

**Effektbeobachtung von Luftschadstoffen
in einem Waldökosystem im norddeutschen Tiefland an der
UBA-Messstelle Neuglobsow (Brandenburg)**

Kurzfassung

Förderkennzeichen 203 43 257

**Hubert Schulte-Bisping
Friedrich Beese**

Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen
Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen
Göttinger Bodeninitiative e.V.

Im Auftrag des
Umweltbundesamtes

Mai 2006

1. Hintergrund

Im Rahmen des UN ECE Integrated Monitoring Programms werden europaweit die langfristigen Wirkungen von grenzüberschreitenden Luftschadstoffen auf Ökosysteme untersucht, um begründete Aussagen für eine wirkungsbasierte nationale und internationale Luftreinhaltepolitik zu treffen. Der deutsche Beitrag dieses internationalen Monitoring besteht aus den Messungen an der Station Forellenbach (DE01) im Bayerischen Wald und an der im nordostdeutschen Tiefland gelegenen Station Neuglobsow (DE02) in Brandenburg.

Im Herbst 2003 begann in Neuglobsow eine Kooperation zwischen dem Institut für Bodenkunde und Waldernährung (IBW) in Göttingen und dem Umweltbundesamt (UBA). Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, die bereits seit 1998 laufenden Untersuchungen zur Meteorologie, Luftchemie und Hydrologie auszuweiten und das bestehende IM Monitoring um wichtige waldökologische Aspekte zu ergänzen, denn erst vor diesem Hintergrund gewinnen die Datensätze aus dem Monitoring umfassende ökologische Relevanz. In diesem Zusammenhang kam u. a. der Untersuchung von Bodenparametern besondere Bedeutung zu, denn der Boden ist das entscheidende Reaktionsmedium für Stoffumsätze im Waldökosystem.

2. Das Einzugsgebiet

Die UBA-Messstelle Neuglobsow liegt im Norden Brandenburgs am südöstlichen Ufer des Stechlinsees, einem oligotrophen Klarwassersee mit Calcit-Hydrogencarbonat Dynamik. Das 14,2 km² große Einzugsgebiet befindet sich mitten in einem ausgedehnten, mit Buchen und Kiefern bestockten Waldgebiet, das nur wenig von landwirtschaftlicher oder industrieller Nutzung beeinflusst ist. Im Gegensatz zu den Level II Flächen in Brandenburg, die ausschließlich mit Kiefern bestockt sind, handelt es sich an der Messstelle um einen alten Buchen-Mischbestand, wo die Möglichkeit besteht, die Schlussphase des vielerorts eingeleiteten Waldumbaus und dessen Auswirkungen auf den Stoffhaushalt zu studieren.

Die hydrogeologische Abgrenzung des Einzugsgebiets erfolgte auf der Grundlage und in Anlehnung an vorhandene Untersuchungen und Gutachten, u. a. aus dem Institut für Gewässerbiologie und Binnenfischerei. Die Besonderheit dieses Einzugsgebiets besteht darin, dass es einen oligotrophen Klarwassersee speist und temporär über eine unterirdische Wasserscheide entwässert. Der Abfluss über den Polzow Kanal ist von untergeordneter Bedeutung.

Klarwasserseen haben im osteuropäischen Raum große Verbreitung und ihre Existenz hängt von geringen Nährstoffzufuhren ab. Zum anderen ist das Gebiet aufgrund langjähriger Beobachtungen so gut beschrieben, dass eine vollständige Bilanzierung des Wasserhaushalts möglich ist. Dies ist eine einmalige Situation und sollte weiter genutzt werden.

3. Ergebnisse aus den Unterprogrammen

3.1 Ergebnisse des Unterprogramms Bodenchemie (SC)

Das im Herbst 2003 begonnene Unterprogramm Bodenchemie (SC) wurde im Frühjahr 2004 mit der Beprobung des Unterbodens auf den Untersuchungsflächen Waldmessfeld (DE02), Eichen-Lochbestand und Freiland vervollständigt. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der organischen Auflage in DE02 belegen einen relativ hohen Anteil der Nährstoffkationen Kalium, Kalzium und Magnesium, wobei besonders Kalzium mit einem Mittelwert von 37 % dominiert. Kalzium wird von den Baumwurzeln aus dem basenreichen Unterboden aufgenommen und zeitlich verzögert über den Streufall dem Oberboden wieder zugeführt.

Die Ergebnisse der effektiven Austauschkapazität ($/AK_e$) belegen, dass die Basensättigung in der oberen Tiefenstufe (0-5 cm) gegenüber einem benachbarten Eichen-Lochbestand um durchschnittlich 24 % erhöht ist, was ausschließlich durch eine höhere Ca-Belegung hervorgerufen wird. In den Tiefen 5-10 cm und 10-20 cm steigen die Differenzen in der Basensättigung (BS) sogar auf über 100 % an (12 % gegenüber 5 % bzw. 6 %).

Die Ergebnisse des HNO_3 -Druckaufschlusses zeigen, dass die im Oberboden potenziell zur Verfügung stehenden Nährstoffkationen (K, Ca, Mg) nur zu einem Anteil von 10-12 % in austauschbarer Form vorliegen und müssen als gering eingestuft werden. Der Rückstände (SiO_2) liegen im Oberboden bei 88 bis 92 %, im Unterboden dagegen zwischen 95 bis 97 %. Die Schwermetallanalysen (Kupfer, Cadmium und Blei) weisen im oberen Mineralboden (0-20 cm) auf eine geringe Belastung und liegen unterhalb der Vorsorgewerte, die von der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung für die Bodenart Sand ausgewiesen werden. Alle diesen Indikatoren weisen das Gebiet als ideal für einen wenig belasteten Referenzstandort aus.

3.2 Ergebnisse des Unterprogramms Blatt- und Nadelanalyse (FC)

Das Unterprogramm Blatt- und Nadelanalysen (FC) dient dazu, den Ernährungsstatus der Bäume zu beurteilen. Aufgrund der eingeschränkten Probenahme müssen die vorliegenden Ergebnisse aus Neuglobsow als vorläufig angesehen werden. Das Unterprogramm FC soll in der nächsten Projektphase ausgebaut werden, wobei die Probenahme entsprechend dem IM-Manual erfolgen wird.

Insgesamt zeigten die Analysen, dass die Nährstoffversorgung der Buchen als gut bis sehr gut zu bewerten ist. Die mittleren Stickstoff- und Phosphorgehalte lagen bei 32 bzw. 2,6 mg g^{-1} TS in einem Bereich sehr guter Versorgung. Auch die Kalium-, Kalzium- und Magnesium-Spiegelwerte zeigten mit Werten von 7,1 mg K, 14,6 mg Ca und 3,8 mg Mg g^{-1} TS eine ausreichende Versorgung an. In den Kiefernadeln fielen zwar die Gehalte z. B. bei Stickstoff mit 16 mg N g^{-1} TS deutlich geringer aus, dennoch lagen mit Ausnahme von Phosphor und Magnesium die Werte in Bereichen, die als durchschnittlich bis gut zu bewerten sind.

3.3 Ergebnisse des Unterprogramms Streufall (LF)

Zur Abschätzung der bestandesinternen Stoffumsätze wurden auf der Waldmessfläche entlang der Depositionssammler zwölf Streusammler – jeder mit einer Fläche von 0.25 m² – aufgestellt. Die Probenahme begann Ende September 2003, wobei drei monatliche Mischproben aus jeweils vier Sammlern getrennt nach Buchen- und Kiefernstreu analysiert wurden. Die Gehalte der Restfraktion bestehend aus Eckern, Bechern, Rinde, Zapfen und kleineren Ästen wurden einmalig an drei Mischproben bestimmt.

An der monatlichen Verteilung der Streufallmengen im Jahr 2004 wird erkennbar, dass die dem Trockenjahr 2003 folgende Buchenmast im Jahr 2004 zu einer stark erhöhten Streuproduktion beigetragen hat. Die Streufallmenge in 2004 ergab eine Trockenmasse von 7,83 t pro Hektar, während in normalen Jahren eine Streuproduktion in Höhe von ca. 3-4 t ha⁻¹ angenommen werden kann. Dabei entfielen 2,55 t auf die Blattstreu und 1,24 t auf die Nadelstreu, während sich die Restfraktion mastbedingt auf 4,04 t pro Hektar und Jahr summierte.

Der zeitliche Verlauf der Elementgehalte in der Streu zeigt für die Elemente Stickstoff und Kalzium eine starke Saisonalität, wobei auch die Varianz innerhalb einzelner Monate größer ist als bei den Elementen Kalium und Magnesium. Die gemittelten Kohlenstoffgehalte in der Buchenstreu liegen relativ konstant bei 48 % und damit um 3 % niedriger als in der Kiefernstreu. Umgekehrt fallen die Stickstoffgehalte der Buchenstreu mit 1,9 % deutlich höher aus als bei der Kiefer (1,0 %). Die Buchenstreu weist mittlere C/N-Verhältnisse von 28 auf, dagegen sind die über die 20-monatige Messperiode gemittelten Verhältnisse in der Kiefernstreu mit 53 als wesentlich ungünstiger zu bewerten.

Die monatlichen Elementeinträge mit der Streu korrespondieren, wie zu erwarten, mit den jeweils gemessenen Streufallmengen. Dabei fallen die hohen Ca-Einträge von 35 kg ha⁻¹ aus der Buchenstreu auf, die zu über 80 Prozent auf den herbstlichen Laubfall im Oktober und November 2004 zurückzuführen sind und die gute Kalziumversorgung dieses Standorts anzeigen. Der Kaliumeintrag beträgt etwa 7 kg ha⁻¹, während der Input an Magnesium 5,4 kg ha⁻¹ erreicht, das ebenfalls zu über 75 Prozent aus dem herbstlichen Laubfall stammt. Der Stickstoffeintrag von 33,6 kg ha⁻¹ resultiert zur Hälfte aus dem herbstlichen Laubfall, aber ein Drittel (11,6 kg) lässt sich auf Knospenschuppen und Blüten zurückführen, die einen deutlich höheren N-Gehalt aufwiesen.

An Mikroelementen werden mit der Buchenstreu vor allem Zink, Kupfer und Nickel in nennenswerten Mengen eingetragen. Im Jahr 2004 betrug der Input mit der Buchenstreu etwa 110 g Zink, 23 g Kupfer und 8,6 g Nickel pro Hektar, während die Einträge an Kobalt, Chrom, Cadmium und Blei in der Nähe der Nachweisgrenze lagen und in der Streu als vernachlässigbar angesehen werden können.

Für die Stoffeinträge aus der Kiefernstreu gilt, dass deren Höhe durch die geringeren Streufallmengen wie auch aufgrund geringerer Stoffkonzentrationen im Vergleich zur Buche deutlich

reduziert ist. So betrug im Untersuchungsjahr 2004 die Trockenmasse der Kiefernstreu 1237 kg TS ha⁻¹ und somit weniger als die Hälfte der Buchenstreu. Dementsprechend niedriger fallen auch die bestandesinternen Elementflüsse mit der Kiefernstreu aus: In der Jahressumme gelangten pro Hektar etwa 10 kg an Stickstoff und Kalzium, 0,6 kg an Phosphor sowie 0,7 kg an Magnesium auf den Waldboden. Von den Mikroelementen ergab sich für Zink ein Eintrag von 46 g, für Kupfer von 4 g und für Nickel von etwa 3 g ha⁻¹, während der Eintrag von Schwermetallen wie Chrom, Kobalt, Cadmium und Blei aus der Streu ebenfalls als vernachlässigbar einzustufen ist.

Aufgrund der großen annualen Schwankungen der Streufallmengen ist das LF-Programm fortzuführen, um zu gesicherten Mittelwerten zu gelangen.

3.4 Ergebnisse des Unterprogramms Stammabfluss (SF)

Für den Stoffumsatz und -transfer spielt die Erfassung des Freiflächen- und Bestandesniederschlags einschließlich des Stammablaufs eine wichtige Rolle. Der Stammablauf in Neuglobsow wird als Mischprobe von zwei den Bestand repräsentierenden Buchen erfasst. In den beiden Messjahren 2004 und 2005 wurde - bezogen auf die Anzahl der auf der Messfläche stockenden Buchen - ein Stammablauf in Höhe von 15 bzw. 11 mm registriert. Im Vergleich mit der in den Jahren 1998 bis 2004 gemessenen mittleren Kronentraufe von 404 mm a⁻¹ entspricht dies lediglich einem Anteil von 2,7 – 3,7 %.

Die pH-Werte im Stammablauf liegen im Mittel mit 5,4 etwas niedriger als die in der Kronentraufe gemessenen Werte von pH 5,7. Bei sehr hohen Niederschlagsereignissen wie z. B. Ende Juli und Anfang August 2004 können sie aufgrund der verminderten Pufferung innerhalb des Kronenraums auch auf Werte deutlich unter pH 5 sinken. Von den Kationen dominieren Kalium mit 8 mg l⁻¹ und Kalzium mit 2,3 mg l⁻¹, während bei den Anionen die Chlorid- und Sulfationen mit mittleren Konzentrationen von 5,2 bzw. 2,4 mg l⁻¹ im SF überwiegen. Auffällig sind die saisonal stark variierenden Konzentrationen besonders der Kalium- und Chlorid-Ionen, wobei letztere besonders im Winterhalbjahr stark fluktuieren.

3.5 Ergebnisse des Unterprogramms Mikrobielle Aktivität (MB)

3.5.1 pH-Werte, Mikrobieller Kohlenstoff (C_{mic}) und Stickstoff (N_{mic})

Die Ergebnisse der pH-Messungen lassen große Differenzen zwischen der Freilandfläche und den beiden Waldflächen erkennen. Die pH-Werte in den Böden der Freifläche, sowohl in Kaliumchlorid wie in Wasser gemessen, fallen i. d. R. um 1,5 - 2 pH-Einheiten höher aus. Hierzu ist anzumerken, dass die Freilandfläche im Oberboden noch freies Karbonat aufweist, was auf eine frühere Nutzung als Waldacker zurückgeht. Die mit Gras bewachsene Fläche weist mit Werten ≤ 200 µg C pro Gramm TS gleichzeitig die geringsten C_{mic}-Gehalte auf, was nicht überrascht, da das auf der Freifläche wachsende Gras im Sommer gemäht und von der Fläche entfernt wird, was sich auch in engeren C/N-Verhältnissen widerspiegelt.

Die Ergebnisse der Chloroform-Fumigation-Extraktion (CFE) weisen erhebliche Unterschiede im C_{mic} -Gehalt der drei von uns untersuchten Standorte auf. Die höchsten C_{mic} -Gehalte finden sich mit 500 $\mu\text{g C pro Gramm TS}$ im Eichen-Lochbestand (0-5 cm). Die Unterschiede von bis zu 200 $\mu\text{g C pro Gramm TS}$ zwischen der Buchen- und Kiefernfläche und dem Eichenbestand erklären sich einerseits durch die schlechter abbaubare Streu der Kiefern und andererseits durch den höheren Lichtgenuss am Boden der Lochhiebe, der zu einer vermehrten Bodenvegetation und damit verbunden zu einem höheren C-Umsatz führt.

3.5.2 Messung der Bodenrespiration

Die CO_2 -Emission zeigt einen ausgeprägten, von der Temperatur maßgeblich bestimmten Jahresgang mit Emissionsmaxima im Zeitraum Juni und Juli. Hier treten Emissionsspitzen von 200 bis 240 $\text{mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ auf. Im Winter sinken dagegen die Werte auf ein Niveau $< 30 \text{ mg CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ab. Der mittlere jährliche C-Austrag betrug im Jahr 2004 auf der Freilandmessfläche 6,8 t und auf der Waldmessfläche 5,6 t $\text{CO}_2\text{-C pro Hektar}$. Der Anteil der Wurzelrespiration lag in den ersten sechs Monaten von Juni bis Dezember 2005 bei etwa 20% der Gesamtemission. Die Wurzelkappung beim Einbau der Hauben Anfang Juni 2005 und die damit erzeugte Wurzelnekromasse haben aber keinen erkennbaren Mineralisierungsschub erkennen lassen.

Für die Bewertung des Standorts als C-Senke oder -Quelle sollten die Input-Output Bilanzen noch weitere zwei bis drei Jahre fortgesetzt werden, auch deswegen, weil die Messstelle im Rahmen des EU-Programms "Forest-Focus" als Referenz benötigt wird.

3.6 Bestimmung von Wachstumsparametern: BHD und Jahrringanalysen (BI)

Der Brusthöhendurchmesser (BHD) als Teile des Unterprogramms Baumbioelemente (BI) wurde im Frühjahr 2004 an allen Buchen und Kiefern auf der Waldmessfläche durch kreuzweise Kluppung ermittelt. Der mittlere BHD der Buchen betrug demnach 34,7 ($\pm 11,3$) cm, während die Kiefern, die etwa ein Viertel der auf der Messfläche stockenden Bäume ausmachen, einen BHD von 48,9 ($\pm 7,7$) cm aufwiesen.

Im Herbst 2003 sowie im Frühjahr 2004 wurden außerhalb der Waldmessfläche mit einem Zuwachsbohrer Proben an Buchen und Kiefern entnommen, um das Alter und die Wachstumsbedingungen während der vergangenen Jahrzehnte zu rekonstruieren. Für die Kiefern ergaben die Jahrringanalysen ein Alter von ca. 140 (± 5) Jahren, die im Unterstand stockenden Buchen hatten ein Alter von 95 (± 5) Jahren.

Das Wachstum der Kiefern lässt eine langsame, aber stete Abnahme der Jahrringbreiten von 1,5 auf 0,5 mm bis zum Alter von 75 Jahren (1935) erkennen. Anschließend tritt vermutlich als Folge einer Durchforstungsmaßnahme und der daraus folgenden Freistellung eine leichte Erholungsphase ein, in der der mittlere Radialzuwachs wieder auf 1,0-1,5 mm a^{-1} steigt. Auffällig bleibt die teilweise hohe Amplitude der Jahrringbreiten, die bis zum Alter von etwa 120 Jahren (1980)

anhält. Gut erkennbar sind auch die negativen Weiserjahre 1942 und 1976 mit einer durch extreme Winterkälte bzw. große Sommertrockenheit hervorgerufenen starken Wachstumsdepression. Charakteristisch für die letzten 25 Jahre bleibt ein deutlicher Rückgang der Jahresniederschläge verbunden mit einer erneuten Abnahme der Jahrringbreiten auf zeitweise unter 0,5 mm pro Jahr.

Die Buchen auf der Waldmessfläche verzeichnen in den ersten 40 Jahren einen starken Zuwachsanstieg, der sich in den Jahrringbreiten mit Werten von mehr als 3,0 mm pro Jahr widerspiegelt. Zu Beginn der 50er Jahre folgt dann eine klar erkennbare Wachstumsdepression, von der sich die Buchen nicht mehr richtig erholen und in deren Verlauf die Jahrringbreiten auf Werte zwischen 1 und 2 mm pro Jahr sinken. Dies verminderte, aber relativ konstante Wachstum ist Folge der im Unterstand stockenden Buchen, die im Fall einer Freistellung, z.B. als Folge eines forstlichen Eingriffs, Zuwachssteigerungen durch erhöhten Lichtgenuss realisieren.

4. Untersuchungen des Wasser- und Stoffhaushalts

4.1 Der Wasserhaushalt des Waldmessfeldes

Für den Standort Neuglobsow wurden die Wasserhaushaltskomponenten über einen 7-jährigen Zeitraum (1998-2004) quantifiziert. Als Wasserhaushaltsmodell wurde das Modell-System Expert-N unter Verwendung des Richards-Ansatzes eingesetzt. Mit Hilfe der Chlorid-Bilanz konnten außerdem die Tiefensickerung und die Evapotranspiration berechnet und mit den Ergebnissen aus der Modellierung verglichen werden.

Die Simulationen zeigten, dass der in genanntem Zeitraum gemessene Bestandesniederschlag von jährlich 404 mm fast vollständig von der an diesem Standort simulierten mittleren Evapotranspiration in Höhe von 385 mm aufgezehrt wird. Die Tiefensickerung war vergleichsweise gering und lag im 7-jährigen Mittel bei 26 mm a^{-1} , während die Chlorid-Bilanz auf der Basis des Bestandesniederschlags eine Versickerung von 57 mm a^{-1} auswies und damit eine mehr als doppelt so hohe Grundwasserspende anzeigte.

Die Wasserbilanz des Buchen-Kiefernaltbestands in Neuglobsow erscheint demzufolge im Mittel der 7-jährigen Messperiode annähernd ausgeglichen. Die durchschnittliche Versickerungsrate von 26 mm a^{-1} entspricht etwa 4,8 % des jährlichen Freilandniederschlags von 547 mm. Im Vergleich mit der im Bayerischen Wald gelegenen Station Forellenbach (DE01) mit durchschnittlich 1484 (± 174) mm Jahresniederschlag und einem Sickerwasseraustrag von 870 (± 174) mm a^{-1} zeigen die Untersuchungen in Neuglobsow, dass hier der Wasserhaushalt schon durch die meteorologischen Randbedingungen limitiert wird. Dies lässt sich sowohl auf die verminderte Exposition der Messfläche (Lage im Flachland in 65 m ü. N. N.) wie auch auf die stärker ausgeprägte Kontinentalität des Standorts zurückführen.

Legt man die von Klimaforschern postulierten Rückgänge der Sommerniederschläge zugrunde, so wird sich zukünftig der Wasserstress des Bestandes noch verstärken. Auch aus diesem Grund hat

die Station Referenzcharakter. Würde sich die Grundwasserspende weiter verringern, so hätte dies weitergehende Folgen für den See und seine Hydrodynamik und Chemie.

4.2 Der Stoffhaushalt des Waldmessfeldes in Neuglobsow

Der Stoffhaushalt von Wäldern wird einerseits beschrieben durch die Elementvorräte im Boden und in der Biomasse und durch die zwischen diesen Pools auftretenden Stoffflüsse. Daher sind die Stoffeinträge mit dem Freilandniederschlag, die Stoffeinträge aus Kronentraufe und Stammablauf und deren Austrag mit dem Sickerwasser von grundlegender Bedeutung für die zeitliche Dynamik eines Waldökosystems und der benachbarten Systeme Grundwasser und See. In Neuglobsow wurden die Stoffvorräte in der Baumbiomasse bisher nicht bestimmt. Sie sind Teil des IM-Unterprogramms Baum-Bioelemente (BI), das im Rahmen dieser Untersuchungen nicht aufgelegt wurde.

4.2.1 Kohlenstoffgehalte und Stoffvorräte

Im Einzugsgebiet variieren die Kohlenstoff-Gehalte in den Oberböden (0-5 cm) zwischen 2-4 %, während in den Unterböden von 40-80 cm Tiefe die C-Konzentrationen auf unter 0,5 Prozent sinken.

Die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte in den Böden des Einzugsgebiets "Stechlin" summieren sich im Mittel auf 89 Mg C ha⁻¹ bzw. 4,3 Mg N ha⁻¹. Auf dem Waldmessfeld fallen sie mit 70 Mg C ha⁻¹ bzw. 3,5 Mg N ha⁻¹ etwas geringer aus, was im wesentlichen durch die verminderten Vorräte in der organischen Auflage (F-Mull) und die niedrigeren C-Konzentrationen im Unterboden verursacht wird. Die Phosphorvorräte schwanken je nach Standort und in Abhängigkeit der herrschenden Feinbodenform zwischen 1,9 bis 2,3 Mg P ha⁻¹ und bewegen sich damit in einem vergleichsweise engen Rahmen, der eine mittlere P-Versorgung anzeigt.

Verglichen mit den Ergebnissen an der Station Forellenbach ergeben die Kohlenstoff-, Stickstoff- und auch Phosphor-Vorräte zum Teil nur die Hälfte bis ein Drittel der dort gemessenen Werte. In Bezug auf die Kalzium- und Magnesiumvorräte kehren sich dagegen die Befunde in Neuglobsow aufgrund der Mg-Einträge und des im Unterboden vorhandenen Carbonats um. Dennoch sind die Ca-, Mg- und auch die K-Vorräte als gering einzustufen, da sie im Vergleich mit den Ergebnissen aus der BZE (1996) im unteren Drittel der bundesweit untersuchten Waldböden liegen.

4.2.2 Stoffflüsse

Der wassergebundene Stofftransport wird durch die gewichteten monatlichen Stoffeinträge mit dem Freilandniederschlag und unter Wald mit dem Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammabfluss) sowie durch den monatlichen Stoffaustrag mit dem Sickerwasserfluss in 120 cm Tiefe abgeschätzt. Der Bestandesniederschlag gibt dabei Auskunft über die aus der Atmosphäre gefilterten und in den Boden eingetragenen Stofffrachten. Die für die Abschätzung der

Gesamtdeposition bedeutsamen Wechselwirkungen im Kronenraum (Leaching, Ionenaufnahme und Ionenaustausch) sind an dieser Stelle noch nicht berücksichtigt.

In Neuglobsow weisen die Stoffeinträge mit dem Freilandniederschlag insgesamt auf geringe atmosphärische Einträge, was vor allem an den Elementen Magnesium ($0,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Kalzium ($2,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) erkennbar wird. Die Stickstoffeinträge mit dem Freilandniederschlag betragen im 7-jährigen Mittel $6,40 \text{ kg}$ bzw. $0,460 \text{ kmol}_c \text{ ha}^{-1}$, dabei sind die Anteile von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff in etwa ausgeglichen. Mit dem Sickerwasser gehen pro Jahr lediglich etwa $1,1 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$ verloren, während der Ammoniumaustrag mit $0,01 \text{ kg NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ vernachlässigbar gering ist. Dies unterstreicht, dass der überwiegende Anteil des deponierten Stickstoffs im System Boden-Pflanze verbleibt. Auch vom Schwefelinput in Höhe von $5,14 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gelangt über das Sickerwasser nur ca. ein Drittel ins Grundwasser. Die Elementausträge mit dem Sickerwasser sind aufgrund der geringen Versickerungsraten an diesem Standort deutlich reduziert.

Die Stoffflüsse auf dem Waldmessfeld belegen die geringen atmosphärischen Einträge wie auch die geringen Verluste mit dem Sickerwasser, was vor allem an den Elementen Kalzium und Magnesium, aber auch an Stickstoff deutlich wird. So liegen die mittleren jährlichen Stickstoff-Einträge in einer Größenordnung, die die im Biomassezuwachs festgelegte N-Menge unterschreitet und somit anzeigt, dass der Bestand in Teilen von seinen Reserven lebt. Von den jährlichen bereits stark reduzierten Schwefeleinträgen verbleibt ein Großteil (68 %) im System Boden-Pflanze, während die Kalzium-Bilanz nahezu ausgeglichen erscheint.

5. Fazit und Ausblick

Anhand der bisherigen Untersuchungen in Neuglobsow muss die Einmaligkeit des Standorts im nationalen und internationalen Kontext abermals betont werden. Diese gründet sich zum einen auf die besonderen Bedingungen im Einzugsgebiet, in dessen Zentrum ein oligotrophe Klarwassersee mit Calcit-Hydrogencarbonat Dynamik liegt, der von den umliegenden Waldbeständen gespeist wird. Bei weiteren von den Klimaforschern vorhergesagten Veränderungen des Niederschlagsregims und einer eventuell damit verbundenen geringeren Grundwasserspense könnte es für den See und seine Hydrodynamik in Zukunft kritisch werden.

Als Besonderheit muss außerdem der auf der Messfläche stockende alte Buchen-Mischbestand hervorgehoben werden, der die Möglichkeit bietet, die Schlussphase eines vielerorts eingeleiteten Waldumbaus zu studieren. Darüber hinaus spricht die relativ gute Datenlage im Einzugsgebiet mit z. T. langjährigen Beobachtungsreihen ebenfalls für eine Fortsetzung der Untersuchungen.

Im internationalen Vergleich ist das Gebiet besonders geeignet, die Hintergrundbelastung in einer in der Vergangenheit vom Menschen stark beeinflussten Region Mitteleuropas zu indizieren. Für

künftige physikalische, chemische und biologische Umweltveränderungen und –wirkungen ist das weitergehende Monitoring an dieser Station nicht nur gerechtfertigt und von besonderem öffentlichem Interesse, sondern aufgrund seiner Alleinstellungsmerkmale im internationalen Programm (Einzugsgebiet in einer stark besiedelten Region Mitteleuropas mit geringer atmosphärischer Belastung auf tiefgründig verwitterten Böden) unbedingt erforderlich.

Daher sollten die an der Station bestehenden Unterprogramme im Rahmen des UN ECE Integrated Monitoring fortgesetzt und um weitere Untersuchungen ergänzt werden. Von Seiten des IBW wird vorgeschlagen, die Unterprogramme zum Wasser- und Stoffhaushalt aus den genannten Gründen unbedingt fortzuführen, darunter die Programme PC, TF, SF und SW. Zusätzlich sollten die IM Unterprogramme Abfluss (RW), Nadel- und Blattanalyse (FC), Mikrobielle Zersetzung (MB) und Baumbioelemente (BI) ausgeweitet bzw. neu eingerichtet werden.

Das Programm **Baumbioelemente (BI)** ist notwendig, um die in der Baumbiomasse gespeicherten Vorräte an Makro- und Mikroelementen zu ermitteln und sie mit den Stoffflüssen auf der Messfläche in Beziehung zu setzen. Mit Hilfe der Isotopenanalyse der Elemente Sauerstoff (^{18}O) und Wasserstoff (^2H) kann der modellhaft ermittelte unterirdische **Abfluss (RW)** des Einzugsgebiets verifiziert werden. Dazu müssen die am nördlichen Ufer des Stechlinsees bereits installierten Tiefbrunnen wieder genutzt und monatliche Proben des Grund-, See- und Sickerwassers mit der Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS) untersucht werden. Ergänzend sollte an den Grundwasserproben die chemische Zusammensetzung obligater Parameter des RW bestimmt werden.

Die laut IM-Manual geforderten **Blatt- bzw. Nadelanalysen (FC)** müssen auf eine jährliche Beprobung ausgeweitet werden, um den Nährstoffstatus der Bäume auf der Waldmessfläche besser beurteilen zu können. Mit der Beprobung der Kiefern wurde bereits im Januar 2006 begonnen, die Probenahme an Buchen wird im Sommer folgen.

Im Programm **Mikrobielle Aktivität (MB)** soll zusätzlich die Stickstoff-Nettomineralisation des Standorts bestimmt werden. Anhand von Laborinkubationen oder durch Messungen der *in situ*-Mineralisation an ungestörten Bodensäulen lässt sich der pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden feststellen.

Falls aus finanziellen Gründen der Umfang der Untersuchungen insgesamt eingeschränkt werden sollte, wird vorgeschlagen, von einer 14-tägigen auf eine monatliche Analyse der Wasserproben (PC, TF, SF und SW) überzugehen. Dies würde den Messaufwand erheblich reduzieren, aber voraussetzen, dass aus den gesammelten Wasserproben aliquote monatliche Mischproben zur Analyse aufbereitet werden. Bei Bedarf könnten diese Analysen auch im IBW in Göttingen durchgeführt werden.