarf gemäß Literatur

MEYER et al. (2011) merken an, dass im Bereich der Zoologie mit Bezug auf einen Klimawandel ein Kenntnisstand suggeriert wird, der so nicht bestünde. Besonders unvollständig sei der Wissenstand bei den Arthropoden. Um „ökologische Zusammenhänge besser zu verstehen, langsame Veränderungen zu erkennen und Gefährdungen von Arten und Lebensräumen rechtzeitig zu bemerken“ sieht PAMPUS (2005) eine dauerhafte Beobachtung möglichst vieler Habitattypen, Pflanzenarten und Tiergruppen als erforderlich an. Besondere Berücksichtigung bedürfen dabei bekanntermaßen empfindliche oder durch andere Einflüsse bereits vorgeschädigte Ökosysteme und Pflanzengesellschaften. PAMPUS (2005) hält vor allem Langzeituntersuchungen insbesondere für Säugetiere, Amphibien und Reptilien für notwendig. Nachweise eines Populationsrückgangs von Arten seien aufgrund der natürlichen Fluktuationshäufigkeit nur mit Langzeituntersuchungen möglich. In Nordrhein-Westfalen sollen hierfür bestehende Monitoring-Programme unter besonderer Berücksichtigung klimarelevanter Artengruppen und Lebensräume ausgeweitet werden [MUNLV NRW, 2007].

LITERATURQUELLEN

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.

KONOLD, W.; WATTENDORF, P. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs Projekt KLIBB. Abschluss Symposium zum Forschungsprogramm Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg S.32-36

MEYER, P.; SCHMIDT, M.; BLICK, T.; BRUNET, J.; DOROW, W. H. O.; HAKES, W.; HÄRDTLE, W.; HEINKEN, T.; HERTEL, D.; KNAPP, H. D.; LEUSCHNER, CH., VON OHEIMB, G., OTTE, V.; SCHMIDT, W. (2011): Stellungnahme zu Walentowski H. et al. 2010. Sind die deutschen Waldnaturschutzkonzepte adäquat für die Erhaltung der buchenwaldtypischen Flora und Fauna? Eine kritische Bewertung basierend auf der Herkunft der Waldarten des mitteleuropäischen Tief- und Hügellandes. *Forstarchiv* 81, 195-217. - *Forstarchiv* 82; S.62-66.

MICHIELS, H.-G. (2008): *Dynamisierte Einstufung der Baumarteneignung als Grundlage für die waldbauliche Planung*. FVA einblick+ . 01/08; S.44-49.

MUNLV NRW (2007): *Klimawandel in Nordrhein-Westfalen -Wege zu einer Anpassungsstrategie*. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 36 S.

PAMPUS, M. (2005): *Einschätzungen zu möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen*; INKLIM-Abschlussbericht; 151 S.

MÜLLER-KROEHLING, S.; WALENTOWSKI, H.; BUßLER, H. (2007): *Waldnaturschutz im Klimawandel*. LWF aktuell 60/2007; S.30-31

NORMAND, S., SVENNING, J.C.; SKOV, F.. (2007): *National and European perspectives on climate change sensitivity of the habitats directive characteristic plant species*. *Journal for Nature Conservation* 15; S.41-53.

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.

WATTENDORF, P.; NIEDERBERGER, J.; EHRMANN, O.; KONOLD, W. (2010): *Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren in Baden-Württemberg*. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 54 (5); S.293-303