

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG,  
Kommission VII  
Titel der Tagung: Böden – eine endliche  
Ressource  
DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online-Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **Erfassung des atmosphärischen Phosphoreintrags in ein Niedermoor**

Sabine Jordan, Jan Fiedler & Jutta Zeitz

Zusammenfassung: In einem brandenburgischen Moor wurde der Phosphor-Eintrag auf seine Oberfläche bestimmt. Die Einträge weisen sowohl witterungsbedingte als auch zufällige Unterschiede auf. Durch eine Ausreißer-Filterung des Meßdatensatzes gelingt eine Einschätzung, ob die Proben deponierte atmosphärische Stoffe repräsentieren oder durch kurzfristig in der Luft befindliche Stoffe kontaminiert sind. Die mittlere atmosphärische Phosphor-Depositionsrate beträgt  $0,65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für den Zeitraum Dezember 2007 bis Dezember 2008. Der Eintrag erfolgt im wesentlichen in der intensiven Wachstumszeit von April bis August. Das Bergerhoff-Verfahren erweist sich grundsätzlich als für die Erfassung atmosphärischer Phosphor-Einträge geeignet.

Schlüsselwörter: Bergerhoff-Verfahren, bulk deposition, Staubbiederschlag, Vogelkot

---

Dipl.-Geogr. Sabine Jordan, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Box 7001, S-75007 Uppsala, [sabine.jordan@mark.slu.se](mailto:sabine.jordan@mark.slu.se)

Dr. Jan Fiedler, Umweltbundesamt, Corrensplatz 1, 14195 Berlin, [jan.fiedler@uba.de](mailto:jan.fiedler@uba.de) & [jan.fiedler@agrار.hu-berlin.de](mailto:jan.fiedler@agrار.hu-berlin.de)

Prof. Dr. Jutta Zeitz, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, FG Bodenkunde und Standortlehre, Invalidenstraße 42, 10115 Berlin, [jutta.zeitz@agrار.hu-berlin.de](mailto:jutta.zeitz@agrار.hu-berlin.de)

## Einleitung & Fragestellung

In nicht landwirtschaftlich genutzten Mooren können Stoffeinträge durch den Luftpfad wesentliche Quellen von Phosphor (P) sein [1]. P-Verbindungen geraten v. a. durch Verbrennungsprozesse, Winderosion, landwirtschaftliche Tätigkeiten, Düngemittelproduktion und Pollenstäube in die bodennahe Luftschicht [2]. Untersuchungen der P-Verbindungen im Staubbiederschlag bzw. in der bulk deposition ergaben Depositionsraten im Bereich  $40...7000 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$   $\text{P} \approx 0,15...26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$   $\text{P}$  [1-6]. Dabei ist die Variabilität der P-Deposition im Vergleich zu anderen Depositen relativ groß. Der atmosphärische P-Eintrag gehört nicht zu den routinemäßig bestimmten Umweltmeßgrößen [3; 7], obwohl P zu den eutrophierenden Stoffen zählt. Zur Beurteilung des P-Haushalts bei der Wiedervernässung von Mooren ist es daher interessant, auch den Beitrag atmosphärischen P bemessen zu können. Schon aus der Ermangelung geeigneter Vergleichswerte des P-Eintrags über den Luftpfad ist hierzu eine örtliche Bestimmung erforderlich.

Da P in der Atmosphäre kaum gasförmig vorkommt, ist die Erfassung seiner Deposition mit Sedimentations- oder bulk-deposition-Sammlern in guter Näherung und relativ leicht möglich. In diesen Meßverfahren werden oftmals erhöhte Depositionsraten von P und Kalium als Anzeiger für Kontaminationen durch Vögel verwendet [8-10]. Soll nun eigens die P-Deposition erfaßt werden, so wird es notwendig sein, entsprechend zwischen atmosphärischen und zusätzlichen oberirdischen Stoffflüssen zu unterscheiden, um eine Probe bzw. einen Meßwert als kontaminiert zu klassieren.

In einem Moor wurde daher als Ergänzung zu Torfuntersuchungen der P-Eintrag auf die Oberfläche des Moors mit der Bergerhoff-Methode bestimmt. Das Ziel dabei ist, die erhaltenen Daten hinsichtlich Größe des P-Eintrags und Eignung der Meßmethode zu diskutieren.

## Material und Methoden

In einem brandenburgischen Niedermoor, dem Rohrbruch nördlich von Hobrechtsfelde (Barnim), wurde über ein Jahr die P-Masse im Staubbiederschlag bestimmt. Die

Probenahme des P-Eintrags über den Luftpfad erfolgte mit sechs zeitgleich betriebenen „Bergerhoff“-Geräten nach VDI 2119 Blatt 2. Die Sammelgefäße aus Glas wurden vor der Probenahme mit Salpetersäure gereinigt und für unterschiedlich lang gewählte Zeiträume (28...106 Tage) in vogelabweisenden Schutzkörben in etwa 1,6 m Höhe (Gefäßöffnung) exponiert. Die so gesammelten Proben wurden jeweils mit Hilfe eines Wischers überführt; hierbei wurde Grobmaterial wie Insekten oder Blätter, soweit während der Probenahme nicht zersetzt, nach VDI 2119 Blatt 2 und VDI 2267 Blatt 14 abgespült und sodann aus der Probe entfernt. Auf eine gemäß diesen Richtlinien vorgesehene Siebung (Erhalt der 1-mm-Fraktion) wurde jedoch bewußt verzichtet. Nach Nachspülen der Sammelköpfe mit Salpetersäure [3] wurden die Proben eingedampft, der Trockenrückstand mit Salpetersäure und Wasserstoffperoxid aufgeschlossen (nach VDI 2267 Blatt 14 und in Anlehnung an [4]), um schließlich den P-Gehalt des Extrakts mittels ICP OES ( $\lambda = 213,6 \text{ nm}$ ) zu bestimmen.

Die Nachweisgrenze des Verfahrens ist  $0,49 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ P}$ , bezogen auf sechs Parallelproben aus einer 28-tägigen Probenahme, bzw.  $0,85 \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ P}$ , bezogen auf nur zwei Parallelproben.

Einige Proben mußten wegen des Eintrags von nicht verwertbarem Material (z. B. tote Vögel) verworfen werden. Insekten konnten nur teilweise nach VDI 2119 Blatt 2 aus den Proben entfernt werden, da sie oftmals durch Verwesung zerstört und zerteilt aufgefunden wurden. Systematische Störeinflüsse hierdurch sind aber nicht erkennbar. Die erhaltenen P-Depositionsraten wurden unter Annahme der bei bulk-deposition-Proben üblicherweise beobachteten Normalverteilung [4; 8; 11; VDI 2119 Blatt 2] statistisch behandelt. Mögliche Minderbefunde durch verstärkte Auswehung von Probematerial in langen oder trockenen Meßperioden bleiben dabei unbekannt.

### Ergebnisse

Die P-Einträge weisen sowohl jahreszeitliche bzw. witterungsbedingte als auch zufällige Unterschiede auf. Zahlreiche deponierte Pflanzenteile zeigten, daß die Herkunft des auf die Mooroberfläche depo-

nierten Materials ebenso umliegende Gebiete wie auch die Mooroberfläche selbst sein können. Partikel, die durch den Wind aus der Mooroberfläche oder der Moorvegetation aufgewirbelt und dort wieder abgelagert wurden, gehören nicht zum atmosphärischen Netto-Stoffeintrag, wurden aber möglicherweise in den Depositionssammlern miterfaßt. Dieser Einbezug interner Flüsse kann insbesondere in den Monaten mit hohem Großseggenried-Bestand (Juni bis September) zu einer Überbestimmung des atmosphärischen P-Eintrags führen. Eine Einschätzung, ob die erhaltenen Einzelmeßwerte deponierte atmosphärische Stoffe im Sinne ihrer Definition (z. B. DIN ISO 4225) repräsentieren oder zusätzlich in erheblicher Menge Stoffe enthalten, die sich kurzfristig in der Luft befunden haben (Vogelkot, grobe Pflanzen- und Insektenteile), ist durch eine Bereinigung des Meßdatensatzes mit statistischen Methoden, z. B. Ausreißererkennung bzw. Normalwertermittlung nach [12-14], möglich.

So wurde aus den vorliegenden Parallelbestimmungen mit einer gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit von 12,5% jeweils ein relativ schmal nach oben streuender (max. + 1,15 s) Wertebereich herausgefiltert, um der jeweils geringen Anzahl von parallelbestimmten Proben gerecht zu werden und Ausreißer sicher zu erkennen. Dieses Vorgehen erwies sich vor allen bei den stark streuenden Proben aus der zweiten Hälfte des Meßzeitraums als erforderlich. Das Ergebnis der statistischen Datenbehandlung (Tab. 1) gibt naturgemäß nicht zu erkennen, ob die abgetrennten Meßwerte nun durch Störungen des Bestimmungsverfahrens, Stoffeinträge durch Tiere oder durch Miterfassung eines kleinräumigen Resuspensions-Depositions-Zyklus gekennzeichnet sind oder statistisch irrtümlich aussortiert wurden.

Nach dieser Filterung sind die Streuungen der Mehrfachbestimmungen z. T. weiterhin relativ groß. Die Spannweiten lassen im ungefilterten wie im gefilterten Datensatz keine Abhängigkeit von der Probenahmedauer erkennen. Eine längere als die übliche ca. einmonatige Probenahme führt offenbar weder zu einer Inhomogenisierung noch zu einer Angleichung der Parallelproben. Dies spricht dafür, daß auch der Ein-

trag nicht atmosphärischer Stoffe in die Proben relativ kontinuierlich verläuft und nicht durch seltene, extreme und nur jeweils eine Probe betreffende Einzelereignisse bestimmt wird. In den Spannweiten und Standardabweichungen der Mehrfachbestimmungen zeichnet sich in beiden Datensätzen eine Abhängigkeit von der P-Depositionsrate ab. Die größeren Streuungen in den Proben des Sommerhalbjahrs 2008 sind somit auch Folge des in dieser Zeit deutlich erhöhten P-Eintrags in die Sammelgefäße.

Tabelle 1: ermittelte P-Depositionsraten

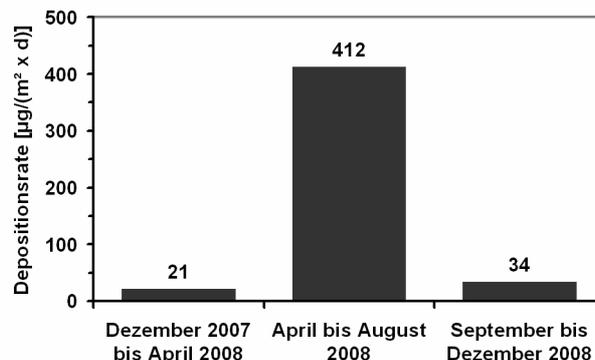
Meßperiode	Probenanzahl	Mittelwert (95%-Vertrauensintervall) [ $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]	Spannweite [%]
12/07-01/08	5	1,4 ( $\pm 0,6$ )	78
01/08-02/08	4	23,8 ( $\pm 1,2$ )	7
02/08-03/08	6	36 ( $\pm 11$ )	76
03/08-04/08	4	31 ( $\pm 10$ )	47
04/08-07/08	3	487 ( $\pm 261$ )	41
08/08	2	199 ( $\pm 175$ )	14
09/08-11/08	3	42 ( $\pm 12$ )	21
11/08-12/08	4	1,7 ( $\pm 0,9$ )	73

Die Probenahme mit sechs Bergerhoff-Geräten erweist sich im Rohrbruch für die Erfassung der atmosphärischen P-Einträge als hinreichend, eine Erhöhung dieser ohnehin relativ großen Anzahl paralleler Probenahmen vermag keine wesentliche Verbesserung zu versprechen. Mit einer mittleren P-Depositionsrate von  $0,65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (gefilterter Datensatz) für den Zeitraum Dezember 2007 bis Dezember 2008 fällt der im Rohrbruch mit dem Bergerhoff-Verfahren gemessene Wert in den oberen Bereich der in [5] zusammengestellten Werte atmosphärischer P-Einträge in Moore. Die P-Deposition erfolgt im wesentlichen in der intensiven Wachstumszeit von April bis August (Abb. 1).

Das Bergerhoff-Verfahren kann weder eine Stromdichtebilanz des P-Flusses aus der Atmosphäre in das Moor noch die gesamten P-Einträge aus dem Raum oberhalb des Bestands erfassen. Ziel der Bestimmung atmosphärischer Stoffeinträge sollte in erster Linie nicht der Erhalt von homogenem, sondern der Erhalt von – ggf. auch in seiner Inhomogenität – repräsentativem Probenmaterial sein. Methodische Verfeinerungen zur Vermeidung, zur Reinigung oder zum Verwurf von durch nicht atmosphäri-

sche Stoffe „kontaminierten“ Bergerhoff-Proben [11; 15-17; VDI 2119 Blatt 2] tragen zwar zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Staubniederschlagsbestimmung bei. Dabei wird aber Material gezielt ausgeschlossen, das zwar nicht durch einen atmosphärischen Depositionsprozeß in die Probe übergetreten ist, gleichwohl aber am realen P-Eintrag beteiligt ist. Geht es um die Erfassung dieser gesamten Stoffflüsse vom Raum über dem Bestand in den Raum darunter, so sind Probenahmen mit entsprechend angelegten Lysimetern zielführender. Hierbei können pflanzliche und tierische P-Quellen wie z. B. auch Laub und Vogelkot berechtigt und realistisch miteinfaßt werden.

Abbildung 1: Phosphor-Deposition nach Jahresabschnitten



### Ausblick

Im weiteren soll an Hand zurückgestellter Proben möglichen Minderbefunden durch die Probenaufbereitung nachgegangen werden. Zur Einschätzung der Bedeutung des Luftpfades sind die Mengenverhältnisse zwischen deponiertem P und im Torf gebundenem P aufzustellen. Die Depositionsraten sind hinsichtlich ihrer Zusammenhänge mit der Witterung zu untersuchen. Die Auswertung der Daten weiterer Element-Depositionen sowie der Depositionsmeßdaten zeitgleicher Bergerhoff-Messungen an einem agrarischen und einem städtischen Standort steht bevor.

### Literatur

DIN ISO 4225 (1996): Luftbeschaffenheit – Allgemeine Gesichtspunkte – Begriffe. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5, Berlin.

- VDI-Richtlinie 2119 Blatt 2 (1996): Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4, Berlin.
- VDI-Richtlinie 2267 Blatt 14 (2003): Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Massenkonzentration von Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V, Zn als Bestandteile des Staubniederschlags mit Hilfe der optischen Emissionsspektrometrie (ICP OES). VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4, Berlin.
- [1] Koerselman, W.; Bakker, S. A.; Blom, M. (1990): Nitrogen, phosphorus and potassium budgets for two small fens surrounded by heavily fertilized pastures. *The Journal of Ecology*, Vol. 78, S. 428-442.
- [2] Möller, D. (2003): Luft – Chemie, Physik, Biologie, Reinhaltung, Recht. Berlin, New York.
- [3] Newman, E. I. (1995): Phosphorus Inputs to terrestrial ecosystems. *The Journal of Ecology*, Vol. 83, S. 713-726.
- [4] Thöni, L.; Krieg, F. & Siewers, U. (1999): Technical Note – Testing the Bergerhoff method to determine the bulk deposition loads of 49 elements. *Atmospheric Environment*, Vol. 33; S. 337–344.
- [5] Gelbrecht, J. & Koppisch, D. (2001): Phosphor-Umsetzungsprozesse. In: Succow, M. & Joosten, H. (Hrsg.), *Landschaftsökologische Moorkunde*, 2. Aufl., Stuttgart, S. 24-26.
- [6] Broll, A. (2005): Depositionsmessprogramm Kassel/Hünfelden. In: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.), *Fachgespräch Stickstoffdeposition – Quellen, Senken, Bilanzen* (Wiesbaden, 30.03.2005), Wiesbaden, S. 21-33.
- [7] Erisman, J. W.; Mennen, M. G.; Fowler, D.; Flechard, C. R.; Spindler, G.; Grüner, A.; Duyzer, J. H.; Ruigrok, W. & Wyers, G. P. (1998): Deposition Monitoring in Europe. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 53, S. 279-295.
- [8] Ahn, H. & James, R. T. (1999): Outlier detection in phosphorus dry deposition rates measured in South Florida. *Atmospheric Environment*, Vol. 33, S. 5123-5131.
- [9] Dämmgen, U.; Erisman, J. W.; Cape, J. N.; Grünhage, L. & Fowler, D. (2005): Practical considerations for addressing uncertainties in monitoring bulk deposition. *Environmental Pollution*, Vol. 134, S. 535-548.
- [10] Dämmgen, U. (2006): Atmospheric nitrogen dynamics in Hesse, Germany – Creating the data base – 1. Bulk deposition of acidifying and eutrophying species. *Landbauforschung Völkenrode*, Jg. 56, S. 117-138.
- [11] Bake, D.; Laskus, L. & Lahmann, E. (1989): Einfluß der Probenahmebedingungen auf die Ergebnisse von Depositionsmessungen. *Forschungsberichte des Umweltbundesamtes*, Nr. UBA-FB 89-099, Berlin.
- [12] Doerffel, K. (1990): *Statistik in der analytischen Chemie*. Leipzig, 5. Auflage.
- [13] Erhardt, W.; Höpker, K. A. & Fischer, I. (1996): Verfahren zur Bewertung von immissionsbedingten Stoffanreicherungen in Standardisierten Graskulturen. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.*, Jg. 8, S. 237-240.
- [14] Grimm, H. & Recknagel, R.-D. (1985): *Grundkurs Biostatistik*. Jena.
- [15] Kirste, W. (1961): Vergleichende Staubniederschlagsmessungen nach verschiedenen Methoden. *Berichte aus der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*, Heft 2, Bochum, S. 61-88.
- [16] Köhler, A. & Fleck, W. (1963): Untersuchungen zur Festlegung eines Standardmeßgerätes für Staubniederschlag. *Abschlußbericht zu dem mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft geförderten Forschungsvorhaben Nr. J (84)2*, Darmstadt.
- [17] Appelt, G. (1966): *Atmosphärische Spurenstoffe, insbesondere Phosphate in den Niederschlägen, ihre Herkunft und ihr Anteil bei der Eutrophierung von Seen*. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung dieser Arbeit durch das Stipendien-Programm.