



# Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg

## Abschluss-symposium des Forschungsprogramms

- Tagungsband -

12. Mai 2010

Stuttgart

Impressum  
LUBW Landesanstalt für Umwelt,  
Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg  
Postfach 10 01 63  
76231 Karlsruhe  
Internet: [www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg - Projekt ReSiPrec	6
Probabilistische Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden und ihrer Unsicherheiten - Verbundprojekt (PARK)	12
Einschleppung von Krankheitserregern aus dem mediterranen Raum - Verbundprojekt Vektoren	17
Einfluss von Klima und Klimaveränderungen auf die Zunahme von Pollenallergien und -Sensibilisierungen am Beispiel von Ambrosia-Pollen – Verbundprojekt Ambrosia-Pollen	25
Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs - Projekt KLIBB	32
Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder - Verbundprojekt RESTER	38

## Zusammenfassung

Auf dem Abschluss Symposium am 12. Mai 2010 in Stuttgart werden die Ergebnisse des 2006 begonnenen Forschungsprogramms „Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg“ der Öffentlichkeit vorgestellt.

Das Programm wurde aus Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg finanziert und im Auftrage des Umweltministeriums von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz organisatorisch betreut.

In zwei internen Workshops in den Jahren 2007 und 2009, sowie in einem öffentlichen Statusseminar am 29.09.2008 in Karlsruhe wurde der aktuelle Forschungsstand präsentiert. Die Vorträge und weitere wichtige Information zum Forschungsprogramm können im Internet unter der Web-Adresse <http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de> gefunden werden.

Ziel des Forschungsprogramms war es, die Folgen und mögliche Risiken des Klimawandels für Baden-Württemberg abzuschätzen. Es sollten nicht nur Veränderungen der meteorologischen Variablen – wie Temperatur, Niederschlag, Wind – beurteilt werden, sondern auch die Auswirkungen dieser Veränderungen auf Umwelt und Bevölkerung eingeschätzt werden. Der interdisziplinär gewählte Arbeitsansatz erforderte das Mitwirken von Wissenschaftlern unterschiedlicher Fachrichtungen und Fachleuten aus der öffentlichen Verwaltung.

Als Zeithorizont für die Szenarien und Prognosen wurden im Forschungsprogramm „Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg“ bewusst die kommenden Jahrzehnte gewählt. Dieser Zeitraum besitzt für Entscheidungsträger auf der politischen Ebene und Planer in der öffentlichen Verwaltung eine wesentlich höhere Relevanz als die Zeit ab Mitte des 21. Jahrhunderts, die vielfach als Prognose-Zeitraum für Klimaszenarien gewählt wird. Damit sollten die Möglichkeiten verbessert werden rechtzeitig Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel einleiten zu können.

Zur Beantwortung der vielfältigen Fragestellungen wurden von den Beteiligten unterschiedliche Instrumentarien eingesetzt. So wurden bereits bestehende Modelle der Klimaforschung und für den Bodenwasserhaus-

halt angewendet aber auch neue Modelle entwickelt. Durch die statistische Auswertung der Ergebnisse eines Bündels von Modellen (sog. Ensembles) konnten auch Aussagen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit oder Unsicherheit der Ergebnisse gemacht werden.

Der Einsatz eines Geografischen Informationssystems machte die verknüpfende raumbezogene Analyse von mehreren Informationsschichten auf regionaler Maßstabsebene möglich. Durch Experimente im Windkanal konnten wichtige Ergebnisse auf größerer Maßstabsebene beigetragen werden.

Felderhebungen zur Verbreitung von aus dem südeuropäischen Raum eingewanderten Pflanzen mit hohem allergologischem Potenzial und Tieren, die als Überträger von Infektionserregern aus dem Mittelmeerraum gelten, dienten der Bewertung, ob und in wie weit Veränderungen aufgrund des Klimawandel in Baden-Württemberg bereits stattfinden. Medizinische Untersuchungen an Schulkindern, durch die die Sensibilisierungsrate gegenüber Pflanzenpollen ermittelt wurde, unterstützten diese Einschätzung.

Im vorliegenden Tagungsband sind die wichtigsten Erkenntnisse der sechs Teilvorhaben in kurzer Form dargestellt. Die Zielstellungen der Projekte lassen sich wie folgt skizzieren:

1) Im Projekt „Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg“ (ReSiPrec) ging es um die erwarteten Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen als Folge des Klimawandels in Baden-Württemberg. Diese Fragestellung wurde mit Hilfe regionaler Klimamodelle untersucht.

2) Das Verbundvorhaben PARC (Probabilistische Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden und ihrer Unsicherheiten) beschäftigte sich mit der Einschätzung zur wahrscheinlichsten Klimaentwicklung einschließlich einer Quantifizierung der Unsicherheiten der Prognosen.

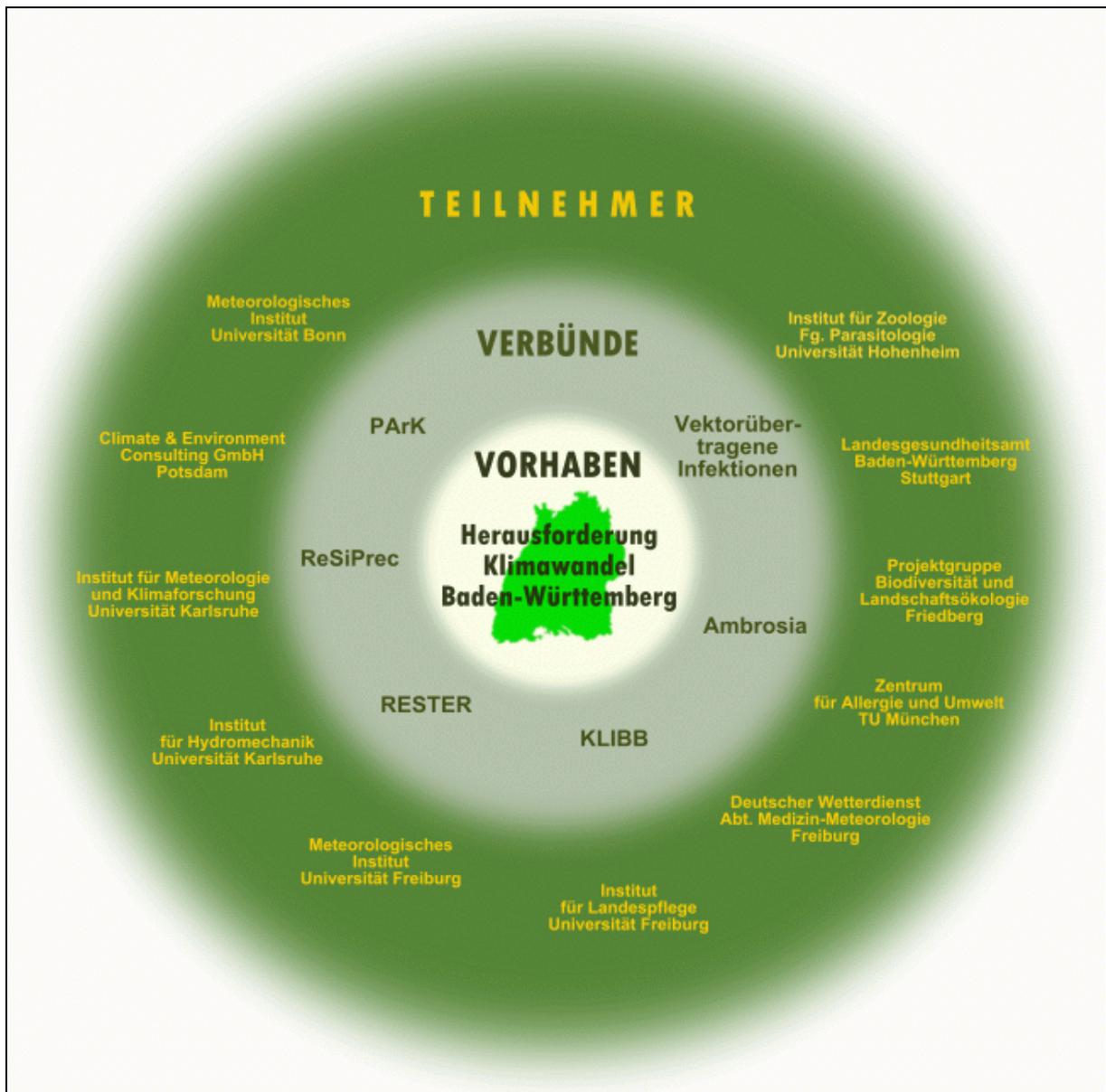
3) Mit der Verbreitung von durch Zecken und Sandmücken übertragenen Infektionserregern, die für die Gesundheit des Menschen schädlich sein können, beschäftigte sich das Verbundprojekt „Einschleppung von Krankheitserregern aus dem mediterranen Raum“.

4) Die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit war auch Thema des Verbundprojektes „Ambrosia-Pollen“. Durch Erhebungen zur Ausbreitung der Ambrosie, Messungen der Pollenkonzentration in der Luft, und des medizinischen Nachweises möglicher Sensibilisierungen bei Kindern, wurde das derzeitige Ausmaß dieser Beeinträchtigung bestimmt.

5) Den möglichen Auswirkungen eines sich veränderten Klimas auf den Wasserhaushalt von landesweit verteilten Biotopen mit unterschiedlichem Grundwasserangebot wurde im

Projekt KLIBB mittels Felderhebungen und Anwendung von Modellen nachgegangen.

6) Untersuchungen zu Entstehung, Ausmaß und Ausprägung von Sturmschäden in den Wäldern wurden im Verbundprojekt „Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder“ (RESTER) geleistet. Dies umfasste die Modellierung des zukünftigen Sturmrisikos, die flächenhafte Darstellung der Vulnerabilität der Wälder gegenüber Winterstürmen und Experimente zur Stabilität von unterschiedlich gestalteten Waldbeständen im Windkanal.



Teilnehmer und Verbünde des Forschungsprogramms Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg

# Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg

## Projekt ReSiPrec

Thema dieses Projekts sind die Starkniederschläge in Baden-Württemberg und ihre erwarteten Änderungen in den kommenden Jahrzehnten durch den Klimawandel.

### **Starkniederschläge haben ein hohes Gefährdungspotenzial**

Starkniederschläge stellen für Regionen mit ausgeprägter Orographie ein hohes Gefährdungspotenzial dar. So zeigt zum Beispiel die Erfahrung, dass die Täler kleinerer Flüsse in Mittelgebirgsräumen anfällig für schnell auftretende Hochwässer („flash floods“) nach Starkniederschlägen sind. Die Täler sind oft dicht besiedelt, so dass solche Hochwässer erhebliche Schäden anrichten können. Weiterhin tragen Starkniederschläge erheblich zur Bodenerosion land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen bei. Auch das Land Baden-Württemberg mit seinen stark orographisch gegliederten Räumen mit hohem Anteil an Land- und Forstwirtschaft wie Schwarzwald, Schwäbische Alb und Kraichgau ist von solchen Ereignissen betroffen. Dabei spielen kurzzeitige intensive und relativ lokale Niederschläge (konvektive Niederschläge), wie sie bevorzugt im Sommer auftreten, eine besondere Rolle. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel stellt sich die Frage, wie sich solche Starkniederschläge in ihrer Häufigkeit und Intensität künftig entwickeln, um entsprechende Anpassungsmaßnahmen frühzeitig planen zu können.

### **Wie entwickeln sich Starkniederschläge hinsichtlich Häufigkeit und Intensität?**

Die Beantwortung dieser Frage stellt aus zwei Gründen eine große Herausforderung dar: zum einen weisen die „regionalen“ Klimaprojektionen, wie sie im vierten IPCC-Bericht dargestellt sind, bereits beim mittleren Niederschlag - und erst recht bei Starkniederschlägen - einen hohen Grad an Unsicherheit auf. Eine Ursache hierfür ist die Lage Mitteleuropas im Übergangsbereich zwischen den relativ gut abgesicherten Aussagen einer Abnahme des Niederschlags in Südeuropa und einer Zunahme in Nordeuropa, eine andere die grobe Auflösung der verwendeten Globalmodelle, welche

die verursachenden kleinskaligen Prozesse nicht oder nur unzureichend erfassen. Das bedeutet, dass, um hier zu besseren Aussagen zu gelangen, mit einer wesentlich höheren räumlichen Auflösung der Regionalmodelle gearbeitet werden muss.

### **Regionale Klimamodellierung**

In dem Projekt „Hochauflösende regionale Simulationen künftiger Starkniederschlagsereignisse in Baden-Württemberg“ werden die zu erwartenden Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen als Folge des Klimawandels in Baden-Württemberg mit Hilfe regionaler Klimamodelle untersucht. Die Beantwortung der inhaltlichen Hauptfrage, welche Änderungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten und Intensitäten von Starkniederschlägen gegenüber der Jetztzeit zu erwarten sind, erfordert die Bearbeitung der folgenden methodischen Fragen:

- a) Wie gut können regionale Klimamodelle das Jetztzeitklima wiedergeben? (Modellvalidierung)
- b) Welchen Gewinn bringt eine hohe Auflösung?
- c) Wie können Aussagen zur künftigen Entwicklung auf eine besser abgesicherte Grundlage gestellt werden und mit welcher Unsicherheit der Ergebnisse ist zu rechnen?

Zur Bearbeitung dieser Fragen werden neben den Ergebnissen bereits andernorts durchgeführter Klimasimulationen vor allem die Ergebnisse von eigens für dieses Projekt durchgeführten regionalen Klimasimulationen mit dem regionalen Klimamodell (RCM) COSMO-CLM verwendet. Kontroll- und Validierungszeitraum sind die drei Dekaden 1971-2000, Projektionszeitraum sind die Jahre 2011-2040. Obwohl natürlich für diesen Zeithorizont das zu erwartende Klimasignal schwächer als gegen Ende des Jahrhunderts ist, wurde diese nahe Zukunft aufgrund ihrer Planungsrelevanz gewählt, da der Zeithorizont vieler Planungen nicht über die Mitte dieses Jahrhunderts hinausgeht. Ein weiterer Grund ist die Unsicherheit, die durch

die großen Unterschiede der Emissionsszenarios in Aussagen getragen wird, welche auf das Ende dieses Jahrhunderts abzielen. Diese Unterschiede sind bis zur Mitte des Jahrhunderts deutlich geringer, wodurch dieser Unsicherheitsfaktor reduziert werden kann. Ergänzend wurden jedoch auch einige Analysen für die Zeiträume 2041-2070 und 2071-2100 durchgeführt.

### Statistische Bestimmung der Wiederkehrwerte von Starkniederschlägen

Im Projekt ReSiPrec werden Starkniederschläge auf der Basis von Wiederkehrwerten definiert, d.h. Werten, die im Mittel einmal während einer gewählten Wiederkehrperiode auftreten. Häufig werden Wiederkehrperioden von 1, 10 oder 100 Jahren betrachtet, um die Risiken von seltenen und gravierenden Ereignissen erfassen zu können. Für die Auswertungen wurde der 10-jährliche Wiederkehrwert  $RV_{10}$  als repräsentativ für Starkniederschläge verwendet.

Zur Bestimmung der Wiederkehrwerte wurde mittels einer Kombination von Peak-over-Threshold-Methode und L-Momenten-Methode die Kappa-Verteilung an die täglichen Niederschlagsdaten der Modelle und der Beobachtungen angepasst.

### Ensemble-Simulation lässt wahrscheinlichste Änderung und deren Unsicherheit erkennen

Ein wesentlicher Aspekt von ReSiPrec ist die Verwendung von Ensembles hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen. Das bedeutet, dass nicht nur eine Simulation zur Ermittlung des Klimaänderungssignals, sondern eine ganze Reihe von Simulationen durchgeführt wurde und dieses Ensemble von Simulationen statistisch ausgewertet wurde. Hierdurch gewinnt man nicht nur Kenntnis über den wahrscheinlichsten Wert, sondern auch über die Unsicherheit des Ergebnisses – beides wichtige Informationen zur Beurteilung des Änderungssignals. Zur Erzeugung von Ensembles werden verschiedene Ansätze verwendet:

- **Multi-Modell-Ensembles:** Dabei werden Simulationen verschiedener GCMs oder RCMs verwendet.
- **Anfangswert-Ensemble:** Hier werden die Modelle zu verschiedenen Startzeitpunkten initialisiert. Die einzelnen Modellrechnungen können sich daher in verschiedenen Phasen der natürlichen Klimavariabilität befinden.
- **Randwert-Ensemble:** Bei regionalen Klimasimulationen heißt das, verschiedene globale Modelle als Antrieb zu verwenden.
- **„Perturbed Physics Ensemble“:** Hierbei werden die Parametrisierungen physikalischer Prozesse in den Modellen verändert.

Durch die Verwendung eigener und anderweitig verfügbarer Simulationen kamen alle der

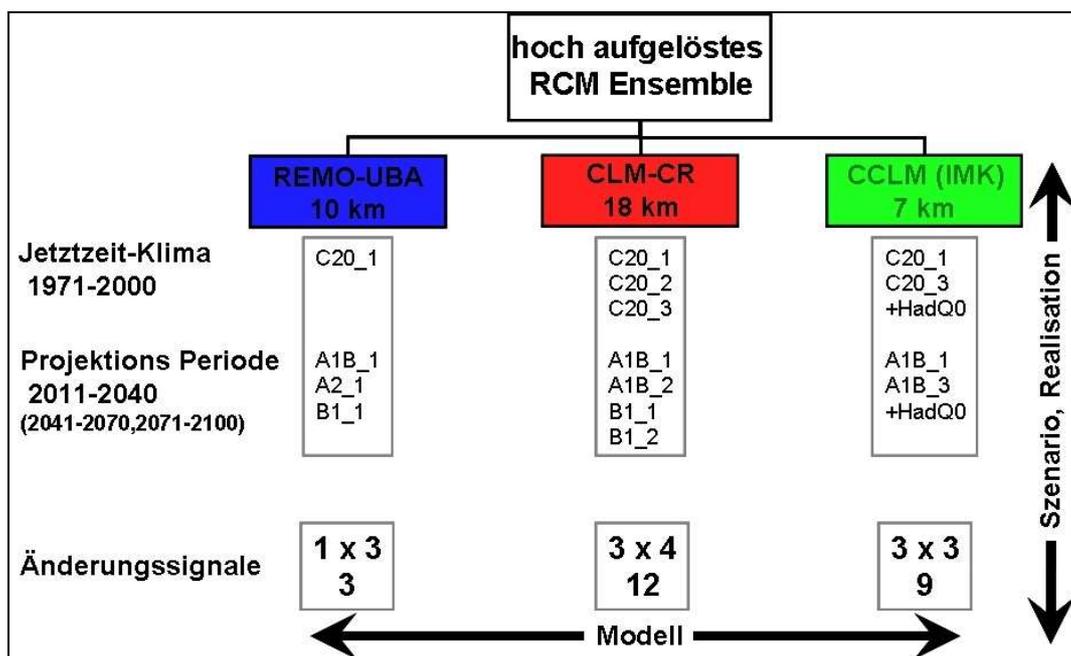


Abbildung 1: Struktur des hoch aufgelösten RCM-Ensembles und Anzahl der verfügbaren Simulationen.

oben genannten Ensemble-Typen außer dem letzten zum Einsatz. Mit Hilfe des Ensembles an verfügbaren, hoch aufgelösten regionalen Klimasimulationen wurde in ReSiPrec versucht, Abschätzungen für das Klimasignal beim Niederschlag für die kommenden Jahrzehnte zu geben. Für diese Untersuchungen wurden, neben den vom IMK im Rahmen des Programms „Herausforderung Klimawandel“ mit dem CCLM durchgeführten Simulationsrechnungen, auch die CLM-Konsortialrechnungen sowie die REMO-UBA Simulationen verwendet (Abbildung 1).

### Validierung der Modelle

Die umfassende Validierung der simulierten Niederschläge erlaubt eine wesentlich fundiertere Bewertung der Simulationen. Viele Ursachen für Abweichungen wurden identifiziert und, wenn möglich, korrigiert (Advektion des Niederschlagswassers, Bias-Korrektur).

### Ursachen für höhere Abweichungen im Winter im globalen Modell begründet

Die Abweichungen der verschiedenen Modelle von den Beobachtungen zeigen einen systematischen Jahrgang. Die hohen Abweichungen im Winter konnten zwei Ursachen zugeordnet werden: zum einen sind die Beobachtungen im Winter systematisch zu niedrig. Ab-

schätzungen dieses Effekts liefern Werte, die im Mittel über das Untersuchungsgebiet bei ca. 10% - 15% liegen. Zum anderen hängen die Ergebnisse im Winter sehr stark vom antreibenden globalen Klimamodell (GCM), da im Wesentlichen großräumige synoptische Systeme die Niederschläge verursachen. Die frontalen Niederschläge im Winter werden aber vom hier hauptsächlich verwendeten Modell ECHAM5 überschätzt. Eine Verbesserung der Ergebnisse müsste also bei den GCMs ansetzen.

### Sommerniederschläge zeigen die Stärken der regionalen Klimamodelle

Im Sommer zeigt sich der Mehrwert der regionalen Modelle, der durch eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung sowie eine detailliertere Beschreibung der Prozesse bewirkt wird, deutlich. Die gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen resultiert im Sommer aus diesen Stärken der RCMs und nicht so sehr aus den Antriebsdaten.

Gegenüber den älteren REMO und CLM-Simulationen sind die hoch aufgelösten Simulationen des IMK mit dem CCLM deutlich besser in der Lage, die regionalen Strukturen der Niederschlagsverteilung wiederzugeben (Abbildung 2).

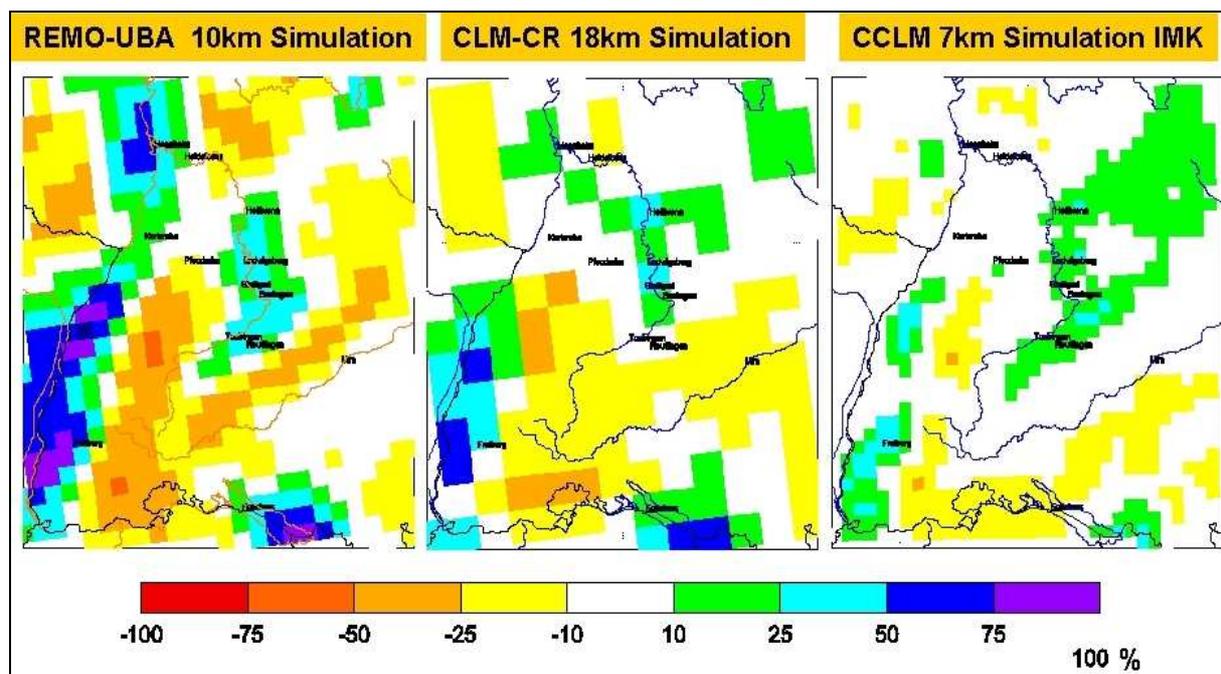


Abbildung 2: Wiedergabe regionaler Strukturen in den hoch aufgelösten Simulationen mit REMO, den CLM-Konsortialläufen sowie dem CCLM-IMK. Relative Abweichungen normalisierter Modelldaten (Bias-Korrektur) gegenüber Beobachtungsdaten für den Jahresniederschlag.

## **Zukünftige Änderungen des Niederschlags in Baden-Württemberg**

Die in ReSiPrec erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Veränderter Jahresgang mit mehr Niederschlägen im Winter und geringerem im Sommer**

Baden-Württemberg liegt bezüglich der Klimaänderung im Übergangsbereich zwischen einer nordeuropäischen Zone (mit in Zukunft deutlich feuchteren und wärmeren Wintern) und einer mediterranen Zone (mit zukünftig noch trockeneren Sommern). Es ist zu erwarten, dass auch in Baden-Württemberg gegen Ende des 21. Jahrhunderts deutlich trockenere Sommer als zurzeit auftreten. Auf Sicht der nächsten Jahrzehnte ist dieser Trend aber noch schwach ausgeprägt. Dagegen dürfte es in den nächsten Jahrzehnten zu einem Anstieg der Winterniederschläge kommen.

- **Regional deutliche Veränderungen erkennbar**

Die natürliche zeitliche Variabilität ist beim Niederschlag von größerer Bedeutung als etwa bei der Temperatur und überlagert insbesondere im Sommer das Klima-Signal. Über die räumliche Konsistenz der Änderungssignale innerhalb des Ensembles lassen sich jedoch Regionen in Baden-Württemberg mit deutlichen Änderungen (sowohl Zu- als auch Abnahmen) identifizieren (Abbildung 3).

- **Starkniederschläge verändern sich deutlicher als der mittlere Niederschlag**

Die Änderungen bei den Starkniederschlägen dürften deutlicher ausfallen als die der mittleren Niederschläge, da die Enden der Häufigkeitsverteilung sensitiver reagieren als die Mittelwerte (Abbildung 3).

- **Niederschlagsklima wird extremer**

Die im Rahmen von ReSiPrec untersuchten Änderungssignale in den Klimamodellen deuten, in Übereinstimmung mit verschiedenen anderen Studien, auf einen Anstieg der zeitlichen Streubreite der Niederschlagsmengen -

besonders im Sommer - hin. Dies führt zu einem extremeren Niederschlagsklima, trotz leicht abnehmender mittlerer Niederschlagssummen, so dass sowohl längere sommerliche Trockenphasen als auch die Intensität von Starkniederschlags-Ereignissen zunehmen dürften.

- **Zahl der längeren sommerlichen Trockenperioden steigt**

Die Anzahl längerer Trockenperioden im Sommerhalbjahr dürfte bis Mitte des 21. Jahrhunderts zunehmen. Da sich die Zahl der trockenen Tage aber nur leicht ändert, nimmt die Anzahl der kurzen Trockenperioden ab.

- **Regionale Trends der Starkniederschläge setzen sich fort**

Die im Projekt untersuchten Klima-Projektionen lassen erwarten, dass die in den letzten Jahrzehnten beobachteten regionalen Trends bei den Starkniederschlägen sich auch in der näheren Zukunft im Wesentlichen weiter fortsetzen werden.

- **Wiederkehrwerte des täglichen Niederschlags ändern sich überwiegend moderat**

Die aus den Simulationen abgeleiteten Änderungen der 10-jährlichen Wiederkehrwerte des täglichen Niederschlags bleiben moderat. Sie liegen im Mittel über Baden-Württemberg im Sommer und Herbst bei einer Zunahme zwischen 5% - 10% (3 mm – 4 mm) mit einer Spanne zwischen ca. -20% und +40% in der regionalen Verteilung. Dies bedeutet absolute Änderungen, die zwischen etwa -10 mm und +17 mm variieren.

- **Änderung des Starkniederschlages zeigt große räumliche Variationen**

Die Heterogenität der Prozesse führt dazu, dass sich die Änderungen bei Starkniederschlägen nicht gleichmäßig verteilen, sondern es große räumliche Variationen gibt. Das heißt, dass es Gebiete mit einer Zunahme der Starkniederschläge geben wird, während sie in anderen Regionen eher abnehmen (Abbildung 3).

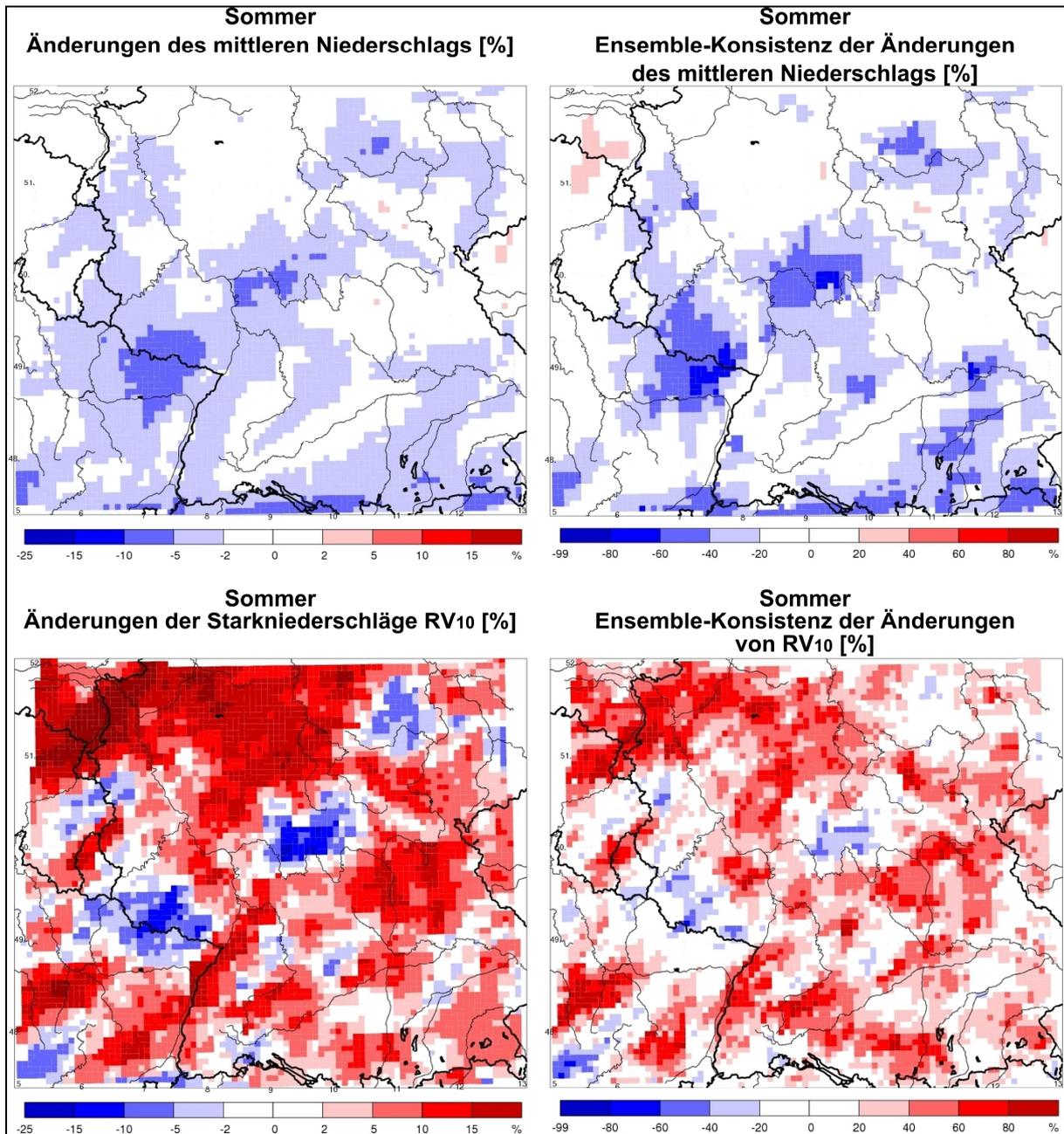


Abbildung 3: Änderung der Sommer-Niederschläge (Juli-August) zwischen 1971-2000 und 2011-2040 in einem Ensemble regionaler Klimasimulationen. Links oben: Änderung des mittleren Niederschlags [%]; rechts oben: Konsistenz der Änderungssignale > 5% im Ensemble [%], links unten: wie links oben aber für Starkniederschläge – 10-jährlicher Wiederkehrwert (RV<sub>10</sub>); rechts unten: wie rechts oben, aber für RV<sub>10</sub>.

#### Kontakt

Feldmann, H.<sup>1</sup>, Kottmeier, Ch.<sup>1</sup>, Panitz, H.-J.<sup>1</sup>,  
Schädler, G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Meteorologie und Klimaforschung,  
Karlsruher Institut für Technologie

#### Publikationen aus dem Projekt

##### Zeitschriftenbeiträge (Peer reviewed)

Feldmann, H., Früh, B., Schädler, G., Panitz, H.-J., Keuler, K., Jacob, D., Lorenz, Ph. 2008: „Evaluation of the Precipitation for South-western Germany from High Resolution Simulations with Regional Climate Models”. Meteorol. Z., 17, 455 – 465.

Früh, B., Feldmann, H., Panitz, H.-J., Schädler, G., Jacob, D., Lorenz, Ph., Keuler, K. 2010: „Determination of Precipitation Return Values in Complex Terrain and their Evaluation“. J. of Climate, Vol. 23, No. 9, 2257 – 2274.

Meißner, C., Schädler, G., Panitz, H.-J., Feldmann, H., Kottmeier, Ch., 2009: „High-resolution sensitivity studies with the regional climate model COSMO-CLM“. Meteorol. Z., 18 (5), 543-557.

### **Diplom und Seminararbeiten**

Lucas Fischer: „Vergleich von aus REMO- und CLM-Daten berechneten Statistiken der bodennahen Temperatur mit Beobachtungen“. Seminararbeit am IMK Karlsruhe, 2008.

Jennifer Bückle: „Vergleich des Niederschlags aus NCEP- und Era-40-Reanalysen sowie CRU- und VASCLimO-Beobachtungsdaten für den Bereich 5°-10° E, 47°-50° N im Zeitraum 1971 – 2000“. Seminararbeit am IMK Karlsruhe, 2008.

### **Tagungsbeiträge (chronologisch)**

Früh, B., Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Vergleich regionaler Klimasimulationen in Bezug auf Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen“. Abstract-Band DACH Meteorologen-Tagung, Hamburg, 10.09.-14.09.2007

Früh, B., Feldmann, H., Panitz, H.-J., Schädler, G.: „Future change of the frequency and intensity of heavy precipitation events“. 8. Forum Katastrophenvorsorge, Karlsruhe, 15.10.-16.10.2007.

Früh, B.: „Warum ändert sich das Klima?“ Evangelische Akademie der Pfalz & Ada-Lovelace Projekt der TU und FH Kaiserslautern: Energiekrise und Klimawandel - Modelle einer zukunftsfähigen Energieversorgung. Enkenbach, 08.02.-10.02.2008.

Feldmann, H., Früh, B., Panitz, H.-J., Schädler, G.: „Evaluation of precipitation from regional climate simulations for south-west Germany CLM-Assembly“. Langen, 05.03.2008.

Früh, B., Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Evaluation of heavy precipitation from regional climate simulations for south-west Germany“. European Geosciences Union, (EGU), General assembly 2008, Wien, 13.04.-18.04.2008.

Feldmann, H., Früh, B., Panitz, H.-J., Schädler, G.: „Evaluation of the precipitation for south-west Germany from high resolution simulations with regional climate models“. European Geosciences Union, (EGU), General assembly 2008, Wien, 14.04.2008.

Feldmann, H.: „Was bedeutet der Klimawandel für Karlsruhe?“ Fakten und Maßnahmen, BÜGA e.V. Mitgliederversammlung. Karlsruhe, 03.06.2008.

Früh, B.: „Wie lässt sich das Klima der Zukunft berechnen?“ Lehrerfortbildung, Fakultät für Physik, Uni Karlsruhe, 11.06.2008.

Schädler, G., Früh, B., Feldmann, H.: „Present and future return values of heavy precipitation in complex terrain – the Black Forest region in Germany as an example“. AMS Conference on Applied Climatology, Whistler, Canada 11.08.-15.08.2008.

Feldmann, H.: „Warum ändert sich das Klima? ...globale Ursachen und lokale Wirkungen“. ENBW Klimatage, Sigmaringen, 15.09.2008.

Feldmann, H., Panitz, H.-J., Früh, B., Schädler, G., Kohlhepp, R.: „Untersuchung des Niederschlags in hoch aufgelösten regionalen Klimasimulationen“. Workshop: „Klimawandel in Europa im 21. Jh.“, Cottbus, 11.12.-12.12.2008.

Panitz, H.-J., Schädler, G., Feldmann, H.: „Modelling Regional Climate Changes in Southwest Germany“. HLRS-Workshop Stuttgart, 08.10.-09.10.2009.

Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Changes in precipitation patterns derived from an ensemble of high resolution RCM simulations“. European Geosciences Union (EGU), General assembly 2009, Wien, 20.04. - 24.04.2009.

Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Will there be more dry spells in the future? Results from regional climate models for Central Europe“. European Geosciences Union (EGU), General assembly 2009, Wien, 20.04. - 24.04.2009.

Schädler, G., Feldmann, H., Panitz, H.-J.: „Analysis of precipitation changes in Central Europe within the next decades based on simulations with a high resolution RCM ensemble“. Workshop on Regional Climate Modelling 2009, Lund, Sweden, 04.05.2009 - 08.05.2009.

Feldmann, H.: „Climate change-signals for precipitation over the next decades - results from high-resolution RCM-ensembles“. 8. Deutsche Klimatagung, Bonn, 05.10 - 08.10.2009.

Schädler, G., 2009: „Dynamisches Regionalmodell COSMO-CLM“, 4. KLIWA-Symposium, Mainz, 03.12.-04.12.2009.

Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Are regional scale climate change signals for precipitation detectable with a high resolution RCM ensemble over the next decades?“ European Geosciences Union (EGU), General assembly 2010, Wien, 03.05.-07.05.2010.

Feldmann, H., Berg, P., Schädler, G., Panitz, H.-J.: „Impact of resolution and uncertainties on the determination of return values for extreme precipitation from observations and models“. European Geosciences Union (EGU), General assembly 2010, Wien, 03.05.-07.05.2010.

## **Probabilistische Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden und ihrer Unsicherheiten**

### **Verbundprojekt PARk**

Ziel des Projektes Probabilistische Abschätzung regionaler Klimaänderungen der kommenden Dekaden und ihrer Unsicherheiten (PARk) war die Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Abschätzung der Klimaentwicklung in Baden-Württemberg während der Dekaden 2010 bis 2040. Dazu wurden mehrere komplementäre Verfahren und Datenquellen (probabilistisch-dynamische und statistische Downscaling-Verfahren, globale und regionale Modelle) verwendet.

#### **Wahrscheinlichste Klimaentwicklung und quantifizierte Unsicherheiten**

Im Gegensatz zu bisherigen Ansätzen, die Klimasimulationen deterministisch interpretiert haben, sollte in PARk der probabilistische Ansatz im Vordergrund stehen, um die wahrscheinlichste Klimaentwicklung einschließlich einer Quantifizierung der Unsicherheiten zu ermitteln. Die Quantifizierung der Unsicherheiten stellte dabei einen wesentlichen Aspekt für die Absicherung der Projektionen dar. Hier gibt es zur Zeit nur wenige Arbeitsgruppen weltweit, die sich mit vergleichbaren Verfahren befassen. Das im Jahr 2010 neu eingerichtete Climate Service Center CSC an der GKSS in Geesthacht hat bereits Interesse bekundet, weil folgende Fragestellungen im Projekt untersucht wurden:

- Mit welcher Gewichtung eines regionalen Ensembles von Klimasimulationen lassen sich die beobachteten Klimavariationen der letzten Jahrzehnte zeitlich konsistent beschreiben?
- Welche regionale Klimaentwicklung wird sich mit der optimalen Gewichtung in Zukunft am wahrscheinlichsten einstellen?
- Mit welcher Unsicherheit ist diese Prognose behaftet?
- Welche Projektionen für das regionale Klima der nächsten Dekaden erhält man, wenn statt regionaler Klimasimulationen empirisch/statistische Zusammenhänge oder nur globale Simulationen verwendet werden? Wie vergleichen sich die Ergebnisse der Methoden?

Antworten auf die Fragen konnten gefunden werden. Während für die methodischen Probleme bei der dynamischen Modellierung und statistischen Nachbearbeitung fundierte Ansätze formuliert und zufrieden stellend erprobt werden konnten, sind bei der Auswertung aufgrund datenbedingter Einschränkungen die Antworten zum Teil noch nicht befriedigend.

#### **Bisher einmalige Vorgehensweise**

Es wurden Ensemblesimulationen mit dem regionalen Klimamodell CCLM (Klimaversion des COSMO-Modells des Deutschen Wetterdienstes) über insgesamt 67 Jahre (1968-2000 bzw. 2007-2040) durchgeführt, wobei die Jahre 1968 bis 1970 und 2007 bis 2010 jeweils als Einschwingphase des Modells betrachtet wurden und daher nicht in die Analysen mit einfließen. Für den Zeitraum 1971-2001 erfolgte die Validierung des Modells durch Vergleiche mit Beobachtungen sowie die statistische Ermittlung der optimalen Gewichtung der Ensemblemitglieder (einschließlich eventueller Trends) für den Prognosezeitraum 2011-2040. Die gewählten Auflösungen des dynamischen Modells, die Details der Prozessmodellierung und die statistische Nachbereitung sind in dieser Breite und Kombination bislang nicht in dieser Form in der Literatur beschrieben worden.

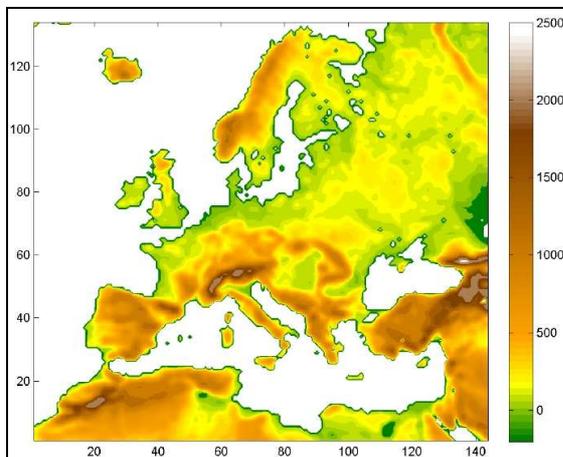
#### **Downscaling: Vom globalen zum regionalen Modell**

Zur Untersuchung der regionalen Auswirkungen des Klimawandels müssen Modelle verwendet werden, die mit hohen Auflösungen von weniger als 10 km arbeiten können. Als Ausschnittsmodelle benötigen sie sowohl Anfangsbedingungen als auch Randwerte, die sie aus den Ergebnissen globaler Modelle beziehen. Bei dieser Vorgehensweise wird zwischen statistischen und dynamischen Regionalisierungsverfahren (Downscaling) unterschieden. Beide Verfahren kamen im Projekt PARk als Ganzes zur Anwendung. Einzelheiten zum statistischen Verfahren WETTREG sind im Abschlussbericht der Firma CEC (Climate & Environmental Consulting Potsdam GmbH) aufgeführt. Dieser beinhaltet neben den methodi-

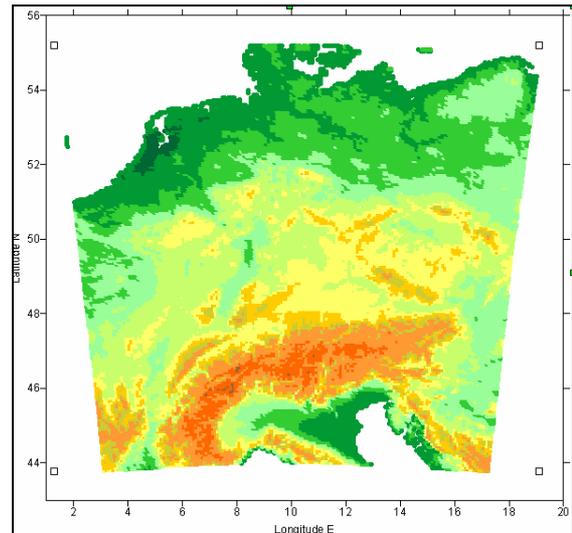
schen Aspekten auch die Beschreibung der WETTREG-Ausgangsdaten, die im Rahmen des PAR-K Projektes in der statistischen Auswertung verwendet wurden. Bei der dynamischen Regionalisierung wird ein dynamisches regionales Klimamodell – hier das CCLM – mit den aus globalen Modellen abgeleiteten Anfangs- und Randbedingungen angetrieben. In der ursprünglichen Projektplanung wurden die beiden Ansätze (statistisches und dynamische Regionalisierung) als „konkurrierende“ Verfahren angesehen. Durch die Auswertung mit Hilfe der probabilistischen Nachbearbeitung und der Einschränkungen, die dynamische Simulationen in den angegebenen Auflösungen aufgrund der begrenzten Rechnerressourcen haben, hat sich als zukünftige Aufgabe die Kombination beider Verfahren ergeben. Damit stünde für die probabilistische Nachbearbeitung ein genügend großer Stichprobenumfang von Klimaänderungsrealisierungen zur Verfügung, der die Quantifizierung der Unsicherheiten und die Gewichtung verschiedener dynamischer Modelle zufrieden stellend lösen könnte.

### Dynamische Regionalisierung verbessert horizontale Auflösung

Die dynamische Regionalisierung mit dem CCLM wurde in zwei Stufen als ein so genanntes 2-faches Nesting durchgeführt. Die erste Stufe bestand aus einer europaweiten Simulation auf einem Gitter mit einer horizontalen Auflösung von ca. 50 km. Diese Rechnungen wurden direkt mit den Ergebnissen der globalen Modelle angetrieben. Die zweite Stufe der Regionalisierung beinhaltet die hoch aufgelöste Simulation für Deutschland mit einer



Nest 1 mit 50 km Auflösung



Nest 2 mit 7 km Auflösung

Gitterweite von 7 km. Die Antriebsdaten dafür wurden aus den Ergebnissen der Rechnungen der ersten Nestingstufe abgeleitet. Details zum Modell CCLM sind im Abschlussbericht und in darin genannten Referenzen aufgeführt.

### Ensemble-Betrachtungen

Für den Zielzeitraum 2011-2040 als auch für den Validierungszeitraum 1971-2000 wurden Ensembles von CCLM-Simulationen berechnet. Die einzelnen Ensemblemitglieder unterschieden sich durch die Anfangs- und Randdaten für das CCLM, die aus den Ergebnissen verschiedener globaler Modelle abgeleitet wurden. Verwendet wurden dazu verschiedene Realisierungen von Szenarienläufen der globalen Modelle ECHAM5/MPI-OM und HadCM3, die alle auf dem A1B SRES Emissionsszenario basieren. Die bereits existierenden Ergebnisse der REMO-UBA, REMO-BFG Simulationen und die CLM-Konsortialläufe wurden als zusätzliche Datensätze in das Ensemble eingereiht und bei der statistischen Auswertung mit verwendet. Für die Validierung im Zeitraum 1971 – 2000 wurde das CCLM mit den ERA40 Reanalysedaten angetrieben. Details und Referenzen zu den benutzten Daten und Modellen sind im Abschlussbericht zum Projekt zu finden.

### Zuverlässige Risikoanalyse durch Bestimmung der Unsicherheiten

Ein wesentliches Ziel der Untersuchungen ist die Quantifizierung der Unsicherheiten, sodass sich risikobehaftete Entscheidungen unter Unsicherheiten im Bezug auf die zu erwarten-

den Klimaänderungen fällen lassen. Um von einer qualitativen zu einer quantitativen Abschätzung überzugehen, ist es unerlässlich mit Wahrscheinlichkeiten zu arbeiten, mit deren Hilfe Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte klimatologische Größen und deren Kombinationen bei gegebener Vulnerabilität unmittelbar in eine Risikoanalyse überführt werden können. Zu diesem Zweck wurden bisherige Methoden des statistischen Ensemble-Postprocessing, speziell des Gaussian-Kernel-Dressing, auf einen multivariaten Ansatz erweitert, sodass räumlich-zeitliche Abhängigkeiten erfasst werden. Die univariaten Verfahren sind aus der Wettervorhersage bekannt, aber weder wurden bisher die uni- als auch die multivariate Variante für die Klimaforschung eingesetzt. Eine ausführliche Beschreibung und Diskussion der verwendeten Methode inklusive Referenzen ist im Abschlussbericht sowie einer gesonderten Publikation zu finden.

### **Modellierung des regionalen Klimas erweist sich als hochkomplex**

Die Bestimmung von Modellgewichten gestaltet sich ungleich schwieriger und ist nach wie vor Gegenstand aktueller, internationaler Forschung. Zum einen können nur a-priori unterscheidbare Realisierungen gewichtet werden, d.h. verschiedene Modelle oder Modellketten, nicht einzelne, statistisch identische Realisierungen von Projektionen. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass die Simulationen mit regionalen Klimamodellen hoch-dimensional, transient und nicht-ergodisch sind. Im Vergleich zur Komplexität des Systems liegt also ein relativ geringer effektiver Stichprobenumfang vor. Gerade der zweite Punkt führt auf ein prototypisches Problem der multivariaten Statistik: die Extraktion von Informationen mittels Datenreduktion. Eine Lösung, die im PAR-K-Projekt verwendet wurde, ist die Projektion auf räumlich-zeitliche Muster, die wesentliche Eigenschaften der betrachteten Größe in ihrer räumlich-zeitlichen Variabilität charakterisieren sollen. In dieser reduzierten Darstellung lassen sich mithilfe einer erweiterten Darstellung des Bayes-Theorems Wahrscheinlichkeiten für regionale Klimamodelle beziffern, die als „Modellgewichte“ in das oben genannte Ensemble-Kernel-Dressing eingearbeitet werden.

### **CCLM gibt Erwärmungstrend und Niederschlagsverteilung gut wieder**

Das Modell CCLM wurde für den Zeitraum 1971 bis 2001 validiert. Dazu wurden die Ergebnisse der mit den ERA40 Reanalysen angetriebenen Simulation der Nestingstufe 1 mit einer Beobachtungsklimatologie für den Niederschlag und die Temperatur in 2 Meter Höhe verglichen. Dabei zeigte sich, dass die berechnete Temperatur im Mittel um 1 K geringer ist als die gemessene. Der mittlere Erwärmungstrend stimmte dagegen sehr gut überein. Der Niederschlag wurde vom Modell im Mittel um ca. 11 mm überschätzt. Weitere Vergleiche der Ergebnisse der Simulationen in der hoch aufgelösten Nestingstufe 2 ergaben, dass das CCLM aufgrund der feineren horizontalen Auflösung und verbesserter Modellphysik räumliche Strukturen der Niederschlagsverteilung über Baden-Württemberg, die sich aus der komplexen Topographie des Gebietes ergeben, deutlich besser wieder gibt als z.B. das hydrostatische Modell REMO, das mit einer Gitterauflösung von 10 km arbeitete, und die ältere CLM Version der Konsortialrechnungen, die eine Auflösung von ca. 18 km verwendete.

### **Große Ensemblesimulationen als Werkzeug der Zukunft**

Im Projekt PAR-K wurde eine umfassende statistisch-dynamische Analyse von Beobachtungen und Simulationen regionaler Klimavariabilität in Baden-Württemberg durchgeführt. Eine allgemeine, auf Bayes-Statistik beruhende Wichtungsmethode wurde entwickelt und auf das im Projekt zusammengestellte Ensemble von Simulationen mit regionalen Klimamodellen angewendet. Diese Wichtungsmethode bestimmt bedingte Wahrscheinlichkeiten für ein Modell bei gegebenen Beobachtungen und berücksichtigt bei der Bewertung der Modelle die räumlich zeitliche Variabilität in Modell und Beobachtungen. Allerdings zeigen sich in den Ergebnissen insbesondere für den Projektionszeitraum deutlich die Grenzen des vorhandenen Ensembles von dynamischen Simulationen auf. Dies wird als ein Problem des so genannten „Ensembles of opportunity“ bezeichnet, weil die vorhandenen Realisierungen nicht nach statistischen Maßstäben erzeugt wurden. Dies Problem war zu Beginn des Projektes in dieser Deutlichkeit nicht zu erwarten. Eine Verbesserung der Situation ist zur Zeit entweder über die statistische Regionalisierung oder

in ein bis zwei Jahren über die dann neu verfügbaren CMIP5/CORDEX Simulationen zu erwarten.

### Wahrscheinlichkeitskarten zeigen deutliches Nord-Süd-Gefälle in Baden-Württemberg

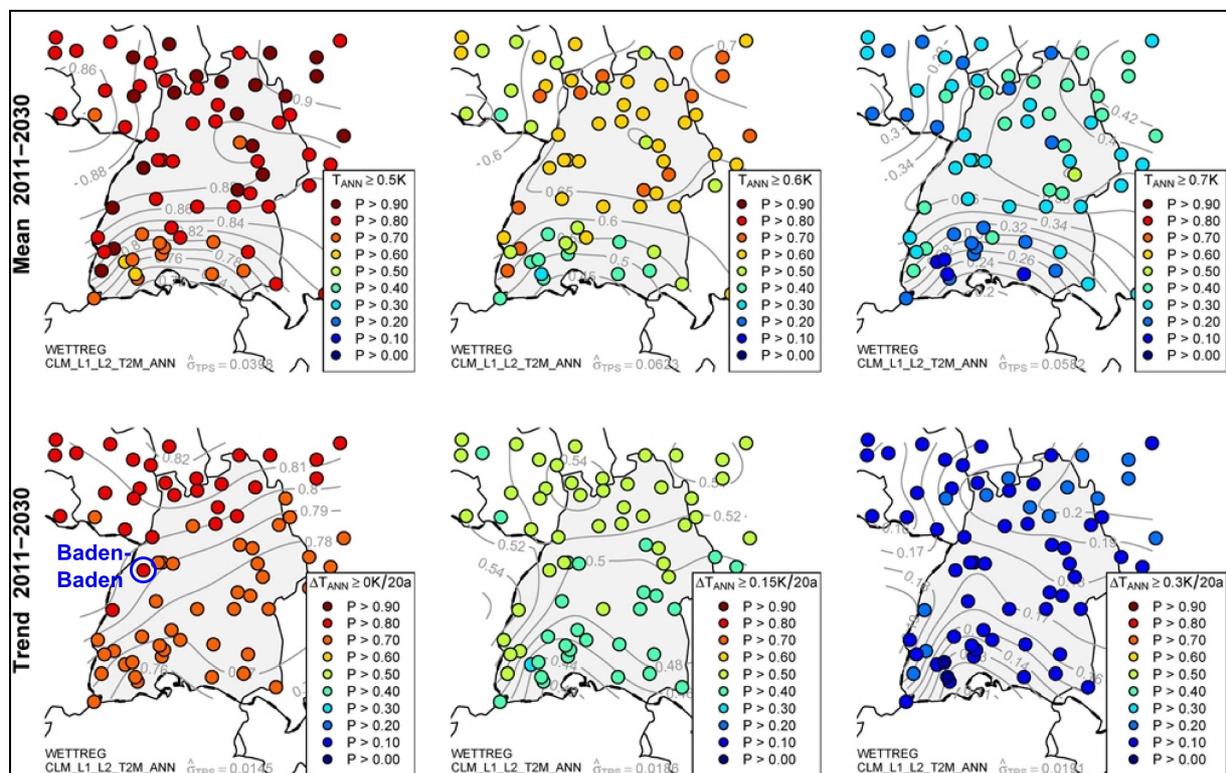
Sowohl aus den dynamischen als auch statistischen Regionalisierungen wurden Wahrscheinlichkeitskarten für ausgewählte Ereignisse erstellt (z. B. das Auftreten besonders stark positiver oder negativer Trends über 20 Jahre oder Mittelwerte jenseits bestimmter Schwellwerte). Sie zeigen zum einen eine deutliche Nord-Süd Abhängigkeit innerhalb von Baden-Württemberg, die für die Interpretation und Anwendung in der Klimafolgenforschung relevant sind. Andererseits ist hier methodisch Neuland beschritten worden, da für regionale Klimaänderungssimulationen derartige statistische Nachbereitungen bislang noch nicht existieren.

### Hohe Variabilität des Klimas in den nächsten Dekaden

Die Unsicherheiten auf der regionalen Skala, so zeigen es die nachbereiteten Simulationen auf der Basis der statistischen Regionalisie-

rung auf, sind zum Teil erheblich. Besonders deutlich wird dies z. B. an den Jahresmitteltemperaturen für Baden-Baden: basierend auf den vorliegenden Simulationen besteht für die ersten Dekaden des 21. Jahrhunderts eine Wahrscheinlichkeit von etwa 20%, dass der Temperaturtrend über den zwanzig-jährigen Zeitraum 2011-2030 negativ ist. Obwohl über längere Zeitskalen die Temperatur aufgrund der steigenden Treibhausgaskonzentrationen ansteigt, sorgen die unvorhersagbaren, internen Klimafluktuationen, die in dem globalen Modell entstehen und dann an die regionalen Modell weitergegeben und verfeinert werden, auf der interannuellen Zeitskala für diesen scheinbaren Widerspruch. Ein nicht zu vernachlässigender Beitrag entsteht vermutlich durch die stochastische Komponente der Nord-Atlantischen Oszillation NAO, die wesentlich die Klimavariabilität in Mitteleuropa im Winter und Frühjahr beeinflusst. Diese Ergebnisse sind sicherlich bedeutsam für die Kommunikation von Klimaänderungen an die allgemeine Öffentlichkeit.

Ein wesentliches Ergebnis des Projektes ist, dass eine adäquate probabilistische Nachbereitung zur Zeit nur mit Hilfe einer statistischen Regionalisierung zu erreichen ist, weil erst



Obere Reihe: Wahrscheinlichkeit, daß sich der Jahresmittelwert der Lufttemperatur im Zeitraum 2011-2030 um mindestens 0.5 K (links), mindestens 0.6 K (Mitte) und mindestens 0.7 K (rechts) ändert. Untere Reihe: wie obere Reihe, aber für Trends jeweils mindestens 0 K/20a (links), 0.15 K/20a (Mitte) und 0.3 K/20a (rechts)

hierdurch genügend Realisierungen der internen Variabilität a-posteriori aus den dynamischen Simulationen erzeugt werden. Allerdings erfordert dies auch modifizierte Ansätze zur statistischen Regionalisierung, um z.B. die doppelte Nutzung von Beobachtungen für die Eichung des statistischen Modells und für die Wichtung mit Hilfe der Bayes Statistik zu vermeiden.

#### **Kontakt**

Hense, A.<sup>1</sup>, Panitz, H.-J.<sup>2</sup>, Schädler, G.<sup>2</sup>, Schölzel, C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Meteorologisches Institut der Rheinischen Friederich-Wilhelms-Universität Bonn, Universität Hohenheim

<sup>2</sup> Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie

---

### **Publikationen aus dem Projekt**

#### **Zeitschriftenbeiträge**

Kreienkamp, F., Spekat, A., and Enke, W. 2009: "Sensitivity studies with a statistical downscaling method - the role of the driving large scale model". *Meteorol. Z.*, 18, 597-606

Panitz, H.-J., Schädler, G., Feldmann, H. 2010: "Modelling regional climate Change in southwest Germany". In: *High Performance Computing in Science and Engineering '09* [W. E. Nagel, D. Kröner, M. Resch (Eds.)]. ISBN 978-3-642-04664-3, Springer Berlin Heidelberg New York, 429-441.

Meissner, C., Schädler, G., Panitz, H.-J., Feldmann, H., Kottmeier, Ch. 2009: „High-resolution sensitivity studies with the regional climate model COSMO-CLM". *Meteorol. Z.*, 18, 543-557

Schölzel, C., Hense, A. 2010: "Probabilistic assessment of regional climate change in Southwest Germany by ensemble dressing". *Climate Dynamics*, in press

Schölzel, C., Friederichs, P. 2008: "Multivariate non-normally distributed random variables in climate research - introduction to the copula approach". *Nonlinear Processes in Geophysics*, 15, 761-772

#### **Tagungsbeiträge**

Panitz, H.-J.: "High Resolution Regional Climate Simulation". 8th Teraflop Workshop, 10.-11.04.2008, Stuttgart

Schölzel, C., Hense, A.: "Probabilistic assessment of regional climate change by ensemble dressing". Joint Statistical Meetings, August 2008, Denver, Colorado, USA

Schölzel, Ch., Hense., A.: "Probabilistic assessment of regional climate change by ensemble dressing. Dynamics and Statistics in Weather and Climate". 29.-31.07. 2009, Dresden, Germany

Schölzel, C., Hense, A.: "Probabilistic assessment of regional climate change by ensemble dressing". European Geosciences Union General Assembly 2009, Vienna, Austria

Schölzel, C., Hense, A.: "Probabilistic assessment of regional climate change by ensemble dressing". Dynamics and Statistics in Weather and Climate 2009, Dresden, Germany

Schölzel, C., Hense, A.: "Probabilistic assessment of regional climate change by ensemble dressing". Deutsche Klimatagung, Oktober 2009, Bonn, Germany

Panitz, H.-J., Schölzel, Ch., Hense, A., Feldmann, H., Schädler, G.; "Probabilistic assessment of regional climate change in Southwest Germany". European Geosciences Union General Assembly 2010, 02.- 07.05.2010, Vienna, Austria.

## Einschleppung von Krankheitserregern aus dem mediterranen Raum

### Verbundprojekt Vektoren

#### Teilprojekt „Dermacentor-Zecken als Überträger von Q-Fieber (*Coxiella burnetii*) und Mittelmeerfleckfieber (*Rickettsia conorii*)“

Es wird allgemein angenommen, dass mit steigenden Durchschnittstemperaturen die Zahl und Verbreitung von Zecken, insbesondere von wärmeliebenden Arten wie der Schafzecke (*Dermacentor marginatus*) und der Auwaldzecke (*Dermacentor reticulatus*), zunimmt, was gleichzeitig eine Ausbreitung zeckenübertragener Krankheitserreger mit sich bringt.

Um die Gefährdung durch zeckenübertragene Infektionen in Zukunft abschätzen zu können, ist es von entscheidender Bedeutung, den „status quo“ zu kennen, indem man die heutige Verbreitung von Krankheitserregern in Zecken erfasst.

In diesem Teilprojekt wurde daher das Vorkommen zweier bakterieller Erreger (*Coxiella burnetii* und *Rickettsia* spp.) in Zecken der Gattung *Dermacentor* sowie in Nagern in Süddeutschland untersucht.

#### Verbreitung und Lebensraum von Zecken

Zecken der Gattung *Dermacentor* gehören, ebenso wie der weit verbreitete Holzbock *Ixodes ricinus*, zu den Schildzecken. In Deutschland sind zwei Arten der Gattung *Dermacentor* heimisch: die Schafzecke *Dermacentor marginatus* sowie die Auwaldzecke *Dermacentor reticulatus*.

Die Schafzecke ist eine wärmeliebende Zecke, die für ihre Entwicklung einen warmen und trockenen Lebensraum benötigt. Ihr Vorkommen in Deutschland ist daher auf wenige Gebiete vor allem im südlichen Rheintal sowie im Maintal begrenzt [1].

Die Auwaldzecke ist dagegen an kühlere und feuchtere Bedingungen angepasst und zeigt eine weitere geografische Verbreitung. Populationen dieser Zeckenart wurden sowohl in Süddeutschland (z.B. in Freiburg und Karlsruhe) als auch im Osten Deutschlands in Sachsen und Berlin gefunden [2].



Schafzecke (*Dermacentor marginatus*) im Schaf-Vlies (© G. Steng, Stuttgart)



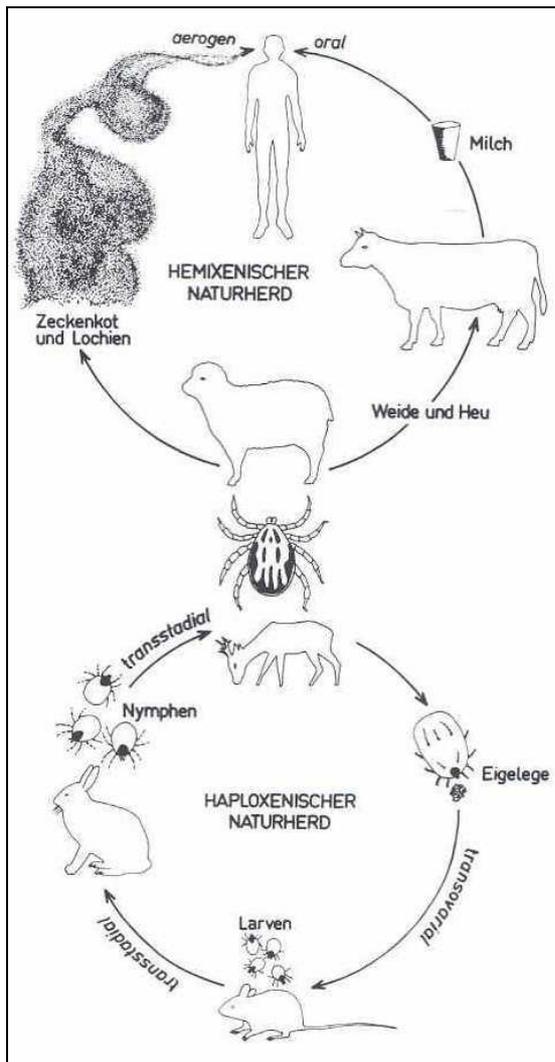
Auwaldzecke (*Dermacentor reticulatus*)

#### Q-Fieber: Von Tieren auf Menschen übertragene Krankheit

*Coxiella burnetii* ist der Erreger des Q-Fiebers (von query-fever = „fragliches Fieber“, da der Erreger zunächst unbekannt war); dabei handelt es sich um eine Zoonose, d.h. eine Erkrankung, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden kann. Das Q-Fieber ist mit Ausnahme von Neuseeland weltweit verbreitet. Die Bakterien leben ausschließlich intrazellulär in Zellen des Immunsystems, den Makrophagen. Ausgehend von dieser intrazellulären Form können die Erreger sporenhähnliche Stadien ausbilden, die in die Umgebung abgegeben werden. Da diese Stadien sehr widerstandsfähig gegenüber Umwelteinflüssen wie Austrocknung und UV-Strahlung sind, können sie in der Umwelt über mehrere Wochen oder Monate überleben und infektiös bleiben.

Man geht davon aus, dass *C. burnetii* in so genannten Naturherden existiert. Dabei werden die Erreger von Zecken auf Nager sowie größere Haus- und Nutztiere wie Rehe, Schafe

oder Ziegen übertragen, sodass sich ein stabiler Kreislauf bildet. Infizierte Tiere scheiden die sporenen Formen der Erreger in großen Mengen aus: Zecken mit dem Kot, Säugetiere vor allem mit Geburtsflüssigkeiten, aber auch mit Kot und Urin. Auf diese Weise kontaminieren infizierte Tiere ihre Umgebung in hohem Maße. Das Einatmen der sporenen Stadien, z.B. über kontaminierten Staub, stellt den wichtigsten Infektionsweg für den Menschen dar; Hauptinfektionsquelle ist dabei das Schaf.



Infektionskreislauf von *Coxiella burnetii* [9]

### Q-Fieber-Erkrankung kann schwerwiegende Folgen haben

Eine akute Q-Fieber-Erkrankung verläuft in den meisten Fällen symptomlos, kann aber auch mit unspezifischen grippeähnlichen Beschwerden wie Fieber, Kopfschmerzen, Schüttelfrost und Abgeschlagenheit einhergehen. In etwa zwei Prozent der Fälle kommt es

zu einem schweren Verlauf, der sich durch eine Lungenentzündung (atypische Pneumonie) oder eine Entzündung der Leber (Hepatitis) äußern kann. Ein chronischer Krankheitsverlauf tritt bei etwa 0,2% der Patienten auf; dabei kommt es vor allem zu einer Entzündung der Herzklappen (Endokarditis). Bei Schwangeren können akute Q-Fieber-Erkrankungen zu Fehl- und Frühgeburten führen; zudem haben diese Patienten ein deutlich höheres Risiko, ein chronisches Q-Fieber zu entwickeln [3].

### Baden-Württemberg am stärksten durch Q-Fieber-Erkrankungen betroffen

In Deutschland erkranken im Durchschnitt jährlich 260 Personen an Q-Fieber; Baden-Württemberg ist laut dem Robert Koch-Institut mit durchschnittlich 60 Erkrankungen pro Jahr am stärksten betroffen (SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>). Die Infektionen betreffen meist Einzelpersonen mit direktem Kontakt zu infizierten Tieren, wie Tierärzte oder Schäfer. Daneben kommt es jedoch immer wieder zu größeren Q-Fieber-Ausbrüchen; so erkrankten beispielsweise im Jahr 2005 bei einem Ausbruch in Jena 331 Personen. Trockene und windige Wetterbedingungen begünstigen solche Ausbruchssituationen, da sich die sporenen Erregerstadien dann über weite Flächen verteilen können.

### Läuse, Flöhe und Zecken als Bakterien-Überträger

Bakterien der Gattung *Rickettsia* sind weltweit mit einer sehr großen Anzahl an Arten verbreitet. Sie leben, ebenso wie *C. burnetii*, ausschließlich intrazellulär, können jedoch keine sporenen Stadien ausbilden. Rickettsien werden traditionell in zwei Gruppen eingeteilt: die Erreger der Fleckfieber-Gruppe werden durch Läuse und Flöhe übertragen, wohingegen für die Bakterien der Zeckenstichfieber-Gruppe Zecken als Überträger fungieren.

Rickettsien befallen vor allem die so genannten Endothelzellen, die die innere Auskleidung von Blutgefäßen bilden. Hier kommt es zu einer Vermehrung der Bakterien, was wiederum zu einer Entzündung der Gefäße und zu den typischen Symptomen einer Rickettsiose führt. Hierzu zählen vor allem Fieber, Kopfschmerzen und ein charakteristischer Hautausschlag.

Ein Befall innerer Organe wie Lunge oder Leber kann darüber hinaus zu inneren Blutungen und damit zu einem lebensbedrohlichen Krankheitsverlauf führen. Die Symptomatik im Einzelnen sowie die Schwere der Erkrankung sind abhängig von der beteiligten Rickettsien-Art [4].



Lokale Hautreaktion infolge einer *Rickettsia slovaca*-Infektion

### Untersuchungen in bekannten Endemiegebieten südliches Rheintal und Maintal durchgeführt

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurden jeweils im März und April 2006, 2007 und 2008 adulte Zecken der Arten *Dermacentor marginatus* und *Dermacentor reticulatus* untersucht, die in mehreren Gebieten im südlichen Rheintal (Landkreis Lörrach) sowie im Maintal (Stadtkreis Aschaffenburg) mit Hilfe von Zeckenfahnen von der Vegetation abgesammelt wurden. Die Nager, bei denen es sich hauptsächlich um Feldmäuse (*Microtus arvalis*) sowie einige Waldmäuse (*Apodemus sylvaticus*) handelte, wurden ebenfalls im südlichen Rheintal (Landkreis Lörrach) sowie im Kinzigtal (Landkreis Ortenau) gefangen. In den Gebieten, aus denen die untersuchten Zecken und Nager stammten, traten in der Vergangenheit immer wieder Fälle von Q-Fieber auf, sie gelten daher als Q-Fieber-Endemiegebiete.

### Keine *Coxiella burnetii*-infizierten Tiere nachgewiesen

Insgesamt wurden 666 ungesaugte *Dermacentor*-Zecken mit Hilfe molekularbiologischer Methoden (Polymerase-Kettenreaktion = PCR) auf *Coxiella burnetii* untersucht. Es konnten jedoch keine infizierten Zecken gefunden wer-

den. Die molekularbiologische Untersuchung von 119 Nagern ergab ebenfalls keinen Hinweis auf *C. burnetii*-infizierte Tiere. Dies wurde durch Blutuntersuchungen (Enzymgekoppelter Immunadsorptionstest = ELISA) bestätigt, da bei keinem der untersuchten Nager Antikörper gegen Coxiellen nachgewiesen werden konnten.

In einer Arbeit aus dem Jahr 2006 konnten in 395 ungesaugten *Dermacentor*-Zecken aus dem Landkreis Ortenau ebenfalls keine *C. burnetii*-Infektionen festgestellt werden [5].

Die negativen Ergebnisse der Zecken- und Nager-Untersuchungen sind umso erstaunlicher, als es sich bei den Untersuchungsgebieten in den Landkreisen Lörrach und Ortenau sowie im Stadtkreis Aschaffenburg um Q-Fieber-Endemiegebiete handelt, in denen regelmäßig Fälle von Q-Fieber gemeldet werden. So gab es z.B. in Aschaffenburg im Frühjahr 2008 einen kleineren Ausbruch mit etwa 40 erkrankten Personen; zum Zeitpunkt dieses Ausbruchsgeschehens wurden in diesem Gebiet auch die Zecken gesammelt.

### Naturherde lokal sehr begrenzt

In einer Studie aus dem Jahr 2004 konnten zwar in zwei von 1000 untersuchten, ungesaugten Schafzecken aus dem Landkreis Lörrach Coxiellen nachgewiesen werden [6]. Insgesamt zeigt sich somit jedoch nur eine sehr geringe Zahl positiver Zecken, was vermuten lässt, dass die Naturherde nur sehr klein bzw. lokal sehr begrenzt sind und daher bei den durchgeführten Untersuchungen häufig nicht entdeckt werden. Zusammengefasst lassen diese Ergebnisse darauf schließen, dass die in der Literatur beschriebenen Naturherde, in denen *C. burnetii* zwischen Zecken und Nagern zirkuliert und die als Quelle für Q-Fieber-Ausbrüche gelten, zumindest in den von uns untersuchten Gebieten keine entscheidende Rolle spielen können.

### Kontamination der Umgebung durch Zeckenkot

Eine wahrscheinlichere Rolle der Zecken liegt in der Verbreitung von *C. burnetii* über den Zeckenkot. Die beim Saugakt an einem infizierten Schaf oder anderen Wirt aufgenommenen Bakterien vermehren sich in den Zecken und bilden sporenhähnliche Stadien aus; diese werden in großer Menge mit dem Zeckenkot

ausgeschieden. Das Vorkommen von Coxiellen im Kot von *Dermacentor*-Zecken konnte 2004 anhand einer Probe aus Lörrach nachgewiesen werden [6]. *Dermacentor*-Zecken verstärken somit die Kontamination der Umgebung mit infektiösen *C. burnetii*-Partikeln und tragen zu einem erhöhten Infektionsrisiko für den Menschen bei. Man kann daher auch von einer „Multiplikator-Funktion“ der Zecken in der Epidemiologie des Q-Fiebers sprechen.

### Trocken-heiße Sommer begünstigen steigende Q-Fieber-Infektionsraten

Die im Zuge der globalen Erwärmung zu erwartenden trockenen und heißen Sommer bieten optimale Bedingungen für die Verbreitung der sporenlähnlichen Stadien von *C. burnetii*. Daher muss in Zukunft mit steigenden Fallzahlen gerechnet werden, unabhängig von der Rolle und der Verbreitung der *Dermacentor*-Zecken.

### Molekularbiologische Methoden weisen hohe Rickettsien-Befallsrate nach

In 207 der 666 untersuchten *Dermacentor*-Zecken konnten mit Hilfe von molekularbiologischen Methoden (PCR) Bakterien der Gattung *Rickettsia* nachgewiesen werden. Das entspricht einer Befallsrate von 31,1% (siehe Tabelle). Mit Hilfe der DNA-Sequenzierung konnten zwei Rickettsien-Arten in den *Dermacentor*-Zecken identifiziert werden. *Rickettsia raoultii* wurde mit einer Befallsrate von 30,3% sowohl in Schaf- als auch in Auwaldzecken im Landkreis Lörrach nachgewiesen. Im Stadtkreis Aschaffenburg wurden dagegen ausschließlich in Schafzecken Rickettsien nachgewiesen, die alle als *Rickettsia slovaca* bestimmt werden konnten (Befallsrate: 0,75%).

### *Rickettsia slovaca* erstmals seit 1977 in Deutschland nachgewiesen

*R. raoultii* wurde bereits in mehreren Studien in

*Dermacentor*-Zecken in Deutschland nachgewiesen; so konnte diese Art z.B. im Nordosten Deutschlands mit einer Befallsrate von 23% in Auwaldzecken identifiziert werden [2]. *R. slovaca* wurde erstmals 1977 im südlichen Baden-Württemberg in 8 Schafzecken nachgewiesen [7], seither gab es jedoch in Deutschland keine Funde.

Die im Rahmen dieses Forschungsprogramms durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass *R. slovaca* und *R. raoultii* in Zecken der Gattung *Dermacentor* in Süddeutschland vorkommen; wie weit die Arten tatsächlich verbreitet sind, ist jedoch bisher nicht bekannt. Da es sich um humanpathogene Arten handelt, sind weitere Untersuchungen bezüglich der Verbreitung in Deutschland dringend erforderlich. Der kürzlich erfolgte Nachweis einer *R. slovaca*-Infektion bei einer Patientin im südlichen Rheinland-Pfalz [8] unterstreicht die Wichtigkeit zukünftiger Studien.

### Gefahr durch Importe von infizierten Hunden aus dem mediterranen Raum

Die vorliegende Untersuchung brachte keinen Hinweis auf das Vorhandensein von *R. conorii*, dem Erreger des Mittelmeerfleckfiebers, in *Dermacentor*-Zecken in Süddeutschland. Eine Einschleppung dieses Erregers, der im mediterranen Raum weit verbreitet ist, ist jedoch jederzeit möglich und zunehmend wahrscheinlich. Eine besondere Gefahr stellen dabei unkontrollierte Transporte von Hunden dar, die im Mittelmeerraum die wichtigsten Reservoirwirte (= tierische Wirte, die als Ausgangspunkt für Infektionen des Menschen dienen) für *R. conorii* sind. Über infizierte Hunde können die Erreger nach Deutschland gelangen und in den heimischen Zeckenpopulationen stabile Naturherde ausbilden, woraus sich wiederum eine neue Infektionsgefahr für den Menschen ergibt.

	untersucht/ mit Rickettsien infiziert (%)	identifiziert als	
		<i>Rickettsia raoultii</i> (%)	<i>Rickettsia slovaca</i> (%)
Lörrach	640/202 (31,6%)	202	0
Aschaffenburg	26/5 (19,2%)	0	5
<b>gesamt</b>	<b>666/207 (31,1%)</b>	<b>202 (30,3%)</b>	<b>5 (0,75%)</b>

Vorkommen von Rickettsien in *Dermacentor*-Zecken im Landkreis Lörrach und im Stadtkreis Aschaffenburg

## Ausblick

Bei einer im Zuge der globalen Erwärmung steigenden Durchschnittstemperatur besteht die Gefahr, dass sich Zecken der Gattung *Dermacentor* weiter in Deutschland ausbreiten. Dies wurde für die Auwaldzecke bereits nachgewiesen [2] und ist für die Schafzecke ebenfalls wahrscheinlich. Bei einer Ausbreitung der Zeckenpopulationen werden sich auch die bereits nachgewiesenen Pathogene ausbreiten; zudem erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass aus dem Mittelmeerraum eingeschleppte Erreger wie *Rickettsia conorii* stabile Naturherde in Deutschland bilden.

Der Einfluss des Klimawandels auf die Verbreitung zeckenübertragener Krankheiten kann nur durch kontinuierliche Untersuchungen der Zeckenpopulationen abgeschätzt werden. Für die Beurteilung des zukünftigen Infektionsrisikos für den Menschen ist es daher absolut notwendig, die aktuelle Verbreitung dieser Erreger in Zecken und Reservoirwirten weitergehend zu untersuchen.

### Verbundprojekt „Sandmücken als Überträger von Leishmaniosen (*Leishmania infantum*)“

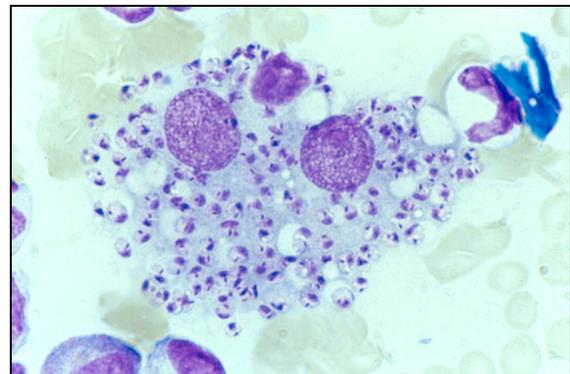
Die zu den Schmetterlingsmücken gehörenden Sandmücken der Gattung *Phlebotomus* sind im Mittelmeerraum weit verbreitet. Bisher nahm man an, dass die thermophilen Phlebotomen nördlich der Alpen wegen der hier herrschenden zu geringen Durchschnittstemperaturen nicht vertreten sind; Inzwischen hat sich aber gezeigt, dass Phlebotomen punktuell auch in Deutschland vorkommen, typischerweise in den warmen Regionen im Rheingraben von Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Ziel des Projekts war es genauere Daten zur Verbreitung der Phlebotomen zu gewinnen. Wie bei allen Arthropoden-übertragenen Krankheiten ist das Vorhandensein der Vektoren unabdingbare Voraussetzung für die Einschleppung einer solchen Infektion. Dann jedoch können schon einzelne infizierte Individuen der Ausgangspunkt für die Etablierung der Infektion sein und sogar eine Epidemie auslösen.

### Medizinische Bedeutung der Leishmaniose

Phlebotomen sind Ektoparasiten und haben eine große medizinische Bedeutung als Vektoren

für verschiedene human- und tierpathogene Erreger- Protozoen, Bakterien und Viren; die größte humanmedizinische Bedeutung haben zweifellos die Leishmaniosen.

Leishmaniosen werden durch einzellige Flagellaten der Gattung *Leishmania* hervorgerufen. Leishmanien können eine Reihe von Säugetieren, darunter auch den Menschen, befallen. Die nur 2-4µm großen Parasiten leben intrazellulär; als Zielzellen dienen Makrophagen. Dank vielfacher Evasionsmechanismen werden sie in den Makrophagen jedoch nicht abgetötet, sondern können sich im Gegenteil vermehren. Dies führt dazu, dass die Immunabwehr weitere Makrophagen mobilisiert, was einer weiteren Vermehrung der Leishmanien Vorschub leistet.



Vermehrung von Leishmanien

Leishmaniosen treten als kutane, mukokutane und viszerale Formen auf. Bei letzterer sind besonders Knochenmark, Leber, Milz und lymphatisches Gewebe betroffen und werden mit Makrophagen „verstopft“. Dies führt schließlich zu Funktionseinschränkungen der genannten Organe sowie zu einer Vergrößerung von Leber und Milz. Im Mittelmeerraum ist die viszerale Leishmaniose, hervorgerufen durch *Leishmania infantum*, endemisch. Bei prädestinierten Personen, vor allem Kindern, kann diese „Makrophagenkrankheit“ nach einer Inkubationszeit von Monaten bis Jahren zu einem schweren Krankheitsbild führen: Die Symptomatik kann mit abruptem Fieber beginnen und einer Malariainfektion ähneln, in den meisten Fällen verläuft die Erkrankung jedoch schleichend bei wenig gestörtem Allgemeinbefinden. Im Verlauf von Monaten kommt es zu zunehmender Auszehrung und zu Sekundärinfektionen infolge der durch die Leukopenie bedingten Immunschwäche. Bleibt die Infektion unbehandelt, enden über 90% der manifesten

Erkrankungen tödlich. (Lang, Löscher 2000, Krauss Weber, 2004).

### Untersuchungszeitraum und Fanggebiete

Im Sommer 2007 wurden 41 Sandmücken der Art *Phlebotomus mascittii* an acht verschiedenen Standorten in fünf Orten in Baden-Württemberg und in Cochem (Rheinland-Pfalz) gefangen. Es handelte sich hierbei um bereits bekannte sowie neue Standorte. Die Fangdaten, zugehöriger Standort sowie Anzahl der gefangenen Sandmücken sind registriert und tabellarisch dargestellt.



*Phlebotomus mascittii* bei der Blutaufnahme

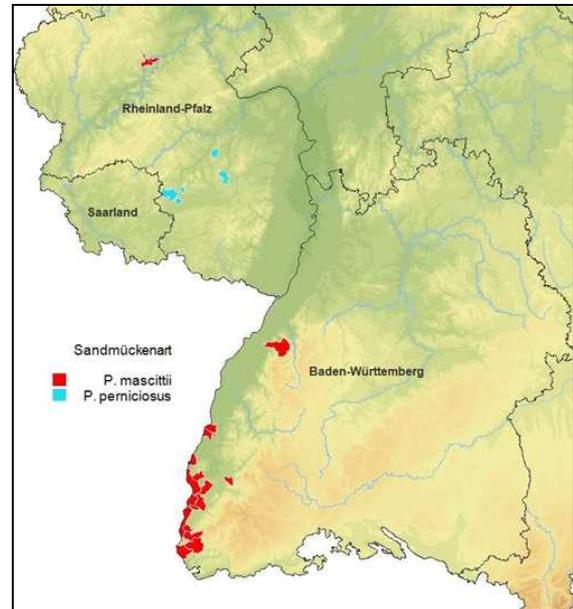
Von Juli bis August 2008 wurden 13 neue Standorte für Deutschland innerhalb von Baden-Württemberg für die Sandmücke *P. mascittii* nachgewiesen. Es wurden insgesamt 24 Sandmücken der Art *P. mascittii* an 15 verschiedenen Standorten in zwölf Orten gefangen. Zusätzlich wurden an zwei weiteren Standorten in Rheinland-Pfalz drei Individuen der Sandmückenart *Phlebotomus perniciosus* nachgewiesen. Die Fangdaten, zugehöriger Standort sowie Anzahl der gefangenen Sandmücken sind ebenfalls tabellarisch dargestellt.

### Verbreitung von Sandmücken in Deutschland

Die Verbreitung von *P. mascittii* in Deutschland konzentriert sich bisher auf Regionen innerhalb von Baden-Württemberg entlang des Rheingrabs. Ein weiterer Standort konnte weiter nördlich in einer Region von Rheinland-Pfalz (Cochem-Dortebachtal) nachgewiesen werden. Zwei Standorte der Sandmückenart *P. perniciosus* wurden ebenfalls in Rheinland-Pfalz nachgewiesen. Bemerkenswert ist, dass in dieser Region seit 2001 bereits drei autoch-

ton erworbene Erkrankungen an Leishmaniose bei Hunden dokumentiert wurden. Sandmücken werden nur in einem Umkreis von etwa zwei Metern durch Lichtfallen angelockt. Daher basieren die Fänge auf einem Zufallsprinzip. Nicht jeder negative Fang beweist die Abwesenheit von Sandmücken am untersuchten Standort.

Zusätzlich wurden die Fangaktionen bisher noch nicht auf ganz Deutschland ausgeweitet, sondern nur lokal auf Gebiete begrenzt, in deren Nähe bereits Sandmücken bzw. autochton erworbene Leishmaniose-Fälle nachgewiesen wurden. Somit kann über die momentane Verbreitung von Sandmücken in Deutschland keine endgültige Aussage getroffen werden.



Sandmückenfunde in SW-Deutschland 2008

### Autochthone Infektionen bei Menschen in Deutschland sehr wahrscheinlich

Bei den in Baden-Württemberg nachgewiesenen Phlebotomus-Arten handelt es sich ausschließlich um *P. mascittii*, in Rheinland-Pfalz wurde vereinzelt auch *P. perniciosus* aufgefunden. Letztere Art ist als Vektor von Leishmanien bekannt, bei *P. mascittii* steht dieser Nachweis noch aus; Infektionsversuche mit ungesogenen Weibchen aus einer Zucht (T. Naucke) in einem speziell ausgerüsteten Entomologie-Labor an der Universität Heidelberg sind in Vorbereitung. Diese sollen einen letzten Beweis für die Möglichkeit der Übertragung von Leishmanien in Deutschland liefern. Epidemiologische Daten sprechen dafür, dass dieser Prozess schon begonnen hat. Wie oben er-

wähnt sind in Deutschland eine Reihe von Leishmaniosen bei Mensch und Tier bekannt geworden, bei denen es sich um autochthone, d.h. im Lande erworbene, Infektionen handeln muss, da bei den Betroffenen kein Aufenthalt in südlichen Regionen, z.B. dem Mittelmeerraum, zu eruieren war. Auch bei jüngst in Kärnten aufgetretenen Leishmaniosen lagen offenbar autochthone Infektionen vor; die Suche nach den Vektoren war dort ebenfalls erfolgreich.

### Import von infizierten Hunden aus dem Mittelmeerraum verschärft Problematik

Die Situation gewinnt an Brisanz durch die Tatsache, dass im Mittelmeerraum Haushunde das bedeutsamste tierische Reservoir darstellen. Bei diesen kommt es zu einer chronischen, durch Ulcera, Haarausfall und übermäßiges Krallenwachstum gekennzeichneten Infektion. Aus Gründen überzogener Tierliebe werden in großer Zahl Straßenhunde aus dem Mittelmeerraum und speziell auch Leishmanien-infizierte Tiere nach Deutschland importiert. Da dies in der Regel keinerlei veterinärmedizinischer Kontrolle unterliegt, ist für einen ständigen Eintrag der Leishmanien gesorgt. Die infizierten Tiere werden hier zwar behandelt; dies führt in der Regel jedoch nur zu einer Besserung der klinischen Erscheinungen, ohne dass die Erreger endgültig eliminiert werden können, sodass die Tiere lebenslang Leishmanienträger und somit Reservoir bleiben. Sollten sich im Zuge der globalen Erwärmung die Phlebotomen in Deutschland weiter ausbreiten, wird dies zu einer Intensivierung des Phlebotomen-Kreislaufs führen, sodass man über kurz oder lang die durch *L. infantum* hervorgerufene viszerale Leishmaniose, zu den „etablierten“ Infektionen in Deutschland wird rechnen müssen.

#### Kontakt

Kimmig, P.<sup>1</sup>, Mackenstedt, U.<sup>1</sup>, Naucke, T.<sup>1</sup>, Pluta, S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Zoologie, Fg. Parasitologie, Universität Hohenheim

### Im Text zitierte Literatur

- [1] Liebisch, A., Rahman, M.S. 1976: Zum Vorkommen und zur vektoriiellen Bedeutung der Zecken *Dermacentor marginatus* (Sulzer, 1776) und *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) in Deutschland. Tropenmed. Parasit. 27, 393-404.
- [2] Dautel, H., Dippel, C., Oehme, R., Hartelt, K., Schettler, E., 2006: Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* spp. RpA4. Int. J. Med. Microbiol., 296, Suppl.1, 149-156.
- [3] Maurin, M. und Raoult, D., 1999: Q Fever. Clin. Microbiol. Rev. 12(4), 518-553.
- [4] Parola, P., Paddock, C.D., Raoult, D., 2005: Tick-borne rickettsioses around the world: emerging diseases challenging old concepts. Clin. Microbiol. Rev. 18(4), 719-756.
- [5] Dezfuli, M., 2006: Untersuchung zur Epidemiologie von Coxiellen und Rickettsien in *Dermacentor* Zecken. Diplomarbeit, Universität Tübingen, Deutschland.
- [6] Sting, R., Breitling, N., Oehme, R., Kimmig, P., 2004: The occurrence of *Coxiella burnetii* in sheep and ticks of the genus *Dermacentor* in Baden-Wuerttemberg. Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. 111(10), 390-394.
- [7] Rehacek, J., Liebisch, A., Urvölgyi, J., Kovacova, E., 1977: Rickettsiae of the spotted fever group isolated from *Dermacentor marginatus* ticks in South Germany. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. A, 239, 257-281.
- [8] Pluta, S., Tewald, F., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U., 2009: *Rickettsia slovaca* in *Dermacentor marginatus* ticks, Germany. Emerg. Infect. Dis. 15(12), 2077-2078
- [9] Liebisch, A., Burgdorfer, W., Rahman, M.S.: Epidemiologische Untersuchungen an Schafzecken (*Dermacentor marginatus*) auf Infektionen mit Rickettsien. Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. 85, 113-152
- [10] Parola, P., Rovey, C., Rolain, J.M., Brouqui, P., Davoust, B., Raoult, D., 2009: *Rickettsia slovaca* and *R. raoultii* in tick-borne diseases. Emerg. Infect. Dis. 15(7), 1105-1108

### Publikationen aus dem Projekt

#### Zeitschriftenbeiträge

Kimmig, P. 2010: „Q-Fieber“. In: Rieke, B., Küpper, T., Muth, C.M. (Hrsg), Moderne Reisemedizin - Handbuch für Ärzte, Apotheker, Reisende. 1. Ausgabe, Gentner Verlag.

Kimmig, P. 2010: „Rickettsiosen“. In: Rieke, B., Küpper, T., Muth, C.M. (Hrsg), Moderne Reisemedizin - Handbuch für Ärzte, Apotheker, Reisende. 1. Ausgabe, Gentner Verlag.

Kimmig, P. 2010: „Leishmaniosen“. In: Rieke, B., Küpper, T., Muth, C.M. (Hrsg), Moderne Reisemedizin - Handbuch für Ärzte, Apotheker, Reisende. 1. Ausgabe, Gentner Verlag.

Kimmig, P., Pluta, S., Hartelt, K., Naucke, T., Oehme, R., Mackenstedt, U. 2010: „Klimawandel und die Ausbreitung von vektorübertragenen Infektionskrankheiten - FSME, Q-Fieber, Hantaviren, Rickettsiosen, Leishmaniosen, Sandmückenfieber“. Zeitschrift Amtstierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle 17(2), 1-5.

Kimmig, P., Pluta, S., Naucke, T. 2010: „Globale Erwärmung: Infektionsgefahr aus dem Süden“. Biologie in unserer Zeit 40(1), 21-28.

Naucke, T. 2009: „Leishmaniose – Einzug in Deutschland“. Kleintiermedizin 3 - 4/2009 (Suppl.: Parasiten-Spezial): 4-10

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Mackenstedt, U., Kimmig, P. 2010: „Prevalence of *Coxiella burnetii* and *Rickettsia* spp. in ticks and rodents in Southern Germany“. Ticks Tick Borne Dis., accepted 20.04.2010.

Pluta, S., Tewald, F., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U. 2009: „*Rickettsia slovaca* in *Dermacentor marginatus* ticks, Germany“. Emerg. Infect. Dis. 15(12), 2077-2078

#### **Tagungsbeiträge (chronologisch)**

Pluta, S.: Projekt „Klimawandel: Gefährdung durch vektorübertragene Infektionen: Erste Ergebnisse in Bezug auf *Coxiella burnetii*, *Rickettsia* spp. und Hantaviren“. Tagung der Deutschen Gesellschaft für medizinische Entomologie und Acarologie, Bochum, 11.-12.10.2007

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U.: „Climate change and vector-borne diseases: First results concerning *Coxiella burnetii*, *Rickettsia* spp. and Hantaviruses“. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Parasitologie, Hamburg, 05.-07.03.2008

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U.: „Verbreitung von *Rickettsia* spp. und *Coxiella burnetii* in Zecken und Nagern in Baden-Württemberg“. Tagung der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, Göttingen, 16.-19.03.2009

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U.: „Prevalence of *Rickettsia* spp. and *Coxiella burnetii* in ticks and rodents in Southern Germany“. International Jena Symposium on tick-borne diseases, Weimar, 19.-21.03.2009

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U.: „*Dermacentor* ticks as vectors for *Coxiella burnetii* and *Rickettsia* spp. in southern Germany“. Tagung der Deutschen Gesellschaft für medizinische Entomologie und Acarologie, Frankfurt, 29.-31.10.2009

Pluta, S., Hartelt, K., Oehme, R., Kimmig, P., Mackenstedt, U.: „The role of *Dermacentor* ticks in the epidemiology of *Coxiella burnetii* and *Rickettsia* spp. in Southern Germany“. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Parasitologie, Düsseldorf, 17.-20.03.2010.

# Einfluss von Klima und Klimaveränderungen auf die Zunahme von Pollenallergien und -Sensibilisierungen am Beispiel von Ambrosia-Pollen

## Verbundprojekt Ambrosia-Pollen

In einer interdisziplinär angelegten Studie wurde zwischen 2006 und 2008 vom Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart (LGA), vom ZAUM-Zentrum Allergie und Umwelt von TUM und Helmholtz-Zentrum, vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und von der Projektgruppe Biodiversität und Landschaftsökologie, Friedberg (PBL) untersucht, in welchem Umfang die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) in Baden-Württemberg verbreitet ist. In zwei Regionen wurden Pollenmengen in der Luft gemessen und untersucht ob bereits Sensibilisierungen gegen diese Pollen bei Kindern vorliegen.

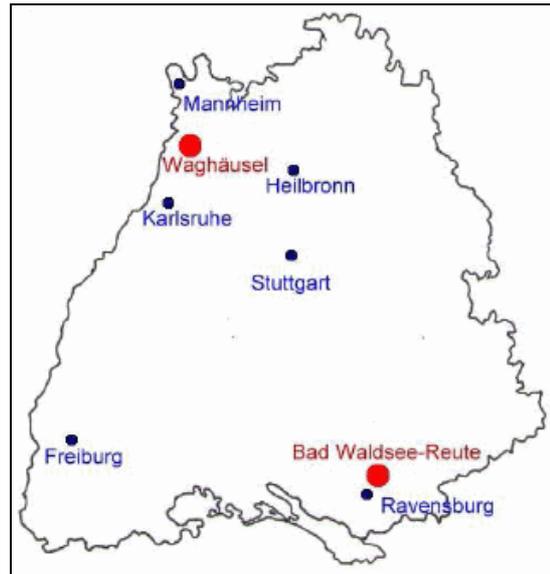


Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*)

### Vergleich von Regionen mit unterschiedlich starkem Vorkommen

Verglichen wurde eine Region mit relativ häufigen und zum Teil großen Vorkommen der Beifuß-Ambrosie (Waghäusel, Kreis Karlsruhe, Oberrheinebene) und eine mit nur wenigen und kleinen Ambrosia-Vorkommen (Bad Waldsee-Reute, Kreis Ravensburg, Oberschwaben). In beiden Regionen wurden jährlich flächendeckende Bestandserhebungen auf einer Fläche von jeweils ca. 20 km<sup>2</sup> durchgeführt. Weiterhin erfolgten selektive Bestandserhe-

bungen in der Umgebung der beiden Gebiete sowie eine Untersuchung der Bestandsdynamik und der Einschleppungswege. Parallel dazu wurde der Ambrosia-Pollenflug in den beiden Untersuchungsregionen gemessen.



Lage der Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg

### Pollen-Ferntransport aus Südfrankreich

Trotz der stärkeren Verbreitung von Ambrosia-Pflanzen in Waghäusel im Vergleich zu Bad Waldsee-Reute, wurden in beiden Regionen ähnlich niedrige Pollen-Konzentrationen in der Luft gemessen. Die derzeit vorhandenen Ambrosia-Pflanzen führten noch nicht zu hohen Pollenflugmesswerten. Pollenmessungen in unmittelbarer Nähe zu einem Ambrosia-Bestand zeigten jedoch, dass hier im Vergleich mit den weiteren Messstellen relativ viele Pollen in der Luft vorhanden waren. Auch wurde zu keinem Zeitpunkt ein kontinuierlicher, über mehrere Tage anhaltender Ambrosia-Pollenflug, der auf lokale Emissionsquellen zurückgeführt werden könnte, detektiert. Trajektorienanalysen (Zugbahnen von Luftmassen) legen nahe, dass die festgestellten Pollen quantitativ vor allem auf den Ferntransport aus Südfrankreich zurückzuführen sind.



Ursprung der Luftmassen (Trajektorien) am 02. Sep. 2006 (oben) und am 17. Sep. 2007 (unten). Bei Winden aus Südwest können erhöhte Mengen an Ambrosia-Pollen nach Baden-Württemberg gelangen.

### Kreuzreaktionen zwischen Ambrosia und anderen Korbblütlern

Auch im Hinblick auf die Häufigkeit einer Sensibilisierung von Kindern und Erwachsenen sowohl gegen native Ambrosia-Pollen-Extrakte als auch gegen das Hauptallergen Amb a 1, konnte kein Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsregionen festgestellt werden. Die relativ hohen Prävalenzen von ca. 15% gegenüber Ambrosiapollen-Gesamtextrakten sind wahrscheinlich (noch) nicht ursächlich mit einer relevanten Exposition zu erklären, sondern sind eher in Verbindung mit bekannten Kreuzreaktionen zwischen Korbblütlern allgemein, insbesondere aber mit Beifuß (*Artemisia vulgaris*), zu sehen. Die Tatsache, dass alle auf Ambrosia getesteten Probanden auch im allgemeinen Atemwegsallergie-Screening (sx1) und in der Regel auch gegenüber anderen

Korbblütlern positiv reagierten, weist insbesondere auf Ko-Sensibilisierungen mit Beifußpollen, aber auch mit anderen Baum- und Graspollen über kreuzreaktive weit verbreitete Allergene im Pflanzenreich hin.

Da auch eine große Schnittmenge von Ambrosia-Sensibilisierungen mit solchen gegenüber Pollenextrakten von Gräsern und Bäumen existiert, die insbesondere auf deren rekombinante Profilin- und Kalzium-bindende Komponenten von Lieschgras sowie von Birke zurückzuführen sind, ist zu vermuten, dass die Sensibilisierungshäufigkeit gegenüber Ambrosiapollen-Gesamtextrakten w1 zu etwa einem Fünftel über die weitverbreiteten kreuzreaktiven Allergene Profilin und Kalzium-bindendes Protein erklärt werden kann.

Die gegenüber dem Hauptallergen der Ambrosie Amb a 1 und dem Hauptallergen des Beifußes Art v 1 nachgewiesene Sensibilisierung liegt deutlich niedriger als die gegenüber dem Gesamtextrakt von Ambrosia und Beifuß nachgewiesene Sensibilisierung. Ca. 3% der untersuchten Kinder sind gegenüber Amb a 1 sensibilisiert und ca. 7% gegenüber Art v 1, meist als Ko-Sensibilisierungen. Bei den meisten Probanden lag neben der Sensibilisierung gegenüber Amb a 1 auch eine Sensibilisierung gegenüber Art v 1 vor. Der Korrelationskoeffizient bezüglich der Höhe der Sensibilisierung gegenüber Amb a 1 und Art v 1 lag mit  $< 0,1$  niedrig, was nicht verwunderlich ist, wenn man bedenkt, dass keine Kreuzreaktivität zwischen diesen Hauptallergenen von Ambrosia und Beifuß besteht.

### Auch Kinder betroffen

Die Vergleichsuntersuchungen mit erwachsenen Probanden sowie die Auswertung der Fragebögen zeigen, dass der Verbreitung der Ambrosia eine klinische Relevanz zukommt. Bei der gegenwärtig noch relativ geringen Verbreitung der Ambrosie in Baden-Württemberg manifestieren sich erste Effekte bezüglich einer spezifischen Sensibilisierung gegenüber Ambrosia auch bei Kindern.

### Allergiescreening und Symptomatologie lassen Aussagen über klinische Relevanz zu

Die zur Zeit verfügbaren In-vitro-Allergiescreening-Methoden geben Serumprävalenzen für Pollen-Gesamtextrakte an, lassen aber auf

Grund der hohen Kreuzreaktivitäten zwischen Kräuterpollen noch keine gesicherten Aussagen über die Häufigkeit einer spezifischen Sensibilisierung gegenüber *Ambrosia artemisiifolia* zu.

Dennoch ergeben die in dieser Studie erhobenen Deskriptiven Fragebogenergebnisse Hinweise auf erhöhte manifeste allergische Symptome und Erkrankungen der Atemwege bei denjenigen Kindern, die auf Ambrosia- und Beifußpollen ko-sensibilisiert sind und zeigen damit zugleich die starke allergene Potenz dieser Quellen auf. Nur im Zusammenhang mit der Symptomatologie und positiven Provokationstestungen sind Aussagen über die klinische Relevanz einer nachgewiesenen Ambrosia-Sensibilisierung möglich.

Eine Ortsabhängigkeit in der Häufigkeit von Sensibilisierungen gegenüber dem nativen Gesamtextrakt von Ambrosiapollen w1 und dem Hauptallergen Amb a 1 lässt sich aufgrund der geringen Fallzahl der in den einzelnen Regionen untersuchten Probanden nicht sicher belegen. Auch zeitliche Trends sind aus den bisherigen Ergebnissen nicht abzulesen.

### Baden-Württemberg und Norditalien

Derzeit zeigt sich in Baden-Württemberg eine ähnliche Situation wie in Norditalien Mitte der 1990er Jahre mit geringen messbaren Pollenmengen, Polysensibilisierungen und bereits relativ hohen Sensibilisierungsraten. Dort wurden keine Gegenmaßnahmen ergriffen, die Ambrosie hat sich seither rasant in Norditalien ausgebreitet und ist dort mittlerweile von hoher allergologischer Relevanz. Diese Erfahrungen, aber auch weitere aus anderen Ländern zeigen, dass die Verbreitung der Ambrosia im Sinne der Vorsorge in Deutschland unterbunden werden sollte.

### Wichtige Aussagen des Forschungsprogramms

#### Verbreitung und Ausbreitung

*Ambrosia artemisiifolia* ist gegenwärtig regional unterschiedlich weit verbreitet. In Waghäusel und Umgebung (Oberrheinebene) tritt die Pflanze deutlich häufiger auf als in Bad Waldsee-Reute und Umgebung (Oberschwaben). In und um Waghäusel wurden auch große Ambrosia-Bestände mit mehreren tausend Pflanzen nachgewiesen. In Waghäusel traten die meis-

ten Bestände im Randbereich der Siedlungen auf, während in Bad Waldsee-Reute die meisten Vorkommen in Gärten im Siedlungsbereich wuchsen.

Vogelfutter stellt derzeit einen sehr bedeutenden Einschleppungsweg dar. Viele der nachgewiesenen Ambrosia-Bestände wurden in beiden Regionen mit verunreinigtem Vogelfutter eingebracht. Auch Neueinschleppungen in Waghäusel erfolgten mehrfach über Aussaat von Vogelfutter und durch außerhalb von Gärten abgelagerten organischen Abfall (Gartenabfall, Vogelkäfigstreu).



Ambrosia-Samen im Vogelfutter

Durch Verschleppung von Ambrosia-Samen mit Erde bei Bauarbeiten kam es während der Projektlaufzeit zur Begründung mindestens eines neuen Bestandes in Waghäusel. Die Bodenbearbeitung auf landwirtschaftlichen Flächen, auf denen die Ambrosie vorkam und bereits eine Samenbank vorhanden war, führte zu einer Ausbreitung auf der betreffenden Fläche – in einem Fall war eine starke Ausbreitung auch auf Nachbarflächen feststellbar. Die Untersuchungsergebnisse liefern wichtige Argumente für Präventionsmaßnahmen zur Verhinderung der weiteren Ausbreitung und zur Zurückdrängung der Beifuß-Ambrosie.

Untersuchungen zur Wirksamkeit von Bekämpfungsmaßnahmen der Ambrosia-Bestände zeigten, dass es durch gezielte Maßnahmen möglich ist, die Bestände der Art zurückzudrängen. Die Maßnahmen müssen auf den Entwicklungszyklus der Ambrosie abgestimmt sein. Erforderlich sind regelmäßige Erfolgskontrollen der Maßnahmen und ggf. Nacharbeiten.

#### Pollenflugmessungen

Gegenwärtig kommt in Baden-Württemberg bezüglich der Belastung der Umgebungsluft

mit *Ambrosia artemisiifolia*-Pollen dem Ferntransport die größere Bedeutung zu. Emissionen aus lokalen Beständen tragen nur zu einem geringen Anteil zur Belastung der Umgebungsluft bei, obwohl die Pollenkonzentrationen in unmittelbarer Nähe eines Ambrosia-Bestandes relativ hoch sein können.

Die Witterung während der Wachstumsperiode der Ambrosia und das Wetter während der Blütezeit haben einen erheblichen Einfluss auf die Pollenkonzentration.

Ambrosiabestände in Deutschland sind zu klein, um flächendeckend derart hohe Pollenanzahlen zu erzeugen wie in Ungarn oder Südfrankreich. Das gegenwärtige Pollenmessnetz ist zu grobmaschig, um Pollen lokaler Bestände zu erfassen.

Es lässt sich abschließend nicht klären, ob eine lokal erhöhte Pollenkonzentration bei langfristiger Einwirkung bereits zu einer Sensibilisierung der unweit der Pflanzenbestände wohnenden Bevölkerung oder ggf. zu klinischen Symptomen führen kann.

#### Allergologische Untersuchungen

Ca. 15% des Gesamtkollektivs und ca. 40% der auf Inhalationsallergene positiv Getesteten sind gegenüber Komponenten aus Ambrosiapollen (und Beifußpollen) sensibilisiert und damit bei wiederholter relevanter Exposition „at risk“.

In dieser Studie wurden im Gegensatz zu anderen Mitteilungen aus dem europäischen Raume, die vorwiegend Ambrosia-Allergien bei Erwachsenen beschreiben auch häufige Sensibilisierung von Kindern gegenüber dem Hauptallergen Amb a 1 gefunden. Dies könnte so interpretiert werden, dass bei der gegenwärtig noch relativ kurzzeitigen Ausbreitung der Ambrosia in Baden-Württemberg sich erste Effekte bezüglich einer spezifischen Sensibilisierung gegenüber Ambrosia zuerst bei Kindern manifestieren. Dies bedeutet, dass im Sinne des Vorsorgeprinzips in jedem Falle die weitere Ausbreitung der Pflanze verhindert werden muss.

Eine genaue Abklärung der gesundheitlichen Bedeutung der durch *Ambrosia artemisiifolia* hervorgerufenen allergischen Reaktionen ist nur durch die Komponenten-aufgelöste Allergiediagnostik in Verbindung mit klinischer Symptomatik und Relevanznachweis mittels

Provokationstesting möglich, wobei die Beifuß-Problematik berücksichtigt werden muss.

Um den Einfluss des Klimawandels im Hinblick auf gesundheitliche Aspekte aufzeigen zu können, sind prospektive Untersuchungen über längere Zeiträume angezeigt. Anzustreben wären Längsschnittstudien und Vergleichsuntersuchungen zwischen Regionen, in denen die Ambrosia schon lange verbreitet und nicht mehr oder nur schwer beherrschbar ist, und solchen Regionen, in denen die Pflanze sich erst anzusiedeln beginnt und Eliminationsmaßnahmen noch greifen

Eine vorsichtige und vorläufige Bewertung der Ergebnisse lässt die folgenden Schlussfolgerungen zu:

- **Nachgewiesene Sensibilisierung gegen Beifuß-Ambrosia-Komplex kann zur Verlängerung von saisonalen allergischen Beschwerden beitragen**

Der Klimawandel, die Globalisierung und die sich wandelnden landwirtschaftlichen Strukturen bedingen u.a. die Einwanderung oder geänderte Verbreitung invasiver Arten. Einige dieser invasiven Arten können auch die Ursache für gesundheitliche Risiken sein. Für die hier untersuchte *Ambrosia artemisiifolia* ist bekannt, dass sie bei sensibilisierten Personen bereits bei geringen Pollenkonzentrationen zu erheblichen allergischen Beschwerden führen kann. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass meist eine gemeinsame Sensibilisierung gegen Beifuß und Ambrosia (Beifuß-Ambrosia-Komplex) besteht. Dieses kann auf Grund der unterschiedlichen Pollenflugzeit zu einer Zunahme, Verstärkung sowie Verlängerung allergischer Symptome bei betroffenen Personen führen.

- **Fortlaufendes Monitoring zum frühzeitigen Aufzeigen von Tendenzen wichtig**

In der Frühphase der Ausbreitung einer invasiven Pflanzenart ist die damit einhergehende Zunahme gesundheitlicher Risiken aufgrund der geringen Anzahl von Krankheitsfällen sowie der derzeit noch fehlenden diagnostischen Möglichkeiten für einen serologischen, pflanzenspezifischen Nachweis nur schwierig zu belegen. Um neu auftretende gesundheitliche Risiken durch die Ausbreitung invasiver Arten und der durch sie ausgelösten Krankheiten

frühzeitig erkennen zu können, ist ein fortlaufendes Monitoring der Pflanzenverbreitung, des Pollenfluges und der gesundheitlichen Auswirkungen erforderlich, welches frühzeitig Tendenzen aufzeigt. Ein solches Monitoring sollte aufgebaut werden.

- **Lokale Pflanzenbestände sind neben Pollenfernttransport bedeutsam**

Obwohl es regional in Baden-Württemberg ausgedehnte lokale Bestände von *Ambrosia artemisiifolia* gibt, kommt hier gegenwärtig dem Ferntransport der *Ambrosia artemisiifolia*-Pollen aus stark infestierten Gebieten, wie z.B. dem Rhone-Tal, bezüglich der Belastung die größte Bedeutung zu. Ob den Pollen, die über den Ferntransport nach Deutschland gelangen, dieselbe klinische Bedeutung zukommt wie denjenigen aus lokalen Beständen, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden. Es ist nicht auszuschließen, dass junge und vitale Pollen aus lokalen Beständen ein höheres allergenes Potential besitzen als die über den Ferntransport gestressten. Daher sollte die Beseitigung lokaler Bestände mit besonderer Sorgfalt erfolgen.

- **Frühzeitige Intervention bei gesundheitlich relevanten Arten wichtig**

Im Sinne einer vorausschauenden Gesundheitsvorsorge ist es hinsichtlich der gesundheitlichen Zusatzrisiken wichtig eine Strategie zu entwickeln, wie die Verbreitung gesundheitlich kritischer invasiver Arten rechtzeitig verhindert werden kann. Die Ausbreitung solcher Arten, wie z.B. der hier untersuchten Ambro-

sia, sollte unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit im Sinne der Vorsorge möglichst frühzeitig unterbunden werden, auch wenn das von ihnen direkt ausgehende, gesundheitliche Zusatzrisiko noch nicht endgültig einzuschätzen ist. Diese präventive Art des Vorgehens ist wesentlich, da es in der Regel nur in einer frühen Phase möglich ist, entsprechende invasive Arten durch gezielte Maßnahmen an ihrer flächendeckenden Ausbreitung zu hindern. Hierfür sind eine bundesweit abgestimmte Festlegung der Vorgehensweise, Maßnahmen und Verantwortlichkeiten einschließlich notwendiger gesetzlicher Regelungen wesentlich. Da die Ausbreitung invasiver Arten in der Regel nicht regional eingegrenzt erfolgt, sind international abgestimmte Maßnahmen anzustreben.

#### Kontakt

Alberternst, B.<sup>1</sup>, Behrendt, H.<sup>2</sup>, Bucher, K.<sup>3</sup>, Gabrio, T.<sup>4</sup>, Hack, U.<sup>4</sup>, Horres, R.<sup>1</sup>, Huss-Marp, J.<sup>2</sup>, Kaminski, U.<sup>3</sup>, Martin, F.<sup>2</sup>, Miljanic, T.<sup>4</sup>, Nawrath, St.<sup>1</sup>, Smukalla, R.<sup>3</sup>, Weichenmeier, I.<sup>2</sup>, Weidner, U.<sup>4</sup>, Zöllner, I.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Projektgruppe Biodiversität und Landschaftsökologie, Friedberg

<sup>2</sup> ZAUM - Zentrum Allergie und Umwelt, Technische Universität und Helmholtz Zentrum München

<sup>3</sup> Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung, Freiburg

<sup>4</sup> Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart

## Publikationen aus dem Projekt

### Zeitschriftenbeiträge

Alberternst, B., Nawrath, S., Gabrio, T., Böhme, M., Kaminski, U., Behrendt, H., 2010: „Verbreitung und Bestandsdynamik von *Ambrosia artemisiifolia* in zwei Regionen in Baden-Württemberg und Einfluss der Vorkommen auf die Pollenkonzentration: Ergebnisse einer dreijährigen Studie“, Umweltmed. Forsch. Prax. 5, S. 23 - 33

Behrendt, H., Gabrio, T., Alberternst, B., Kaminski, U., Nawrath, S., Böhme, M., 2010: „Gesundheitliche Bewertung der Verbreitung von *Ambrosia artemisiifolia* in Baden-Württemberg: Risiko oder Überschätzung“, Umweltmed. Forsch. Prax. 5, S. 34 - 41

Böhme, M. W. J., Gabrio, T., Dierkesmann, R., Felder-Kennel, A., Flicker-Klein, A., Joggerst, B., Kersting, G., König, M., Link, B., Maisner, V., Wetzig, J., Weidner, U., Behrendt, H. (2009): „Sensibilisierung gegen Ambrosiapollen - Eine Ursache für allergische Atemwegserkrankungen in Deutschland?“ Deutsche Medizinische Wochenschrift 134, S. 1457-1463

Gabrio, T., Alberternst, B., Böhme, M., Kaminski, U., Nawrath, S., Behrendt, H., 2010: „Sensibilisierung gegenüber Allergenen von *Ambrosia artemisiifolia*-Pollen und weiteren Allergenen bei 10-jährigen Kindern und Erwachsenen in Baden-Württemberg“, Umweltmed. Forsch. Prax. 5, S. 15 - 22

Gabrio, T., Böhme, M. W. J., Hack, U., Miljanic, T., Weidner, U. (2009): „Ambrosia - eine Ursache für die Zunahme von Allergien?“ *Allergologie* 32, . 453- 461

Kaminski, U., Alberternst, B., Gabrio, T., Böhme, M., Nawrath, S., Behrendt, H., 2010: „Ambrosia Pollen-Konzentrationen in Baden-Württemberg“, *Umweltmed. Forsch. Prax.* 5, S. 6 -14

### **Tagungsbeiträge (chronologisch)**

Alberternst, B., Nawrath, S.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Informationsveranstaltung der Stadt Waghäusel, 13.11.2006

Alberternst, B., Nawrath, S.: „Untersuchungen zur Verbreitung und Ökologie von *Ambrosia artemisiifolia* und Entwicklung von Strategien zum Umgang mit der Art in zwei Regionen in Baden-Württemberg“. 2. Treffen der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Ambrosia, Braunschweig, 05.12.2006

Kaminski, U.: „Vorstellung Ambrosia Projekt Baden-Württemberg“. 2. Treffen der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Ambrosia, Braunschweig, 05.12.2006

Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen - Ursache für die Zunahme von Allergien“. Interdisziplinärer umweltmedizinischer Qualitätszirkel, Tübingen, 17.07.2007

Alberternst, B.: „Problemfall Ambrosie: Allergiegefahr durch Neubürger“. Naturkundemuseum Reutlingen, 18.10.2007

Alberternst, B., Nawrath, S.: „Untersuchungen zur Ausbreitung von *Ambrosia artemisiifolia*“, 3. interdisziplinärer Workshop *Ambrosia artemisiifolia*, Berlin, 29.11.2007

Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen, Ursache für die Zunahme von Allergien?“. 3. interdisziplinärer Workshop *Ambrosia artemisiifolia*, Berlin, 29.11.2007

Alberternst, B., Nawrath, S.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Informationsveranstaltung, RP Ravensburg, 06.12.2007

Alberternst, B.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Die Beifuß-Ambrosia - Allergiepotential - erkennen - bekämpfen. Veranstaltung der LUBW in Kooperation mit der Stadt Karlsruhe, 10.12.2007

Kaminski, U.: „Ambrosia Pollen in Deutschland in den Jahren 2006-07 und günstige meteorologische Bedingungen für ihre Verbreitung“. Die Beifuß-Ambrosia - Allergiepotential - erkennen – bekämpfen, Veranstaltung der LUBW in Kooperation mit der Stadt Karlsruhe, 10.12.2007

Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen - Ursache für die Zunahme von Allergien“. Fortbildung BUND, Bad Säckingen, 11.12.2007

Gabrio, T.: „Ambrosia-Allergenpotential und Verbreitung“ für Kinderärzte“. Fortbildungsveranstaltung für Kinderärzte, Karlsruhe, 20.02.2008

Gabrio, T.: „Keine Götterspeise: Ambrosia“. 22. Landesgartenschau in Baden-Württemberg, Bad Rappenau, 22.05.2008

Alberternst, B.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Stuttgart, 12.06.2008

Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen - Ursache für die Zunahme von Allergien“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Stuttgart, 12.06.2008

Kaminski, U.: „Ambrosia Pollen in Deutschland in den Jahren 2006-07 und günstige meteorologische Bedingungen für ihre Verbreitung“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Stuttgart, 12.06.2008

Gabrio, T.: „Ambrosia - eine Ursache für die Zunahme von Allergien?“. Fortbildungsveranstaltung des Ausschusses "Prävention und Umwelt" der Landesärztekammer zum Thema "Die absehbaren medizinischen Folgen des Klimawandels", Freiburg, 18.10.2008

Alberternst, B.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Tübingen, 29.10.2008

Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen - Ursache für die Zunahme von Allergien“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Tübingen, 29.10.2008

Kaminski, U.: „Ambrosia Pollen in Deutschland in den Jahren 2006-09 und günstige meteorologische Bedingungen für ihre Verbreitung“. Informationsveranstaltung - Die Beifuß-Ambrosia, RP Tübingen, 29.10.2008

Alberternst, B., Nawrath, S.: „Untersuchungen zur Häufigkeit insbesondere zur Dunkelziffer von *Ambrosia artemisiifolia*“. 4. interdisziplinärer Workshop *Ambrosia artemisiifolia*, Braunschweig, 03.12.2008

Gabrio, T.: „Das Ambrosia-Problem: Gefährdungen im Umgang mit Pflanzen“. 5. Nordbadisches Forum "Gesundheit und Sicherheit bei der Arbeit", Mannheim, 07.-08.05.2009

Gabrio, T.: „Bedrohung durch invasive Arten?“ Konferenz Naturschutz & Gesundheit; Allianzen für mehr Lebensqualität, LVR-Landes-Museum Bonn, 26.-27.05.2009

Alberternst, B.: „'Ambrosia-Pollen': Verändert der Klimawandel unseren Pollenkalender?“. 26. Allergiesymposium, Norddeutsche Arbeitsgemeinschaft Pädiatrische Pneumologie und Allergologie, Celle, 29.08.2009

Alberternst, B., Gabrio, T., Böhme, M. W. J., Kaminski, U., Nawrath, S., Behrendt, H.: „Verbreitung, Bestandsentwicklung und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie am Beispiel von zwei Regionen in Baden-Württemberg“. 3. GHUP Jahrestagung, Stuttgart, 08.10.2009

- Behrendt, H., Gabrio, T., Alberternst, B., Kaminski, U., Nawrath, S., Böhme, M. W. J.: „Gesundheitliche Bewertung der Verbreitung der Ambrosia in Baden-Württemberg: Risiko oder Überschätzung?“. 3. GHUP Jahrestagung, Stuttgart, 08.10.2009
- Gabrio, T., Alberternst, B., Böhme, M. W. J., Kaminski, U., Nawrath, S., Behrendt, H.: „Sensibilisierung gegenüber Allergenen von Ambrosia artemisiifolia-Pollen und weiteren Allergenen bei 10-jährigen Kindern und Erwachsenen in Baden-Württemberg“. 3. GHUP Jahrestagung, Stuttgart, 08.10.2009
- Kaminski, U., Alberternst, B., Gabrio, T., Böhme, M.W.J., Nawrath, S., Behrendt, H.: „Ambrosia Pollen-Konzentrationen in Baden-Württemberg“. 3. GHUP Jahrestagung, Stuttgart, 08.10.2009
- Gabrio, T.: „Das Ambrosia-Problem: Gefährdungen im Umgang mit Pflanzen“. 8. Tag der Arbeitmedizin in Berlin, 26.09.2009
- Alberternst, B.: „Verbreitung, Bestandsentwicklung und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie am Beispiel von zwei Regionen in Baden-Württemberg.“ Statuskolloquium der LUBW, Karlsruhe, 28.09.2009
- Gabrio, T.: „Ambrosia - eine Ursache für die Zunahme von Allergien?“. 16. WAPPA, Wiesbaden, 06.-07.11.2009
- Gabrio, T.: „Gesundheitliche Gefahren durch Ambrosiapollen?“. 17. Bad Saarower Herbsttagung, 14.11.2009
- Alberternst, B., Nawrath, S.: „Verbundprojekt Ambrosia-Pollen“. 5. Treffen der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Ambrosia, Braunschweig, 23.-24.11.2009
- Gabrio, T.: „Sensibilisierung gegenüber Allergenen von Ambrosia artemisiifolia-Pollen und weiteren Allergenen bei 10-jährigen Kindern und Erwachsenen in Baden-Württemberg“. 5. Treffen der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Ambrosia, Braunschweig, 23.-24.11.2009
- Alberternst, B.: „Welche Risiken ergeben sich aus der Verbreitung der Ambrosia?“. 10. Umwelttoxikologisches Kolloquium, RP Stuttgart, Landesgesundheitsamt, 25.11.2009
- Alberternst, B.: „Biologie, Erkennungsmerkmale und Einschleppungswege der Beifuß-Ambrosie in Deutschland“. Die Beifuß-Ambrosie, RP Freiburg, 11.12.2009
- Gabrio, T.: „Ambrosia-Pflanzen, Ursache für die Zunahme von Allergien?“. Die Beifuß-Ambrosia - Allergiepotential - erkennen – bekämpfen, RP Freiburg, 11.12.2009
- Kaminski, U.: „Ambrosia Pollen in Deutschland in den Jahren 2006-09 und günstige meteorologische Bedingungen für ihre Verbreitung“. Die Beifuß-Ambrosia - Allergiepotential - erkennen – bekämpfen, RP Freiburg, 11.12.2009

## Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs Projekt KLIBB

Das Projekt hat zum Ziel, Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt ausgewählter Biotope in Baden-Württemberg mittels Wasserhaushaltsmodellierungen zu quantifizieren und Tendenzen der Bodenentwicklung unter dem Klimawandel aufzuzeigen. Hieraus werden Projektionen für die Vegetationsentwicklung, den Nährstoffhaushalt und den zukünftigen Naturschutzwert der betrachteten Biotope abgeleitet.

### Landesweite Untersuchungsgebiete

Als Untersuchungsgebiete wurden zehn grundwasserferne, mäßig trockene bis trockene Magerrasen- und Waldgebiete sowie zwei grundwasserbeeinflusste Niedermoore ausgewählt (Tabelle 1). Es wurden vegetationsökologisch gut dokumentierte Naturschutzgebiete bearbeitet, die für den Biotoptyp, die jeweilige Region und das Land Baden-Württemberg typisch und repräsentativ sowie nach den regionalisierten Klimaszenarien für Baden-Württemberg [1] in unterschiedlichem Ausmaß vom Klimawandel betroffen sein sollen. Mehr oder weniger trockene Magerrasen besitzen einen hohen naturschutzfachlichen Wert und finden sich in fast allen Regionen des Landes, so dass einerseits standörtliche Besonderheiten, andererseits heutige und zukünftige regionale Klimaunterschiede in die Betrachtungen einbezogen werden können. Die beiden Niedermoorgebiete in Hohenlohe und im Alpenvorland (11 und 12 in Tabelle 1)

sind relativ kleinflächig, besitzen im Verhältnis zu ihrer Größe unterschiedlich ausgedehnte Einzugsgebiete und liegen ebenfalls in klimatisch verschiedenen Regionen.

### Vorgehensweise

Im Sommer 2007 wurden Vegetations- und Bodeneigenschaften als Eingangsdaten für die Wasserhaushaltsmodellierung aufgenommen. In den meisten der grundwasserfernen Untersuchungsgebiete zeigten sich so deutliche Bodenunterschiede (Abb. 1 und 2), dass es sinnvoll erschien, mehrere Einzelstandorte zu beproben und zu berechnen. Zur Wasserhaushaltsmodellierung der beiden grundwasserbeeinflussten Niedermoore einschließlich ihrer Einzugsgebiete waren flächendeckende Boden- und Vegetationsdaten erforderlich.

Der rezente Wasserhaushalt - Ist-Szenario oder Sz0 genannt - wurde für die Untersuchungsstandorte mit realen Boden- und Wetterdaten (Tageswerte von DWD-Stationen) für den Zeitraum 1980 bis 2005 modelliert. Zur Generierung des Zukunftsszenarios - Sz1 - wurden alle Wetter-Tageswerte um den Betrag der in den regionalen Klimaprojektionen für Baden-Württemberg für den Zeithorizont 2050 berechneten Änderungen (KLIWA 2006) angepasst, also beispielsweise die Temperatur um 1,5 °C in den Sommer- und um 2,5 °C in den Winterhalbjahren erhöht. Der Bodenwasserhaushalt der grundwasserfernen Biotope wur-

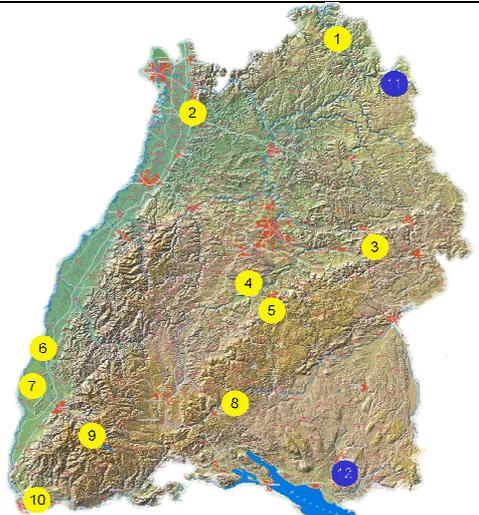
Naturschutzgebiet	Naturraum	m+NN	
1 Haigergrund	Tauberland	280-330	
2 Sandhausener Düne	Hardtebenen	110	
3 Kaltes Feld	Albuch	570-760	
4 Schönbuch-Westhang	Schönbuch	480-550	
5 Wonhalde	Kuppige Flächenalb	600-800	
6 Taubergießen	Oberrhenebene	165	
7 Haselschacher Buck	Kaiserstuhl	350-450	
8 Triebhalde	Hohe Schwabenalb	700-800	
9 Feldberg	Hochschwarzwald	> 1.400	
10 Buchswald Grenzach	Dinkelberg	300-400	
11 Lichteler Landturm	Tauberland	450	
12 Birkenweiher	Bodenseebecken	516	

Tabelle 1: Lage der Untersuchungsgebiete des Projekts

de mit dem Wasserhaushaltsmodell HELP berechnet. In den 10 Gebieten wurden insgesamt 17 Einzelstandorte mit unterschiedlich tiefgründigen Böden bearbeitet. Der Gebietswasserhaushalt der beiden grundwasserbeeinflussten Naturschutzgebiete und ihrer Einzugsgebiete wurde flächendeckend mit dem Modell WASim-ETH berechnet. Mit dieser Vorgehensweise sind zwar keine Zukunftsprognosen, aber quantitative Vergleiche zwischen dem rezenten Bodenwasserhaushalt und einem Bodenwasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen möglich.



Abbildung 1: Bodenprofil HB1



Abbildung 2: Bodenprofil HB2

Die wesentlichen Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierungen sind:

- **Standorte werden mehr oder weniger deutlich trockener**

Alle Standorte beziehungsweise Untersuchungsgebiete werden im Zukunftsszenario bedingt durch die mit steigender Temperatur zunehmende Verdunstung sowie die saisonale Verlagerung der Niederschläge ins Winterhalbjahr im Sommer mehr oder weniger deutlich trockener. Die höheren Winterniederschläge haben an den von uns betrachteten Standorten keine nachteiligen Auswirkungen, können aber - wenn überhaupt - nur in tiefgründigen Böden und in den Feuchtgebieten zwischengespeichert und von der Vegetation im Frühjahr genutzt werden.

- **Auswirkungen der Klimaveränderung auf Biotope stark von Bodeneigenschaften beeinflusst**

Die Unterschiede zwischen Ist-Zustand und Zukunftsszenario werden nicht nur durch die regional differenzierten Klimaveränderungen bestimmt, sondern lokal durch die unterschiedlichen Bodeneigenschaften einzelner Standorte innerhalb der grundwasserfernen Gebiete.

Sehr flachgründige Standorte mit geringer Wasserspeicherkapazität (Beispiel HB2 in den Abbildungen 2 bis 4) sind bereits unter dem derzeitigen Klima durch episodischen Wechsel von Austrocknen und Aufsättigen sowie häufige Trockenphasen geprägt. Während der Vegetationszeit ist Wassermangel kennzeichnend, so dass die reale Verdunstung schon heute selten an die potenzielle Verdunstung heranreicht. Diese Standorte trocknen im Zukunftsszenario nicht wesentlich häufiger und länger aus als im Ist-Zustand.

Größere Veränderungen zeigen sich an tiefgründigen Standorten (Beispiel HB1 in den Abbildungen 1, 3 bis 4), da der größere Bodenwasserspeicher zumindest zeitweise eine höhere reale Evapotranspiration im Zukunftsszenario zulässt und der Boden somit länger und tiefer austrocknen kann als im Ist-Zustand. Allerdings reichen die Veränderungen durch den Klimawandel nicht aus, um diese tiefgründigen Halbtrockenrasenstandorte genauso trocken werden zu lassen, wie es heute die sehr flachgründigen Trockenrasenstandorte sind (Abbildung 3).

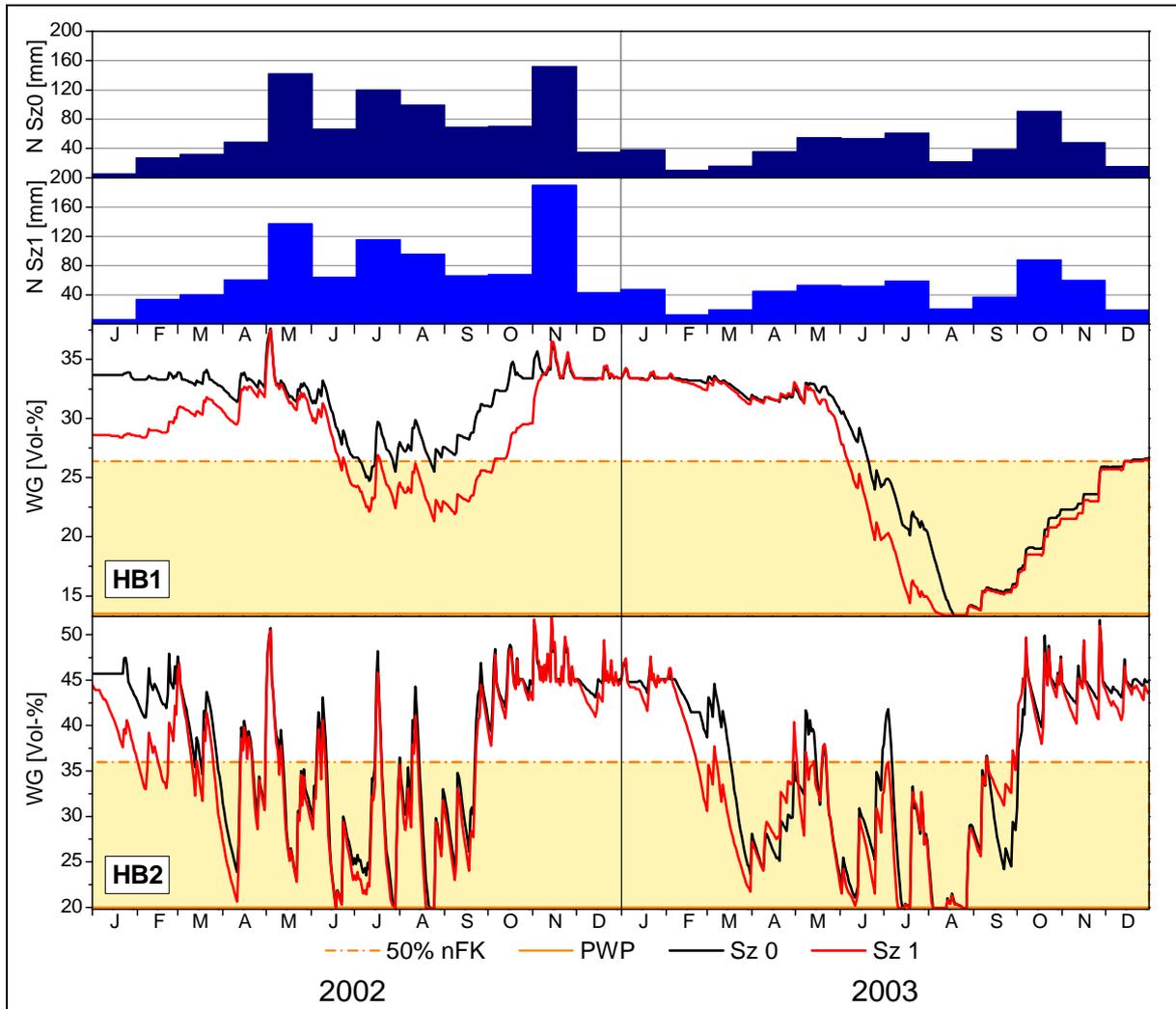


Abbildung 3: Niederschlag (Monatssummen) und Bodenwassergehalte (Tageswerte) im NSG Haselschacher Buck; Zeitraum 1.1.2002 bis 31.12.2003, 50 % nFK: Bodenwasser unterhalb dieser Grenze kann als schwerer verfügbar angesehen werden. PWP = Permanenter Welkepunkt, Sz0 = Ist-Zustand, Sz1 = Zukunftsszenario.

Die Standorte HB1 und HB2 unterscheiden sich durch ihre Bodeneigenschaften (Abbildung 1 und 2): Der Boden von HB1 ist eine sehr tiefgründige Pararendzina aus Löss mit 288 mm nutzbarer Feldkapazität im 110 cm mächtigen Wurzelraum. Der Boden von HB2 ist eine sehr flachgründige Rendzina auf Karbonatit-Gestein. Die Tiefe des Wurzelraums beträgt lediglich 13 cm, die nutzbare Feldkapazität 40 mm.

- **Grundwasserbeeinflusste Standorte zeigen deutlichen Rückgang der Wasserstände**

In den beiden grundwasserbeeinflussten Biotopen zeigt der Vergleich einen deutlichen Rückgang der Wasserstände (Überstauhöhe und -dauer, Grundwasserstand) im Zukunftsszenario. Dieser Rückgang ist vor allem im NSG Erlenbruch Lichteler Landturm drastisch (Abbildung 5), weil es in einem Einzugsgebiet mit heute schon geringem Wasserüberschuss liegt. Weniger ausgeprägt sind die Austrocknungstendenzen im NSG Birkenweiher, weil hier der Klimatische Wasserbilanzüberschuss im Zukunftsszenario zwar abnimmt, aber im-

mer noch deutlich positiv bleibt.

### **Einfluss des Klimawandels auf den Nährstoffhaushalt von Biotopen**

Zusätzlich wurde der Nährstoffstatus der Standorte untersucht und in einer umfangreichen Literaturrecherche Einflüsse des Klimawandels auf Nährstoffhaushalt und Vegetation der Biotope bearbeitet. Die meisten Standorte wiesen relativ hohe Humusmengen und damit auch Nährstoffmengen auf, so dass eine Änderung der Humusgehalte großen Einfluss auf den Nährstoffstatus der Gebiete hätte. Wir erwarten unter dem Einfluss des Klimawandels folgende Entwicklungstendenzen:

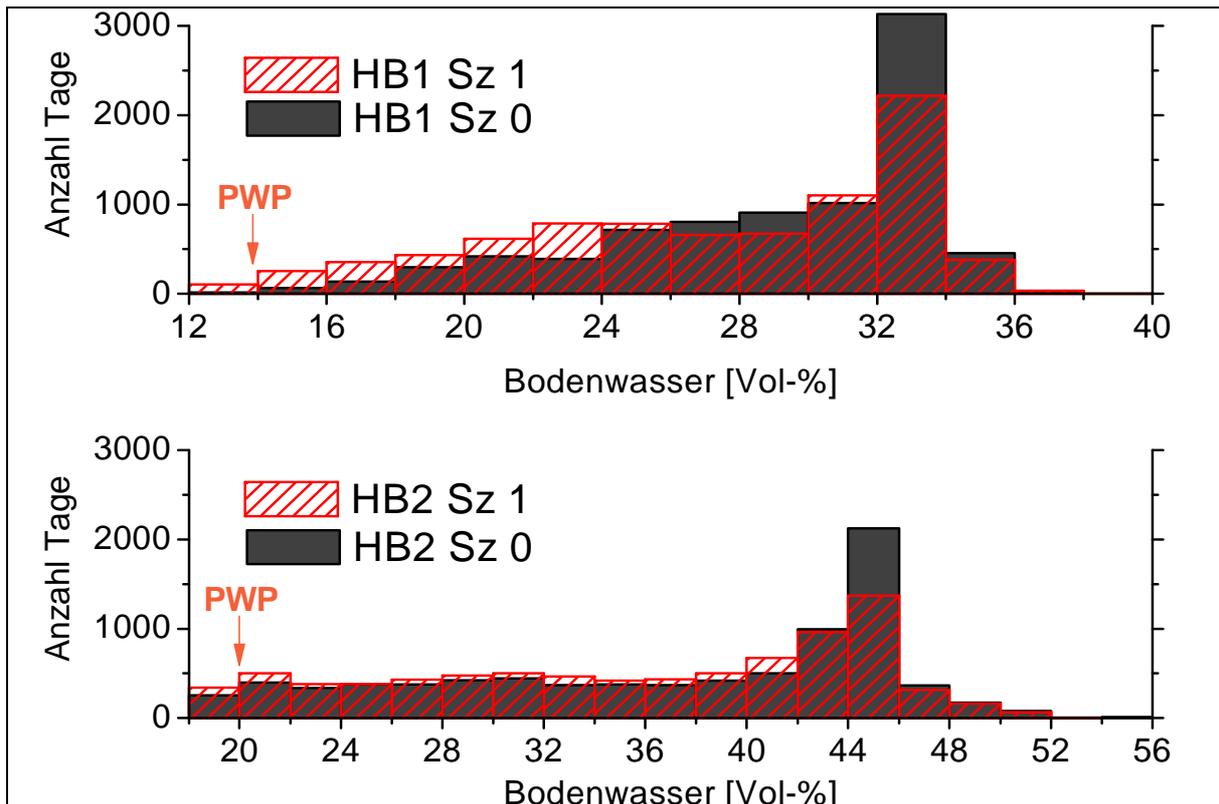


Abbildung 4: Bodenfeuchteverteilung an den Standorten HB1 und HB2 (Eigenschaften siehe Abbildung 1 und 2) im Betrachtungszeitraum; PWP = Permanenter Welkepunkt

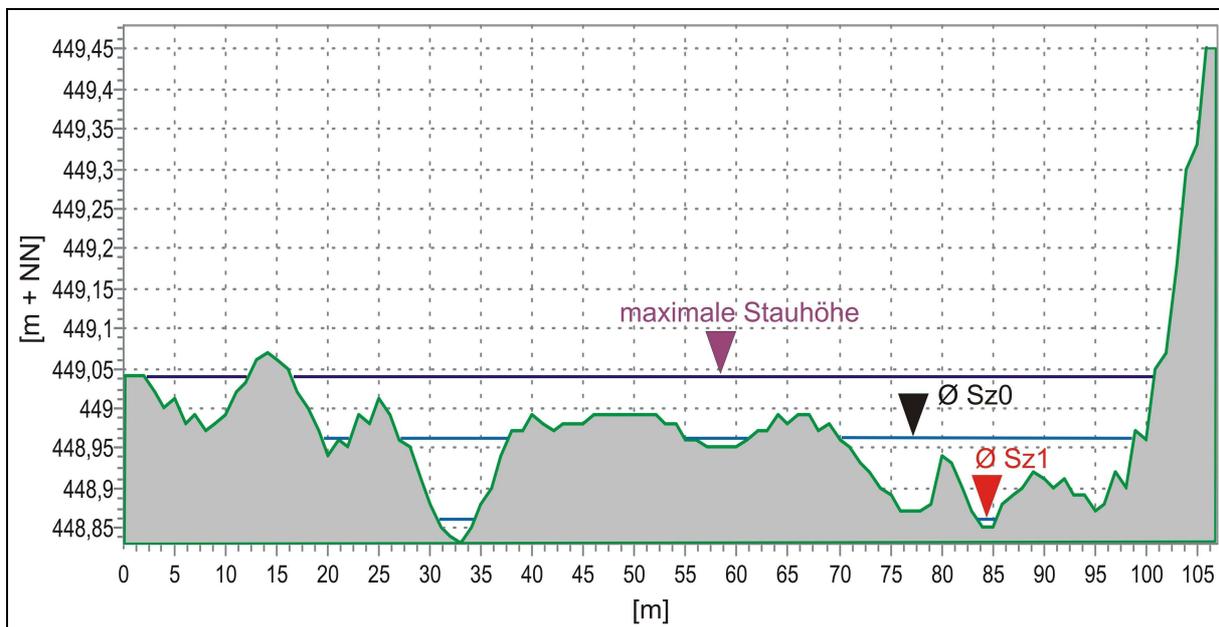


Abbildung 5: Höhenprofilschnitt durch den Erlenbruch Lichtel, maximal mögliche Stauhöhe, mittlere Stauhöhe im Ist-Zustand (Ø Sz0) und im Zukunftsszenario (Ø Sz1)

- Auf flachgründigen warmen Standorten ist die Veränderung der Humusgehalte wegen antagonistischer Prozesse unklar, möglicherweise sind die Änderungen gering. Da bereits heute eher eine Nährstoffüberversorgung herrscht, dürfte zukünftig eher das

Wasser limitierender Faktor sein. So ist hier eine geringe Ausdehnung der Volltrockenrasen zu Lasten der Halbtrockenrasen zu erwarten, beispielsweise im Zuge einer Ausbreitung typischer Xerothermarten in durch Trockenschäden aufgelich-

tete Halbtrockenrasen. Diese Veränderung wäre aus Sicht des Naturschutzes eher von Vorteil.

- An kühlen Standorten wie dem Feldberg ist aufgrund von Erwärmung und geringerer Nässe eine stärkere Mineralisierung der akkumulierten organischen Substanz zu erwarten. Aufgrund dieser und der temperaturbedingten Verlängerung der Vegetationsperiode ist von deutlichen Veränderungen der Vegetation auszugehen, seltene Spezialisten werden von Ubiquisten abgelöst, was eine starke Beeinträchtigung der Wertigkeit der Gebiete bedeuten würde.
- In grundwasserbeeinflussten Biotopen wird das sommerliche Absinken der Wasserstände (Abbildung 5) eine verstärkte Mineralisierung der organischen Substanz nach sich ziehen. Dies führt zu Stoffverlagerungen aus den Gebieten und zu einer erheblichen Eutrophierung der Standorte selbst, so dass seltene, an nährstoffarme Bedingungen angepasste Arten durch vermehrt aufkommende Gehölze oder Nitrophyten verdrängt würden. Weiterhin wird der Torfkörper durch die Mineralisierung abgebaut und bei zunehmender Trockenheit von Bodenlebewesen stärker besiedelt und durchmischt. Dies führt nicht nur zu Freisetzung von Kohlenstoff, auch die Funktion ungestörter Moore als Pollenarchive und damit als landschaftsgeschichtliche Dokumente geht durch die Torfmineralisierung verloren. Auch hier sind demnach erhebliche Beeinträchtigungen der Gebiete zu erwarten.

### **Klimawandel forciert Wiederbewaldung offener Kulturlandschaft**

Durch den Klimawandel wird die Wiederbewaldung der durch den Menschen geschaffenen und aufgrund des Inventars an seltenen Arten besonders schützenswerten offenen Kulturlandschaft auf mageren und mehr oder weniger trockenen Standorten kaum aufgehalten, in grundwasserbeeinflussten Gebieten teilweise sogar deutlich beschleunigt. Die natürliche Sukzession und die allgemeine Eutrophierung sind schon derzeit eine große Bedrohung für die meisten Gebiete. Zukünftig werden vermehrte Anstrengungen zur Offenhaltung notwendig sein.

### **Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushaltes gefordert**

In grundwasserbeeinflussten Gebieten können die Auswirkungen des Klimawandels fallspezifisch durch Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts abgemildert werden, zum Beispiel, wenn diese Gebiete in der Vergangenheit entwässert wurden - dies ist in beiden Untersuchungsgebieten der Fall. Die Potenziale und Erfolgsaussichten hierzu sind jedoch stark von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten abhängig.

### **Trockenstandorte benötigen angepasstes Gebietsmanagement**

In den Wasserhaushalt grundwasserferner Gebiete kann - im Gegensatz zu grundwasserbeeinflussten Standorten - nicht entgegen der sich aus dem Klimawandel ergebenden Tendenz eingegriffen werden, seine Veränderungen sind deshalb hinzunehmen. Die Auswirkungen von Wasserhaushaltsänderungen auf die schützenswerte Vegetation können aber in gewissem Umfang beeinflusst werden. Wanderungsbewegungen von Arten sind wahrscheinlich, jedoch sind viele Magerrasenarten relativ ausbreitungsschwach. So sind Artenverschiebungen, beispielsweise von Trockenrasen in heutige Halbtrockenrasen hinein, bei eng benachbarten Gebieten relativ gut möglich. Bedeutend schwieriger dürfte die Besiedlung sich möglicherweise neu entwickelnder Standorte für Magerrasenarten bei größerer räumlicher Distanz zum nächsten Lieferbiotop für Diasporen werden, denn die traditionellen Ausbreitungsmedien - hier ist in erster Linie die Wanderschäferei zu nennen - und oligotrophe „Trittstein“-Biotope sind heute in vielen Landschaften rar. Bezüglich der Maßnahmen zur Minderung der Klimawandelauswirkungen durch ein angepasstes Gebietsmanagement sehen wir einen erheblichen Forschungs- und Dokumentationsbedarf.

#### **Kontakt**

Konold, W.<sup>1</sup>, Wattendorf, P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landespflege, Universität Freiburg

#### **Im Text zitierte Literatur**

[1] KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, Herausgegeben von Arbeitskreis KLIWA

(LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Umwelt BfLU und

Deutscher Wetterdienst DWD), KLIWA-Berichte Heft 9, 100 S.

---

## **Publikationen aus dem Projekt**

### **Zeitschriftenbeiträge**

Schellberg, S., Sittler, B., Hering, S., Wattendorf, P., Konold, W., 2010: „Airborne Laser Scanning in der Kulturlandschaftsforschung“, Natur und Landschaft 85, Heft 5: 199 – 205

Wattendorf, P., Niederberger, J., Ehrmann, O., Konold, W.: Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren in Baden-Württemberg, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (eingereicht)

### **Tagungsbeiträge (chronologisch)**

Wattendorf, P.: „Wärmer und trockener? Bodenwasserhaushalt und Vegetation geschützter Biotope unter dem Einfluss des Klimawandels“ Zentrum für Wasserforschung Freiburg, Kolloquium Hydrologie, Freiburg, 06.11.2008

Wattendorf, P., Ehrmann, O., Niederberger, J., Konold, W. : „Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs“. Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel - Nationales Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs, 27.-28.08.2008

Wattendorf, P.: „Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs“, Tagung Biodiversität und Klimawandel - Vernetzung der Akteure in Deutschland, Bundesamt für Naturschutz, Internationale Naturschutzakademie Vilm, 09.12.2008

Wattendorf, P., Ehrmann, O. (2010): „Climate change effects on biotopes in Baden-Württemberg (Germany)“. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Bonn Bad-Godesberg (eingereicht)

Milad, M., Wattendorf, P.: “Climate change effects on biotopes in Baden-Württemberg (Germany)”. Internat. Workshop „NATURA 2000 and Climate Change - a Challenge“, Vilm, 03 -07.05.2010

## Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder

### Verbundprojekt RESTER

Winterstürme haben in den vergangenen Jahrzehnten aufgrund ihrer großen räumlichen Ausdehnung und extrem ausgeprägter bodennaher Windfelder zu erheblichen Schäden in den Wäldern Baden-Württembergs geführt. Allein durch den Orkan „Lothar“ (26. Dezember 1999) fiel eine Schadholzmenge von  $30 \cdot 10^6$  Efm an, was etwa dem 3-fachen Jahreseinschlag in Baden-Württemberg entspricht. Der dadurch entstandene finanzielle Verlust wurde auf 770 Millionen EURO geschätzt. Neben betriebswirtschaftlichen Schäden verursachen Winterstürme auch Folgeschäden im Bereich der Schutz- und Erholungsfunktionen von Wäldern, d.h. außer ökonomischen sind ökologische und gesellschaftliche Interessen betroffen.

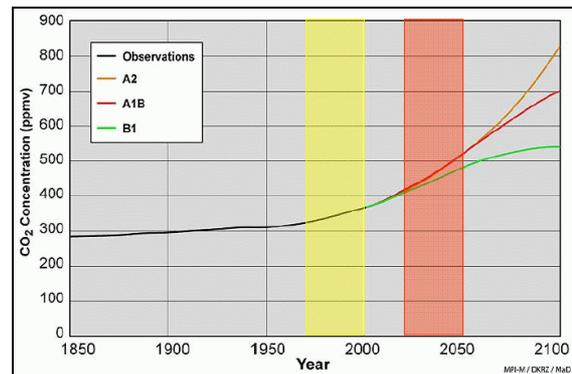


Sturmschäden durch den Orkan „Lothar“ (© Georg Müller)

### Zukünftige Sturmaktivitäten?

Faktoren, die einen Einfluss auf die Entstehung von Sturmschäden in Wäldern haben, können den fünf ineinander greifenden Einflussfaktorengruppen Sturmaktivität, Topographie, Baum/Wald, anthropogene Einflüsse und Boden zugeordnet werden. Durch die Emission treibhausrelevanter Gase in die Atmosphäre werden sich nach heutigem Kenntnisstand das Klima und potenziell auch die Sturmaktivität in der Zukunft verändern. Das zu erwartende Sturmschadenrisiko der Waldbestände hängt damit entscheidend davon ab, wie die großräumigen Wettersysteme auf die erwartete Zunahme der Lufttemperatur reagieren. Diese Wechselwirkung und die Folgen für das regionale Sturmklima können aus Zukunftsprojektionen regionaler Klimamodelle mit Auflösungen von weniger als 20 km statistisch

abgeschätzt werden. Unter Berücksichtigung verschiedener Modelle und Szenarien in einem Ensemble ist es möglich, auch die nicht vermeidbaren Unsicherheiten der Modellergebnisse abzuschätzen und zu quantifizieren.



Szenarien der CO<sub>2</sub>-Konzentration nach IPCC SRES

### Mit Expertenwissen und Modellen Sturmschäden analysieren

Ansätze zur Analyse der Entstehung, des Auftretens und der Ausprägung von Sturmschäden in Wäldern können methodisch in drei Gruppen unterschieden werden. Neben Expertenwissen und Beobachtungen werden vor allem statistische und mechanistische Modelle zu ihrer Untersuchung verwendet. Expertenwissen basiert i.d.R. auf qualitativen Analysen bereits eingetretener Sturmschadensfälle auf lokaler Skala. Statistische und mechanistische Sturmschadensmodelle ermöglichen die Berechnung der Wahrscheinlichkeit (und ggf. des Ausmaßes) von Sturmschäden auf der Basis baum-, bestandes- und standortbeschreibender Variablen. Da mechanistische Modelle versuchen, Prozesse zu beschreiben, die der Entstehung von Sturmschäden zugrunde liegen, ermöglichen sie außerdem die Entwicklung von Hypothesen und können als ein Hilfsmittel bei der Entwicklung forstlicher Managementszenarien eingesetzt werden.

### Ziel: Reduzierung von Sturmschäden in Wäldern

Sturmschadensereignisse werden immer wieder auf retrospektive Weise ausführlich analysiert, um ihr Ausmaß zu dokumentieren und Folgearbeiten zielgerichtet planen zu können. Aufgrund der erheblichen, vielschichtigen

Schadwirkung von Stürmen besteht ein begründetes Interesse an einer wissenschaftsbasierten Optimierung bestehender Konzepte zur Reduzierung der Sturmschadenswahrscheinlichkeit in den Wäldern Baden-Württembergs. Da extreme Winterstürme wie „Vivian/Wiebké“ und „Lothar“ jederzeit wieder auftreten können, besteht die Notwendigkeit, etablierte forstplanerische und waldbauliche Konzepte der strategischen Reduzierung von Sturmschäden im Sinne eines vorbeugenden Krisenmanagements zu optimieren. Dies setzt voraus, dass die Zusammenhänge zwischen der Ausprägung der Sturmschadenswahrscheinlichkeit von Wäldern und Standorteigenschaften, Bestandeseigenschaften und wirkender Windlast eingehend untersucht werden.

Um möglichst umfassende Untersuchungen zu Entstehung, Ausmaß und Ausprägung von Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs zu gewährleisten, arbeiteten für die Entwicklung potentieller Optimierungsmöglichkeiten folgende Projektpartner zusammen:

- Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Koordination des RESTER Verbunds und Teilprojekt „Erarbeitung einer Risikokarte für Sturmschäden in Wäldern und forstlich relevante Sturmschadensmodelle als Grundlagen für Methoden zur Reduzierung von Sturmschäden in Wäldern in Baden-Württemberg“ (Prof. Dr. H. Mayer, Dr. D. Schindler)
- Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Teilprojekt „Winterstürme mit hohem Schadenpotenzial in einem veränderten Klima“ (Dr. M. Kunz, Prof. Dr. C. Kottmeier)
- Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik, Institut für Hydromechanik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Teilprojekt „Verbesserung der Sturmstabilität von Waldbeständen“ (Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. B. Ruck, Dr. C. Frank)

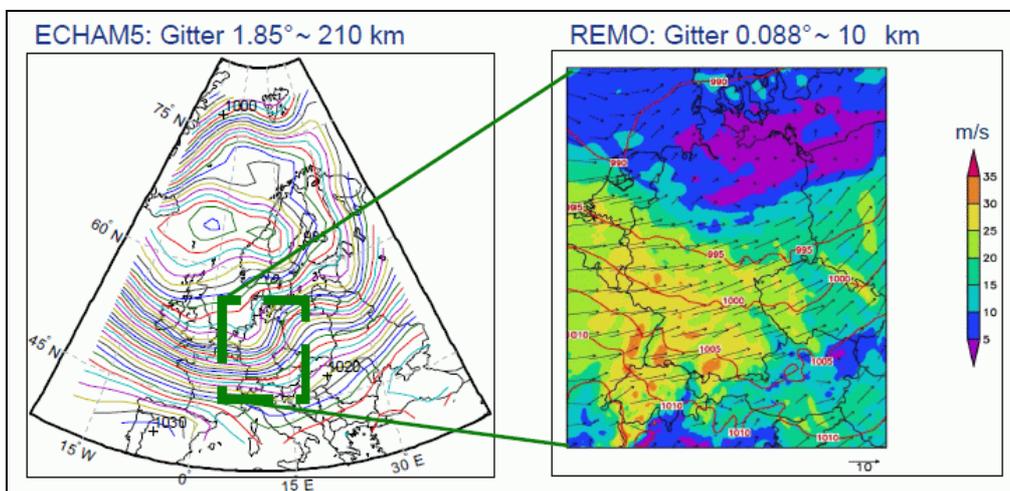
Die Mitarbeit der FVA wurde insbesondere vor dem Hintergrund der Praxisrelevanz der erzielten Ergebnisse als dringend erforderlich angesehen.

### Teilprojekt „Winterstürme mit hohem Schadenpotenzial in einem veränderten Klima“

Die für die Zukunft zu erwartenden Änderungen des regionalen Sturmrisikos können aus Zukunftsprojektionen aktueller Klimamodelle unter Anwendung geeigneter statistischer Methoden abgeschätzt werden. Globale Klimamodelle liefern aufgrund ihrer geringen horizontalen Auflösung von über 200 km allerdings nur stark geglättete und mittlere Verteilungen von meteorologischen Variablen. Extremereignisse wie schwere Winterstürme können daher nur durch einen hierarchischen Modellansatz vom globalen zum regionalen Klimamodell mit einer Auflösung bis unterhalb von 20 km annähernd realistisch abgebildet werden. Die regionalen Klimamodelle erlauben es zudem, die kurzzeitigen Windböen zu erfassen, die in erster Linie für Waldschäden maßgeblich sind.

### Vom globalen Klima zum regionalen Klima

In diesem Teilprojekt wurden Ergebnisse der regionalen Klimamodelle REMO (Läufe im Auftrag des Umweltbundesamts) und CCLM (Kon-



Dynamisches Downscaling von ECHAM5 durch REMO (beide MPI-Hamburg)

sortialläufe und eigene IMK-Läufe im Rahmen dieses Forschungsprogramms) statistisch ausgewertet. Die verschiedenen Modellläufe wurden mit verschiedenen Realisierungen des globalen Modells ECHAM5 für die verschiedenen Emissionsszenarien A1B (mittlere Emissionen), B1 (niedrige Emissionen) und A2 (hohe Emissionen) angetrieben. Die räumliche Auflösung der Modelldaten reicht dabei von 18 bis hin zu 7 km. Mit Methoden der Extremwertstatistik wurden für jeden Gitterpunkt im Modellgebiet Böengeschwindigkeiten als Funktion der Wahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode bestimmt. Die für die Zukunft zu erwartenden Änderungen der Böengeschwindigkeiten berechneten sich dann aus der relativen Differenz zwischen einem Projektionszeitraum (2021-2050) und einem Kontrollzeitraum (1971-2000).

### **Überprüfung der Ergebnisse der Klimamodelle im Kontrollzeitraum 1971-2000**

Da Klimamodelle nicht wie Wettervorhersagemodelle mit realen Beobachtungsdaten angetrieben werden, können einzelne, in der Vergangenheit tatsächlich aufgetretene Sturmsysteme nicht wiedergeben werden. Die Modelle sollten aber in der Lage sein, die Statistik der synoptischen Wettersysteme, also ihre Häufigkeit und Intensität, hinreichend genau zu beschreiben. Daher wurde zunächst für den Kontrollzeitraum untersucht, inwieweit die Modellergebnisse mit Beobachtungen und der Sturmgefährdungskarte von CEDIM (Kompetenzzentrum für Risikomanagement bei Naturkatastrophen, Karlsruhe) übereinstimmen. Es zeigte sich, dass alle Klimamodelle prinzipiell in der Lage sind, Extremwerte mit geringen Auftretenswahrscheinlichkeiten und die daraus resultierende Schiefe der Verteilungsfunktion wiederzugeben. Allerdings werden die Böengeschwindigkeiten in allen Modellen deutlich unterschätzt. Für eine Wiederkehrperiode beispielsweise von 10 Jahren sind diese um 10% (REMO) bis 30% (beide CCLM-Läufe) geringer im Vergleich zu den Beobachtungen. Die Gründe hierfür liegen vor allem in der noch immer unzureichenden räumlichen Auflösung der Modelle sowie in Schwächen der Böenparametrisierung. Die räumliche Verteilung der Böengeschwindigkeiten hingegen, insbesondere die erhöhten Werte über den Mittelgebirgen, den Alpen sowie über dem Meer, wird gut wiedergegeben. Als Klimaänderungssignal

wurden daher nur relative Differenzen zwischen zwei Zeitperioden betrachtet, so dass sich die systematischen Fehler gegenseitig aufheben.

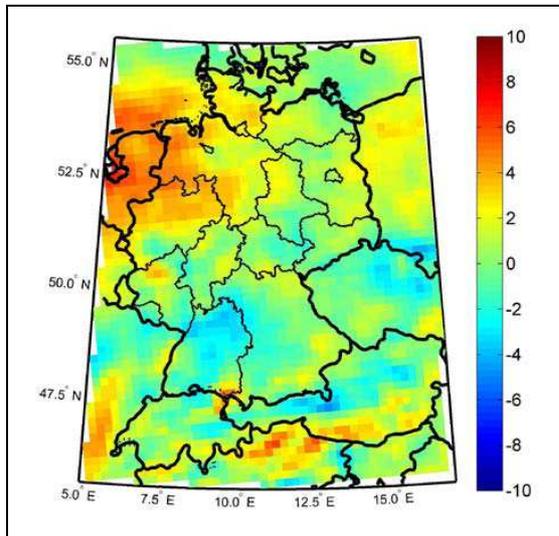
### **Ensemble-Betrachtung zur Bestimmung von Klimaänderungssignalen**

Die beobachteten Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen Modellläufe belegen, dass es bei der Bestimmung von Klimaänderungssignalen nicht sinnvoll ist, nur ein einzelnes Modell zu verwenden. Vielmehr sollte die Vielzahl möglicher Realisierungen des zukünftigen Klimas durch eine möglichst hohe Anzahl verschiedener Modellläufe berücksichtigt werden. Ein solches Ensemble ermöglicht es auch, sowohl die Robustheit der Änderungssignale als auch deren Wahrscheinlichkeit zu bestimmen. Aus allen verfügbaren hoch aufgelösten regionalen Klimamodellen mit einer Auflösung unter 20 km wurde daher ein Ensemble gebildet, das sowohl verschiedene Emissionsszenarien, verschiedene regionale Modelle als auch verschiedene Realisierungen des globalen Modells umfasst. Damit deckt dieses Ensemble eine große Bandbreite möglicher Realisierungen ab.

### **Modelle zeigen leichte Abnahme der Windgeschwindigkeit über Baden-Württemberg**

Für Baden-Württemberg ist das Ergebnis verhältnismäßig robust, zeigt aber eine geringfügige Abnahme der Böengeschwindigkeit für schadenrelevante und damit selten auftretende Winterstürme. Nach dem Ensembledittel beträgt hier die Änderung der 10-jährlichen Böengeschwindigkeit zwischen -4,0% und +2,5% mit einem Median von -2%. Lediglich rund 10% der Gitterpunkte zeigen dagegen eine geringe Zunahme. Diese sind ausschließlich auf Bereiche im Rheintal und des nordöstlichen Ufers des Bodensees beschränkt. Für alle übrigen Landesteile ist eine geringe Abnahme der Böengeschwindigkeit zu erwarten. Dieses Ergebnis kann insofern als verhältnismäßig robust betrachtet werden, als dass die Standardabweichung des Ensembles, also die Streuung der einzelnen Modellläufe, geringer ist als die relativen Änderungen. Außerdem wird die Abnahme der Böengeschwindigkeit über den nördlichen Landesteilen von 7 bzw. 8 der hier insgesamt 9 verfügbaren Modellläufe bestätigt. Unter der Annahme, dass jede Realisierung

eines Modells gleich wahrscheinlich ist, ergibt sich damit eine Wahrscheinlichkeit zwischen 80 und 90% für eine Abnahme der Geschwindigkeit. Über den südlichen Landesteilen ist das Ergebnis etwas weniger robust. Hier zeigen zwischen 5 und 7 Modellläufe eine Abnahme an, was einer Wahrscheinlichkeit von 55 bis 80% entspricht.



Relative Änderung (%) der Böengeschwindigkeit zwischen Projektionszeitraum und Kontrollzeitraum für eine Wiederkehrperiode von 10 Jahren

### Mit schweren Winterstürmen ist in Baden-Württemberg auch zukünftig zu rechnen

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

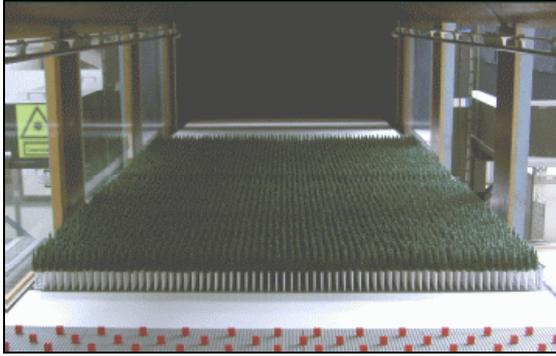
### Teilprojekt „Verbesserung der Sturmstabilität von Waldbeständen“

Windwurf/Windbruch im Bestand muss als Kol-

lektivphänomen aufgefasst werden, bei dem zeitlich, aber räumlich begrenzt Starkwindböen mit vielen Bäumen wechselwirken (Kollektivdynamik ganzer Baumgruppen). Der Grad der Schädigung eines Waldbestandes durch Extremwindereignisse hängt darüber hinaus von spezifischen Bestandseigenschaften wie Bestandsdichte, Kronendachrauigkeit, Baumarten, Waldkantenausbildung und Bodenparametern sowie der Topographie ab. Viele dieser Zusammenhänge gelten bislang als nicht hinreichend untersucht, da sich die einzelnen Einflussfaktoren im Naturexperiment nicht trennscharf genug abbilden lassen. Gleichwohl benötigt man aber diese einzelnen, separierten Zusammenhänge, um eine modellbasierte Risikobewertung für Waldbestände in statistischer Weise durchführen zu können.

### Untersuchungen im Grenzschichtwindkanal

In diesem RESTER Teilprojekt wurde der Einfluss verschiedener Bestandseigenschaften auf die Strömungsvorgänge um Waldbestände erforscht. Hierzu wurden experimentelle Untersuchungen in einem atmosphärischen Grenzschichtwindkanal mit statischen und dynamischen Waldmodellen durchgeführt und begleitend bzw. ergänzend numerische Berechnungen mit dem kommerziellen CFD-Softwarepaket FLOVENT (RANS-Modell) vorgenommen. Der Einfluss mehrerer Bestandsparameter auf den Verlauf verschiedener Strömungsgrößen in unmittelbarer Kronendachnähe wurde erfasst, indem zeitlich und räumlich hoch aufgelöst Geschwindigkeitsmessungen über unterschiedlichen, statischen Waldmodellen mit Hilfe eines Laser-Doppler-Anemometrie-Systems durchgeführt wurden. Das dynamische Modell, welches aus starren, aber gelenkig gelagerten Einzelbäumen besteht, ermöglichte es, die Auslenkungsdynamik ganzer Baumkollektive zeitgleich zu erfassen. Anhand numerisch berechneter Strömungsfelder wurden die Verläufe der auf die Bäume einwirkenden Stammbiegemomente entlang zahlreicher Waldkonfigurationen abgeleitet.

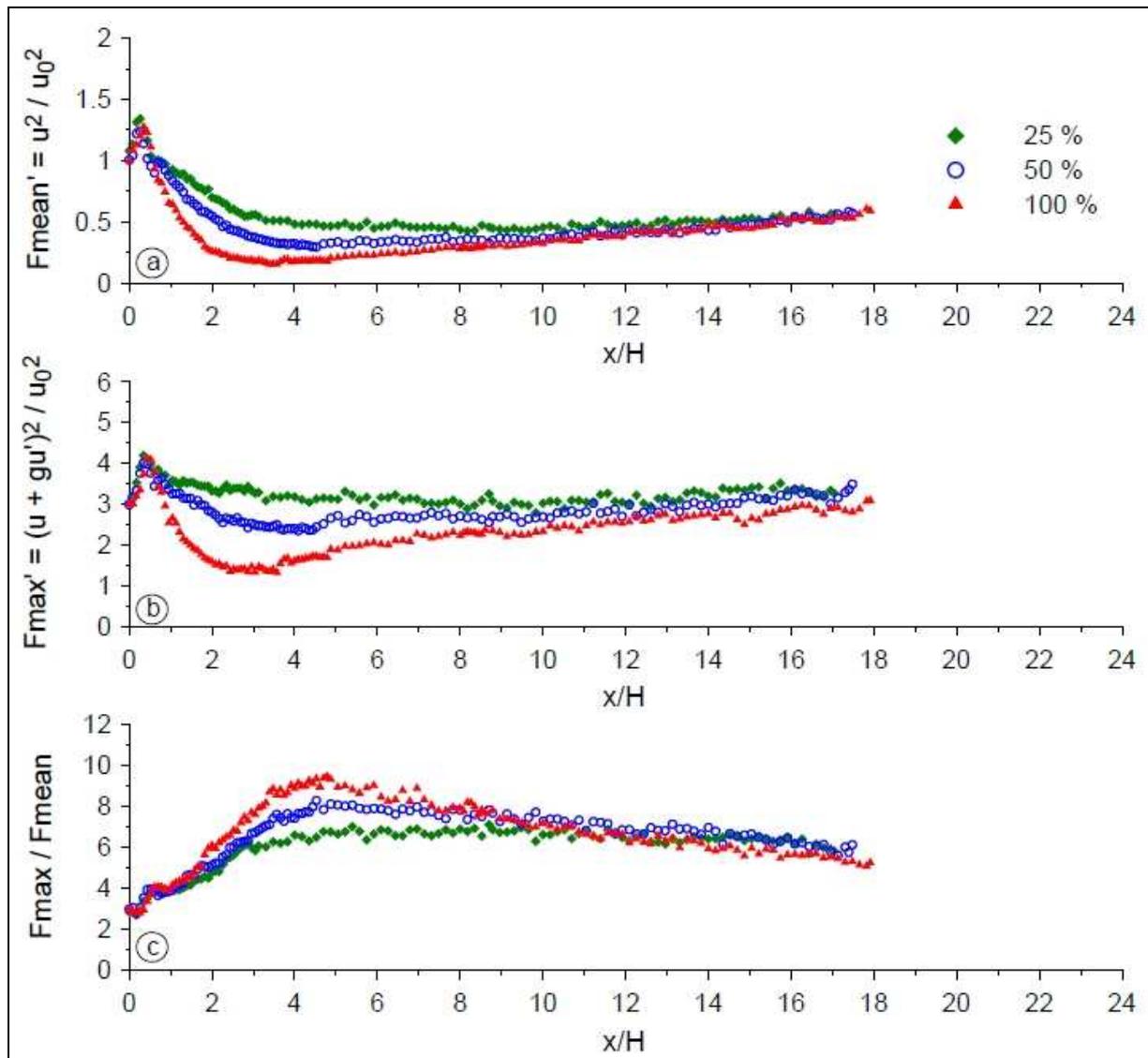


Grenzschichtwindkanal: dichter Waldbestand

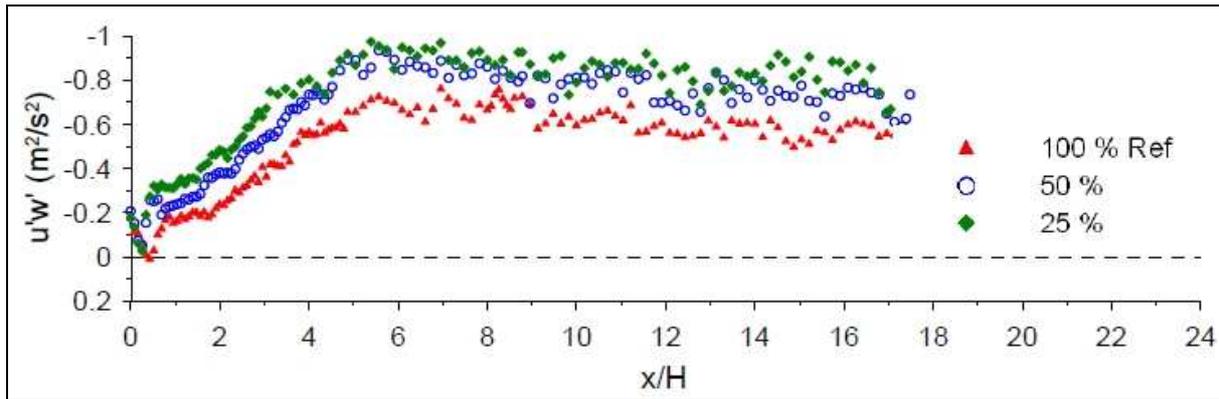
### Bestandesdichte beeinflusst Windbelastung in Wäldern

Der Einfluss, den die Bestandesdichte und damit die Rauigkeit des Kronendachs auf die

Strömungsverhältnisse ausüben, wurde in experimentellen Messreihen untersucht. Die Ergebnisse zur Windbelastung in unmittelbarer Kronendachnähe zeigen, dass insbesondere im waldkantennahen Bereich von einer Auslichtung dicht stehender Waldbestände abzuraten ist, da hier durch eine solche Auslichtung die größte Zunahme bei der mittleren und maximalen Windbelastung zu erwarten ist. Wenn eine Auslichtung hier durchgeführt wird, ist zumindest in den ersten Jahren nach dieser Maßnahme, in denen sich die Bäume noch nicht durch adaptives Wachstum an die erhöhte Windbelastung angepasst haben, mit einer höheren Sturmschadensanfälligkeit zu rechnen.



Verlauf der Windbelastung in unmittelbarer Kronendachnähe ( $z/H = 1.13$ ) von unterschiedlich dichten Waldbeständen: a) mittlere Windbelastung  $F_{mean}'$ , b) maximale Windbelastung  $F_{max}'$ , c) Verhältnis maximale zur mittleren Windbelastung  $F_{max}/F_{mean}$  ( $g = 3.5$ ,  $u_0 = 5.4$  m/s)



Verlauf des mittleren turbulenten Impulsaustausches  $u'w'$  in unmittelbarer Kronendachnähe ( $z/H = 1.13$ ) von unterschiedlich dichten Waldbeständen

### Sweeps in erheblichem Maße an Windwurf beteiligt

Der mittlere turbulente Impulsaustausch, das ist der erfasste horizontale Impulsstrom, der vertikal durch Böen in das oder aus dem Kronendach transportiert wird, nimmt mit abnehmender Bestandsdichte zu. Das bedeutet, dass ein Auflockern eines Bestandes zu einer höheren Windlast auf die verbliebenen Bäume führt. Dieser Zusammenhang konnte qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden. Die Struktur dieses Impulsaustausches über dem Kronendach eines Bestandes wurde mit Hilfe der Quadrantenanalyse genauer untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass der turbulente Impulsaustausch stark intermittierend ist. In direkter Kronendachnähe dominieren im Allgemeinen sogenannte 'sweeps' (absinkende schnelle Luftpakete), deren Intensität teilweise höher als das 30-fache des mittleren turbulenten Impulsaustausches ist und die in erheblichem Maße mitverantwortlich sein dürften für das Einsetzen von Windwurf in Beständen unmittelbar stromab von windexponierten Waldändern. In Kronendachnähe treten die höchsten Extremwerte bei den 'sweeps' an der Stelle  $x/H \approx 5$  auf und der Betrag dieser höchsten Extremwerte zeigt sich als nahezu unabhängig von der Bestandsdichte. Eine Zunahme des Baumabstands, d.h. eine Abnahme der Baumdichte führt jedoch dazu, dass Böen tiefer in den Bestand eindringen können und somit den turbulenten Austausch innerhalb des Bestands erhöhen.

Untersucht wurden auch Staffelanordnungen, d.h. nahtlose Übergänge von gleich hohen Waldbeständen mit unterschiedlichen Baumdichten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Strömung relativ schnell an eine veränderte

Bestandsdichte anpasst. Die Größe des Anpassungsbereichs variiert je nach betrachteter Strömungsgröße und Lage des Übergangs.

### Ausbildung der Waldkanten ist wichtiger waldbaulicher Faktor für Stürme

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde die An- und Überströmung von Waldkanten unterschiedlicher Form besonders untersucht. Es zeigte sich, dass die luvseitige Waldkantenbildung die Strömungsvorgänge vor allem im kantennahen Bereich beeinflusst. Werden einem Bestand mit rechteckigem Rand schräge permeable Kanten vorgelagert, so findet sich bei allen untersuchten Konfigurationen im Bereich von  $1 < x/H < \text{ca. } 6$  ein Anstieg des turbulenten Impulsaustausches und auch der turbulenten kinetischen Energie.

### Schräg ansteigende Waldkanten verringern Windbelastung

Vorgelagerte, schräg ansteigende Waldkanten bewirken, dass sich die Biegemomente, welche auf die am Rand des eigentlichen Bestands stehenden Bäume einwirken, z.T. beträchtlich verringern. Der Grad der Biegemomentreduktion ist abhängig vom Waldkantenwinkel. Die Ergebnisse bestätigen somit weitgehend eine Abnahme der Windbelastung in kantennahen Waldbeständen durch permeable, vorgelagerte ansteigende Waldkanten.

Untersuchungen an einem dynamischen Waldmodell ermöglichten es, die Auslenkung ganzer Baumkollektive bei kantennaher Bestandsüberströmung simultan zu erfassen. Diese Untersuchungen beschränkten sich aus versuchstechnischen Gründen auf den lichten Waldbestand. Hierbei zeigte sich, dass die größten (mittleren und maximalen) Baumaus-

lenkungen wie auch die höchsten (mittleren und maximalen) Windbelastungen in Kronendachnähe immer an der luvseitigen Waldkante auftreten und beide Größen stromab bis  $x/H = 4$  allmählich abnehmen. Eine abnehmende Bestandsdichte führt im kantennahen Bereich zu einem deutlichen Anstieg sowohl der Windbelastungen (siehe zuvor) als auch der Baumauslenkungen. Vorgelagerte schräge Kanten bewirken beim lichten Bestand eine deutliche Abnahme sowohl der Baumauslenkungen als auch der Windbelastungen.

### **Numerische Strömungsberechnungen verdeutlichen Auswirkungen von Stürmen in unterschiedlich strukturierten Wäldern**

Der Biegemomentverlauf in kantennahen Waldbestandteilen wurde zusätzlich durch numerische Strömungsberechnungen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass bei Wäldern die höchsten Stammbiegemomente normalerweise direkt am luvseitigen Bestandsrand auftreten. Die Höhe der Biegemomente nimmt mit zunehmendem Abstand zur luvseitigen Waldkante relativ schnell ab und ein Minimalwert wird bereits in einer Entfernung von wenigen Baumhöhen beobachtet. Mit zunehmender Bestandshöhe nehmen die mittleren Biegemomente im kantennahen Bereich und die maximalen Biegemomente über der gesamten Waldfläche zu. Niedrige Waldbestände schützen unmittelbar stromab angeordnete höhere Waldbestände. Bei stufigen Waldanordnungen zeigt sich stromab der inneren Waldkanten ein tendenziell ähnlicher Biegemomentverlauf wie bei frei angeströmten externen Waldkanten, wenn die luvseitige Waldfläche niedriger ist als die leeseitige. Ist die stromauf gelegene Waldfläche höher als die stromab gelegene, so sind die Biegemomente an der inneren Bestandskante sogar niedriger als die inmitten eines ausgedehnten Waldbestands konstanter Höhe. Vorgelagerte schräge Kanten führen zu einer Reduktion der Biegemomente im kantennahen Bereich. Mit flacher werdendem Waldkantwinkel nimmt die Biegemomentreduktion zu. Bei Waldanordnungen mit quer zur Anströmung verlaufenden, unendlich langen Lichtungen nehmen die Biegemomente mit zunehmender Lichtungslänge am luvseitigen Waldrand der stromab gelegenen Waldfläche zu und nähern sich allmählich den Werten eines frei angeströmten Bestands an. Eine Begren-

zung der lateralen Lichtungsbreite führt bei langen Lichtungen zu einer deutlichen Reduktion dieser Biegemomente, hat jedoch bei kleinen Lichtungslängen keine signifikanten Auswirkungen.

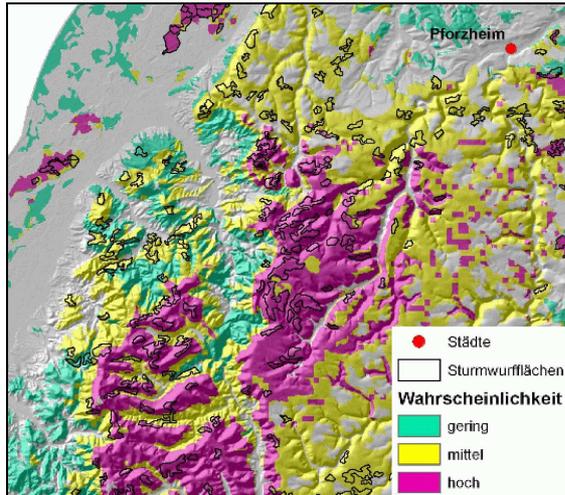
### **Teilprojekt „Erarbeitung einer Risikokarte für Sturmschäden in Wäldern und forstlich relevante Sturmschadensmodelle als Grundlagen für Methoden zur Reduzierung von Sturmschäden in Wäldern in Baden-Württemberg“**

Für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs wurde die Wintersturmschadenswahrscheinlichkeit  $P_{DAM}$  berechnet und erstmals in flächendeckenden, GIS-basierten Karten (Auflösung: 50×50 m) dargestellt. Als Basis für die  $P_{DAM}$ -Berechnung dienten verschiedene Datensätze, die Informationen zu flächigen Schäden (Flächengröße: 0.1 - 627 ha) in den Wäldern Baden-Württembergs infolge der Winterstürme „Wiebke“ (Februar/März 1990) und „Lothar“ (Dezember 1999) enthalten. Zur  $P_{DAM}$ -Berechnung wurde neben dem Weights-of-Evidence (WofE) Verfahren ein logistisches Regressionsmodell (LRM) verwendet.

### **Nadelwälder auf versauerten, frischen bis feuchten Böden über Buntsandstein durch „Lothar“ besonders betroffen**

Da die flächigen Sturmschäden infolge von „Lothar“ durch satellitengestützte Kartierung im Rahmen des Corine Land Cover 2000 Projektes vergleichsweise vollständig erfasst vorliegen, wurden die beiden verwendeten Verfahren zunächst an den durch Sturm „Lothar“ verursachten Schäden erprobt. Mit Hilfe von WofE und des LRM wurden aus dem Kollektiv der zur Verfügung stehenden Prädiktoren diejenigen identifiziert, die die größte räumliche Assoziation zu den infolge von „Lothar“ entstandenen flächigen Sturmschäden aufwiesen. Die für das Auftreten von flächigen Sturmschäden infolge von „Lothar“ bedeutendste Prädiktorenkombination umfasst die Prädiktoren Waldtyp, Bodentyp, Geologie, bodenkundliche Feuchtestufen, Bodenversauerung sowie die maximale Böengeschwindigkeit während „Lothar“. Mit dieser Prädiktorenkombination ergab sich die beste Prognosegüte für die infolge von „Lothar“ aufgetretenen Sturmschäden sowohl für das WofE- als auch für das logistische Regressionsmodell. Zur Visualisierung der mit den beiden Modellen für

jede Rasterzelle berechneten  $P_{DAM}$ -Werte wurden diese den Sturmschadenswahrscheinlichkeitsklassen gering, mäßig und hoch zugeordnet und kartenmäßig dargestellt. Für „Lothar“ stimmen die Ergebnisse beider Modelle sehr gut überein. Unter der Voraussetzung, dass die maximale Böengeschwindigkeit während „Lothar“  $35 \text{ m s}^{-1}$  überstieg, traten die höchsten  $P_{DAM}$ -Werte dort auf, wo Nadelwald auf versauerten, frischen bis feuchten Böden über Buntsandstein stockt.



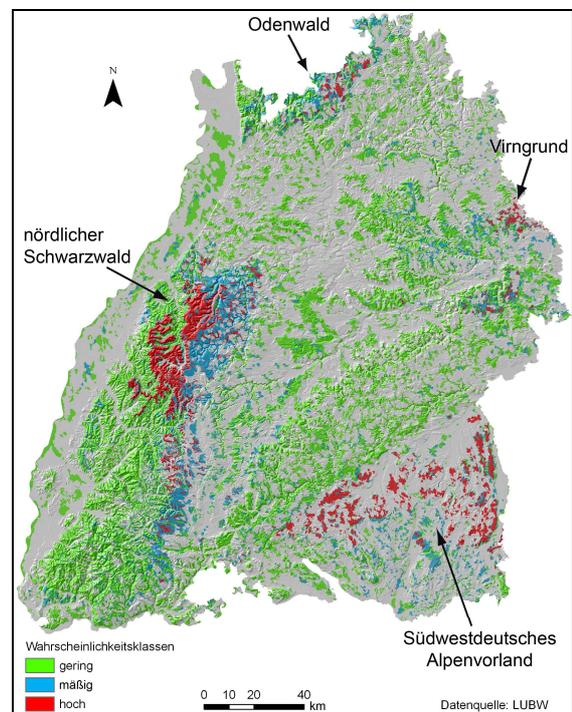
Sturmschadenswahrscheinlichkeiten nach Weights-of-Evidence (WofE) Verfahren und Sturmwurfflächen durch „Lothar“ im Nordschwarzwald

Nach der Validierung der beiden statistischen Verfahren anhand der Sturmschäden infolge von „Lothar“ wurde  $P_{DAM}$  mit dem WofE-Verfahren auf der Basis von Sturmschadensdaten, die aus vier verschiedenen Quellen stammen und Sturmschäden infolge von „Wiebke“ und „Lothar“ abbilden, berechnet. Da nach „Wiebke“ Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs nicht kartiert wurden, musste auf Daten aus der Naturalbuchführung von Forstbetrieben in öffentlicher Hand zurückgegriffen werden. Im Rahmen der Naturalbuchführung werden Sturmholzmengen als „Zufällige Nutzung Sturm“ ( $ZN_{Sturm}$ ) waldabteilungsweise erfasst.  $ZN_{Sturm}$ -Daten lagen digital für 50.846 Waldabteilungen des öffentlichen Waldes (ca. 55% der gesamten Waldfläche Baden-Württembergs) vor.

### Regional unterschiedliche Gefährdung

Aus dem Kollektiv der zur Verfügung stehenden Prädiktoren wurden wiederum diejenigen Prädiktoren identifiziert, die die größte räumliche Assoziation zu den infolge von „Wiebke“

und „Lothar“ entstandenen flächigen Sturmschäden aufwiesen. Zu diesen Prädiktoren gehörten Waldtyp, Geologie, Bodentyp, topographische Exposition und ein aus den Feldern der maximalen Böengeschwindigkeit während „Wiebke“ und „Lothar“ kombiniertes Feld der maximalen Böengeschwindigkeit. Basierend auf diesen Prädiktoren wurden die höchsten  $P_{DAM}$ -Werte - unter der Voraussetzung, dass die maximale Böengeschwindigkeit  $35 \text{ m s}^{-1}$  überschritt - für Standorte, wo Nadelwald auf stark exponierten, wechselfeuchten Böden über Buntsandstein stockt, bestimmt (vor allem nördlicher Schwarzwald, östlicher Odenwald, Virngrund, Südwestdeutsches Alpenvorland).



Karte der klassifizierten (gering, mäßig, hoch) Sturmschadenswahrscheinlichkeit ( $P_{DAM}$ ), die für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs auf der Basis flächiger Sturmschäden infolge von „Wiebke“ und „Lothar“ mit Hilfe des WofE-Verfahrens erstellt wurde

### Wind-Baum-Interaktionen noch nicht vollständig geklärt

Da diese Untersuchung für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs durchgeführt wurde, mussten bei der Datenverfügbarkeit und -analyse Kompromisse eingegangen werden. Es stehen bisher für retrospektive Sturmschadensanalysen keine hochaufgelösten, flächendeckenden, sturmschadensrelevanten Baum- und Bestandesdaten zur Verfügung. Für die flächendeckende Berechnung von  $P_{DAM}$

konnte daher nur der Einfluss der fernerkundlich erhobenen Prädiktoren Waldtyp und minimale Entfernung einer Sturmschadensfläche zum (westlichen) Bestandesrand auf das Auftreten von flächigen Sturmschäden untersucht werden. Der Einfluss anderer Faktoren wie Baumart, Baum-/Bestandesdimensionen oder waldbauliche Behandlung auf das Auftreten von Sturmschäden konnte nicht untersucht werden.

### **Einige schadensbeeinflussende Faktoren bislang noch nicht untersucht**

Neben der limitierten Verfügbarkeit baum- und bestandesbeschreibender Parameter ist die Charakterisierung der schadenauslösenden Sturmereignisse verbesserungswürdig. Obwohl die hier verwendeten Böengeschwindigkeitsfelder schon erfolgreich für die Abschätzung des Wintersturmriskos an Gebäuden eingesetzt wurden, scheint die Approximation der Windwirkung in Wäldern durch sie nicht ausreichend, um großräumige Schadensmuster erklären zu können. Ein Grund dafür könnte im Reaktionsverhalten von Bäumen auf Windlasten liegen. Bäume sind sehr flexible Strukturen. Sie reagieren sowohl quasistatisch als auch dynamisch auf Windlasten. Bis heute ist noch nicht vollständig geklärt, unter welchen Umständen und infolge welcher Windkräfte Bäume versagen. Als eine der größten Herausforderungen im Bereich der Wind-Baum-Interaktionen wird für die Zukunft die Verbesserung des Verständnisses windinduzierter Baumreaktionsmuster während schadenverursachender Sturmereignisse sowohl auf Einzelbaum- als auch Bestandesebene angesehen. Da die räumliche Assoziation der Böenfelder zu den aufgetretenen Sturmschäden eher gering war, kann die Frage nach dem Anteil der Stürme „Wiebke“ und „Lothar“ am beobachteten Schadensausmaß nicht abschließend beantwortet werden.

### **Risiko für großflächige Sturmschäden in von „Lothar“ und „Wiebke“ besonders betroffenen Räumen bleibt auch zukünftig erhöht**

Obwohl quasi-statische Prädiktoren wie Waldtyp, Geologie und bodenkundliche Feuchtestufen die flächendeckende  $P_{DAM}$ -Berechnung dominieren, ist die Prognosegüte (AUC-Wert von etwa 73%) des auf der Basis von Sturmschäden infolge von „Wiebke“ und „Lo-

thar“ erstellten WofE-Modells als akzeptabel einzustufen. Trotz der erläuterten Defizite können die erstellten  $P_{DAM}$ -Karten für das derzeitige Wintersturmgeschehen als repräsentativ gelten, da während fast aller schweren Wintersturmereignisse über Baden-Württemberg im Zeitraum 1971-2000 westliche Windrichtungen vorherrschten. Zudem scheint sich die Ausprägung des zukünftigen Wintersturmgeschehens über Baden-Württemberg gegenüber heute mit großer Wahrscheinlichkeit nicht gravierend zu ändern (siehe RESTER Teilprojekt des IMK). Mit Bezug auf Winterstürme ist es daher sehr wahrscheinlich, dass die Regionen, in denen durch „Wiebke“ und „Lothar“ große Waldbereiche geschädigt wurden, auch in Zukunft die Regionen sein werden, in denen flächige Sturmschäden auftreten.

### **Sturmschadenswahrscheinlichkeitskarten unterstützen Forstplanung und Waldbau**

Die erstellten Sturmschadenswahrscheinlichkeitskarten stellen eine vielseitig einsetzbare Grundlage für Anwendungen in Forstwirtschaft und Forstverwaltung dar. Sie könnten z.B. in forstplanerische oder waldbauliche Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Konkrete mittelfristige Maßnahmen zur Reduktion von Sturmschäden in Wäldern lassen sich daraus zwar nicht ableiten, aber die Kombination mit Ergebnissen, die in anderen Untersuchungen zu Sturmschäden in den Wäldern Baden-Württembergs erzielt wurden, erscheint vielversprechend.

#### **Kontakt**

Frank, C.<sup>3</sup>, Grebhan, K.<sup>2</sup>, Kottmeier, Ch.<sup>2</sup>, Kunz, M.<sup>2</sup>, Mayer, H.<sup>1</sup>, Rauthe, M.<sup>2</sup>, Ruck, B.<sup>3</sup>, Schindler, D.<sup>2</sup>, Schönborn, J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Meteorologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

<sup>2</sup> Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

<sup>3</sup> Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik, Institut für Hydromechanik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Die RESTER-Partner wurden in forstlichen Fachfragen durch die Abteilung Waldwachstum (PD Dr. U. Kohnle, Dr. A. Albrecht) der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) kostenneutral unterstützt.

## Publikationen aus dem Projekt

### Zeitschriftenbeiträge

- Albrecht, A., Schindler, D., Grebhan, K., Kohnle, U., Mayer, H. 2008: „Klimawandel und Stürme über Europa - eine Literaturübersicht“, FVA-einblick, 1/2008, 20-23
- Albrecht, A., Schindler, D., Grebhan, K., Kohnle, U., Mayer, H. 2009: „Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region vor dem Hintergrund des Klimawandels - eine Literaturübersicht“, Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 180, 109-118
- Frank, C., Ruck, B. 2008: „Numerical study of the airflow over forest clearings“, Forestry 81(3), 259-277
- Kunz, M., Mohr, S., Rauthe, M., Lux, R., Kottmeier, Ch. 2010: „Assessment of Extreme Wind Speeds from Regional Climate Models. Part I: Estimation of Return Values and their Evaluation“, Nat. Hazards Earth Syst. (akzeptiert)
- Kunz, M., Mohr, S., Rauthe, M., Lux, R., Kottmeier, Ch. 2010: „Assessment of extreme wind speeds from regional climate models. Part II: Expected changes in the future“, Nat. Hazards Earth Syst. (eingereicht)
- Rauthe, M., Kunz, M., Kottmeier, Ch. 2010: „Changes in the storm climatology over Central Europe derived from a small ensemble of high resolution regional climate models“, Meteor. Z. (akzeptiert)
- Schindler, D. 2008: „Responses of Scots pine trees to dynamic wind loading“, Agricultural and Forest Meteorology, 148, 1733-1742
- Schindler, D., Grebhan, K., Albrecht, A., Schönborn, J. 2009: „Modelling the wind damage probability in forests in Southwestern Germany for the 1999 winter storm ‘Lothar’“, International Journal of Biometeorology, 53, 543-554
- Schindler, D., Fugmann, H., Mayer, H. 2010: „Coherent response of a group of Scots pine trees to wind loading“, European Journal of Forest Research (eingereicht)
- Schindler, D., Grebhan, K., Albrecht, A., Kohnle, U., Mayer, H. 2010: „GIS-based estimation of the winter storm damage probability in forests: A case study from Baden-Wuerttemberg (Southwest Germany)“, European Journal of Forest Research (eingereicht)
- Schindler, D., Vogt, R., Fugmann, H., Rodriguez, M., Schönborn, J., Mayer, H. 2010: „Vibration behavior of plantation-grown Scots pine trees in response to wind excitation“, Agricultural and Forest Meteorology, doi:10.1016/j.agrformet.2010.03.003

### Tagungsbeiträge

- Frank, C., Ruck, B.: „Windkanalstudie zur Strömung in Waldlichtungen“, Proc. der 15. GALA - Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“, September 2007, Rostock
- Lux, R., Kunz, M., Kottmeier, Ch. 2007: „Winterstürme mit hohem Schadenpotenzial über Baden-Württemberg in einem veränderten Klima“, 8. Forum Katastrophenvorsorge des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge (DKKV), 15.-16.10.2007, Karlsruhe. [Preis für besten Vortrag]
- Lux, R., Kunz, M.: „Winter storms with high loss potential in changing climate conditions: a regional view“, EGU General Assembly 2008, 14.-18.04.2008, Wien
- Frank, C., Ruck, B.: „Über den Einfluss der Bestandsdichte auf die Strömungsvorgänge an Waldkanten“, 16. GALA - Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“, Sept. 2008, Karlsruhe
- Kunz, M., Lux, R., Rauthe, M., Kottmeier, Ch.: „Winterstürme mit hohem Schadenpotenzial in einem veränderten Klima“, Forstwissenschaftliche Tagung, 22.-27.09.2008, Freiburg
- Rauthe, M., Kunz, M., Mohr, S.: „Winterstorms with high loss potential in a changing climate: a regional perspective“, 9. Forum Katastrophenvorsorge des DKKV, 20.-21.11.2008, Offenbach am Main. [http://213.23.39.218/download/Forum/9/Rauthe\\_EA.pdf](http://213.23.39.218/download/Forum/9/Rauthe_EA.pdf) [Preis für besten Vortrag]
- Rauthe, M., Kunz, M., Mohr, S.: „Winter storms with high loss potential in a changing climate from a regional point of view“, 21st Century Challenges in Regional-scale Climate Modelling, Lund, Workshop Proceedings, International BALTEX Secretariat, Geestacht, No. 41, April, 2009
- Rauthe, M., Kunz, M., Mohr, S.: „Winterstorms with high loss potential in a changing climate: a regional perspective“, Extended Abstract 30th International Conference on Alpine Meteorology, Rastatt, Annalen der Meteorologie, Nr. 44, 64-65, DWD, Offenbach am Main
- Frank, C., Ruck, B., Tischmacher, M.: „Über den Einfluss der luvseitigen Traufkantenausbildung auf die Strömungsvorgänge um Waldbestände“, Proc. der 17. GALA - Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“, September 2009, Erlangen
- Frank, C., Ruck, B.: „About the influence of the stand density on the flow characteristics at forest edges“. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Trees, Oktober 2009, Freiburg
- Frank, C., Ruck, B., Tischmacher, M.: „About the influence of the windward edge structure on the flow characteristics at forest edges“. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Trees, Oktober 2009, Freiburg
- Grebhan, K., Schindler, D., Mayer, H.: „GIS-based modeling for evaluation of wind damage probability in forests in Southwest Germany“. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Trees, Oktober 2009, Freiburg
- Fugmann, H., Schindler, D., Mayer, H.: „A dynamic tree sway model“. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Trees, Oktober 2009, Freiburg

Schindler, D., Fugmann, H., Schönborn, J.: „Responses of Scots pine trees to near-surface airflow“. 2nd Int. Conf. on Wind Effects on Trees, Oktober 2009, Freiburg

Kunz, M., Rauthe, M., Mohr, S.: „Assessment of changes in extreme wind speeds from Regional Climate Models“. EGU General Assembly, 02.-07.05.2010, Wien







