

Bioindikation atmosphärischer Stoffdeposition mit Moosen – Ergebnisse der deutschen Beiträge zum European Moss Survey 1990-2015

STEFAN NICKEL, WINFRIED SCHRÖDER, UWE DREHWALD, ANNEKATRIN DREYER, MARKUS PREUßING, NORBERT J. STAPPER, DIETMAR TEUBER & BARBARA VÖLKSEN

Abstract

The results of the German contribution to the European Moss Survey 2015 reveal a clear, significant decline in the concentrations of mosses for most heavy metals in Germany (1990-2015), but not for nitrogen (2005-2015) and mercury (1995-2015, in six federal states).

Bioindikation atmosphärischer Stoffdeposition mit Moosen

Poikilohydrate Moose reichern Stoffeinträge aus der Luft an und ermöglichen Rückschlüsse auf die Belastung von Ökosystemen durch atmosphärische Deposition (RÜHLING 1994; FRAHM 1998). Bioindikationsverfahren mit Moosen eignen sich gegenüber kostenaufwendigeren technischen Probenahme- und Analyseverfahren gut zum Monitoring großräumiger Trends der Bioakkumulation in räumlich dichten Messnetzen und ermöglichen eine Validierung von mit chemischen Transportmodellen berechneten Karten zu Stoffeinträgen aus der Luft (NICKEL ET AL. 2017). Als Bioakkumulationsindikatoren eignen sich weit verbreitete und schwermetallresistente Moosarten wie *Pleurozium schreberi* (BRID.) MITT. (im Folgenden *Plesch*), *Hypnum cupressiforme* HEDW. (i.F. *Hypcup*) und *Pseudoscleropodium purum* (HEDW.) M.FLEISCH (i.F. *Psepur*) (ICP VEGETATION 2015).

UNECE European Moss Survey

Der seit 1990 alle fünf Jahre durchgeführte European Moss Survey (EMS) dient der europäischen Verwirklichung der Ziele des Genfer Luftreinhalteabkommens von 1979 (Convention on long-range transboundary air pollution (CLRTAP) (HARMENS ET AL. 2015). Er ist Bestandteil des International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops (ICP Vegetation), eines von sechs internationalen wissenschaftlichen Kooperationsprogrammen der CLRTAP, die von der Working Group on Effects (WGE) durchgeführt werden (WGE 2004). Der EMS zielt darauf ab, die Belastung von emittententfernen, also nicht unmittelbar von lokalen Emissionsquellen beeinflussten terrestrischen Ökosystemen in Europa zu erfassen, empirische Nachweise für den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen zu erbringen, die räumlichen Depositionsmuster potenziell schädlich wirkender Stoffe zu ermitteln, ihre zeitliche Entwicklung zu analysieren sowie Grundlagen für die Evaluation der Wirksamkeit immissionsschutzpolitischer Maßnahmen zu erarbeiten. Messnetzplanung, Probenentnahme und chemische Analytik sind zur Sicherung der Messwertqualität sowie Gewährleistung der räumlichen und zeitlichen Vergleichbarkeit der Moosmonitoringdaten europaweit harmonisiert (ICP VEGETATION 2015). Die chemische Analytik umfasst neben Schwermetallen (seit 1990) auch Stickstoff (seit 2005) sowie persistente organische Schadstoffe (POP) (seit 2010). Die Anzahl der Probenentnahmestandorte schwankte in den letzten 28 Jahren zwischen 4499 bis 7312 in 20 bis 36 Teilnehmerstaaten Europas.

Beiträge Deutschlands zum Moss Survey

Als Beitrag Deutschlands zum EMS des ICP Vegetation wurden seit 1990 – mit Ausnahme des Jahres 2010 – alle 5 Jahre Moosproben an 400 bis 1026 Standorten entnommen, auf Schwer-

metallgehalte (seit 2005 auch N-Gehalte) hin analysiert und (geo-)statistisch ausgewertet (HERPIN ET AL. 1995; PESCH ET AL. 2007; SIEWERS & HERPIN 1998). Im aktuellen Moos-Monitoring 2015 (MM2015) wurden erneut die 12 Standardelemente des ICP Vegetation (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn) sowie Stickstoff (N) an 400 Moos-Standorten in Deutschland erfasst, wobei die 142 *Plesch*-Proben fast ausschließlich nördlich des Mains entnommen wurden und sich die 141 *Hypcup*- und 117 *Psepur*-Proben annähernd über die gesamte Fläche Deutschlands verteilen (SCHRÖDER ET AL. 2018). Zudem wurden in einer Pilotstudie POP an 8 Standorten untersucht (DREYER ET AL. 2018). Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Kernergebnisse des aktuellen MM2015 in Deutschland und vergleicht diese mit Ergebnissen der Vorgängerkampagnen sowie berichteten Trends der Schwermetall- und Stickstoffemissionen seit 1990 in Deutschland (NANE 2017; NASE 2017). Weitere Resultate zur Messnetzplanung im MM2015 sind ausführlich in NICKEL & SCHRÖDER (2017) sowie zur chemisch-analytischen Qualitätssicherung und -kontrolle bzw. räumlichen Verallgemeinerung der Messwerte in NICKEL ET AL. (2018) publiziert.

Elementkonzentrationen in den Moosen Deutschlands 1990-2015

Die Befunde des MM2015 zeigen für Deutschland einen klaren, signifikanten Rückgang der Konzentrationen in den Moosen für die meisten Schwermetalle (1990–2015), nicht aber für N (2005–2015) und Hg (1995–2015, in sechs Bundesländern). Im Folgenden werden aus der breiten Palette gemessener Elemente diejenigen herausgegriffen, die Gegenstand der CLRTAP sind, nämlich Cd, Hg, Pb und N.

Tab. 1: Zeitliche Entwicklungen der Medianwerte der Schwermetall- und Stickstoffgehalte im Moos im Vergleich zu Trends der berichteten Schwermetallemissionen in Deutschland (NASE 2017).

	Cd	Hg	Pb	N
Veränderung der Medianwerte der Schwermetallgehalte im Moos 2015 gegenüber der Vorgängerkampagne 2005 [in %]	-35,2	-4,0	-50,4	-2,0
Emissionstrend, Deutschland, 2005 - 2015 [in %]	-27,9	-33,5	-23,0	---
Veränderung der Medianwerte der Schwermetallgehalte im Moos 2015 gegenüber dem Basisjahr* [in %]	-52,6	-20,0	-85,9	-2,0
Emissionstrend, Deutschland, Basisjahr* - 2015 [in %]	-72,1	-54,2	-90,2	---

Fett = signifikant ($p \leq 0,05$); * = Jahr der Erstbeprobung (1990: Cd, Pb; 1995: Hg; 2005: N)

Cd - Cadmium. Im MM2015 wurden an insgesamt 398 Standorten in Deutschland Cd-Gehalte zwischen 0,035 und 1,760 µg/g (Median: 0,136 µg/g) in den Moosen gemessen. Die *Plesch*-Proben weisen deutlich niedrigere 50. Perzentil-Werte auf (0,113 µg/g) als *Hypcup* (0,172 µg/g) und *Psepur* (0,150 µg/g). Seit der ersten Beprobung im Jahr 1990 sind bis heute die bundesweiten Cd-Mediane signifikant um 53 % zurückgegangen (Tab. 1). War in der zeitlichen Entwicklung von 1990 bis 1995 noch eine Zunahme des Medians um +2 % festzustellen, kam es bis zum Jahr 2000 zu einer Abnahme um –28 % (v.a. in Thüringen, Baden-Württemberg und Teilen Nordrhein-Westfalens; Abb.1), zwischen 2000 und 2005 zu keinen Veränderungen und von 2005 bis 2015 wieder zu einer signifikanten Abnahme um 35 % insbesondere in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt.

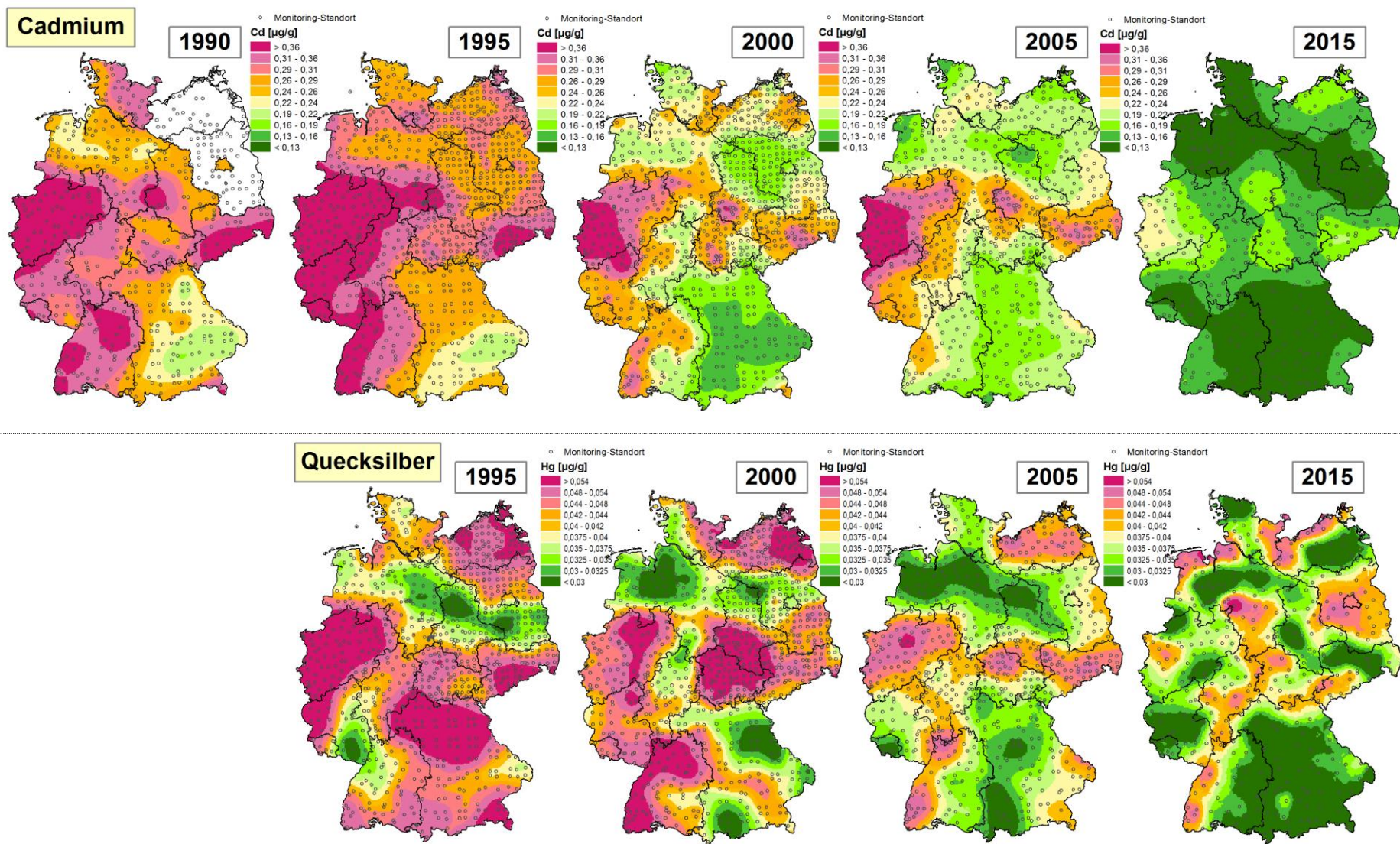


Abb. 1: Räumlich-zeitliche Trends der Cd und Hg Konzentrationen in Moosen (1990-2015).

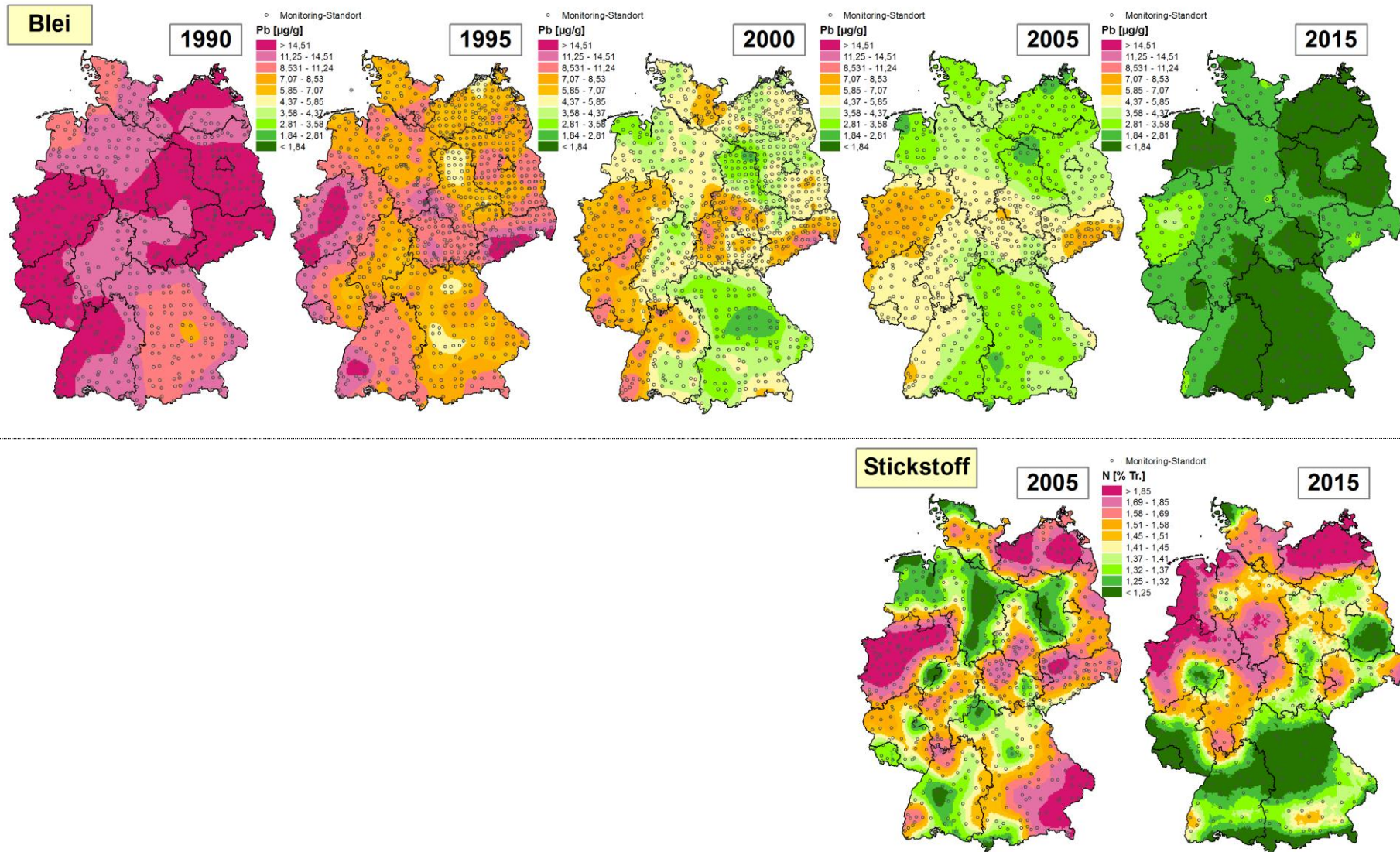


Abb. 2: Räumlich-zeitliche Trends der Pb und N Konzentrationen in Moosen (1990-2015).

Hg - Quecksilber. Die in der Kampagne 2015 an 397 Standorten in Deutschland gemessenen Hg-Konzentrationen schwanken zwischen 0,0047 µg/g und 0,1960 µg/g (Median: 0,0336 µg/g). Keine Moosart weist deutlich von anderen Arten abweichende Medianwerte auf. Die länderspezifischen Medianwerte nehmen im Zeitraum von 1995 bis 2000 in einigen Teilen Deutschlands zu (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Thüringen), zeigen bundesweit betrachtet aber keine signifikanten Veränderungen. Zwischen 2000 und 2005 sind die Hg-Gehalte in Deutschland nahezu flächendeckend rückläufig und zwar um bundesweit 15 %. Von 2005 bis 2015 ist in Deutschland ein weiterer signifikanter Rückgang um 4 % festzustellen, der jedoch regional sehr unterschiedlich ausfällt: Steigerungen in Brandenburg und Niedersachsen sowie Rückgänge in Bayern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Sachsen (Abb. 1). Der längerfristige Trend seit 1995 auf Bundesebene ist durch eine deutliche Abnahme um 20 % gekennzeichnet (Tab. 1).

Pb – Blei. An den 400 Monitoring-Standorten des MM2015 wurden Pb-Gehalte von 0,47 µg/g bis 19,34 µg/g (Median: 1,83 µg/g) ermittelt. Moosartenspezifisch ergeben sich bei *Hypcup* (2,21 µg/g) gegenüber *Psepur* (1,48 µg/g) und *Plesch* (1,68 µg/g) deutlich höhere Medianwerte. Der Langfrist-trend seit 1990 zeigt einen statistisch signifikanten Rückgang des bundesweiten Pb-Gehalts-Medians um –86 % (Tab. 1). Die stärksten Rückgänge sind hierbei in Nordrhein-Westfalen und in einigen Regionen Südbrandenburgs und Sachsens (Lausitz und Erzgebirge) zu verzeichnen (Abb. 2). Auch der Zeitraum zwischen den beiden letzten Messkampagnen 2005 und 2015 zeigt signifikante Abnahmen in sämtlichen Regionen Deutschlands (Medianwertveränderungen um –50%).

N – Stickstoff. Die N-Konzentrationen des MM2015 liegen zwischen 0,80 und 3,49 % in der Trockenmasse mit einem Median von 1,43 % (n = 400). *Psepur* weist dabei mit 1,68 % einen deutlich höheren Medianwert auf als *Hypcup* (1,38 %) und *Plesch* (1,34 %). Zwischen 2005 und 2015 ist es bundesweit zu keinen signifikanten Änderungen der Stickstoffgehalte in den Moosen gekommen (Tab. 1). Regional betrachtet sind Rückgänge der N-Konzentrationen v.a. im südlichen Bayern und Baden-Württemberg sowie Zunahmen v.a. in Teilen Niedersachsens, in Hamburg und in Mecklenburg-Vorpommern zu verzeichnen. Durchgängige Schwerpunkträume der N-Belastung im Zeitraum 2005 bis 2015 finden sich in Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 2).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die ermittelten Bioakkumulationstrends stimmen mit den für 1990-2015 berichteten Trends der Schwermetallemissionen in Deutschland (NASE 2017) bei Cd und Pb gut überein (Tab. 1). Bei Hg ist der Rückgang der Bioakkumulation deutlich schwächer ausgeprägt als der Trend der berichteten Hg-Emissionen in Deutschland. Der Hauptgrund hierfür kann im Anteil des grenzüberschreitenden Ferntransports gesehen werden, welcher aufgrund von Verweilzeiten elementaren gasförmigen Quecksilbers zwischen einem halben Jahr und zwei Jahren in der Atmosphäre allgemein höher ist als bei Cd und Pb (SCHAAP ET AL. 2017). Dass neben der Erfassung von Emissionswerten dringend auch Depositions- und –Akkumulationsdaten erhoben werden müssen, zeigen beispielsweise die Befunde zu Chrom (hier aus Platzgründen nicht dargestellt). Die Cr-Gehalte in den Moosen stiegen von 2000 bis 2005 deutlich an, was an den entsprechenden Emissionsdaten nicht erkennbar war (KRATZ & SCHRÖDER 2010).

Das räumliche Muster der N-Konzentrationen im MM2015 zeigt das zu erwartende Bild der N-Belastung aus der Luft deutlicher, als dies noch 2005 der Fall war. Regionen, wie der durch hohe Viehbesatzdichten gekennzeichnete Westen Niedersachsens und Nordwesten Nordrhein-Westfalens ergaben – wie auch frühere Untersuchungen (MOHR 2007; SCHRÖDER ET AL. 2008) – vergleichsweise hohe N-Gehalte in den Moosen. Die berichteten Trends der N-Emissionen zwischen 2005

und 2015 belegen Abnahmen der NO_x-Emissionen in Deutschland um 23,9 %, aber Zunahmen der NH₃-Emissionen um 12 % (NANE 2017). Da die Landwirtschaft im Jahr 2015 zu ca. 95 % für die Gesamtemission von Ammoniumstickstoff verantwortlich war (NANE 2017), ist anzunehmen, dass wegen ihr die N-Gehalte in den Moosen gegenüber den Schwermetallen seit 2005 in Deutschland nicht zurückgegangen sind.

Bei der Trenddiskussion ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass als signifikant ermittelte zeitliche Trends zwar im statistischen Sinne (hier: $p < 0,05$) bedeutsam sein mögen. Obwohl es keine statistisch eindeutigen Hinweise gibt, ist es grundsätzlich jedoch nicht völlig auszuschließen, dass Unterschiede bei der Probenentnahme (z.B. Moosart, Substrat), der chemisch-analytischen Bedingungen (z.B. Probenpräparation, analytische Unsicherheiten nahe der Bestimmungsgrenze bei Cd und Hg) oder kleinräumige Messwertvariabilitäten diese beeinflussen (MEYER 2017; NICKEL & SCHRÖDER 2018). Die Befunde der moosarten-spezifisch voneinander abweichenden Cd-, Pb- und N-Medianwerte lassen nach wie vor die Frage offen, ob und in welchem Ausmaß neben der atmosphärischen Deposition die beprobte Moosart Einfluss auf die gemessenen Stoffkonzentrationen hat, da nicht nur die Moose, sondern viele weitere Randbedingungen, unter denen diese unterschiedliche Stoffkonzentrationen aufweisen, eine räumliche Verteilung aufweisen (HOLY ET AL. 2010; SCHRÖDER ET AL. 2010). Dies gilt neben der großräumigen Verteilung auch für die kleinräumige, bei der ebenfalls die mikrostandörtliche Variabilität der Deposition keinen sauberen Schluss darauf zulässt, ob es die Moosart oder die kleinstandörtliche Varianz der Deposition ist, die die ggf. unterschiedlichen Elementgehalte verursachen. SIEWERS ET AL. (2000) raten von einer rechnerischen Umrechnung moosartenspezifischer Stoffgehalte ab, nicht zuletzt, weil sie auch elementspezifisch sind. Folglich sind belastbare Bestimmungen des Einflusses der Moosart auf die akkumulierte Deposition nur in systematischen, statistisch abgesicherten Laborexperimenten möglich, in denen alle Faktoren wie Licht, Boden, Temperatur etc. konstant sind und nur die Moosarten sowie die Elemente und deren Konzentration in der künstlich erzeugten nassen und trockenen Deposition systematisch variiert werden. Solche Laborstudien sollten im Moos-Monitoring 2020 erfolgen.

Dank

Für finanzielle Förderung und fachlichen Rat bedanken wir uns beim Umweltbundesamt (Dessau-Roßlau, Deutschland).

Literatur

- DREYER, A., NICKEL, S., SCHRÖDER, W. 2018. (Persistent) Organic pollutants in Germany: results from a pilot study within the 2015 moss survey. – *Environmental Sciences Europe* **30(43)**: 1–14.
- FRAHM, J. P. 1998. Moose als Bioindikatoren. Wiesbaden: Quelle & Meyer GmbH & Co.
- HARMENS, H., MILLS, G., HAYES, F., NORRIS, D., SHARPS, K. 2015. Twenty-eight years of ICP Vegetation. An overview of its activities. – *Annals of Botany* **5**: 31–43.
- HERPIN, U., LIETH, H., MARKERT, B. 1995. Monitoring der Schwermetallbelastung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Moosanalysen. Berlin: UBA-Texte 31/95.
- HOLY, M., PESCH, R., SCHRÖDER, W., HARMENS, H., ILYIN, I., ALBER, R., ALEKSIAYENAK, Y., BLUM, O., COSKUN, M., DAM, M., DE TEMMERMANN, L., FEDORETS, N., FIGUEIRA, R., FROLOVA, M., FRONTASYEVA, M., GOLTSOVA, N., GONZÁLEZ, M. L., GRODZIŃSKA, K., JERAN, Z., KORZEKWA, S., KRMAR, M., KUNI, E., KVIETKUS, K., LARSEN, M., LEBLOND, S., LIIV, S., MAGNÜSSON, S., MAŇKOVSKÁ, B., MOCANU, R., PIISPANEN, J., RÜHLING, Å., SANTAMARIA, J. M., STEINNES, E., SUCHARA, I., THÖNI, L., TURCSÁNYI, G., URUMOV, V., WOLTERBEEK, H. T., YURUKOVA, L., ZECHMEISTER, H. G. 2010. First thorough identification of factors associated with Cd, Hg and Pb concentrations in mosses sampled in the European Surveys 1990, 1995, 2000 and 2005. – *Journal of Atmospheric Chemistry* **63**:109–124.

- ICP VEGETATION (INTERNATIONAL COOPERATIVE PROGRAMME ON EFFECTS OF AIR POLLUTION ON NATURAL VEGETATION AND CROPS) 2014. Monitoring of atmospheric deposition of heavy metals, nitrogen and POPs in Europe using bryophytes. Monitoring manual 2015 survey. United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. ICP Vegetation Moss Survey Coordination Centre, Dubna, Russian Federation, and Programme Coordination Centre. Bangor, Wales, UK.
- KRATZ, W., SCHRÖDER, W. 2010. Wider die Vernunft-zum Ende eines Programms effektiver Umweltdatenerhebung in Bund-Länder-Kooperation. – *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* **22**: 80-83.
- MEYER, M. 2017. Standortspezifisch differenzierte Erfassung atmosphärischer Stickstoff- und Schwermetalleinträge mittels Moosen unter Berücksichtigung des Traueffektes und ergänzende Untersuchungen zur Beziehung von Stickstoffeinträgen und Begleitvegetation. Diss. Univ. Vechta, 262 S. + 86 S. Anh.
- MOHR, K. 2007. Biomonitoring von Stickstoffimmissionen. Möglichkeiten und Grenzen von Bioindikationsverfahren. – *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* **19**: 255–264.
- NANE 2017. Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Stickstoff) 1990-2015, Stand 01/2017, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2017_01_23_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx (20.01.2019).
- NASE 2017. Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Schwermetalle) 1990-2015, Stand 01/2017, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2017_02_15_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_hm_v1.0.xlsx (20.01.2019)
- NICKEL, S., SCHRÖDER, W. 2017. Umstrukturierung des deutschen Moos-Monitoring-Messnetzes für eine regionalisierte Abschätzung atmosphärischer Deposition in terrestrische Ökosysteme. In: SCHRÖDER, W., FRÄNZLE, O., MÜLLER, F. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Kap. V-1.8. 24. Erg.Lfg. Weinheim: Wiley-VCH.
- NICKEL, S., SCHRÖDER, W. 2018. Kleinräumige Untersuchungen zum Einfluss des Kronentraufeffekts auf Elementkonzentrationen in Moosen. In: SCHRÖDER, W., FRÄNZLE, O., MÜLLER, F. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Kap. V-1.10. 25. Erg.Lfg., Weinheim:Wiley-VCH, S. 1–35.
- NICKEL, S., SCHRÖDER, W., DREHWALD, U., DREYER, A., PREUßING, M., STAPPER, N.J., STRUVE, S., TEUBER, D., VÖLKSEN, B. 2018. Räumliche Struktur von Schwermetall- und Stickstoffanreicherungen in zwischen 1990 und 2015 deutschlandweit gesammelten Moosen (Spatial structure of heavy metals and nitrogen accumulation in mosses sampled between 1990 and 2015 throughout Germany). – *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* **17**: 25–44.
- NICKEL, S., SCHRÖDER, W., FRIES, C. 2017. Synoptische Auswertung modellierter atmosphärischer Einträge von Schwermetallen und deren Indikation durch Biomonitor in Wäldern. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* **3**: 75–90.
- PESCH, R., SCHRÖDER, W., GENSSLER, L., GOERTITZ, A., HOLY, M., KLEPPIN, L., MATTER, Y. 2007. Moos-Monitoring 2005 / 2006: Schwermetalle IV und Gesamtstickstoff. FuE-Vorhaben 205 64 200, Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 90 S.
- RÜHLING, Å. (ED) 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe – estimation based on moss analysis. Nordic Council of Ministers. *NORD* **9**: 1–53.
- SCHAAP, M., HENDRIKS, C., JONKERS S., BUILTJES, P. 2017. Impacts of Heavy Metal Emission on Air Quality and Ecosystems across Germany. Sources, Transport, Deposition and potential

- Hazards. Part 1: Assessment of the atmospheric heavy metal deposition to terrestrial ecosystems in Germany. FKZ 3713 63 253. Final Report, Dessau-Roßlau, Germany.
- SCHRÖDER, W., HOLY, M., PESCH, R., HARMENS, H., FAGERLI, H., ALBER, R., COSKUN, M., DE TEMMERMAN, L., FROLOVA, M., GONZÁLEZ-MIQUEO, L., JERAN, Z., KUBIN, E., LEBLOND, S., LIIV, S., MANKOVSKÁ, B., PIISPANEN, J., SANTAMARIA, J. M., SIMONÈ, P., SUCHARA, I., YURUKOVA, L., THÖNI, L., ZECHMEISTER, H. G. 2010. First Europe-wide correlation analyses identifying factors best explaining the total nitrogen concentration in mosses. – *Atmospheric Environment* **44**: 3485–3491.
- SCHRÖDER, W., HORNSMANN, I., PESCH, R., SCHMIDT, G., FRÄNZLE, S., WÜNSCHMANN, S., HEIDENREICH, H., MARKERT, B. 2008. Stickstoff- und Metallakkumulation in Moosen zweier Regionen Mitteleuropas als Spiegel ihrer Landnutzung? *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* **20**: 62–74.
- SCHRÖDER, W., NICKEL, S., VÖLKSEN, B., DREYER, A. 2018. Nutzung von Bioindikationsmethoden zur Bestimmung und Regionalisierung von Schadstoffeinträgen für eine Abschätzung des atmosphärischen Beitrags zu aktuellen Belastungen von Ökosystemen. F&E-Vorhaben 3715 63 212 0, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 169 S.
- SIEWERS, U., HERPIN, U. 1998. Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995. Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte SD 2, Stuttgart: Bornträger.
- SIEWERS, U., HERPIN, U., STRASSBURGER, S. 2000. Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995. Teil 2. Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte SD 3, Stuttgart: Bornträger.
- WGE (WORKING GROUP ON EFFECTS) 2004. Review and assessment of air pollution effects and their recorded trends. Working group on effects, convention on long-range transboundary air pollution. National Environment Council UK.

Autorenanschriften

- DR.-ING. STEFAN NICKEL, M.Sc., Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Universität Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta, stefan.nickel@uni-vechta.de
- PROF. DR. RER. NAT. HABIL. WINFRIED SCHRÖDER, M.A., Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Universität Vechta, Postfach 1553, D-49364 Vechta, winfried.schroeder@uni-vechta.de
- DR. UWE DREHWALD, Wacholderweg 24, D-37079 Göttingen, uwe@drehwald.info
- DR. ANNEKATRIN DREYER, Eurofins GfA GmbH, Air Monitoring, Stenzelring 14b, 21107 Hamburg, annetrindreyer@eurofins.de; aktuelle Adresse: ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co, Stenzelring 14b, D-21107 Hamburg, dreyer@aneco.de
- DIPL.-BIOL. MARKUS PREUßING, Ginsterstieg 14, D-37603 Holzminden, preussing@gmx.de
- DR. RER. NAT. NORBERT J. STAPPER, DIPL.-BIOL., Büro für Ökologische Studien, Verresberger Str. 55, D-40789 Monheim am Rhein, nstapper@t-online.de
- DIPL.-BIOL. DIETMAR TEUBER, Rosenweg 1, D-35644 Hohenahr, dietmar.teuber@gmx.de
- DIPL.-BIOL. BARBARA VÖLKSEN, PlanWerk - Büro für ökologische Fachplanungen, Unterdorfstr. 3, D-63667 Nidda, b.voelksen@planwerk-nidda.de