

- [12] Wellbrock, N.; Aydin, C.-T.; Block, J.; Bussian, B.; Deckert, M.; Diekmann, O.; Evers, J.; Fetzer, K. D.; Gauer, J.; Gehrman, J.; Kölling, C.; König, N.; Liesebach, M.; Martin, J.; Meiwes, K.J.; Milbert, G.; Raben, G.; Riek, W.; Schäfer, W.; Schwerhoff, J.; Ullrich, T.; Utermann, J.; Volz, H. - A.; Weigel, A.; Wolff, B. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Hrsg. BMELV. Berlin. 413 S.
- [13] Wolff, B.; Riek, W. (1996): Deutscher Waldbodenbericht 1996. Band 1 Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), 144 S.
- [14] Wolff, B.; Hölzer, W.; Bonk, D.; Frömdling, D.; Baritz, R. (1999): Harmonisierung von Ergebnissen der forstlichen Standortskartierung. Forst und Holz 54 Nr. 10, S. 291-298



Foto: Kai Konrad

## Intensives Waldmonitoring im Solling (Level II)

Henning Meesenburg und Johannes Eichhorn

### Einleitung

Als 1966 im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms (IBP) mit den Untersuchungen auf den Waldflächen im Solling begonnen wurde, war ein Waldmonitoring im heutigen Sinne weder bekannt noch Intention der Studien. Vielmehr legten die anerkannten forstlichen Paradigmen nahe, dass die Standortseigenschaften weitgehend konstant sind und die Walddynamik daher nur durch die Witterung und biotische Risiken gesteuert wird; somit ein Monitoring nicht erforderlich ist.

Dennoch zeigten insbesondere die Arbeiten von Ulrich und Mitarbeitern anhand von Flüssebilanzen nach vergleichsweise kurzer Beobachtungszeit, dass sich die Waldökosysteme im Solling nicht im Gleichgewicht befanden und unter dem Einfluss atmosphärischer Stoffeinträge massive Standortveränderungen zu erwarten waren (u.a. Ulrich et al. 1979a).

Durch die Integration der Hauptuntersuchungsflächen in das niedersächsische Boden-Dauerbeobachtungsprogramm (Höper u. Meesenburg 2012) und als Level II-Flächen in das Europäische intensive Waldmonitoring unter ICP Forests (Haußmann u. Lux 1997) wurde einerseits eine Verstärkung der Erhebungen erreicht, andererseits eine Methodenharmonisierung und damit vergleichende Auswertungsmöglichkeit geschaffen. Das Monitoringprogramm umfasst heute eine Kombination von Zustands- und Prozessbeschreibung (Tabelle 1). Die Vernetzung mit anderen Umweltmonitoringprogrammen wie der Umweltprobenbank des Bundes (Koschorreck et al. 2012), der Lufthygienischen Überwachung Niedersachsen (LÜN, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim 2013) sowie Forschungsnetzwerken wie dem Long Term Ecological Research Network (Müller et al. 2010) erlaubt integrierende Auswertungen über verschiedene Ökosystemtypen und Umweltmedien.

## Erhebungen im Rahmen des Monitorings

Die Zustandsbeschreibung umfasst die periodische Inventur von Vorräten und Zuständen wie Bodenzustand, Biomassevorräte, Kronenzustand und Bodenvegetation. Als Prozessbeschreibung werden Flüsse von Energie, Wasser und sonstigen Stoffen erfasst. Änderungen von Ökosystemfunktionen können mittels Flüssebilanzen i.d.R. sensitiver erfasst werden als über die Änderung von Pools. Als wesentliche Flüsse über die Ökosystemgrenzen werden für die wichtigsten Nähr- und Schadstoffe die atmogene Deposition, die Mineralverwitterung, die Biomasseaufnahme und der Sickerwasseraustrag angesehen (Ulrich 1994). Damit können dann Elementbilanzen als wichtige Indikatoren für die Nachhaltigkeit forstlicher Bewirtschaftung berechnet werden.

Tabelle 1: Monitoringprogramm auf den Level II-Flächen Solling, Buche und Solling, Fichte (a=Jahr, d=Tag)

Monitoringprogramm	Zeitliche Auflösung
Elementflüsse	kontinuierlich
• Freilandniederschlag	"
• Kronentraufe	"
• Stammablauf (nur Buche)	"
• Streufall	"
• Bodenlösung (5 Tiefenstufen)	"
meteorologische Messungen (Lufttemperatur, rel. Feuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Windrichtung)	15 min.
Hydrologische Messungen (Bestandesniederschlag, Matrixpotenzial, Bodenwassergehalt, Bodentemperatur)	15 min.
Luftschadstoffe (SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	kontinuierlich
chemische Bodeninventur	10 a
• Nährstoffe	"
• Schwermetalle	"
• Radionuklide	"
• mikrobielle Biomasse	"
• organische Schadstoffe	"
ertragskundliche Erhebung	5 a
• Umfangmessung (Permanent-Umfangmessbänder)	1 a
• Umfangmessung (kontinuierlich)	15 min.
Blatt-/Nadelanalyse	1 a
Kronenzustand	1 a
Phänologie (Austrieb, Herbstfärbung, Blattfall)	1/3 d – 1Wo
Bodenvegetation	1 a

## Wichtige Erkenntnisse

Durch das aus Forschungsaktivitäten entstandene Waldmonitoring im Solling wurden vielfältige Erkenntnisse über Prozesse in Waldökosystemen abgeleitet, die teilweise heute zum Allgemeingut gehören, zu Beginn der Messungen jedoch keineswegs selbstverständlich waren. Von großem Nutzen war dabei, dass mit Buche und Fichte zwei verschiedene Baumarten unter sehr ähnlichen Standortverhältnissen vergleichend beobachtet werden konnten. Im Folgenden werden einige wesentliche Ergebnisse des Monitorings erläutert.

Bezüglich des Wasserhaushalts wurden markante Unterschiede zwischen Buche und Fichte festgestellt (Benecke 1984). Bei vergleichbarer Transpiration sind unter Fichte erheblich größere Interzeptionsverluste als unter Buche zu verzeichnen. Damit treten unter Fichte wesentlich geringere Sickerraten auf.

Waldbestände üben einen starken Einfluss auf die Höhe der atmogenen Deposition aus (Ulrich et al. 1979b).

Dabei unterscheiden sich Buche und Fichte wiederum deutlich. Die Deposition von Luftverunreinigungen in Waldbeständen ist aufgrund ihrer großen äußeren Oberfläche und ihrer Oberflächenrauigkeit deutlicher höher als bei anderen Landnutzungsformen. Dabei liegen die Stoffeinträge unter Fichte über denen der Buche.

Der atmogene Eintrag von Säuren, anderen Schadstoffen, aber auch wichtigen Nährstoffen führt bereits im Kronenraum zu vielfältigen Interaktionen wie Adsorption, Aufnahme und Auswaschung von Stoffen. Die Erkenntnisse aus den Messungen von Freilandniederschlag, Kronentraufe und Stammablauf im Solling nutzte Ulrich (1983, 1991, 1994) für die Entwicklung eines Kronenraumbilanzmodells zur Trennung der internen und externen Flüsse im Kronenraum, welches auch derzeit noch verbreitet zur Abschätzung von Depositionsraten in Wäldern genutzt wird.

Die realitätsnahe Trennung interner und externer Flüsse war auch zur Ableitung des Einflusses atmogener Depositionen auf Ökosystemfunktionen notwendig. Aufbauend auf den Flussmessungen im Solling und als Erweiterung des Kronenraumbilanzmodells wurde von Ulrich (1991, 1994) ein Schema zur Berechnung der Säurequellen und -senken in Waldökosystemen vorgelegt. Dabei wurde die besondere Bedeutung der Anionen starker Säuren („mobile Anionen“-Konzept, Reuss u. Johnson 1985) für die Bodenversauerung und den Austrag von Säuren in benachbarte Ökosysteme herausgestellt. Die aus Flussmessungen abgeleiteten Versauerungsraten dienen auch dem Postulat einer Destabilisierung von Waldökosystemen im Zusammenhang mit den „neuartigen Waldschäden“ (Ulrich et al. 1979). Im Zusammenhang mit angegliederten Experimentalstudien konnten auch Erkenntnisse zur Bedeutung der hohen Stickstoffeinträge für die Stickstoffsättigung der Waldökosysteme im Solling gewonnen werden (Corre u. Lamersdorf 2004, Meesenburg et al. 2004, Evans et al. 2009).

Die fortlaufenden Messungen der luftbürtigen Stoffeinträge dienen auch der Erfolgskontrolle der eingeleiteten Luftreinhaltungsmaßnahmen (Meesenburg et al. 1995). Weiterhin stellen die Ergebnisse des Monitorings einen idealen Datensatz für die Parametrisierung und Validierung von Ökosystemmodellen dar (van Grinsven 1995, Hörmann u. Meesenburg 2000, Bonten et al. 2011).

## Neue Herausforderungen

Aufgrund von veränderten Umweltbedingungen wie z.B. Klimawandel oder reduzierte Säureeinträge ergeben sich neue Fragestellungen und damit auch neue Anforderungen an das Waldmonitoring. Aufgrund des Klimawandels ist u.a. mit einer veränderten Wasserverfügbarkeit für die Wälder und mit veränderten Kohlenstoffumsätzen zu rechnen. Dies erfordert ein intensiviertes Monitoring des Bodenwasserhaushalts (Raspe et al. 2013) sowie der Kohlenstoffflüsse, die mit den klassischen Verfahren der Flussmessungen nicht abgedeckt werden (Meiwes et al. 2007). Weiterhin müssen die Reaktionen der Bäume auf diese Umwelteinflüsse spezifischer erfasst werden.

Für die Buchen- und Fichtenmonitoringflächen im Solling konnte gezeigt werden, dass in den vergangenen 50 Jahren einerseits die Bodenwasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode abnahm, andererseits während der Vegetationsruhe vermehrt Wassersättigung auftrat (Fleck et al. 2012). Dies deckt sich mit den meisten Projektionen für die zukünftige Klimaentwicklung. Für das Durchmesserwachstum der Bestände haben beide Entwicklungen negative Effekte (Fleck et al. 2012).

Für die Klimaberichterstattung im Rahmen des Kyoto-Protokolls sind sowohl die oberirdische wie die unterirdische Kohlenstoffspeicherung von Belang. Die Streufallmessungen haben ergeben, dass die Anlieferung von Kohlenstoff an den Boden während der letzten 30 Jahre sowohl unter Buche wie unter Fichte zugenommen hat. Dies ist vermutlich auf erhöhte Fruktifikationsraten zurückzuführen. Die im Jahr 2003 aufgenommenen In-Situ-Bodenrespirationsmessungen lassen aufgrund der Kürze der Zeitreihen noch keinen Trend erkennen (Meiwes et al. 2007). Aus bodenbiologischen Erhebungen kann abgeleitet werden, dass sich die mikrobielle Aktivität auf beiden Flächen in den letzten 10 Jahren erhöht hat (Mindrup u. Höper 2012). Unklar ist, auf welchem Niveau sich die Boden-Kohlenstoffvorräte unter den veränderten klimatischen Bedingungen einstellen werden. Hier können Ökosystemmodelle eine Hilfe darstellen, wobei wiederum die Länge der Zeitreihen und die Vollständigkeit der Datensätze aus dem Solling nützlich sind (Jochheim et al. 2009).

Aufgrund der veränderten Umweltbedingungen und des zunehmenden Bedarfs an Biomasse für energetische Nutzung sind forstliche Anpassungsstrategien erforderlich. Als Entscheidungshilfe hierfür können wiederum Daten aus dem Waldmonitoring genutzt werden. In Form von Szenarien können die forstlichen Handlungsoptionen getestet werden, wenn ein entsprechender Vorlauf zur Kalibrierung der erforderlichen Modelle vorhanden ist. Sollen die Erhebungen im Rahmen des Monitorings für die Ermittlung von Stoffflüssen eingesetzt werden, ist zu prüfen, ob alle relevanten Flüsse des betrachteten Stoffes erfasst werden. Durch

Studien im Solling konnte gezeigt werden, dass einige vorher nicht beachtete Flüsse in einer nicht zu vernachlässigen Größenordnung auftreten können, z.B. Lachgasemissionen aus dem Waldboden (Brumme et al. 1999) oder partikuläre organische Substanz in der Kronentraufe, die mit den üblicherweise genutzten Messeinrichtungen nicht erfasst wird (Le Mellec et al. 2009).

## Literatur

- Benecke, P. (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. *Schr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Nieders. Forstl. Versuchsanst.* 77.
- Bonten, L.T.C.; Groenenberg, J.E.; Meeseburg, H.; de Vries, W. (2011): Using advanced surface complexation models for modelling soil chemistry under forests: Solling forest, Germany. *Environmental Pollution* 159, 2831-2839, doi:10.1016/j.envpol.2011.05.002.
- Brumme, R.; Borken, W.; Finke, S. (1999): Hierarchical control on nitrous oxide emissions in forest ecosystems. *Glob. Biochem. Cycles* 13, 1137-1148.
- Corre, M.D.; Lamersdorf, N.P. (2004): Reversal of nitrogen saturation after long-term deposition reduction: Impacts on soil nitrogen cycling. *Ecology* 85, 3090-3104.
- Evans, C.D.; Goodale, C.L.; Caporn, S.J.; Dise, N.B. Emmett, B.A.; Fernandez, I.J.; Field, C.D.; Finlay, S.E.G.; Lovett, G.M.; Meeseburg, H.; Moldan, F.; Sheppard, L.J. (2008): Does elevated nitrogen deposition or ecosystem recovery from acidification drive increased dissolved organic carbon loss from upland soil? A review of evidence from field nitrogen addition experiments. *Biogeochemistry* 91, 13-35.
- Fleck, S.; Meeseburg, H.; Wagner, M.; Ahrends, B.; Hassdenteufel, M.; Höper, H.; Schäfer, W. (2012): Klimafo- genmonitoring. In: Höper, H.; Meeseburg, H. (Hrsg.): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Nieder- sachsen. *Geoberichte* 23, 233-241.
- Grinsven van, H. J. M. (Hrsg.), (1995): Modelling Water, Carbon and Nutrient Cycles in Forests. *Ecological Modelling* 83 (1-2), 1- 293.
- Haußmann, T.; Lux, W. (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald Level II: Erste Ergeb- nisse. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.).
- Höper, H.; Meeseburg, H. (Hrsg.) (2012): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. *Geoberichte* 23, 254 S.
- Hörmann, G.; Meeseburg, H. (2000): Die Erfassung und Modellierung des Wasserhaushaltes im Rahmen des Level II-Programms in der Bundesrepublik Deutschland. *Forstarchiv* 71, 70-75.
- Jochheim, H.; Puhlmann, M.; Beese, F.; Berthold, D.; Einert, P.; Kallweit, R.; Konopatzkiy, A.; Meeseburg, H.; Meiwes, K.-J.; Raspe, S.; Schulte-Bisping, H.; Schulz, C. (2009): Modelling the carbon budget of intensive forest monitoring sites in Germany using the simulation model BIOME-BGC. *iForest* 2, 7-10 [online: 2009- 01-21] URL: <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=475>, DOI: 10.3832/ifor0475-002.
- Koschorreck, J.; Conrad, A.; Körner, A.; Rütger, M.; Schröter-Kermani, C.; Mohaupt, V.; Kolossa-Gehring, M.; Fliedner, A.; Rüdell, H. (2012): Die Umweltprobenbank: Umweltbeobachtung mit Proben von Mensch und Umwelt. Umweltbundesamt.
- Le Mellec, A.; Meeseburg, H.; Michalzik, B. (2010): The importance of canopy-derived dissolved and particu- late organic matter (DOM and POM) – comparing throughfall solution from broadleaved and coniferous forests. *Ann. For. Sci.* 67, DOI: 10.1051/forest/2009130.
- Meeseburg, H.; Meiwes, K.J.; Rademacher, P. (1995): Long term trends in atmospheric deposition and seepage output in northwest German forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 85, 611-616.
- Meeseburg, H.; Merino, A.; Meiwes, K.J.; Beese, F.O. (2004): Effects of long-term application of ammonium sulphate on nitrogen fluxes in a beech ecosystem at Solling, Germany. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 4, 415-426.
- Meeseburg, H.; Puhlmann, M.; Raspe, S.; Schulte-Bisping, H.; Schulz, C.; Suckow, F. (2007): Kohlenstoffumsatz in Waldökosystemen und deren Böden: Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung von Modellen. *AFZ-DerWald* 20/2007, 1075-1077.
- Meiwes, K.J.; Badeck, F.-W.; Beese, F.; Berthold, D.; Einert, P.; Jochheim, H.; Kallweit, R.; Konopatzky, A.; Lasch, P.; Meeseburg, H.; Puhlmann, M.; Raspe, S.; Schulte-Bisping, H.; Schulz, C.; Suckow, F. (2007): Kohlenstoffum- satz in Waldökosystemen und deren Böden: Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung von Modellen. *AFZ/DerWald*, 20, 1075-1077
- Meiwes, K.J.; Meeseburg, H.; Eichhorn, J.; Jacobsen, C.; Khanna, P.K. (2009): Changes in C and N contents of soil under beech forests over a period of 35 years. In: R. Brumme; P.K. Khanna (Hrsg.): *Functioning and Management of European Beech Ecosystems*, *Ecol. Studies* 208, 49-64.

- Mindrup, M.; Höper, H. (2012): Bodenbiologische Untersuchungen. In: Höper, H.; Meesenburg, H. (Hrsg.): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Geoberichte 23, 79-94.
- Müller, F.; Baessler, C.; Schubert, H.; Klotz, S. (Hrsg.) (2010): Long-Term Ecological Research: Between Theory and Application. Springer, Dordrecht.
- Raspe, S.; Bastrup-Birk, A.; Fleck, S.; Weis, W.; Mayer, H.; Meesenburg, H.; Wagner, M.; Schindler, D.; Gartner, K. (2013): Meteorology. In: Ferretti, M.; Fischer, R. (Hrsg.): Forest Monitoring: Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia, Developments in Environmental Science, Vol. 12, Amsterdam, Elsevier, 319-336.
- Reuss, J.O.; Johnson, D.W. (1985): Effect of soil processes on the acidification of water by acid deposition. J. Environ. Qual. 14, 26-31.
- Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (Hrsg.) (2010): Erläuterungen und Hinweise zu den Daten des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN), Version V1.3. Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhalte, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG, Hildesheim.
- Ulrich, B. (1983): Interactions of forest canopies with atmospheric constituents: SO<sub>2</sub>, alkali and earth alkalis and chloride. In: Ulrich, B.; Pankrath, J. (Hrsg.): Accumulating air pollutants in forest ecosystems, Reidel Publ.
- Ulrich, B. (1991): Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen: Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme B 24, 204-210.
- Ulrich, B. (1994): Nutrient and acid/base budget of central European forest ecosystems. Hüttermann, A.; Godbold, D.L. (Hrsg.): Effects of acid rain on forest processes. New York, Wiley, 1-50.
- Ulrich, B.; Mayer, R.; Khanna, P.K. (1979a): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt 58, 291 S.
- Ulrich, B.; Mayer, R.; Khanna, P.K. (1979b): Fracht an chemischen Elementen in den Niederschlägen im Solling. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 142, 601-615.

## Bodenschutzkalkung – Ziele und Bezug zur Standortskartierung

Karl Josef Meiwes, Michael Mindrup und Jörg Ackermann

Der Zugang zu fossiler Kohle vor gut 150 Jahren führte zu einer Substitution von Holz durch Kohle (Brennstoff) und Stahl (Werkstoff). Hierdurch und durch die Verfügbarkeit von Mineraldüngern in der Landwirtschaft hat eine beispiellose Erholung der forstlichen Standorte und der Wälder eingesetzt. Dieser Prozess wurde in Regionen mit starker Devastierung, wie z.B. im norddeutschen Tiefland, durch Meliorationsmaßnahmen unterstützt, um die großflächigen Aufforstungen in produktive Wälder zu überführen.

Seit einigen Jahrzehnten gibt es jedoch parallel zu diesem Erholungsprozess auch eine gegenteilige Tendenz. Die luftbürtigen Säureeinträge der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts haben zu einer bis dahin unbekannt flächenhaften Ausdehnung der Nährstoffverarmung in Waldböden geführt. Mittlerweile ist das Problem der hohen luftbürtigen Schwefeleinträge gelöst, jedoch nicht das der Bodenversauerung. Infolge der im Boden gespeicherten Schwefelmengen sowie der weiterhin hohen Stickstoffeinträge muss die Bodenversauerung als problematisch betrachtet werden. Mit der Versauerung ist die Verarmung der Böden an Calcium und Magnesium verbunden. Vielfach reichen die Verwitterungsraten nicht aus, um in einem absehbaren Zeitraum eine Erholung der Böden aus eigener Kraft zu ermöglichen.

Um den oben genannten und insgesamt gestiegenen Ansprüchen an den Nährstoffhaushalt der Wälder und einer nachhaltigen Nutzung der Ökosysteme gerecht werden zu können, sind standörtlich differenzierte Kalkungsmaßnahmen erforderlich.

Ziel der Bodenschutzkalkung ist es, die im Folgenden genannte Wirkungskette zu unterstützen:

- Risiken aus bereits abgelaufener und aktueller Bodenversauerung zu verringern,
- Erhöhung der Speicherfähigkeit der Böden für Nähr- und Schadstoffe,
- Wiederherstellung eines guten Ernährungszustandes,
- Verbesserung der Vitalität der Bestände (Belaubungs- und Vergilbungsgrad),
- Förderung der Durchwurzelung des Mineralbodens,
- Förderung der Bodenvegetation,
- Förderung der bodenwühlenden Fauna und der Entwicklung hin zu Mineralboden-Humusformen.