

Luftschadstoffbelastung der Wälder rückläufig

Messungen aus dem forstlichen Umweltmonitoring bestätigen Erfolge der Luftreinhaltung

Stephan Raspe, Christoph Schulz, Hans-Peter Dietrich und Nicole Foullois

Der Säureeintrag in die Wälder ist dank der Maßnahmen zur Luftreinhaltung stark rückläufig. Die Minderung eutrophierender Stickstoffeinträge bleibt vielerorts noch hinter den gesteckten Zielen zurück. An den bayerischen Waldklimastationen sind erste Erfolge nachweisbar. Der Rückgang der im Freiland gemessenen Stickstoffbelastung findet sich jedoch nicht im gleichen Ausmaß in den Wäldern unter den Baumkronen wieder. Noch immer werden kritische Belastungsschwellen an den meisten Standorten überschritten.

Schon in den 1960er Jahren wurde die Luftverunreinigung als politisches Thema aufgenommen, aber vorwiegend als ein lokales Phänomen betrachtet. 1961 hat Willy Brandt auf einem Wahlkongress den Slogan »Der Himmel über dem Ruhrgebiet muss wieder blau werden« ausgegeben. Es dauerte über zehn Jahre, bis die Politik mit dem Bundes-Immissionsschutzgesetz von 1974 erste Maßnahmen zu nationalen Reduktionen der Emissionen ergriff. Mit der Genfer Luftreinhaltekonvention 1979 wurde die Luftverschmutzung als grenzübergreifendes Problem anerkannt, welches nur durch gemeinsame, internationale Bemühungen zu Emissionsminderungen gelöst werden kann. Mehrere nachfolgende Protokolle haben die internationalen Maßnahmen zur Luftreinhaltung präzisiert. Das Göteborg-Protokoll von 1999 legte Obergrenzen für Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und Ozon bis 2010 fest. Erstmals wurden damit die Auswirkungen von Versauerung und Eutrophierung auf natürliche Ökosysteme als Kriterium für die Minderungsziele herangezogen. Im Vergleich zu 1990 sollten die Emissionsmengen in Deutschland bis zum Jahr 2010 bei Schwefel um 90 Prozent, bei Stickoxiden um 60 Prozent und bei Ammoniak um 28 Prozent reduziert werden. Mit dieser Begrenzung sollten die von übermäßiger Versauerung und Eutrophierung betroffenen Flächen in Europa bis zum Jahr 2010 von 93 auf 15 Millionen Hektar (Versauerung) bzw. von 165 auf 108 Millionen Hektar (Eutrophierung) verringert werden.

Monitoring für Wissenschaft und Politik

Mit Daten aus der Umweltbeobachtung in Wäldern durch die Bayerische Forstverwaltung (Messnetz von Waldklimastationen) und die Bayerische Umweltverwaltung (»Integriertes Messnetz Stoffeintrag-Grundwasser« in ausgewählten Wassereinzugsgebieten) kann die Politik in zweierlei Hinsicht beraten werden: Einerseits kann das Ausmaß der Schadstoffeinträge und ihrer Auswirkungen auf den Wald dargestellt werden, andererseits ist es möglich, die Erfolge der daraufhin ergriffenen politischen Maßnahmen der Luftreinhaltung am Ort der Wirkungen aufzuzeigen.

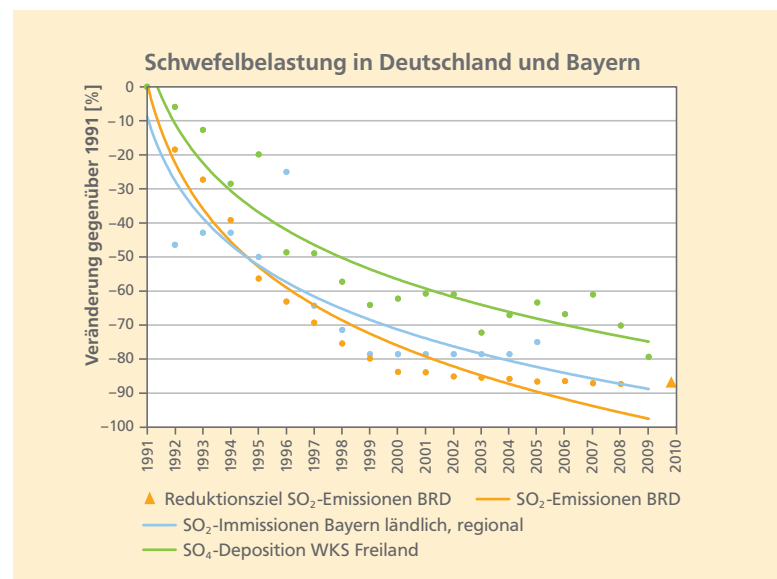


Abbildung 1: Vergleich der bundesweiten SO₂-Emissionen, (UBA, 2010) mit SO₂-Immissionen an den LÜB-Stationen (BayLfU, 1991–2009; n=3) und SO₄-Depositionen im Freiland an den Waldklimastationen (n=4) sowie mit dem Reduktionsziel für SO₂-Emissionen in Deutschland des Göteborg-Protokolls; normierte Werte auf das Jahr 1991

Schwefelreduktion: Erfolg auf breiter Linie

Schwefel ist das beste Beispiel für den Erfolg der Maßnahmen zur Luftreinhaltung in den 1980er und 1990er Jahren. Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA 2010) sind die SO₂-Emissionen in Deutschland von 1991 bis 2008 um etwa 90 Prozent zurückgegangen (Abbildung 1). Damit wird das Reduktionsziel des Göteborg-Protokolls erreicht. Auch an den Immissionsmessstellen zur Luftüberwachung (LÜB – Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (BayLfU 1991-2009) wird ein Rückgang der SO₂-Immissionen um 80 Prozent gemessen. Etwas geringer fällt der Rückgang der Sulfatkonzentration im Niederschlag aus, der an den Freilandmessstellen der bayerischen Waldklimastationen sowie an entsprechenden Standorten

Schadstoffbelastung der Wälder

Luftschadstoffbelastungen, die aus unterschiedlichen Emissionsquellen stammen, werden mit dem Wind in den Wald transportiert. Die Baumkronen der Wälder stellen ein Hindernis dar. Sie filtern Luftschadstoffe besonders gut. Bäume sind in der Lage, Schadgase über die Blätter direkt aufzunehmen (gasförmige Deposition, z. B. Schwefeldioxid, Ammoniak oder Stickoxide). An den großen, häufig feuchten Blattoberflächen werden staubförmige Schadstoffe wirksam zurückgehalten und von dort abgewaschen (trockene und feuchte Deposition). Schadstoffe, die im Niederschlag gelöst eingetragen werden (z. B. Sulfat, Ammonium oder Nitrat), bilden die nasse Deposition. Wegen der guten Filterwirkung werden in Wäldern mehr Schadstoffe eingetragen als im Freiland. An den Waldklimastationen wird daher der Stoffeintrag unter den Baumkronen (Bestandesdeposition) und auf einer nahe gelegenen Waldlichtung (Freilanddeposition) gemessen.

Stickstoff bleibt ein Problem

Während also das Problem der Schwefeleinträge bayernweit weitgehend gelöst ist, bleiben die Stickstoffeinträge weiterhin problematisch. Bezogen auf das Messjahr 1996, ab dem erstmals kontinuierliche Datenreihen von zehn bayerischen Waldklimastationen vorliegen, wird das gesteckte Reduktionsziel von Göteborg noch nicht erreicht. Statt der erforderlichen 50 Prozent sind die Emissionen bis 2008 um lediglich 30 Prozent zurückgegangen (Abbildung 2 oben). Noch geringer fällt der Rückgang der gemessenen Stickoxidimmissionen im ländlichen Raum in Bayern aus. Die NO_2 -Konzentrationen an den drei durchgehend messenden LÜB-Stationen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt gingen nur um etwa zehn Prozent zurück. An den Waldklimastationen inmitten geschlossener Waldgebiete betrug der Rückgang der gemessenen Nitratreinträge im Freilandniederschlag gegenüber 1996 immerhin im Mittel gut 20 Prozent. Es bleibt also noch viel zu tun, um die erforderlichen Reduktionen bei den Stickoxiden zu erreichen.

Günstiger sieht es bei den reduzierten Stickstoffverbindungen aus (Abbildung 2 unten). Hier liegt das Reduktionsziel der Ammoniakemissionen in Deutschland bei nur knapp zehn Prozent (bezogen auf die tatsächliche Emissionsmenge 1991). Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA 2010) wird jedoch dieses Ziel nicht erreicht werden können. Bis 2009 wurden die Ammoniakemissionen deutschlandweit nur um gut drei Prozent reduziert. Laut Emissionskataster Bayern (Pregger et al. 2001 und 2005; Kummer et al. 2008) sind die Ammoniakemissionen in Bayern stärker rückläufig als im restlichen Deutschland. Die Ammoniakemissionen in Bayern waren im Jahr 2004 um 33 Prozent geringer als noch 1996. Für das Jahr 2010 wurde gar ein Rückgang um 60 Prozent prognostiziert. Die Messungen an den Freilandmessstellen der Waldklimastationen bestätigen den Trend. Im Mittel gingen die Ammoniumeinträge um etwa 30 Prozent zurück. Die jährlichen Messwerte schwanken jedoch stark.

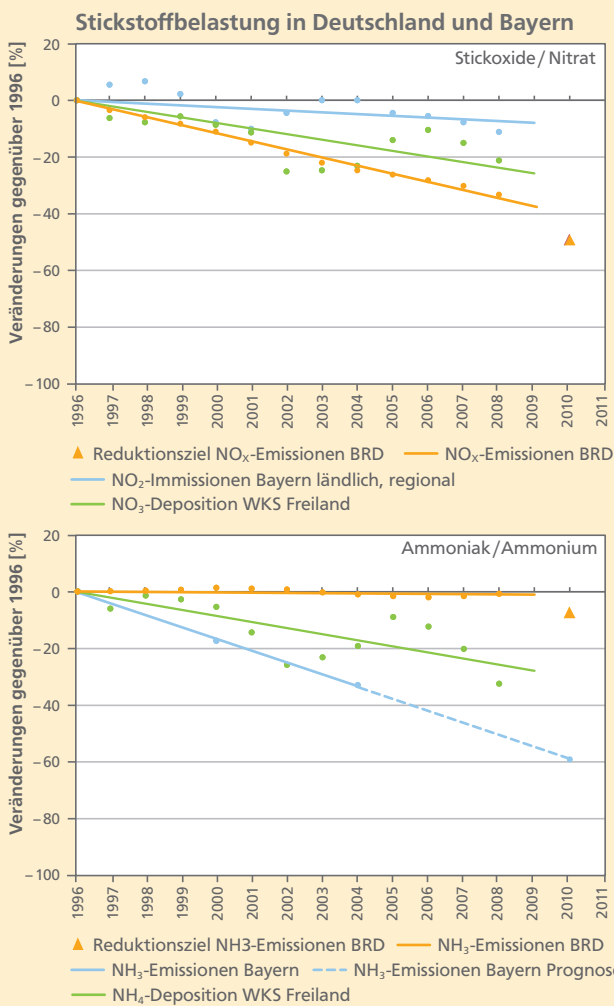


Abbildung 2: Stickstoffemissionen, -immissionen und -deposition sowie die Reduktionsziele für NO_x - und NH_3 -Emissionen des Göteborg-Protokolls für Deutschland; gleitende Mittelwerte aus 3 Jahren normiert auf das Jahr 1996; oben: NO_x -Emissionen der BRD (UBA, 2010) verglichen mit NO_2 -Immissionen an den LÜB-Stationen (BayLfU, 1991-2009; n=3) und NO_3 -Depositionen im Freiland an den Waldklimastationen (n=10); unten: NH_3 -Emissionen der BRD (UBA, 2010) verglichen mit NH_3 -Emissionen aus dem bayerischen Emissionskataster (Pregger et al., 2001 und 2005, Kummer et al., 2008) und den NH_4 -Depositionen im Freiland an den Waldklimastationen (n=10)

ten des Integrierten Messnetzes Stoffeintrag-Grundwasser (BayLfU) gemessen wird. Im Mittel aller Waldklimastationen ging der Sulfateintrag um etwa 70 Prozent zurück. Nur die drei nordostbayerischen Waldklimastationen wiesen bis zum Beginn dieses Jahrhunderts erhöhte Belastungen auf. Hier zeigt sich die später einsetzende Reduktion der Emissionen in den neuen Bundesländern und der Tschechischen Republik. So wurden an der Waldklimastation Goldkronach im Fichtelgebirge 1996 noch Schwefeleinträge von acht Kilogramm pro Hektar im Freiland und 32 Kilogramm im Wald gemessen.

Erforderliche N-Reduktion in %

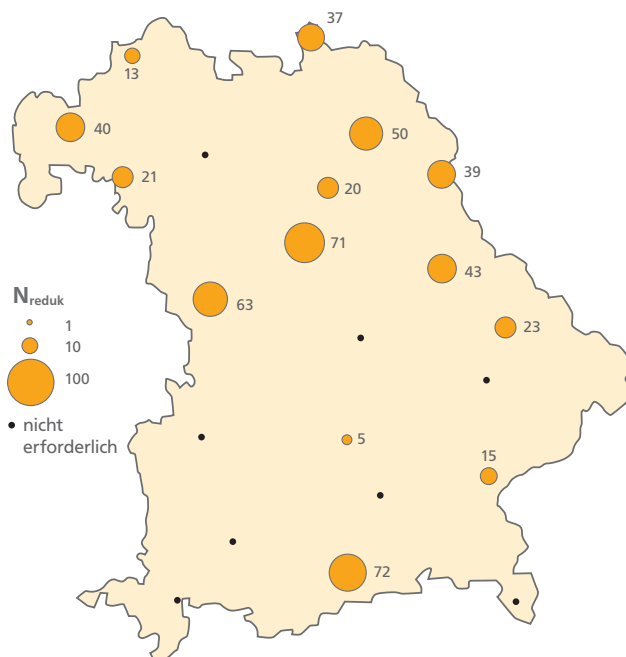


Abbildung 3: Erforderliche Reduktion der Stickstoffeinträge an den bayerischen Waldklimastationen im Jahr 2008, um langfristig nachhaltige Veränderungen der Waldökosysteme zu vermeiden

Auswirkungen im Wald

Der oben beschriebene Rückgang der Emissionen bzw. der Einträge ist auch im Wald unter den Baumkronen (Bestandesdeposition) nachzuweisen, allerdings schwächer ausgeprägt. Eine statistische Trendanalyse der Einträge an den Waldklimastationen zeigt an nur fünf der 22 Waldklimastationen einen signifikanten, abnehmenden Trend für Nitrat auf, während es im Freiland 15 von 22 Stationen sind (Ahrens 2008). Die Baumkronen filtern demnach auch aus der geringer belasteten Luft weiterhin höchst effektiv die gasförmigen Stickoxide. Für Ammonium zeigen vier von 22 Waldklimastationen eine signifikante Abnahme im Bestand.

Bisher haben wir die relativen Veränderungen beziehungsweise Trends betrachtet. Für den Wald sind jedoch die absoluten eingetragenen Stoffmengen und die Empfindlichkeit der Waldökosysteme von Bedeutung:

Der *Gesamtstickstoffeintrag* reichte 2008 an den Waldklimastationen jährlich von sechs bis 19 Kilogramm je Hektar. Zehn Jahre vorher lag die Spanne zwischen 6,5 und 30 Kilogramm je Hektar. Dabei ist nicht automatisch der höchste Eintrag der kritischste für das Ökosystem. Entscheidend ist das Zusammenwirken von Eintrag, Aufnahme durch die Pflanzen und Speicherung im Boden. So wurde zum Beispiel im Kiefernbestand der Waldklimastation Bodenwöhr die kritische Eintragungsgrenze (»Critical Load«) für den eutrophierenden Stickstoff 2008 deutlich überschritten, obwohl der Stickstoffeintrag mit 7,5 Kilogramm pro Hektar und Jahr ($\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$) vergleichsweise moderat ist. Das liegt an der geringen Aufnahme des Bestandes und der schwachen Bindung im Boden.

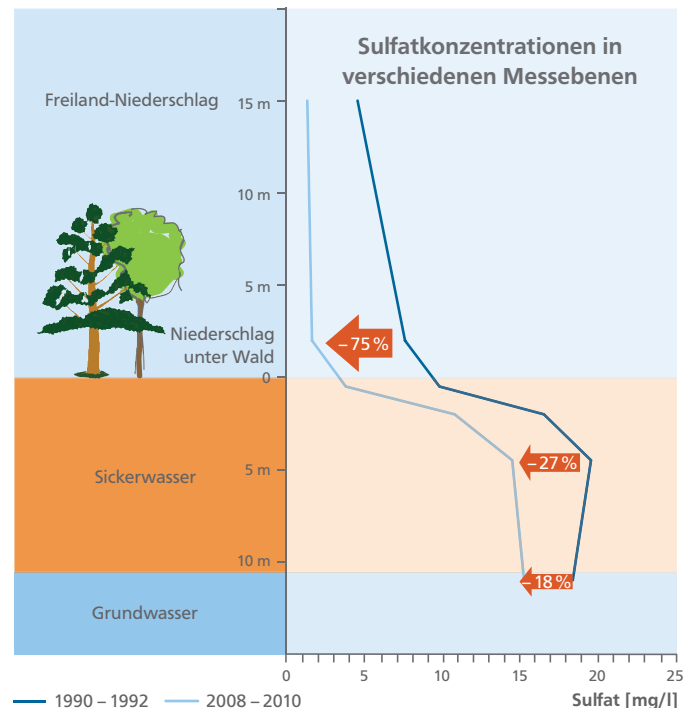


Abbildung 4: Sulfatkonzentrationen vom Freilandniederschlag bis in das Grundwasser im Einzugsgebiet des Metzenbaches im Hochspessart: Vergleich des aktuellen Zeitraums 2008–2010 gegenüber der Anfangsperiode 1990-1992 mit Angabe des prozentualen Rückgangs im Bestandesniederschlag, im Sickerwasser tieferer Bodenschichten sowie im Grundwasser

Bei Betrachtung aller Waldklimastationen zeigt sich, dass die rückläufigen Trends der Stickstoffemissionen für die Wälder oft noch nicht ausreichend sind. An 14 von 22 Stationen werden die Critical Loads überschritten, an acht Stationen müssten die Einträge deutlich, das heißt zwischen 30 und 70 Prozent, reduziert werden (Abbildung 3).

Beim *Schwefel* liegt der Fall anders. In der Trendanalyse zeigen alle Freiland- und Bestandeseinträge für Sulfat einen signifikanten Rückgang. Die Einträge pendeln sich an den meisten Stationen mittlerweile auf einen Wert um fünf Kilogramm pro Hektar und Jahr ein. Im Vergleich zu den Freilandmessungen erhöht die Filterung der Baumkronen den Eintrag im Bestand nur noch geringfügig (ca. $1 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$). Das Niveau ist so gering, dass allein die eingetragenen Sulfatmengen an keiner Waldklimastation zu einer Überschreitung der Critical Loads für Säure führen würden. Erst mit der versauernden Wirkung von Nitrat und Ammonium sind fünf Waldklimastationen so stark belastet, dass die Einträge um elf bis 33 Prozent reduziert werden müssten, um die kritische Schwelle für Säureeinträge zu unterschreiten.

Doch allein der Rückgang der Schwefeleinträge löst die Problematik der Versauerung noch nicht endgültig. In Kooperation mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt im Rahmen des Integrierten Messnetzes Stoffeintrag-Grundwasser werden mit dem tieferen Sickerwasser und Grundwasser zusätzlich zum Niederschlag auch Bereiche untersucht, die nicht zum Standardprogramm der Waldklimastationen zählen. Im Einzugsgebiet des Metzenbaches im Hochspessart (Abbildung 4)

sind die Schwefelkonzentrationen von 1990 bis 2010 im Bestandesniederschlag um circa 75 Prozent zurückgegangen. Die Folgen der früheren Einträge sind aber noch heute im Waldboden erkennbar. Der über die Jahre angereicherte Schwefel wird allmählich ausgewaschen. Daher nehmen die Konzentrationen im Bodensickerwasser langsamer ab (ca. 30 %) als im Bestandesniederschlag. Der Minderungseffekt ist im Grundwasser noch schwächer. Die Bodenversauerung und der dadurch bedingte Eintrag in das Grundwasser laufen daher auch nach Rückgang der Schwefelbelastung noch viele Jahre weiter ab.

BFW und LWF bekräftigen Zusammenarbeit



Foto: T. Bosch

Am 28. März stattete der neue Leiter des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) in Wien, Dr. Peter Mayer (Foto re.), dem Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Präsident Olaf Schmidt, einen Antrittsbesuch ab. Gegenstand des Besuchs war die Fortführung der bewährten Zusammenarbeit zwischen beiden Institutionen.

LWF und BFW betreiben mit weiteren Partnern aus der Schweiz und Baden-Württemberg seit Jahren die erfolgreiche Informationsplattform für die Forstpraxis »Waldwissen.net«. Eine weitere sehr enge Kooperation besteht zwischen den österreichischen und bayerischen Waldschutzexperten. So veröffentlichen die Wissenschaftler der LWF regelmäßig Beiträge zu aktuellen Waldschutzfragen in der BFW-Zeitschrift »Forstschutz aktuell«. Durch diese Zusammenarbeit hat sich der Leserkreis des Magazins deutlich erweitert, die bayerischen Leser profitieren von einer aktuellen Informationsquelle auf breiter Basis. Mayer informierte sich anlässlich seines Besuches auch über den zurückliegenden Strategieprozess und Fragen der internen Organisation an der LWF.

Beide Institutsleiter waren sich einig, dass die Möglichkeiten sinnvoller Zusammenarbeit zwischen den beiden Nachbarländern im Bereich der forstlichen Forschung noch nicht ausgeschöpft sind.

red

Literatur

Ahrens, B. (2008): *Langfristige Trends der Bestandesniederschläge und der Bodenlösung in bayerischen Waldökosystemen: Gibt es Anzeichen einer Erholung?* Bachelorarbeit Geoökologie, Universität Bayreuth

BayLfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (1991–1996): *Lufthygienische Jahresberichte*. 1991-1996; Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)

BayLfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (1997–2009): *Lufthygienische Jahresberichte*. Kurzberichte 1997 bis 2009; Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.); <http://www.bayern.de/lfu/luft>

BayLfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011): *LÜB - Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern*; <http://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen>

Kummer, U.; Pregger, T.; Theloke, J.; Gefthler, T.; Nicklaß, D.; Thiruchitampalam, B.; Köble, R.; Wagner, S.; Haigis, J.; Blank, P.; Rainer, R. (2008): *Fortschreibung des Emissionskatasters Bayern für das Jahr 2004*. Endbericht, Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)

Pregger, T.; Blank, P.; Wickert, B.; Krüger, R.; Theloke, J.; Friedrich, R. (2001): *Emissionskataster für Bayern*. Endbericht, Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)

Pregger, T.; Nicklaß, D.; Blank, P.; Haigis, J.; Vabitsch, A.; Theloke, J.; Friedrich, R.: (2005): *Fortschreibung des Emissionskatasters für Bayern für das Jahr 2000*. Abschlussbericht; Universität Stuttgart Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)

UBA – Umweltbundesamt (2010): *Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990–2008*. Fassung zur EU-Submission 15.01.2010, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau

Dr. Stephan Raspe, Christoph Schulz und Hans-Peter Dietrich sind Mitarbeiter in der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft;
Christoph.Schulz@lwf.bayern.de, Stephan.Raspe@lwf.bayern.de,
Hans-Peter.Dietrich@lwf.bayern.de
 Nicole Foullouis ist Mitarbeiterin der Abteilung »Klimawandel, Wasserrahmenrichtlinie, Gewässerkundlicher Dienst« des Bayerischen Landesamtes für Umwelt;
Nicole.Foullouis@lfu.bayern.de

Die EU fördert die Messungen an den Waldklimastationen im Rahmen des Life+Projektes FutMon.

