

Ein Vergleich von Gesamtdeposition und nasser Deposition am Almstandort Stoderzinken

Martina Schink^{1*}, Markus Herndl¹ und Matthias Kandolf¹

Zusammenfassung

Atmosphärische Deposition trägt vor allem in vergleichsweise unbeeinflussten Ökosystemen wie Almstandorten zur Chemie von Pflanzen, Böden und Oberflächengewässern sowie zum Nährstoffkreislauf bei. Daher ist die genaue Quantifizierung vor allem der nassen Deposition für eine Vielzahl von ökologischen Fragestellungen wichtig. In dieser Studie wurden über einen Zeitraum von 6 Jahren die monatlichen Gesamtdepositionen und nassen Depositionen am Almstandort Stoderzinken, Steiermark (Österreich), verglichen. Während die gemessene Niederschlagsmenge für beide Sammlertypen annähernd gleich war, war die Gesamtdeposition bei allen Ionen außer NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} und NH_4^+ signifikant höher als die nasse Deposition. Im Durchschnitt aller Jahre war die Gesamtdeposition um 121% (K^+), 36% (Ca^{2+}), 41% (Cl^-) und 39% (Na^+) höher als die reine nasse Deposition.

Schlagwörter: Atmosphärische Deposition; Trockene Deposition; Niederschlagschemie; Nasse Deposition

Summary

Atmospheric deposition contributes to plant, soil, and surface water chemistry and nutrient cycling primarily in comparatively unaffected ecosystems such as alpine pasture sites. Therefore, accurate quantification of wet deposition in particular is important for a variety of ecological issues. In this study, during 6 years the monthly bulk and wet-only precipitation depositions were compared at the mountain pasture site Stoderzinken, Styria (Austria). While the amount of rainfall measured was almost the same for both collector types, bulk deposition was significantly higher than the wet deposition of all ions other than NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} and NH_4^+ . Averaged for all years, bulk deposition was 121% (K^+), 36% (Ca^{2+}), 41% (Cl^-), 39% (Na^+), higher than wet-only deposition.

Keywords: Atmospheric deposition; Dry deposition; Precipitation chemistry; Wet deposition

Einleitung

Atmosphärische Deposition ist vor allem in wenig anthropogen beeinflussten Gebieten wie etwa Almstandorten ein wesentlicher Bestandteil des Kreislaufs von Nährstoffen (Rogora et al. 2006). An solchen Standorten ist daher für eine Vielzahl von ökologischen Fragestellungen eine genaue Bestimmung der Nährstoffdeposition über die Atmosphäre wichtig. Grundsätzlich kann die atmosphärische Deposition in zwei Formen erfolgen, der nassen (wet-only) und der trockenen Deposition (dry-only), die zusammen als Gesamtdeposition (bulk) bezeichnet wird. Nasse Deposition ist definiert als Prozess, bei dem atmosphärische Verbindungen an Wolken- und Niederschlagströpfchen gebunden sind, darin gelöst werden und durch Regen, Hagel oder Schnee auf die Erdoberfläche gelangen

¹ Institut für Pflanzen- und Kulturlandschaft, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irnding-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Martina Schink, email: martina.schink@raumberg-gumpenstein.at

(Draaijers et al. 1998). Nasse Deposition lässt sich am besten mit einem Wet-only-Sammler ermitteln, der einen Auffangbehälter abdeckt, um trockene Deposition auszuschließen und sich erst dann öffnet, wenn Niederschlag durch einen Niederschlagssensor erkannt wird (Plaisane et al. 1998). Da ein Wet-only-Sammler Stromversorgung und Sensoren benötigt, ist die Verwendung von Gesamtdepositionssammler zum Sammeln von Nassniederschlag vor allem in großen Netzwerken eine kosteneffektive Alternative (Dämmgen et al. 2005). Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung des Niederschlags von Wet-only- und Bulk-Sammlern wurden in einer Reihe von vergleichenden Studien bewertet (Akkoyunlu und Tayanc 2003) und durchschnittliche Korrekturfaktoren für den Beitrag der trockenen Deposition aus parallelen Messungen abgeleitet. Allerdings hängt die Menge der trockenen Deposition auf den Wet-only-Sammlern oft von lokalen Gas- und Aerosolkonzentrationen, Turbulenzintensitäten und der Sammeleffizienz der Sammler ab (Draaijers et al. 1998). Das Ziel dieser Studie ist, der Vergleich der chemischen Zusammensetzungen in Niederschlägen, die aus einem Bulk-Sammler und einem Wet-only-Sammler auf einem Almstandort über mehrere Jahre ermittelt wurden.

Material und Methoden

Standort

Der Vergleich von Gesamtdeposition und nasser Deposition an einem Almstandort, wurde an der Forschungsstation Stoderzinken an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m), Steiermark durchgeführt. Diese Station wurde im Jahr 2005 errichtet, um einen Einblick zu Wasser- und Stoffbilanzen auf einem Almstandort erhalten zu können (Abbildung 1; Bohner et al. 2007). Der durchschnittliche Jahresniederschlag am Standort lag zwischen 2007 und 2019 bei 2591 mm und die mittlere Jahrestemperatur bei 3,17 °C. Die höchste Niederschlagsmenge während der Versuchsperiode (Mai-Oktober 2014-2019) zeigte sich im Jahr 2014 mit einer Menge von 1972 mm, wobei die geringste Niederschlagsmenge mit 811 mm im Jahr 2015 verzeichnet wurde. Die höchste Durchschnittstemperatur mit 9,3°C wurde 2015 gemessen, die geringste im Jahr 2016 mit 7,9°C (Abbildung 3).

Messtechnik

Die Gesamtdeposition wurde während der schneefreien Periode (Mai-Oktober) über den Bulk-Sammler RS200 (Fa. METER Group AG) bestehend aus Sammeltrichter, schraubbarer Sammelflasche und einem Filtertrichter mit einer Auffangfläche von 314 cm² gesammelt. Ein Nylondrahtgeflecht im Trichter verhindert die Verunreinigung durch grobe Partikel,

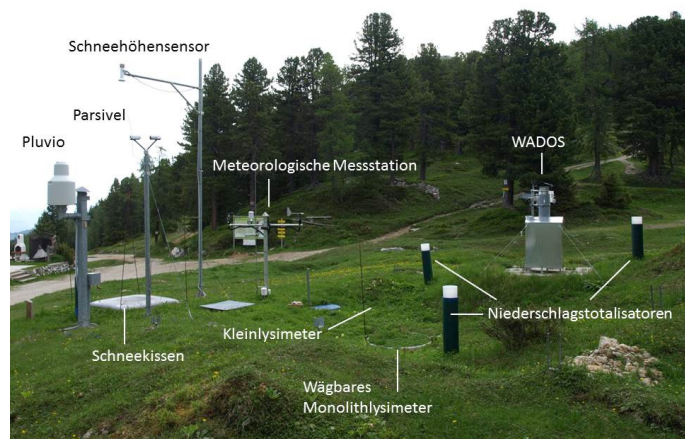


Abbildung 1: Messtechnik an der Forschungsstation Stoderzinken.



Abbildung 2: RS200 Bulk-Sammler und Wet-And Dry-only-Sammler zur Erfassung von Gesamtdeposition und nasser Deposition.

der Niederschlag wird in Polyethylenflaschen gesammelt welche in einem Ständerrohr geschützt lagern, um eine Veränderung der Proben durch Licht, chemische oder biologische Vorgänge zu vermeiden (Abbildung 2).

Die nasse Deposition wird vom Messsystem WADOS (Wet-And Dry-Only precipitation Sampler), welches nasse und trockene Deposition trennen kann, erfasst (Abbildung 2). Die Auffangfläche beträgt ebenfalls 314 cm² und die flüssige Probe wird in einem integrierten Kühlschrank bis zu Probennahme gelagert. Wird über den integrierten Regensensor ein Niederschlagsereignis gemeldet, wechselt die Abdeckhaube (Deckel) vom Sammelgefäß für nasse Deposition auf das Sammelgefäß für trockene Deposition. Somit schließt der WADOS die trockene Deposition von Gasen und Partikeln aus. Das Probenahmesystem WADOS kann ganzjährig, trotz hoher Schneemengen betrieben werden, wobei der Niederschlagssammler nur während der schneefreien Zeit (Mai-Oktober) beprobt werden kann. Die beiden Probenahmestellen liegen an der Forschungsstation ca. 2 Meter voneinander entfernt (Abbildung 1). Das Beprobungsintervall ist in der Regel mindestens einmal pro Monat. Die Niederschlagsproben vom Gesamtdepositions- und nasser Depositions-sammlern wurden während der Versuchsperiode 2014-2019 immer termingleich erfasst.

Analytik

Die Wasseranalytik der Niederschläge umfasst die Bestimmung von pH-Wert sowie von Anionen und Kationen. Anionen (Cl⁻, NO₃⁻ und SO₄²⁻) und Kationen (Na⁺, NH₄⁺, K⁺ und

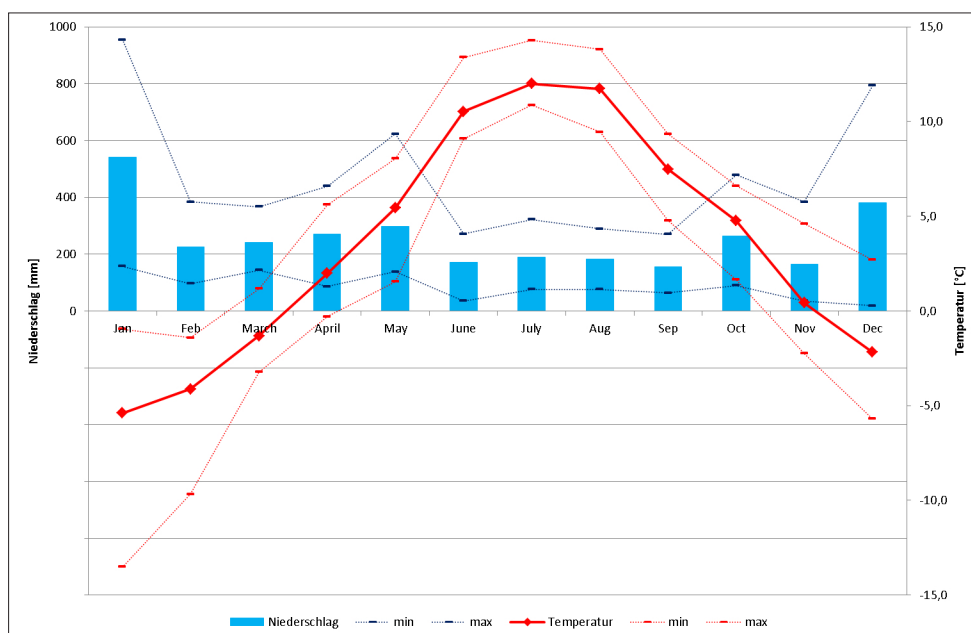


Abbildung 3: Mittlerer (Minimum und Maximum) Monatsniederschlag (mm) und -Lufttemperatur (°C) am Versuchsstandort Stoderzinken im Zeitraum von 2014-2019.

Tabelle 1: Mittlere Konzentrationen (mg l⁻¹) der Niederschläge aus dem Bulk- und Wet-only-Sammler in der Versuchsperiode Mai - Oktober im Zeitraum 2014 - 2019. Signifikanzniveau wurde mittels Wilcoxon Signed-Rank Test geprüft.

	Wet-only	Bulk	Ratio	Sign.
NO ₃ ⁻	0,82	0,58	0,71	0,0147
SO ₄ ²⁻	0,49	0,37	0,75	0,0015
Cl ⁻	0,33	0,49	1,47	0,0658
Na ⁺	0,26	0,30	1,14	0,1738
K ⁺	0,22	0,40	1,77	0,0155
Ca ²⁺	0,64	0,72	1,13	0,0021
NH ₄ ⁺	0,27	0,24	0,88	0,0536

Ca₂⁺) werden mittels Ionenchromatographie (MagIC Net – Fa. Metrohm) nach ÖNORM EN ISO 10304-1 und ÖNORM EN ISO 14911 bestimmt. Die Deposition (kg Ion ha⁻¹) wurde aus den mengengewichteten Konzentrationen und den Niederschlagsmengen berechnet.

Ergebnisse

Vergleich der Gesamtdeposition und der nassen Deposition

Konzentrationen in den Niederschlägen

Vergleicht man die Konzentrationen in den Niederschlägen der beiden Sammler über die Jahre, zeigt sich für einige Kationen und Anionen ein signifikanter (p=0,05) Unterschied (Tabelle 1). Während die durchschnittliche Konzentration von Cl⁻, K⁺, Na⁺ und Ca²⁺ beim Bulk-Sammler höher war (Ratio >1), zeigte sich bei NO₃⁻, SO₄²⁻ und NH₄⁺ eine geringere durchschnittliche Konzentration (Ratio <1) im Vergleich zum Wet-only-Sammler. Ähnliche Ergebnisse konnten für Na⁺, Ca²⁺ und NH₄⁺ von Stedman et. al. (1990) gefunden werden. Ein Ratio <1 bei NO₃⁻ konnte auch von Richter und Lindberg (1988) gefunden werden, was vor allem mit einer höheren Abbaurrate von Nitrat durch die monatliche Sammlung im ungekühlten Bulk-Sammler zu tun hat. Diese Tatsache zeigt sich auch beim monatlichen Vergleich der mittleren NO₃⁻-Konzentration über die schneefreie Versuchsperiode (Abbildung 4). Dass die Überschätzung in der Konzentration im Bulk-Sammler oft auch von Jahreseffekten bestimmt ist, zeigt die Abbildung 5a. Hier trägt vor allem das Jahr 2019 und 2018 dazu bei, dass die Konzentrationen im Bulk-Sammler im Durchschnitt höher sind

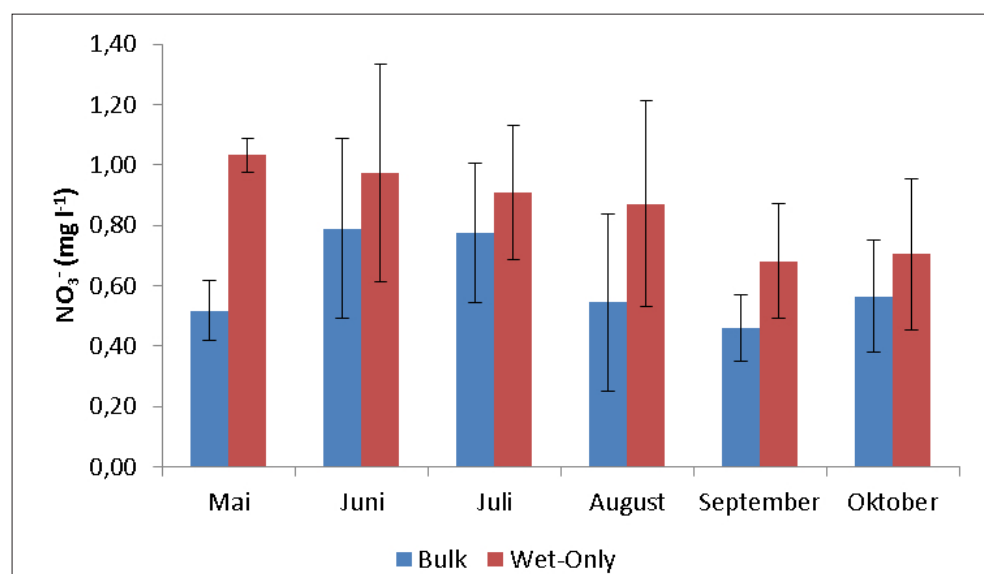


Abbildung 4: Mittlere monatliche NO₃⁻-Konzentration (mg l⁻¹) der Niederschläge im Bulk- und Wet-only-Sammler über die Versuchsjahre 2014-2019.

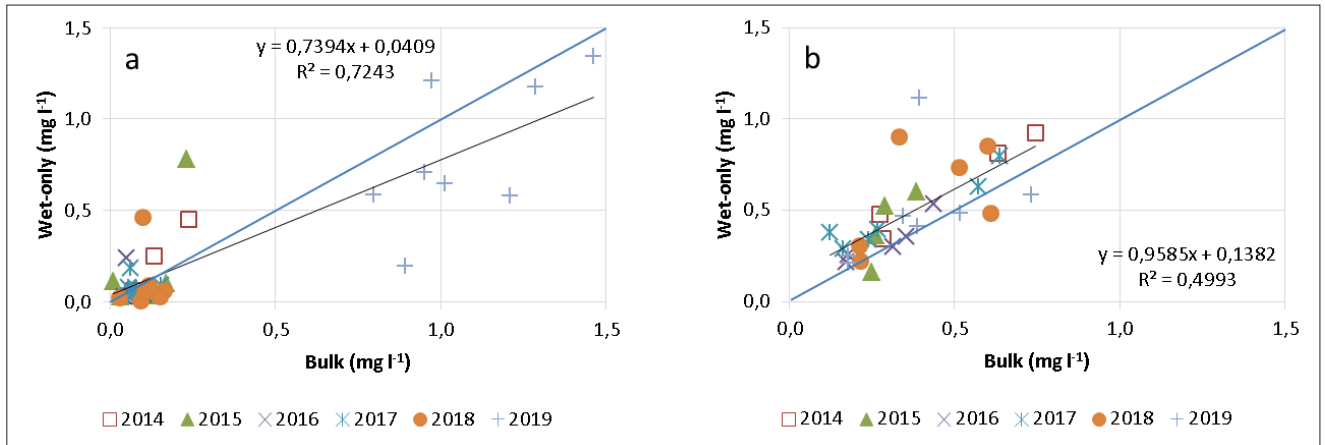


Abbildung 5: Mittlere Konzentrationen (mg l^{-1}) von Na^+ a) und SO_4^{2-} b) der Niederschläge zu den einzelnen Probenahmeterminen aus dem Bulk- und Wet-only-Sammler in der Versuchsperiode Mai - Oktober im Zeitraum 2014 - 2019.

	Wet-only	Bulk	Ratio	Sign.
Wasser	504,49	562,10	1,11	0,0316
pH	7,27	6,77	0,93	0,6101
NO_3^-	3,44	2,91	0,85	0,0434
SO_4^{2-}	1,83	1,61	0,88	0,7795
Cl^-	1,37	1,93	1,41	0,0232
Na^+	1,07	1,49	1,39	0,0083
K^+	0,60	1,32	2,21	0,0042
Ca^{2+}	2,14	2,92	1,36	0,1527
NH_4^+	1,15	1,11	0,97	0,1936

Tabelle 2: Mittlere Frachten (kg ha^{-1}) der Niederschläge aus dem Bulk- und Wet-only-Sammler in der Versuchsperiode Mai - Oktober im Zeitraum 2014 - 2019. Signifikanzniveau wurde mittels Wilcoxon Signed-Rank Test geprüft.

als im Wet-only-Sammler. Bei der SO_4^{2-} -Konzentration zeigt sich hingegen ein geringer Einfluss des Beprobungszeitpunktes (Abbildung 5b).

Frachten in den Niederschlägen

Betrachtet man die Niederschlagsfrachten der Kationen und Anionen aus den beiden Sammlern über den Versuchszeitraum, erweisen sich die durchschnittlichen Frachten für K^+ , Na^+ , Ca^{2+} und NO_3^- als signifikant ($p=0,05$) unterschiedlich (Tabelle 2). Dabei stellten sich wie bei den Konzentrationen die Frachten der Kationen K^+ , Na^+ und Ca^{2+} und des Anions Cl^- als höher im Bulk-Sammler als im Wet-only Sammler dar (Ratio >1) und jene des Kations NH_4^+ und der Anionen NO_3^- und SO_4^{2-} als niedriger. Gleichartige Ergebnisse konnten bis auf NO_3^- und SO_4^{2-} auch von Staelsen et al. 2005 gefunden werden, was wiederum mit dem Abbau dieser Anionen durch die lange Lagerung (1 Monat) im Bulk-Sammler zurückzuführen ist.

Schlussfolgerungen

Aus der Studie über den Vergleich von Gesamtd deposition und nasser Deposition am Almstandort Stoderzinken kann zusammengefasst festgestellt werden, dass es für jene Kationen und Anionen die innerhalb eines Monats nicht wesentlich abgebaut werden zu einer mehr oder weniger hohen Überschätzung der nassen Deposition im Bulk-Sammler im Vergleich zum Wet-only-Sammler kommt. Will man den Einfluss der durch den Regen eingetragenen Nährstoffe auf das Ökosystem quantifizieren sollte man einen Wet-only-Sammler nehmen, vor allem dann, wenn der Beprobungsintervall über 1 Woche hinaus-

geht da vor allem bei Nitrat und Sulfat Abbauprozesse einsetzen. Kennt man jedoch den Anteil der Überschätzung des Bulk-Sammlers im Vergleich zum Wet-only-Sammler welcher durch diese Studie relativ robust für den Standort Stoderzinken quantifiziert wurde, kann man Korrekturfaktoren auf die Bulk-Konzentrationen/-Frachten anbringen die auch die Bulk-Sammler zur Beprobung der nassen Deposition interessant machen kann.

Literatur

Akkoyunlu B.O., Tayanc M. (2003) Analyses of wet and bulk deposition in four regions of Istanbul, Turkey. *Atmospheric Environment* 37, 3571-3579.

Bohner A., Schink M., Eder G. (2007) Eine Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken (Österreich, Steirisches Ennstal) in 1830 m Seehöhe -Messeinrichtung und Forschungsziele.- 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 17.-18.4.2007, 173-175.

Dämmgen U., Erisman J.W., Cape J.N., Grünhage L., Fowler D. (2005) Practical considerations for addressing uncertainties in monitoring bulk deposition. *Environmental Pollution* 134, 535-548.

Draaijers G., Erisman J., Lövblad G., Spranger T., Vel E. (1998) Quality and uncertainty aspects of orest deposition estimation using throughfall, stemflow and precipitation measurements. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation. TNO-MEP Report 98/003.

Plaisane H., Sauvage S., Coddeville P., Guillermo R. (1998) A comparison of precipitation sensors used on the wet-only collectors. *Environmental Monitoring Assessment* 51, 657-671.

Richter D.D., Lindberg S.E. (1988) Wet deposition estimates from long-term bulk and event wet-only samples of incident precipitation and throughfall. *Journal of Environmental Quality* 17, 619-622.

Rogora M., Mosello R., Arisci S., Brizzio M.C., Barbieri A., Balestrini R., Probst, A. (2006) An overview of atmospheric deposition chemistry over the Alps: present status and long-term trends. *Hydrobiologia*, 562(1), 17-40. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1803-z>

Stedman J.R., Heyes C.J., Irwin J.G. (1990) A comparison of bulk and wet-only precipitation collectors at rural sites in the United Kingdom. *Water, Air, and Soil Pollution* 52, 377-395.