

Klimaszenarien für Rheinland-Pfalz

Das Umweltbundesamt in Dessau hat Anfang des Jahres 2007 neue Ergebnisse zu möglichen regionalen Klimaänderungen veröffentlicht, die mit Hilfe des statistischen Regionalisierungsmodells WETTREG gewonnen wurden. Dargestellt werden Klimaprojektionen für den Zeitraum 2071 bis 2100 im Vergleich zu den Jahren 1961 bis 1990 bei unterschiedlichen Emissionsszenarien. Das Szenario A1B („höheres Emissionsszenario“) geht von einem starken Wirtschaftswachstum und einem Anstieg der CO₂-Emissionen bis Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einem nur leichten Rückgang bis 2100 aus. Das „niedrigere Emissionsszenario“ (B1) berücksichtigt eine Einführung von emissionsarmen Techniken und eine deutliche Abnahme der CO₂-Emissionen ab Mitte des 21. Jahrhunderts.

Über ganz Deutschland gemittelt zeigt das niedrigere Emissionsszenario für 2071 bis 2100 eine Temperaturzunahme von 1,8 K, das höhere Emissionsszenario eine Zunahme von 2,3 K. Die Niederschläge könnten im Sommer beim niedrigeren Emissionsszenario um etwa 18 %, beim höheren Emissionsszenario um 22 % abnehmen. Die Winterniederschläge nehmen dem gegen-

über beim niedrigeren Emissionsszenario um 19 %, beim höheren Emissionsszenario um 30 % zu.

Veränderungen des Niederschlages in Rheinland-Pfalz

Der größte Teil des rheinland-pfälzischen Waldes stockt im Naturraum „Links- und Rechtsrheinische Mittelgebirge“. Für diesen Naturraum werden besonders auffällige Änderungen im Niederschlagsverhalten projiziert. Für den Hunsrück wurde eine besonders hohe Zunahme der mittleren winterlichen Niederschläge bis Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 80 % beim höheren Emissionsszenario berechnet. Das ist der höchste Wert in ganz Deutschland. Auch in anderen Teilen der Linksrheinischen Gebirge resultieren verbreitet Zunahmen der Winterniederschläge um mehr als 50 %. Demgegenüber liegt die projizierte Zunahme im Taunus und im Westerwald bei den winterlichen Niederschlägen „nur“ bei 20 bis 30 %. Die sommerlichen Niederschläge nehmen in den rheinland-pfälzischen Mittelgebirgen nach diesen Berechnungen mit etwa 15 % im Vergleich zum Mittel über Deutschland unterdurchschnittlich ab. Insgesamt resultieren für die Linksrheinischen Mittelgebirge ein Anstieg des Jahresniederschlags und damit eine Verschiebung zu einem insgesamt feuchteren Klima. Im rechtsrheinischen Bereich zeigt

sich keine merkliche Veränderung der Jahressummen des Niederschlages.

Veränderungen der Temperatur in Rheinland-Pfalz

Die für unsere Mittelgebirgslagen projizierten Temperaturerhöhungen liegen im Vergleich zu anderen Regionen in einem mittleren Rahmen. Der vergleichsweise höchste Temperaturanstieg wurde für die Eifel berechnet.

Die steigenden Temperaturen führen zu einer merklichen Abnahme der Frosttage (Tagesminimum der Lufttemperatur < 0°C) und einer sehr deutlichen Verringerung der Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur < 0°C). Den Simulationen zu Folge wird die Zahl der Sommertage (Tagesmaximum der Lufttemperatur > 25°C) in unseren Mittelgebirgen mäßig zunehmen, die der heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur > 30°C) im Vergleich zu anderen Regionen sogar überdurchschnittlich stark ansteigen.

Teile des rheinland-pfälzischen Waldes wie der Bienwald und der Lennebergwald liegen im Naturraum „Oberrheingraben“. Für diesen Raum wird eine im Vergleich zum Deutschlandmittel geringere (Szenario B1) bis durchschnittliche (Szenario A1B) Temperaturerhöhung bis zum

Ende des 21. Jahrhunderts berechnet. Die Niederschlagsänderungen liegen im Vergleich zum Deutschlandmittel bei durchschnittlichen -20 % im Sommer und leicht unterdurchschnittlichen +40 % (Szenario A1B) bis durchschnittlichen +20 % (Szenario B1) im Winter.

Verändern werden sich nicht nur die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagssummen, sondern auch die Häufigkeit von extremen Ereignissen. **So muss aller Voraussicht nach auch für unsere Region mit einer Zunahme von Wetterextremen wie Stürme, Starkregenereignisse oder auch länger anhaltende Trockenperioden im Sommer gerechnet werden.** Allerdings sind Prognosen zur Niederschlagsverteilung und zur Häufigkeit von Extremereignissen weit aus unsicherer als Prognosen zur Temperaturentwicklung.

Klimawandel – mögliche Auswirkungen auf den Wald in Rheinland-Pfalz

Das Klima ist ein entscheidender Faktor für das Gedeihen des Waldes. Die klimatischen Bedingungen bestimmen maßgeblich, welche Waldgesellschaft von Natur aus in welcher Region dominiert. Im kühlen Klima Nordeuropas sind es boreale Nadelwälder, im gemäßigten Klima Mitteleuropas Buchenwälder und im Mittelmeerklima Eichenwälder. Allerdings bestimmen nicht nur die

Jahresmitteltemperatur und die Jahresniederschlagssumme, welche Baumart wo gut gedeiht. Hier wirken sich viele Standortfaktoren aus, wie Winterfröste, Sommertrockenheit und auch Bodeneigenschaften, wie etwa die Nährstoffverfügbarkeit, die Durchwurzelbarkeit und die Wasserspei-

cherfähigkeit. Einen entscheidenden Einfluss haben auch die Wechselbeziehungen zwischen den Bäumen und ihren natürlichen Gegenspielern wie Insekten oder Pilzen, die wiederum ihrerseits erheblich von den Standortbedingungen beeinflusst werden.



Dürreschäden im Trockensommer 2003 (oben; Foto: F. Engels) und Sturm- schäden durch Kyrill im Winter 2007(unten; Foto: O. Böhmer). Aller Voraussicht nach wird die Häufigkeit extremer Witterungsereignisse zunehmen. Die Waldbewirtschaftung muss sich daher auf steigende Risiken einstellen.





*Hitze und Trockenstress können die Bäume anfällig machen für einen Befall durch „Sekundärparasiten“ wie den Buchenprachtkäfer *Agrilus viridis* (oben; Foto: H. Delb) oder den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer *Agrilus biguttatus* (unten; Foto: H.W. Schröck). Zudem entwickeln sich diese Insekten in warmen Jahren schneller und treten dann in höherer Populationsdichte auf. Die Larven dieser Käfer fressen im inneren Bast und zerstören dabei auch das Kambium. Bei stärkerem Befall sterben die Bäume ab.*



Wälder können sich von Natur aus an veränderte Standortbedingungen anpassen. Das zeigen schon die „Wanderungsbewegungen“ der verschiedenen Baumarten nach der letzten Eiszeit. Allerdings verläuft diese Anpassung nur sehr langsam. Die aktuell berechneten Veränderungen der Klimabedingungen erfolgen in weitaus kürzeren Zeiträumen als die Erwärmung nach der letzten Eiszeit. Zudem ist die Anpassung durch die Zersplitterung und Isolierung der Waldareale durch waldfreie, landwirtschaftlich genutzte oder besiedelte Gebiete beeinträchtigt. Ohne Anpassungsmaßnahmen der Forstwirtschaft würden bei den erwarteten Klimaveränderungen ein beträchtlicher Teil unserer Wälder instabil werden und die gesellschaftlichen Bedürfnisse wie die Bereitstellung des Ökorohstoffs Holz, aber auch die vielfältigen Schutz- und Erholungsfunktionen nicht mehr zuverlässig erfüllen.

Wir müssen davon ausgehen, dass die Gefährdung unseres Waldes durch Sturm, Starkregen, Hagel oder ausgeprägte Dürren und in deren Folge auch durch Feuer sowie Insektenkalamitäten und Pilzkrankheiten zunehmen kann.

Bei einer Klimaerwärmung ist mit wesentlichen Veränderungen im Wirt – Parasit- Verhältnis der einheimischen Arten zu rechnen. Darüber hinaus werden sich neue, einwandernde oder eingeschlepp-

te Schädlinge und Krankheiten leichter etablieren können. Insekten und Pathogene werden zum einen aufgrund der klimatischen Veränderungen häufig günstigere Entwicklungs- und Überlebensbedingungen vorfinden und zum anderen sind die Abwehrmechanismen der Bäume bei Temperaturanstieg und zunehmender Sommertrockenheit geschwächt.

Steigen werden auch die Risiken von Hochwasser, Sturzfluten, Erosion und sommerlichem Wassermangel. Auch können sich die Standortsbedingungen so verschieben, dass wertvolle Waldlebensraumtypen und Biotope beeinträchtigt werden oder sogar verloren gehen.

Stärker noch als bereits in der Vergangenheit muss die Waldbewirtschaftung diese zunehmenden Risiken berücksichtigen und neue Strategien zu deren Minimierung entwickeln.

Maßnahmen zur Anpassung des Waldes an Klimaänderungen

Seit Generationen berücksichtigen Waldbewirtschaftler die Standortsbedingungen und richten ihre Maßnahmen an einer Reduzierung standörtlicher Risiken aus. Dennoch ist der Klimawandel eine große Herausforderung für die Waldbewirtschaftung. So ist bei allen aktuellen und künftigen waldbaulichen Entscheidungen zu berücksichtigen, dass sich

die Standortsbedingungen der Bäume innerhalb eines einzigen Lebenszyklus beträchtlich ändern können. Eine Orientierung der Waldbewirtschaftung am Kriterium „Naturnähe“ wird zunehmend

schwieriger. Auch bislang stabile naturnahe Ökosysteme werden sich verändern, wobei diese Veränderungen nur unzureichend vorhersehbar sind. Daher ist der künftige natürliche Referenzzu-



Zur Anpassung unseres Waldes an die künftigen Klimabedingungen steht uns ein großes Spektrum heimischer Baumarten zur Verfügung. Der **Speierling** (*Sorbus domestica*) ist mit *Elsbeere* (*S. torminalis*), *Mehlbeere* (*S. aria*) und *Vogelbeere* (*S. aucuparia*) eine unserer vier heimischen Sorbusarten. Im Jahr 1993 zum Baum des Jahres ausgerufen, setzten für diese zum damaligen Zeitpunkt sogar in ihrem Bestand bedrohte Baumart intensive Erhaltungsmaßnahmen ein. Allein die Klänge Elmstein hat im Zeitraum 1998/99 rd. 150.000 Speierlingssämlinge angezogen und an Baumschulen und Waldbesitzer abgegeben. Damit wurde dieser Baumart, die für ihr wertvolles Holz und auch für den aus den Früchten bereiteten aromatischen Speierlingsbrand hoch geschätzt wird, wieder eine gesicherte Zukunft gegeben. Foto: B. Haase

stand kaum mehr bestimmbar und auch nicht mehr aussagekräftig.

Waldbauliche Maßnahmen wirken meist sehr langfristig und müssen daher künftige Entwicklungen der Umwelt einbeziehen. Da aber Prognosen über die Veränderungen mit einem großen „Streurahmen“ versehen sind und auch unser Wissen über die Reaktion der Waldlebensgemeinschaften auf die projizierten raschen Veränderungen noch lückenhaft

ist, erfolgen alle waldbaulichen Entscheidungen unter gewissen Unsicherheiten. Dennoch bleibt keine Zeit, zu warten, bis die Prognosen sicherer und die Kenntnisse weiter vorangeschritten sind, denn eine Anpassung des Waldes an das Klima von morgen kann nur sehr behutsam und allmählich erfolgen.

Auch wenn die erwarteten Klimaveränderungen ein erhebliches Risikopotenzial für das Gedeihen

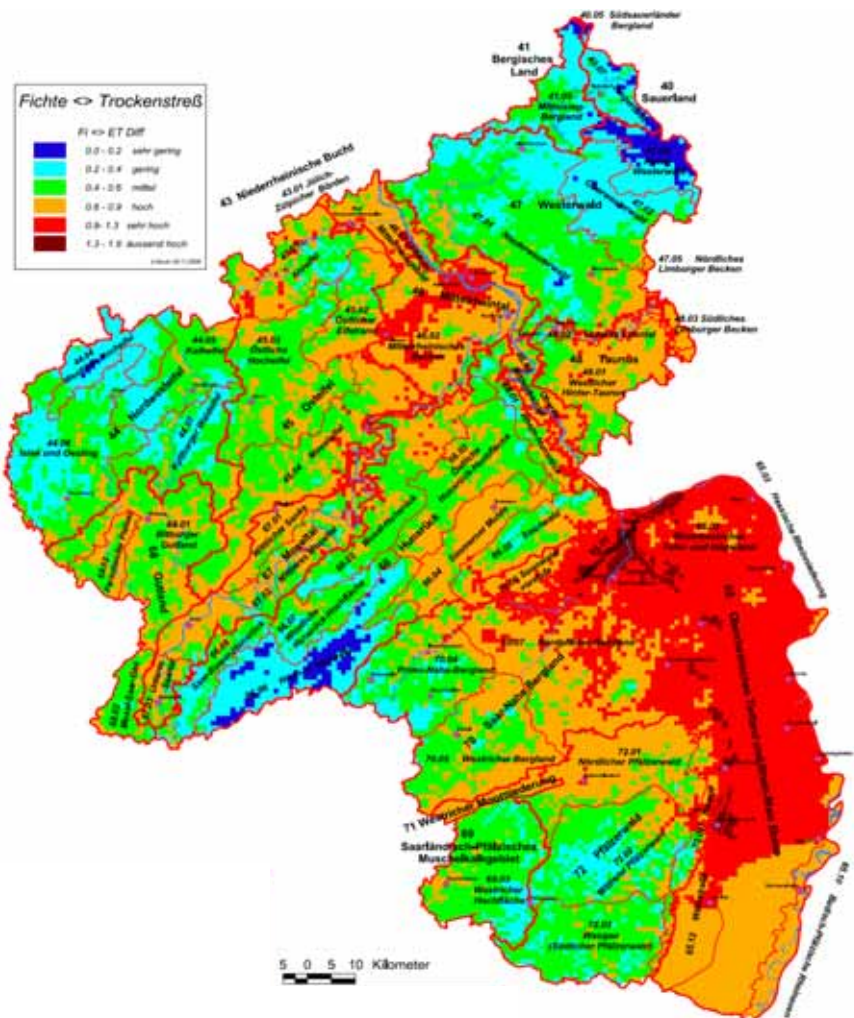
unserer Wälder darstellen, so ist Panik nicht angebracht. Überhastete Maßnahmen bergen zudem große Gefahren.

Über die Bewirtschaftung unserer Wälder können wir deren Aufbau und Struktur gezielt in Richtung auf eine bessere Anpassung an die künftigen klimatischen Bedingungen beeinflussen. Zumindest so lange die Klimaveränderungen den bislang berechneten Rahmen nicht wesentlich überschreiten, sollte es möglich sein, mit geeigneten Maßnahmen die Risiken für den Wald in Rheinland-Pfalz zu begrenzen und auch weiterhin stabile und ertragreiche Wälder zu erhalten.

Nachfolgend werden die wesentlichsten, auf dem gegenwärtigen Kenntnisstand beruhenden Handlungslinien zur Anpassung des rheinland-pfälzischen Waldes und seiner Bewirtschaftung an die projizierten Klimabedingungen skizziert.

Baumartenwahl und Bestandesstruktur

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



Einschätzung der Trockenstressgefährdung der Fichte unter den heutigen Klimabedingungen. Als Indikator wurde das Verhältnis der aktuellen zur potentiellen Evapotranspiration verwendet (Berechnungen von J. Gauer nach einer von Kölling 2006 beschriebenen Methode). In den gelben, roten und braunen Bereichen ist die Fichte bereits gegenwärtig trockenstressgefährdet und muss vorrangig durch andere Baumarten ersetzt werden.

gleichsweisse kleine ökologische Nischen.

Diese Vielfalt bietet große Chancen. So können an künftige Klimabedingungen besser angepasste Baumarten gezielt gefördert und weniger angepasste zurückgedrängt werden. Beispielsweise stockt ein nennenswerter Teil der Fichte bereits bei den gegenwärtigen Klimabedingungen in Rheinland-Pfalz auf trockenstressgefährdeten Standorten. Bei einem zunehmend sommertrockenen Klima wird dieser Anteil steigen. Auf solchen Standorten sollte die Fichte behutsam durch trockenstresstolerantere Baumarten wie Douglasie, Buche, Eiche und auf einigen Standorten auch die Weißtanne ersetzt werden. In den kühleren und regenreicheren höheren Lagen des rheinischen Schiefergebirges ist dagegen eine generelle Abkehr von der Fichte als Wirtschaftsbaumart nicht erforderlich.

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

Grundsätzlich sind die Bedingungen für eine Anpassung der Wälder an den Klimawandel in



Der forstlichen Standortkartierung kommt bei der Anpassung des Waldes an die künftigen Klimaverhältnisse eine Schlüsselrolle zu. Nur wenn die bodenphysikalischen und -chemischen Standortseigenschaften bekannt sind, kann die künftige Wasserverfügbarkeit und damit auch die Anbaufähigkeit der verschie-

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

Bei der Baumartenwahl müssen

grundsätzlich die jeweils herrschenden standörtlichen Verhältnisse wie Exposition, Bodenwasserhaushalt oder Nährstoffverfügbarkeit beachtet werden. Eine noch größere Bedeutung als bisher erlangt in diesem Zusammenhang die forstliche Standortkartierung, da die Einhaltung der standörtlichen Vorgaben noch wichtiger als bislang wird. Die Standortskarten werden künftig zeitdynamisch im Hinblick auf klimabedingte Standortveränderungen zu erweitern sein und besondere Risikoareale ausweisen.

Wo ein Baumartenwechsel notwendig erscheint, sollte dieser sehr behutsam erfolgen, beispielsweise durch den Voranbau der erwünschten Baumarten unter die vorhandenen Bestände. Ein über-

hasteter Baumartenwechsel zum Beispiel durch kompletten Abtrieb und Neupflanzung kann zu beträchtlichen wirtschaftlichen Einbußen führen und mit gravierenden ökologischen Nachteilen z.B. durch Standortsverschlechterungen und Nährstoffverluste während der Kahllage verbunden sein.

Seit Generationen eingebürgerte und bewährte Baumarten mit breiter Standortsamplitude wie die Douglasie oder mit besonderer Trockenstresstoleranz wie die Edelkastanie können vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung und einer zunehmenden Sommertrockenheit an Bedeutung gewinnen. Allerdings gibt es auch bei diesen Baumarten Risiken, die es zu berücksichtigen gilt. Ein Ersatz der heimischen oder eingebürgerten Baumarten durch Baumarten aus wärmeren Klimaten ist weder notwendig noch auf größerer Fläche verantwortbar. Zu bedenken ist, dass auch in den nächsten Jahrzehnten noch sehr kalte Winter und kühlfeuchte Sommer auftreten können. Auch lassen sich die Risiken des Anbaus neuer Baumarten erst nach sehr langwierigen Anbauversuchen zuverlässig abschätzen.

Eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung der Risiken durch den Klimawandel ist die gezielte Erhöhung des Anteils von Mischbeständen. Daher wird der Umbau von Nadelholzreinbeständen

in stabile Mischbestände konsequent fortgesetzt, wobei auf einen hohen Anteil von Baumarten mit weiter ökologischer Amplitude zu achten ist und auch Wärme liebende Baumarten verstärkt berücksichtigt werden sollen. Auch in reinen Laubholzbeständen wird eine Mischung unterschiedlicher Baumarten angestrebt. Zur Risikominimierung trägt ebenso eine intensive Waldpflege durch konsequente Förderung der Kronen- (und Wurzel-) Entwicklung vitaler Einzelbäume sowie eine Erhöhung der vertikalen Strukturvielfalt durch Aufbau mehrschichtiger und möglichst altersgemischter Waldbestände bei.

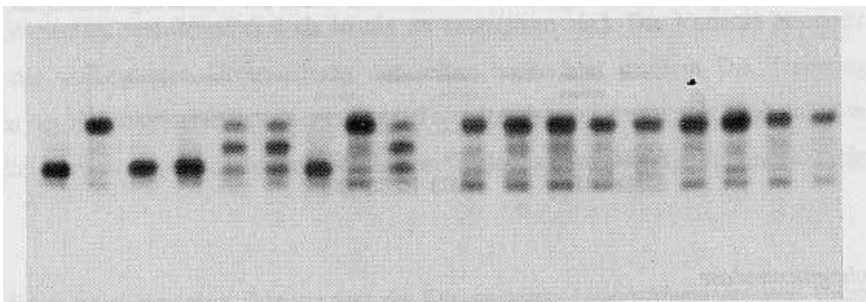
Förderung der genetischen Vielfalt

Nicht nur der Baumartenvielfalt, sondern auch der genetischen Vielfalt innerhalb der einzelnen Arten kommt eine Schlüsselrolle bei der Anpassung des Waldes an künftige Klimaverhältnisse zu.

Entscheidend sind die genetische Diversität und die Angepasstheit der Populationen an die aktuell und künftig herrschenden Klimabedingungen. Eine breite genetische Basis mit einer ausreichenden Zahl von Merkmalen und Merkmalskombinationen befähigt die Arten, sich an Veränderungen der Umweltbedingungen anpassen zu können.

Autochthonie („autochthon“ sind Waldbestände, die aus ununterbrochener natürlicher Verjüngung vor Ort entstanden sind) ist keine Überlebensgarantie bei sich ändernden Klimabedingungen. So verfügen autochthone Baumpopulationen auf extremen Standorten oder an den Verbreitungsgrenzen häufig über eine nur geringe genetische Varianz und dementsprechend eine geringe genetische Anpassungsfähigkeit.

Baumarten, die von Natur aus in sehr unterschiedlichen Klimaten vorkommen, wie Buche oder



Die *Douglasie* (*Pseudotsuga menziesii*) wurde erstmals 1880 in Rheinland Pfalz angebaut und ist inzwischen unsere wichtigste eingebürgerte Baumart. In ihrem großen nordamerikanischen Herkunftsgebiet gedeiht sie auf klimatisch sehr unterschiedlichen Standorten und verfügt daher über eine sehr große genetische Amplitude. Die Rassen lassen sich über Isoenzymanalysen unterscheiden. Die Abbildung zeigt als Beispiel einen solchen „genetischen Fingerabdruck“ für das Enzymsystem 6-PGDH für Bäume der Inlandsrasse (9 Bandenmuster links) und der Küstenrasse (9 Bandenmuster rechts) (aus Leinemann 1998).

Douglasie, haben sich durch Evolution, also durch eine allmähliche Änderung der genetischen Zusammensetzung der Population, an die jeweils herrschenden Umweltbedingungen angepasst. So zeigen die verschiedenen europäischen Buchenherkünfte große Unterschiede in der Trockenstresstoleranz. Die genetische Differenzierung dieser Baumarten in Hinblick auf ihre Umweltsprüche wird künftig verstärkt zu nutzen sein.

Andere Baumarten, wie insbesondere die Wildobst- und einige Sorbusarten sind durch Jahrtausende lange menschliche Wirtschaft auf Restvorkommen zurückgedrängt worden. Sie sind häufig nur mehr als Einzelexemplare oder in kleinen Gruppen anzutreffen und haben nicht die Möglichkeit, sich untereinander zu bestäuben. Daher können Inzuchtmerkmale wie schlechte Keimfähigkeit oder Wuchsdepressionen auftreten. Da diese Baumarten nicht nur sehr wertvolles Holz liefern, sondern auch wärmetolerant sind, werden sie künftig eine größere Rolle im Waldbau spielen. Allerdings muss gewährleistet sein, dass das Saat- und Pflanzgut eine hohe genetische Diversität aufweist. Daher wurden in Rheinland-Pfalz Samengärten dieser Baumarten angelegt. In den Samengärten wird eine große Anzahl individueller Genotypen zu Fortpflanzungseinheiten zusammengeführt.



Keine Obstplantage, sondern ein Wildbirnen-Samengarten. Hier werden bislang isolierte Restvorkommen dieser wärme-liebenden Baumart zusammengeführt. Durch die gegenseitige Bestäubung wird Saatgut mit hoher genetischer Diversität erzeugt.

Foto: B. Haase

Deren Nachkommenschaften sind mit höherer genetischer Vielfalt und dementsprechend besserer Anpassungsfähigkeit ausgestattet. Bis heute wurden für 22 seltene Baumarten Samengärten im Land Rheinland-Pfalz angelegt, darunter alle bei uns vorkommenden Wärme liebenden Baumarten wie Sommerlinde, Speierling, Elsbeere, Vogelkirsche, Wildapfel, Wildbirne, Spitzahorn und Robinie. In diesem Programm zur Erhöhung der genetischen Vielfalt bei bislang seltenen Baumarten arbeiten die rheinland-pfälzischen Landesforsten eng mit unserem Nachbarland Luxemburg zusammen.

Aber auch die größte genetische Vielfalt in den Populationen einer Baumart hat dort ihre Grenzen, wo die Wasserversorgung und andere Standortfaktoren für das Gedeihen der jeweiligen Baum-

populationen nicht mehr zuträglich sind. Hier ist es die Aufgabe von Herkunftsversuchen, Ökotypen einer Baumart oder andere Baumarten zu finden, die mit den Standortverhältnissen am besten zurechtkommen. Herkunftsversuche müssen langfristig beobachtet werden, um die Reaktionsfähigkeit der einzelnen Herkünfte auf Umweltänderungen dokumentieren zu können. Unter dem Aspekt des Klimawandels werden künftig neben Wuchsmerkmalen vermehrt pflanzenphysiologische Merkmale (Trockenstresstoleranz, Abwehrmechanismen gegen biotische und abiotische Schäden) zu untersuchen sein.

Das genetische Potenzial der Niederwälder wird in diesem Zusammenhang ein wichtiges und womöglich sehr wertvolles Naturinventar sein. Bäume die teilweise seit Jahrhunderten in z.B. warmen

Weinbaulagen in den großen Flusstälern überdauert haben, sind bestens angepasst und tragen mit hoher Wahrscheinlichkeit Erbinformationen in sich, die gesichert werden müssen.

Eine Züchtung von besonders trockenheitsresistenten Bäumen kommt nicht in Betracht, da die Züchtung mit einer Einengung der genetischen Diversität verbunden ist. Zudem wird die Fokussierung auf nur einen Standortsfaktor (Wasserversorgung) den komplexen und sich im Laufe eines Baumlebens kaum vorhersehbar ändernden Umwelteinflüssen nicht gerecht.

Wo geeignete Baumarten und auch für künftige Klimaverhältnisse geeignete Herkünfte vorkommen, ist die natürliche Verjüngung ein geeignetes Mittel, die genetische Angepasstheit zu erhalten und gegebenenfalls zu erhöhen. Die Verjüngungszeiträume sollten hierzu möglichst lang sein. Mit der Entnahme hiebsreifer Bäume sollte erst begonnen werden, wenn sie sich verjüngt haben. Eine Ansammlung von nur wenigen Überhältern muss vermieden werden. Nach Möglichkeit sollten Bäume unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher sozialer Stellung zur Verjüngung beitragen.

Wo künstlich durch Pflanzung oder Saat verjüngt werden muss, sollten für den Anbauort geeignete Herkünfte gewählt werden. Zur

Beratung können sich die Waldbesitzenden an die örtlichen Forstämter und die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Abteilung Genressourcen und Forstpflanzenerzeugung wenden. Aus genetischer Sicht ist die Saat einer Pflanzung vorzuziehen, da dann weitaus mehr Pflanzen für die natürliche Selektion vorhanden sind. Dabei sollte nach Möglichkeit Saatgut verwendet wer-

den, das aus einer Vollmast gewonnen wurde, da hierbei nahezu alle Bäume des Bestandes fruktifizieren.

Luftreinhaltung, Waldschutz und Waldhygiene

Auch bei einem raschen Gegensteuern wird eine Verstärkung klimabedingter Stresseinflüsse auf den Wald nicht mehr vermeidbar sein. Umso mehr gilt es, andere Stresseinflüsse nach Mög-



*Probennahmen an Waldkiefer zur Kontrolle auf Befall durch Kiefernholz-nematoden (*Bursaphelenchus xylophilus*). Noch wurde dieser Schädling in Deutschland nicht festgestellt. Er stammt ursprünglich aus Nordamerika und wurde Anfang des 20. Jahrhunderts in Japan eingeschleppt, wo er immense Schäden verursacht. 1999 wurden Kiefernholz-nematoden auch in Portugal nachgewiesen. Dort hat er inzwischen mehr als eine halbe Million Hektar Kiefernwälder befallen. Noch sind unsere Klimabedingungen für diese Nematode-*art nicht optimal. Aber bei einer Erhöhung der Sommertemperaturen ist im Falle einer Einschleppung nach Deutschland von sehr erheblichen Schäden für die Wald- und Holzwirtschaft auszugehen.**

Foto: H. Delb

lichkeit zu reduzieren. Daher müssen die Anstrengungen zur Verminderung der Emission von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen konsequent fortgesetzt werden. Zur Stabilisierung versauerungsgefährdeter Waldökosysteme hat sich die Waldkalkung bewährt. Sie wird daher im erforderlichen Umfang fortgeführt. Zur Erhaltung der Widerstandskraft der Bäume ist eine ausreichende und ausgewogene Nährstoffversorgung wichtig. Dieses Ziel kann über eine Aktivierung der ökosystemaren Nährstoffkreisläufe durch Maßnahmen des naturnahen Waldbaus in Kombination mit Kalkung und gegebenenfalls einen Waldumbau in Richtung auf laubbaumreiche Mischbestände erreicht werden. Bei allen Holz- und Biomassenutzungen ist die Nachhaltigkeit des Nährstoffhaushaltes unbedingt zu beachten.

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

Aller Voraussicht nach werden bei einer Klimaerwärmung die Risiken durch Schadorganismen und Krankheiten steigen. Um Gefahren für den Wald rechtzeitig

erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können, ist eine Intensivierung der Überwachung der Waldbestände auf das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten erforderlich. Besonderes Augenmerk wird hierbei nicht nur

auf die bereits heute relevanten Schadorganismen zu richten sein, wie die Fichtenborkenkäfer, sondern auch auf bislang noch wenig beachtete Gegenspieler unserer Bäume, wie zum Beispiel rinden- und holzbrütende Laubholzbor-



*Der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) wird als wärme-liebender Schmetterling von der Klimaerwärmung profitieren. Bereits in den letzten Jahren ist ein deutlicher Populationsanstieg zu verzeichnen. Im Jahr 2007 wurden von den Forstämtern nahezu hundert Vorkommen im Land mit einem Schwerpunkt in den Pfälzer Rheinauen und im Bienwald erfasst. Ältere Raupen verfügen über spezielle Brennhaare mit dem Nesselgift Thaumetopein, das Haut- und Augenreizungen bis hin zu schweren Allergien auslösen kann. Daher ist es besonders besorgniserregend, dass viele Vorkommen an von der Bevölkerung frequentierten Stellen wie Sportplätzen, Campingplätzen, Badeseen, Trimpfadern und sogar in der Nähe von Schulen festgestellt wurden.*

Kleines Foto: E. Eisenbarth
Großes Foto: H. Veit



Flächiger Sturmwurf in einem Fichtenreinbestand im Hunsrück durch den Orkan Kyrill. Da die Häufigkeit der Sturmereignisse vorrausichtlich zunimmt, ist eine Risikostreuung durch Aufbau von Mischbeständen und die Förderung der Einzelbaumstabilität durch gezielte Pflegeeingriffe von immer größerer Bedeutung.
Foto: St. Ehrhardt

kenkäfer, Prachtkäfer, Bockkäfer und verschiedene blatt- und nadel-fressende Schmetterlingsarten. Auch Pilzkrankheiten, wie zum Beispiel durch Hallimasch an Wurzeln sowie Rinden- und Blattpilze werden eine immer bedeutendere Rolle spielen. In Zukunft wird auch die Überwachung des Auftretens von eingeschleppten invasiven Arten und, wo möglich, die Verhinderung der Ausbreitung dieser Arten eine wesentliche Aufgabe darstellen. Beispiele hierfür sind der Kiefernholz-nematode oder der Asiatische Laubholzbockkäfer und der in Rheinland-Pfalz bereits vorkommende Esskastanienrindenkrebs.

Alle Maßnahmen gegen diese Schadorganismen werden an den Prinzipien des integrierten Pflan-

zenschutzes ausgerichtet. Dabei stehen Maßnahmen zur Stärkung der Widerstandskraft der Einzelbäume und zur Minimierung der Risiken großflächiger, gravierender Schäden durch die im Abschnitt Baumartwahl und Bestandesstruktur bereits beschriebenen waldbaulichen Maßnahmen im Vordergrund. Zur Begrenzung von Massenvermehrungen der Schadinsekten sind die bewährten Maßnahmen einer konsequenten Waldhygiene wie der rechtzeitige Aushieb befallener Bäume und deren Abfuhr aus dem Wald zu ergreifen. Als ultima ratio ist auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht ausgeschlos-

Zunehmen wird auch die Gefährdung des Waldes durch Wald-

brände und Stürme. Die Waldbrandgefährdung kann durch geeignete waldbauliche Maßnahmen, beispielsweise durch Unterbau von Nadelbaumbeständen mit Laubbäumen, und durch geeignete Erschließungsmaßnahmen eingedämmt werden. Zur Reduzierung der Sturmgefährdung helfen alle Maßnahmen zur Erziehung von stabilen Einzelbäumen mit angemessenem Verhältnis von Baumhöhe zu Durchmesser und eine Risikostreuung durch den Aufbau von Mischbeständen.

Vorbeugender Hochwasserschutz und Bodenwasserspeicherung

Die im Zuge des Klimawandels projizierte, überdurchschnittliche Erhöhung der winterlichen Niederschläge in unseren rheinland-pfälzischen Mittelgebirgen birgt die Gefahr häufigerer und stärkerer Hochwasserereignisse. Da der Wald die flächenmäßig bedeutendste Bodennutzungsform in Rheinland-Pfalz ist, muss und kann der Wald zum vorbeugenden Hochwasserschutz beitragen. Generell wirkt eine Waldbedeckung ausgleichend auf den Wasserabfluss aus der Landschaft. Über die Art der Waldbewirtschaftung kann die Hochwasserentstehung beeinflusst werden.

In einem interdisziplinären, EU-geförderten Projekt (Water Retention by Land-Use – WaReLa) hat die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft des Landes Rheinland-

Pfalz gemeinsam mit Partnern aus Rheinland-Pfalz, Baden Württemberg und den europäischen Nachbarländern Waldbewirtschaftungsstrategien entwickelt und in Testgebieten beispielhaft umgesetzt. Diese dienen dem Wasserrückhalt und tragen damit zum vorbeugenden Hochwasserschutz bei. Wesentliche Bausteine dieser unter dem Aspekt Klimawandel immer bedeutsam werdenden Strategien sind:

- Naturnaher Waldbau und die kontinuierliche Erhaltung einer Vegetationsbedeckung
- Aufforstungen zur Abflusshemmung in ausgedehnten landwirtschaftlichen Arealen
- Förderung und Erhaltung der Bodenporenstruktur durch Schutzkalkung versauerter Wälder und durch Förderung von ökologisch stabilen Mischwäldern
- Bodenschonende Holzernte- und Bringungstechnologien
- Beschränkung der Waldwegedichte auf den notwendigen Umfang
- Wasserableitung von Waldwegen und Versickerung in benachbarten Waldflächen
- Vermeidung von Linienstrukturen, Schließen von Entwässerungsgräben
- Schaffung und Erhaltung von naturnahen Wasserrückhalteräumen im Wald
- Renaturierung der Waldbäche, der Uferbereiche und Bachauen sowie von Feuchtgebieten, Bruchflächen und Mooren.



Querverbau an einem Drainagegraben in einem Fichtenbestand im Testgebiet Holzbach des EU-WARELA-Projekts. Diese Maßnahme dient dem Wasserrückhalt und trägt zur Verminderung der Entstehung von Hochwasser bei.

Foto: H.-J. Mack

Diese Maßnahmen erhalten oder verbessern auch die zur Gewährleistung der Wasserversorgung der Waldbäume in sommerlichen Trockenperioden wichtige Wasserspeicherung im Boden.

Zudem reduzieren sie auch die Gefahr der Entstehung von Sturzfluten bei den künftig voraussichtlich häufigeren Starkregeneignissen.

Auch wenn die Effizienz der einzelnen, dezentralen Maßnahme im Wald nur begrenzt ist, summiert sich bei dem hohen Waldanteil in Rheinland-Pfalz die Wirkung einer Vielzahl von Einzelmaßnahmen zu einem deutlich spürbaren Rückhaltevolumen. Sie tragen so im Verbund mit ingenieurtechnischen Maßnahmen substantiell zum gerade unter dem Vorzeichen des Klimawandels

noch bedeutungsvoller werdendem Hochwasserschutz und dem Schutz vor Sturzfluten bei.

Forschung und Monitoring

Waldforschung hat in Deutschland eine längere Tradition als in jedem anderen Land der Erde. Die Standortansprüche der einzelnen Baumarten, ihr Wachstum bei verschiedenen Umweltbedingungen und ihre Reaktionen auf besondere Stresseinflüsse spielten dabei stets eine große Rolle. Daher können wir bei der Ableitung von Maßnahmen zur Eindämmung der Gefährdung des Waldes und seiner vielfältigen Funktionen durch den Klimawandel auf einer breiten Wissensbasis aufbauen.

Allerdings weist unser Wissensstand durchaus noch erhebliche Lücken auf. So fokussierte die



Wie verändert sich der Wasserhaushalt der Waldökosysteme und in welchem Ausmaß entsteht Trockenstress? Diesen Fragen wird wie hier an der Umweltkontrollstation Merzalben im Pfälzerwald mit automatisch registrierenden Feldmesssystemen nachgegangen, die mit Tensiometern, TDR-Sonden, Dendrometern und verschiedenen meteorologischen Messfühlern bestückt sind.

Foto: J. Block

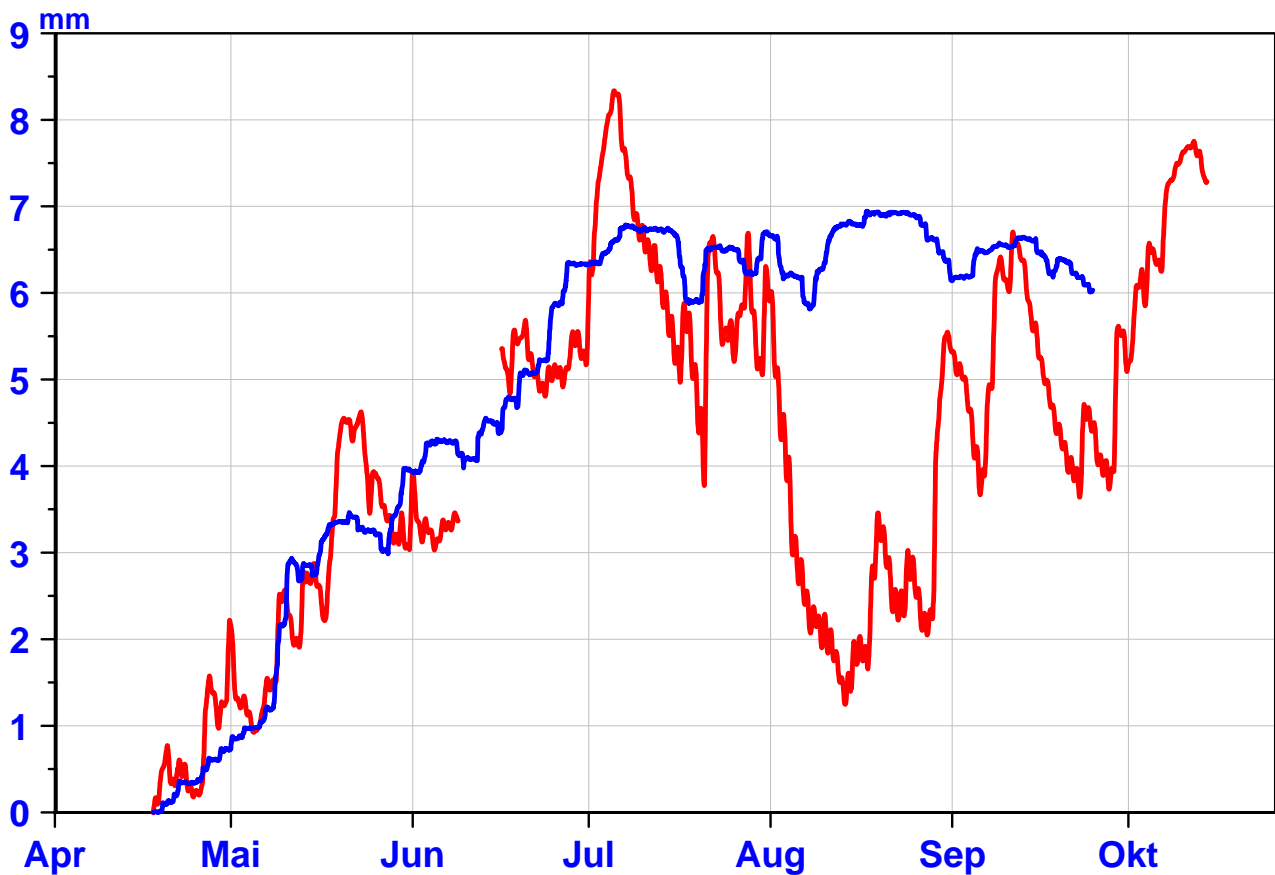
Forschung bislang sehr stark auf die wichtigsten Wirtschaftsbaumarten. Über seltenere Baumarten wie Wildobst, Speierling oder Elsbeere wissen wir weit weniger. Doch gerade diese Baumarten können unter den Vorzeichen eines Klimawandels erheblich an Bedeutung gewinnen. Neu und besonders ist, dass sich die Klimabedingungen voraussichtlich bereits innerhalb eines einzigen

Bestandeslebens gravierend ändern werden. Wie unsere Waldbäume auf derart rasche Veränderungen der Standortbedingungen reagieren werden, ist nicht sicher vorhersagbar. Hier können wir nur eingeschränkt auf bereits vorhandenes Wissen zurückgreifen.

Welche Baumart reagiert auf die Klimaänderungen empfindlicher als andere? Welche Baumarten

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

Das sind nur einige der Kernfragen, die die forstliche Forschung möglichst rasch beantworten muss. Hierzu stehen ihr moderne Methoden wie der Einsatz von Waldökosystemmodellen und modellgestützter Szenarioanalysen zur Verfügung. Hiermit können gegebenenfalls Fragen der Art „was wäre, wenn....“ beantwortet werden, ohne die Befunde langjähriger Versuchsreihen abwarten zu müssen. Allerdings sind Langzeituntersuchungen wie beispielsweise Anbauversuche mit verschiedenen Baumarten, Herkünften oder Rassen unter unterschiedlichen Klimabedingungen nach wie vor unverzichtbar, zumal alle Szenarioanalysen mit Unsicherheiten behaftet sind. Bei einem solch komplexen und weltumspannenden Themenbereich wie dem Klimawandel muss



Die Reaktionen der Bäume auf Trockenstress sind bislang nur unzureichend bekannt. Dargestellt sind mit Dendrometern erfasste Umfangveränderungen von Traubeneichen an der Dauerbeobachtungsfläche Merzalben im Jahr 2003 (rote Linie) und im Jahr 2007 (blaue Linie). Im extrem trockenen Spätsommer 2003 reagierten die Eichen auf die abnehmende Wasserverfügbarkeit im Boden mit erheblichen Schrumpfungen.

selbstverständlich auch die forstliche Forschung im internationalen und fachübergreifenden Verbund erfolgen.

Von zentraler Bedeutung ist es, ungünstige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Nur dann kann rechtzeitig gegengesteuert werden. Hier kommt dem forstlichen Umweltmonitoring eine Schlüsselrolle zu. In den letzten Jahrzehnten wurde das forstliche Umweltmonitoring von einem Aufnahmeverfahren der Waldschäden zu einem umfassenden und europaweit harmonisierten Umweltüberwachungssystem im

Wald ausgebaut. Es liefert umfangreiche Daten mit bereits weit zurück reichenden Zeitreihen zu Witterungsverläufen, Wasserhaushalt, phänologischen Beobachtungen, Nährstoffnachhaltigkeit, Biodiversität, Kohlenstoffspeicherung, Luftschadstoffbelastung und anderen abiotischen und biotischen Stresseinflüssen sowie Informationen zur Reaktion der Waldbäume und Ökosysteme auf die sich verändernden Umweltbedingungen. Dieses einzigartige Umweltmonitoringsystem muss gerade unter dem Aspekt Klimawandel weiterbetrieben und auch weiterhin kontinuierlich an die

sich ändernden gesellschaftlichen Anforderungen und Fragestellungen angepasst werden.

Projekt „ForeStClim“

Ein solch komplexes und globales Thema wie der Klimawandel kann nur im interdisziplinären und Länder übergreifenden Verbund bearbeitet werden.

Die Landesforsten Rheinland-Pfalz wollen daher ab Anfang 2008 mit Partnern aus Rheinland-Pfalz, anderen Bundesländern und anderen europäischen Staaten ein umfassendes Projekt zur Entwicklung und Umsetzung von Strategien zur Anpassung der

Waldbewirtschaftung an die sich ändernden Klimabedingungen durchführen. Das Projekt mit dem Titel „Transnational Forestry Management Strategies in Response to Regional Climate Change Impacts (ForeSt Clim) (Transnationale Strategien zur Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen regionaler Klimaänderungen) soll in das Interreg IV B-Programm „European Territorial Cooperation“ eingebunden werden.

Vorgesehen ist die Erarbeitung verfeinerter, regionaler Klimaprognosen und die Erstellung digitaler Standortskarten mit Prognosen regionalklimabedingter Standortsveränderungen sowie von digitalen Prognosekarten zu Gebietsabfluss, Grundwasserneubildung, Erosionsgefährdung, Sturmgefährdung und Sturzflutgefährdung bei unterschiedlichen Klimaszenarien. Die klima- und standortsabhängigen Waldentwicklung soll insbesondere im Hinblick auf Wachstum, Kohlenstoffbindung, Entwicklung der Biodiversität und Bedrohungen durch abiotische und biotische Schadfaktoren bewertet werden. Schließlich sollen ökonomisch und ökologisch begründete Waldbewirtschaftungsstrategien in Abhängigkeit der zu erwartenden regionalen Klimaänderungen mit konkreten Waldbewirtschaftungs- und Waldschutzstrategieplänen entwickelt und in Testgebieten beispielhaft umgesetzt werden. Zudem ist eine Abschätzung der

ökonomischen und ökologischen Konsequenzen der entwickelten Bewirtschaftungsstrategien unter verschiedenen Klimaszenarien vorgesehen.

Die wesentlichsten Handlungslinien im Überblick

Waldbau

- Förderung von an künftige Klimabedingungen besser angepasster Baumarten und Zurückdrängung weniger angepasster Baumarten
- Strikte Beachtung der standörtlichen Vorgaben
- Gegebenenfalls erforderlichen Baumartenwechsel sehr behutsam und langfristig vornehmen
- Kein Ersatz heimischer oder eingebürgerter Baumarten durch mediterrane Arten
- Entwicklung von Mischbeständen unter verstärkter Berücksichtigung von Baumarten mit breiter ökologischer Amplitude und von bislang seltenen, wärmeverträglichen Baumarten
- Aufbau von mehrschichtigen und altersgemischten Beständen
- Förderung der Einzelbaumvitalität durch Kronenpflege

Genetik

- Auswahl von an künftige Klimabedingungen angepasster Herkünfte
- Keine Züchtung „resistenter“ Bäume (= genetische Einengung)

genung)

- Verwendung von Saat- und Pflanzgut mit hoher genetischer Diversität
- Förderung der Naturansammlung, wo geeignete Baumarten und Herkünfte vorhanden; möglichst lange Verjüngungszeiträume bzw. Hinwirken auf frühe Fruktifikation der Bäume durch Förderung großer Kronen

Waldschutz

- Fortführung der Luftreinhaltemaßnahmen zur Verringerung zusätzlicher Stresseinflüsse durch Versauerung und Eutrophierung
- Fortsetzung der Bodenschutzkalkung
- Beachtung der Nährstoffnachhaltigkeit bei Holz- und Biomassenutzung
- Reduzierung der Schalenwildbestände auf das zur Entwicklung der angestrebten, artenreichen Mischbestände notwendige Maß
- Intensive Überwachung der Waldbestände auf das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten
- Konsequente Waldhygiene und Waldschutzmaßnahmen nach den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes
- Konsequente Maßnahmen zur Verhinderung der Einschleppung von Schadorganismen und Krankheiten sowie deren Verbreitung
- Berücksichtigung der zuneh-

menden Waldbrand- und Sturmwurfgefahren bei waldbaulichen Entscheidungen und Betriebsplanungen

Hochwasserschutz

- Erhaltung und Steigerung des Wasserrückhaltes im Wald u. a. durch Vermeidung von Kahllagen, bodenschonende Holzernte- und Bringung, Bodenschutzkalkung, Rückbau unnötiger Wege, Schaffung von Wasserrückhalten, Schließung von Entwässerungsgräben, Renaturierung von Feuchtgebieten

Forschung

- Anbauversuche, überregionale Herkunftsversuche und geneti-

sche Analysen zur Auswahl angepasster Baumarten und Ökotypen

- Untersuchung der Reaktionen der Bäume und Ökosysteme bei verschiedenen Klimaszenarien u. a. durch Einsatz von Modellsimulationen und Szenarioanalysen
- Fortführung des forstlichen Umweltmonitoring mit besonderer Gewichtung auf den Aspekt Klimawandel
- Untersuchung der Veränderungen in der Empfindlichkeit der Bäume gegenüber bereits vorhandenen und neuen Schaderregern sowie deren Virulenz

Prognosen, Strategien

- Erarbeitung verfeinerter, regionaler Klimaprognosen
- Zeitdynamische, verschiedene Klimaszenarien berücksichtigende Standortkartierung mit Ausweisung besonders sensibler Areale
- Prognosekarten zu Gebietsabfluss, Grundwasserneubildung, Sturmflutgefahren und Sturmfährdung bei unterschiedlichen Klimaszenarien
- Entwicklung von Waldbewirtschaftungs- und Waldschutzstrategien mit Abschätzung der ökonomischen und ökologischen Konsequenzen.



In den warmen Lagen der großen Flusstäler unseres Landes stocken verbreitet Niederwälder. Diese Waldökosysteme haben sich über viele Jahrhunderte an die dort herrschenden warm-trockenen Klimabedingungen angepasst und beherbergen daher sehr wahrscheinlich ein überaus wertvolles Naturinventar. Die Identifizierung und Sicherung dieses Potentials könnte für die künftige Waldbewirtschaftung von großer Bedeutung sein. Das Foto zeigt einen Aufnahmepunkt der Waldzustands-/Bodenzustandserhebung in einem Niederwald bei Bad Bertrich.

Foto: W. Schwind