Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990) Band 20
1991

Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Untersuchungen zu Stoffflüssen in und zwischen Ökosystemen

Claus-Georg Schimming und Hans-Peter Blume

Synopsis

A short introduction to the tasks and aims of work concerning element cycling in terrestrical ecosystem compartments within the research project "Ecosystem Research in the Bornhoeved Lake District" is given. Using selected data, some consequences of nitrogen cycling for interrelated ecosystems is shown. Nitrogen was possibly transported in high amounts from agricultural land into Lake Belau as nitrate by means of groundwater flow or as ammonia via dry deposition into adjacent forest ecosystems. In connection with extreme weather conditions a typical "Acid-Flush" in the humus layer due to high ammonium deposition was demonstrated.

ammonium deposition, ammonia emission, air pollution, Bornhoeved Lakes, element cycling, Lake Belau, nitrogen cycling, soil acidification

1. Einleitung

Stoffflüsse sind ein wichtiger Bestandteil der Funktion von Ökosystemen. Sie verknüpfen durch biogeochemische Kreisläufe Organismen und damit auch Ökosysteme mit ihrer unbelebten Umwelt. Nähr- und Schadstoffflüsse kennzeichnen Wechselbeziehungen zwischen den Pools, einzelnen Ökosystemen und ihren Kompartimenten.
Stoffflußuntersuchungen liefern im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit unter gemeinsamer Zielsetzung des Forschungsvorhabens "Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette" einen wichtigen Beitrag zur Kennzeichnung der Dynamik von Ökosystemen, da zwischen stofflichen Umlagerungsprozessen, Standortfaktoren des Nähr- und Schadstoffhaushalts sowie biozönotischen Strukturen enge Wechselbeziehungen bestehen. Diversität, Stabilität und Produktivität von Ökosystemen werden in starkem Maße von stofflichen Faktoren beeinflußt.
Im Mittelpunkt der Arbeiten des Bornhöved-Projekts stehen derzeit Fragen zur Bedeutung stofflicher Umlagerungen für Wald- und Agrarökosysteme selbst, sowie für benachbarte Ökosysteme, insbesondere ein Gewässerökosystem, den Belauer See. Veränderungen und eventuelle Belastungen von Ökosystemen werden unter anderem durch externe Einträge hervorgerufen. Maßgebliche Eintragspfade sind die atmosphärische Deposition, bei agrarischen Ökosystemen außerdem die Düngung. Transport und Stoffumwandlungen erfolgen im Kronen- und Stammbereich der Bäume, Böden und ihrer Humusauflagen sowie generell im Grundwasser. Den stofflichen Umlagerungen und Transformationen im terrestrischen Bereich widmet sich die Arbeit eines ganzen Arbeitsbereiches, der im folgenden vorgestellt werden soll.

2. Ziele und Konzeption im Arbeitsbereich Stoffflüsse

Orientiert an fachspezifischen Aspekten leisten im Arbeitsbereich fünf verschiedene Teilvorhaben einen Beitrag zur übergeordneten Zielsetzung des Gesamtprojektes (Tab. 1). Studiert wird der Transport von Stoffen als Teil der Dynamik der Ökosysteme sowie wichtiger Regelmechanismen. Neben der reinen Quantifizierung von Stofftransporten wird deshalb auch an der Aufklärung wirksamer Steuermechanismen gearbeitet, z. B. von Quell- oder Senkenfunktionen bestimmter Ökosystemkompartimente im Hinblick auf bestimmte Elemente.

Tab. 1: Teilvorhaben und Zielsetzungen im Arbeitsbereich 3 "Stoffflußquantifizierung" des ÖSF Bornhöveder Seen

ÖSF Bornhöveder Seen	Teilvorhaben, Zielsetzung	TV 3.1

Teilvorhaben (TV)	Arbeitsziele	Durchführende Institution, TV-Leiter	Wiss. Mitarbeiter
Stoffeinträge in den Böden (TV 3.1a)	Erfassung der atmosphärischen Deposition (Trockene und Nasse Deposition); Kennzeichnung der Prozesse im Kronen- u. Stammbereich; Quantifizierung von Stofftransporten, Regionalisierung der Depositionsverhältnisse im Untersuchungsgebiet	Geographisches Institut Prof. O. Fränzle	T. Spranger
Stofftransport im Böden (TV 3.1b)	Erfassung der Stoffflüsse in den Böden, Humusauflagen u. aus dem Wurzelraum; Freisetzung und Bindung stofflicher Komponenten; Kennzeichnung der steuernden Randbedingungen (Redox-Pot. und pH), Quantifizierung von Stofftransporten	Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Prof. H.-P. Blume	Chr. Aue, C.-G. Schimming
Stoffentzug durch Pflanzenwurzeln (TV 3.1c)	Quantifizierung der Mineralstoffentzüge durch die Pflanzen; Bestimmung der Durchwurzelungstiefe u. -intensität; Untersuchung der Mineralstoffkonzentrationen in der Rhizosphäre; Quantifizierung von Stofftransporten	Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Prof. B. Sattelmacher	R. Mette
Stoffflüsse im wassergesättigten Bereich (TV 3.2)	Kennzeichnung der Grundwasserchemie; Quantifizierung von Stofftransporten; Stoffchemische Bilanzierung der Seen	Geologisch Paläontologisches Institut Prof. G. Matthess	M. Lilienfein
Stoffinput Landwirtschaft (TV 3.3)	Erfassung des Einsatzes von Agrochemikalien während der letzten 40 Jahre im Untersuchungsgebiet, Datendokumentation	Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Prof. H.-P. Blume	E.W. Reiche

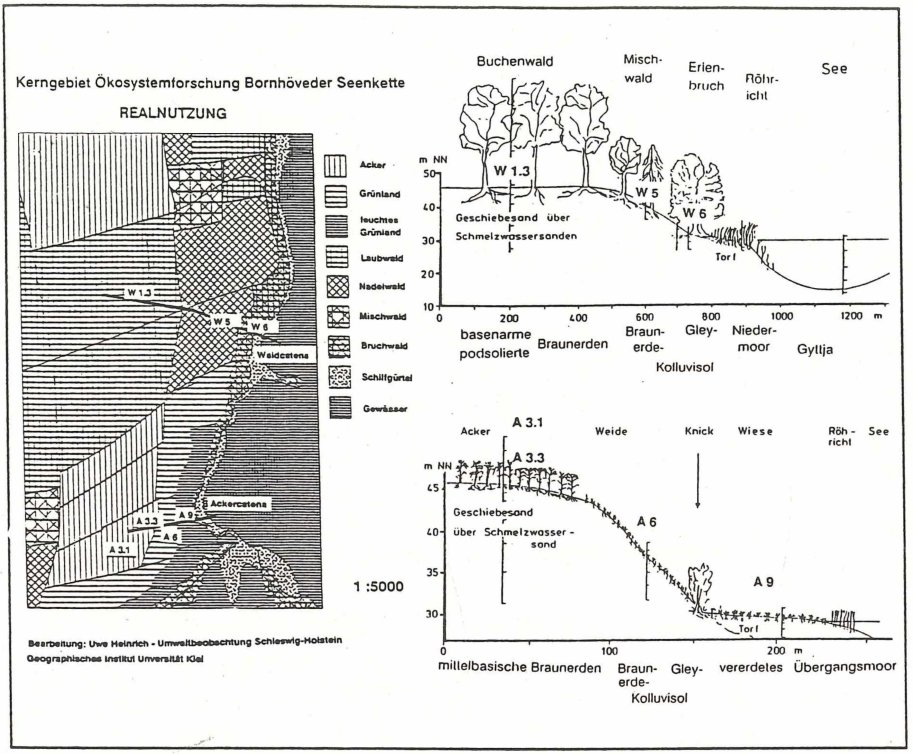
Der Kronen- und Stammbereich, die Böden mit ihren Humusauflagen, aber auch die wasserungesättigte Zone unterhalb des Solums bzw. des Wurzelraumes sowie der Grundwasserbereich stellen Ökosystemkompartimente hoher Verknüpfungsdichte von Transferpfaden und Steuermechanismen dar. Bei den Einträgen führen Kronenrauminteraktionen wie Interzeptions-Deposition, Leaching und Aufnahme von Stoffen über die Blätter zu gegenüber der Freilanddeposition veränderten Stoffflüssen. Neben den Entzügen durch Ernte erfolgen Austräge in Abhängigkeit von unterschiedlichen Puffer-, Filter- und Transformationseigenschaften der Böden durch gelöste und gasförmige Bindungsformen. Nach der Auswaschung aus dem Wurzelraum hängt das weitere Verhalten der Stoffe von Eigenschaften der wasserungesättigten Zone und des Grundwasserkörpers ab. Ökosysteminterne Kreisläufe finden über den Streufall, die Rückführung von Ernterückständen und teilweise mit Wirtschaftsdüngern statt.

Stoffliche Belastungen und damit verknüpfte Veränderungen im Stoffhaushalt werden maßgeblich durch externe Einträge induziert. Das höchste Wirkungspotential geht dabei von Elementen aus, deren natürliche Kreisläufe durch die Tätigkeit des Menschen stark beschleunigt werden. Im Untersuchungsgebiet kann die Stoffdynamik sowohl im Einflußbereich agrarischer Ökosysteme wie auch naturnah genutzter Waldstandorte untersucht werden. Dem trägt das untersuchte Stoffspektrum Rechnung: H^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Al, Fe, Mn, NO_3^-, NH_4^+, N-org., PO_4-P, SO_4^{2-} und Si. Durch die Nutzung von Agrarökosystemen sowie die Euthrophierung nährstoffarmer Ökosysteme durch die atmosphärische Deposition hat der Mensch vor allem den Stickstoffhaushalt mit erheblichen ökologischen Auswirkungen verändert. Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt stellten daher einen Schwerpunkt der bisherigen Untersuchungen dar.

Bei den Umland-See-bezogenen Fragestellungen des Forschungsvorhabens wird ein catenarer Ansatz bei den Stoffflußuntersuchungen verfolgt.

3. Untersuchungsobjekte und -methoden

Untersucht werden catenar (Hochfläche, Hang und Seeufer) angeordnete Ökotope unter naturnahem Forst sowie unter landwirtschaftlicher Nutzung (Abb. 1).



Standorte	Ackercatena				Waldcatena			
	A 3.1	A 3.3	A 6	A 9	W 1.3	W 5		W 6
Untersuchungen						Mitt.-hang	Unter-hang	
Depostion		X	X	X				
Bestandesdepo.					X	X	X	X
Streueintrag				X	X	X	X	X
Streuperkolate					X	X	X	
Bodenlösung		X		X	X	X	X	X
Redoxsonden				X			X	X
Wurzeluntersuchungen	X	X		X	X			X
Nährstoffentzüge		X						
Grundwasserbrunnen				X				X
Multilevelbrunnen			X					

ÖSF Bornhöveder Seen	Nutzung, Lage, Stoffflußuntersuchungen	TV 3.1

Abb. 1: Realnutzung mit Lage der Meßstandorte, Wald- und Agrarcatena sowie Untersuchungsprogramm des TV 3.1 der Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette

Beide Catenen von Ökotopen entsprechen sich weitgehend in ihren geomorphologischen und pedologischen Verhältnissen (s. LÖSF 1989) und umfassen in ihren Kuppenbereichen einen Buchenbestand bei der Waldcatena, dem auf der andern Seite eine Ackerfläche gegenüber steht. Im Bereich kolluvialer Böden werden ein Hangmischwald- und ein Grünland-Ökosystem miteinander verglichen. Im Übergangsbereich zum aquatischen Ökosystem bestockt Erlenbruch ein Niedermoor, das bei der agrarischen Catena als extensive Mähweide genutzt wird.
An den Standorten des Schwerpunktraumes (Abb. 1) wird durch wöchentliche Probenahme die nasse und die Gesamtdeposition im Freiland ("Wet-only"-Sammler (ERNI), Totalisatoren nach LÖLF) und die Bestandesdeposition (Kronentraufen und Stammabfluß) bei den Waldbeständen ermittelt. Zur Regionalisierung der Depositionsverhältnisse im Einzugsgebiet des Belauer See besteht ein umfangreiches Depositionsmeßnetz. Die ermittelten Niederschlagsmengen werden mit dem Deutschen Wetterdienst abgeglichen, der mit einem Teilvorhaben beteiligt ist. Darüber hinaus werden Stoffeinträge in die Waldböden mit dem Streufall und mit Ernterückständen beim Ackerstandort bestimmt.
An den Standorten der beiden Catenen werden in vierzehntägigem Abstand raumzeitliche Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen der Bodenlösung charakteristischer Horizonte untersucht. Die Bodenlösung wird kontinuierlich mit Saugkerzenanlagen sowie Streulysimetern gewonnen und im Labor analysiert. Bei grund- und hangzugwasserbeeinflußten Böden wird das Redoxpotential mit festinstallierten Pt-Elektroden gemessen. Über die durch TV 2.4 ermittelten, lateral und vertikal verlagerten Wassermengen werden die Stoffflüsse kalkuliert. Das Grundwasser wird im Rahmen des Meßprogramms an mehreren ausgewählten Stellen im Einzugsgebiet des Belauer Sees und im Schwerpunktraum über Multilevelbrunnen und Brunnen beprobt (s. Abb. 1).
Die Ernteentzüge der einzelnen Elemente werden über Gehalte der Biomasse berechnet. Zur Kennzeichnung der Austauschprozesse zwischen Pflanzenwurzel und Bodenlösung werden die Durchwurzelungstiefe und -intensität (Profilwandmethode) bei den Waldböden herangezogen. Bei den agrarisch genutzen Standorten wird die Dynamik des Wurzelwachstums der Ackerkulturen über die Wurzellängendichte (Bohrkernmethode) charakterisiert. Darüber hinaus besteht in diesem Punkt intensive wechselseitige Zusammenarbeit mit den Arbeiten zur biozönotischen Struktur.

4. Ergebnisse aus laufenden Untersuchungen

Am Beispiel des Stickstoffs, der ein Untersuchungsschwerpunkt der ersten Phase ist, sollen erste Ergebnisse dargestellt werden. Die Werte in Tab. 2 geben zunächst von allen Komponenten einen vergleichenden Überblick der mittleren Deposition mehrerer Freilandstandorte im Hauptuntersuchungsraum.

Hohe Depositionsraten von Na, Cl, und Mg wurden im Freiland ermittelt. Infolge der küstennahen Lage ist der größte Anteil der deponierten Mengen meeresbürtig. Bei den sauerwirkenden Luftschadstoffen zählt Schleswig-Holstein infolge der im Jahresmittel festgestellten geringen Immissionskonzentrationen bei NO_x und stärker noch bei SO_2 zu den urban-industriell weniger belasteten Gebieten der Bundesrepublik Deutschland (MNUL 1989). Durch Ferntransport wird das Untersuchungsgebiet im bundesweiten Vergleich durch eine mittlere Nitratdeposition belastet. Beachtliche Anteile der insgesamt deponierten Stickstoffmengen wurden in organischen Bindungsformen deponiert. Unter dem Einfluß bevorzugt viehhaltender Betriebe in der Umgebung tritt eine erhöhte Deposition von Ammonium auf (vgl. BLUME & al. 1985, KAUPENJOHANN & al. 1988).
Feuchte Pflanzenoberflächen stellen eine bedeutende Senke für die trockene Deposition von NH_3 dar, wie ein gegenüber den Freilandniederschlägen erhöhtes NH_4^+-N/NO_3^--N-Verhältnis bei den Kronentraufen und Stammabflüssen andeutet. Dadurch wird NH_4^+ in den Bestandesniederschlägen angereichert. Kronentraufen und Stammabfluß enthalten neben den Mengen der Freilanddeposition zusätzlich aus der Atmosphäre gefilterte und aus Pflanzenteilen ausgewaschene Stoffe. Dabei ist besonders Ammonium und Kalium relativ stärker im Stammabfluß vertreten. Die Auswaschung aus Pflanzenteilen wird im wesentlichen durch Leaching- und Pufferungsprozesse gekennzeichnet.

Tab. 2: Mittlere Einträge im Freiland verglichen mit der Buchen-Bestandesdeposition und deren Komponenten Kronentraufen und Stammabfluß sowie dem Anteil vom Stammabfluß an der Bestandesdeposition des ÖSF Bornhöveder Seenkette (Einträge von Dezember 1988 bis November 1989 in kg/ha)

ÖSF Bornhöveder Seen	Freilandeinträge, Bestandesdeposition (Kronentraufen, Stammabfluß)		TV 3.1 Spranger, Harbeck	
	Freiland-niederschlag FN	Bestandes-niederschlag BN	Kronen traufen KT	Stammabfluß % BN
Nds (mm)	833	689	644	45 6.5
H	0.35	0.19	0.16	0.03 15.8
Na	18.6	47.1	42.7	4.4 9.3
K	3.3	20	17.9	2.1 10.5
Mg	2.0	6.8	6.2	0.6 8.8
Ca	4.5	11.7	10.9	0.8 6.9
Mn	0.03	1.3	1.2	0.1 7.7
NH4-N	9.6	17.7	15.2	2.5 14.1
NO3-N	6.7	9.3	8.5	0.8 8.6
N-org.	5.4	6.6	5.9	0.7 10.6
N-ges.	21.6	33.4	29.5	3.9 11.7
SO4-S	12.6	25.3	22.3	3 12
Cl	29.4	75.7	67.9	7.8 10

In Abb. 2 wurden die auf dem Ackerstandort als organische und mineralische Düngung ausgebrachten Mengen an Stickstoff den Konzentrationen der Bodenlösung in verschiedenen Tiefen gegenübergestellt: Mit zeitlicher Verzögerung führten Mineralisation und Nitrifikation zu hohen NO_3^--Konzentrationen in der Bodenlösung. Unterhalb des Wurzelraumes sind die Konzentrationen zwar geringer, liegen aber regelmäßig über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (50 mg NO_3^-/l). In Abhängigkeit von der Lage der Wasserscheide, deren Verlauf in diesem Bereich schwankt, können zeitweise Auswaschungsverluste an NO_3^--N, besonders aus dem Hangbereich des benachbarten Grünlandes, wahrscheinlich zu hohen Einträgen in die Uferzone des Belauer Sees führen (vgl. AUE & al. 1991).

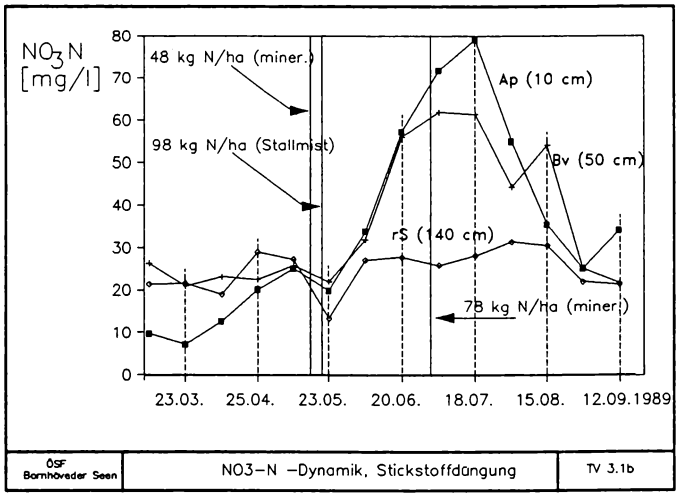


Abb. 2: Dynamik der NO_3^--N-Konzentration in der Bodenlösung unter Acker in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung (n. AUE & al. 1991)

Neben Stickstoffverlusten mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelraum, die nach vorläufigen Abschätzungen über den Bilanzierungszeitraum (sechs Monate) ca. 40 kg/ha betrugen, wurden über spezielle Untersuchungen die NH_3-Verluste während und nach der Ausbringung von Stallmist quantifiziert (Energy-Balance-Methode). Dabei gelangten etwa 7 kg NH_3-N/ha in die Atmosphäre (s. Abb 3). Außer aus Stallgebäuden und offenen Güllebehältern gelangt auf diese Weise ein beträchtlicher Anteil bei der Tierproduktion emittierter Ammoniakmengen in die Atmosphäre (ISERMANN 1990). Die immitierten Stickstoffmengen werden bereits relativ emittentennah trokken als NH_3 deponiert. Nach atmosphärischer Neutralisation von NH_3 wird das gebildete NH_4^+ allerdings in größere Entfernung transportiert (ASMAN & JAARSVELD 1990).

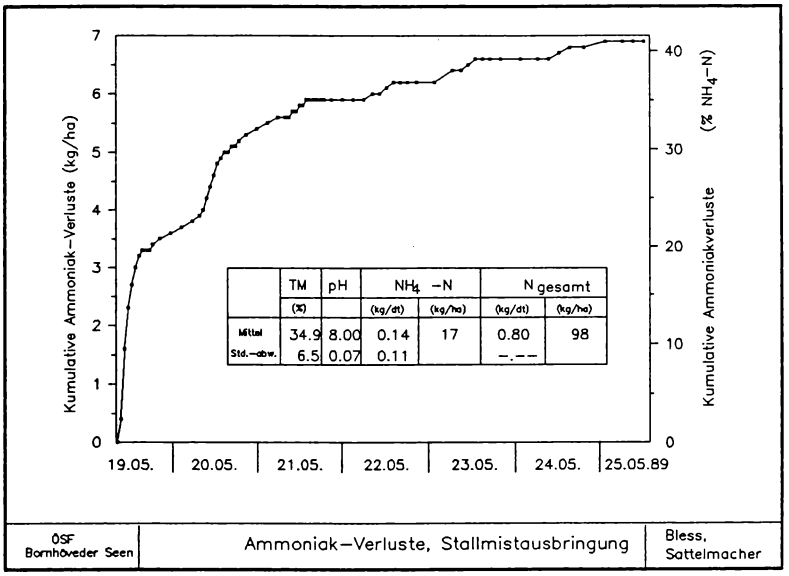


Abb. 3: Bei der Stallmistausbringung auf der Ackerfläche emittierte Ammoniakmengen und ihr Anteil an der gesamten im Mist enthaltenen Stickstoffmenge

In Abhängigkeit von der mikrobiellen Tätigkeit können erhebliche Anteile der in die Böden gelangten Ammoniummengen nitrifiziert werden. Neben der direkten atmosphärischen Belastung durch die Deposition säurewirksamer Luftschadstoffe, stellt die Nitrifizierung eine indirekte Säurebelastung der Böden dar, da bei der Oxidation aus Gründen der Elektroneutralität zwangsläufig Protonen entstehen (MATZNER 1988). Aus den bei der Humusauflage ein- und ausgetragenen äquivalenten NH_4^+- und NO_3^--Mengen läßt sich die mit der Nitrifizierung, der Pflanzenaufnahme von NO_3^-, der Mineralisierung, der Denitrifizierung usw. verbundene Netto-Säureproduktion berechnen:

$$(NH_4^+{}_{INPUT} - NH_4^+{}_{OUTPUT}) + (NO_3^-{}_{OUTPUT} - NO_3^-{}_{INPUT})$$

In Verbindung mit den von AUE & al. (1991) dargestellten Verhältnissen während eines Zeitabschnitts besonderer Witterung kann gezeigt werden (Abb. 4), daß innerhalb der Humusauflage der untersuchten Braunerde Nitrifizierungsprozesse pH-bestimmend sind. Dabei bestehen enge Beziehungen zwischen den aus pH-Werten von Humuskörperperkolaten ermittelten sowie den durch Stickstoffumsetzungen produzierten Säuremengen. Infolge von Pufferprozessen innerhalb des Humuskörpers wird aber nur ein Teil in den Mineralboden eingetragen. Pufferungsprozesse führen mit Abnahme der Säureneutralisationskapazität zur weiteren Versauerung des Bodens.
Auch die Einträge, Umlagerungen und Austräge an organischem Stickstoff werden erfaßt. Organischer Stickstoff nimmt Anteile zwischen 10 und 20 % in Niederschlag, Kronentraufen, Stammabfluß (s. Tab. 2) und Bodenlösungen ein. Darüber soll zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

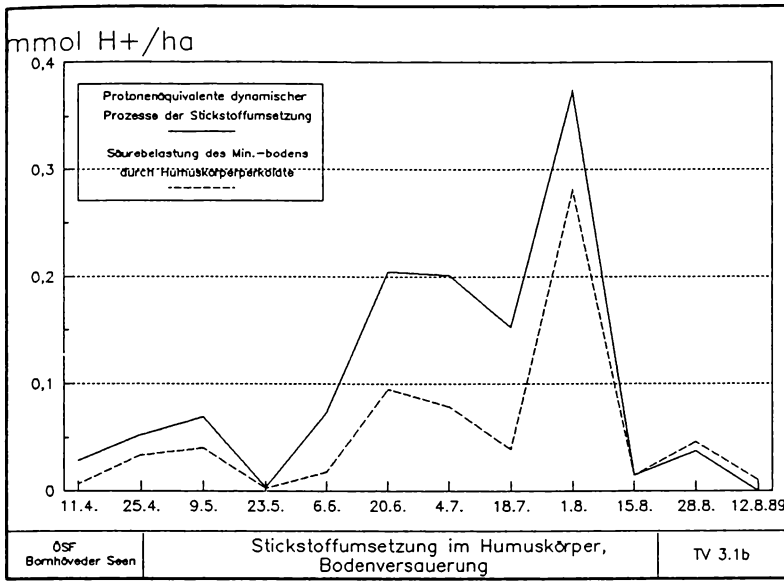


Abb. 4: Aus Prozessen der Stickstoffumsetzung berechnete, im Vergleich mit den aus gemessenen pH-Werten von Humuskörperperkolaten bestimmten Säureausträgen bei der sauren Braunerde unter Buche

5. Künftige Fortführung von Zielsetzung und Konzeption

Neben der Quantifizierung von Stofftransporten in der ersten Phase wird die Erarbeitung von Fakten- und Regelwissen über Stoffflüsse im Vordergrund stehen. Dieses Wissen stellt eine wichtige Grundlage bei den geplanten Arbeiten zur Modellierung dar.
Dazu wurden eine Reihe von neuen Teilaufgaben in das Programm aufgenommen. Zum Beispiel kann die trockene Deposition bisher nur unzureichend abschätzt werden. In Erweiterung des Göttinger Ansatzes (ULRICH 1983, vgl. MATZNER 1988) sollen, zunächst für SO_2, die Raten der trokkenen Deposition von Gasen aus den Immissionskonzentrationen und den Depositionsgeschwindigkeiten abgeschätzt werden. Letztere werden mit Hilfe eines Widerstandsmodells modelliert.
Weiterhin sind zur Klärung der löslichkeitsbestimmenden Prozesse neben den bisher im Rahmen des Basisprogramms regelmäßig durchgeführten pH- und Redoxpotentialbestimmungen begleitende Laboruntersuchungen durchzuführen. Dabei sollen Konstanten von Ad- und Desorptionssowie Lösungs- und Fällungsprozessen ermittelt werden. Diese Werte werden bei der Stoffflußmodellierung als Eingangsgrößen benötigt. Durch ein neues Teilvorhaben werden Stoffflüsse in ihrer kleinräumigen Abhängigkeit von Bodenaggregaten untersucht werden. Darüber hinaus sollen die Bedeutung der Streuzersetzung mit Nährstoffmineralisierung als Quellenterm sowie der Humifizierung als Senkenterm näher untersucht werden.
Künftig soll den Austauschprozessen in der Uferzone mehr Beachtung geschenkt werden, um die Verbindung zwischen dem limnischen Ökosystem und dem terrestrischen Bereich besser zu verstehen. Dazu sollen hier wichtige Eintragspfade und stoffliche Umwandlungsprozesse näher untersucht werden. Abschließend sei noch auf ein weiteres Teilvorhaben hingewiesen, das gasförmige Verluste im Bereich terrestrischer und semiterrestrischer Böden bearbeiten wird. Die neuen Aufgaben dienen im wesentlichen der erweiterten Aufklärung der Steuer- und Regelmechanismen von Stoffkreisläufen.

Literatur

AUE, Chr., LILIENFEIN, M., METTE, R., SCHIMMING, C.-G. & T. SPRANGER, 1991: Stoffhaushalt von Acker- und Waldökosystemen im Vergleich. Verh. Ges. Ökol. 20: 181-188.

ASMAN, W. A. H. & H. A. VAN AARSVELD, 1990: Regionale und europaweite Verfrachtung von NH_x-Verbindungen. In: KTBL (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.

BLUME, H.-P., LAMP, J., SCHIMMING, C.-G., WIESE, D. & M. ZINGK, 1985: Bodenbelastung aus der Luft ? Schriftenr. Agrarwiss Fak. Univ. Kiel 67: 44-51.

ISERMANN, K., 1990: Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer Stoffbilanz und Lösungsansätze zur Minderung. In: KTBL (Hrsg.): Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.

KAUPENJOHANN, M., DÖHLER, H. & M. BAUER, 1988: Effects of N-emission on nutrient status and vitality of *Pinus silvestris* near a henhouse. Plant and Soil 113: 279-282.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT e. V.) (Hrsg.), 1990: Ammoniak in der Umwelt. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.

LÖSF (LEITUNGSGREMIUM DES FE-VORHABENS ÖKOSYSTEMFORSCHUNG IM BEREICH DER BORNHÖVEDER SEENKETTE) (Hrsg.), 1989: Exkursionsführer - Untersuchungsgebiet des FE-Vorhabens Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette. Interne Mitteilungen, SH. 2.

MATZNER, E., 1988: Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Bd. 40.

MNUL (MINISTER FÜR NATUR, UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN), 1989: Meßbericht 1988 - Lufthygienische Überwachung. Kiel.

ULRICH, B., 1983: Interactions of forest canopy with atmospheric constituents: SO_2 alkali earth-alkali cations and chloride. In: ULRICH, B. & J. PANKRATH (eds.): Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: 389 S.

Adressen

Dipl.-Ing. agr. Claus-Georg Schimming
Projektzentrum Ökosystemforschung
Schauenburger Str. 112

W - 2300 Kiel 1

Prof. Dr. Hans-Peter Blume
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität
Olshausenstr. 40

W - 2300 Kiel 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 20_1_1991

Autor(en)/Author(s): Blume Hans-Peter, Schimming Claus-Georg

Artikel/Article: Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Untersuchungen zu Stoffflüssen in und zwischen Ökosystemen 119-126