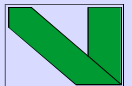


Deposition von Nebel auf Waldökosysteme



Thomas Wrzesiński¹, Andreas Römpf^{1,2} und Otto Klemm¹

¹ Universität Bayreuth, Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK), Abteilung Klimatologie
² Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Umweltchemie und Ökotoxikologie



Einführung

Der atmosphärische Eintrag von Wasser, Nähr- und Schadstoffen in ein Ökosystem kann auf drei verschiedenen Wegen erfolgen: Bei der *nassen* Deposition erfolgt dieser Eintrag durch Regen und Schnee. Die *trockene* Deposition erfolgt in der Gasphase oder an Partikel gebunden. Schließlich gibt es noch den Weg der *feuchten* Deposition durch Nebeltröpfchen.

Bei der feuchten Deposition durch Nebel gibt es zwei grundlegende Prozesse: *Sedimentation* und *Impaktion*. Speziell diese ist direkt von der Beschaffenheit des Untergrunds abhängig. In Gebieten hoher Nebelhäufigkeit hat es daher pflanzenphysiologische Anpassungen an den Nebel gegeben, die es den Pflanzen erlauben, Wasser aus dem Nebel auszukümmen (z.B. tropische Nebelwälder). Dieses Prinzip wird auch bei einigen Projekten zur Trinkwassergewinnung eingesetzt (z.B. in Chile).

In Mitteleuropa spielt Nebel als Quelle für ökosystemare Einträge in den meisten Gebieten eine untergeordnete Rolle. Jedoch ist besonders in den Mittelgebirgslagen eine hohe Nebelhäufigkeit zu verzeichnen, so dass dort mit signifikanten Beiträgen des Nebels zum atmosphärischen Gesamteintrag zu rechnen ist.

Erste Arbeiten dazu gibt es bereits seit den 1950er Jahren (Grunow 1955), jedoch scheiterte eine ausführliche Untersuchung zur Quantifizierung der Nebeldeposition bisher v.a. an der fehlenden direkten Messbarkeit. Untersuchungen zur Nebelchemie seit den 1970er Jahren zeigen signifikant höhere Konzentrationen von Spurenstoffen im Nebelwasser (z.B. Verhoeven et al., 1987), so dass ein Beitrag des "sauren" Nebels zum Auftreten der Waldschäden ("Waldsterben") diskutiert wurde (z.B. Schrimpf et al., 1984).

In der vorliegenden Arbeit wurden primär chemische und meteorologisch-statistische Parameter des Nebels im Intensivuntersuchungsgebiet "Waldstein" des Bayreuther Instituts für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) gewonnen. Dieses Gebiet befindet sich im nördlichen Fichtelgebirge (50°08,5' N, 11°52' E) und repräsentiert mit einer Höhe von ca. 760-800 m ein montanes Ökosystem (v.a. Fichte *Picea abies*). Die präsentierten Ergebnisse stammen v.a. aus zwei Arbeiten von April bis Oktober 1997 und Juli bis März 1998/1999 (Wrzesiński 1998, Wrzesiński & Klemm 1999, Römpf 1999).

Ergebnisse

Nebelhäufigkeit

1997 (Gesamtjahr)

Sichtweite	Nebeldauer	Anteil 1997
bis 100 m	93 h	1,2%
>100 bis 200 m	370 h	4,7%
>200 bis 500 m	407 h	5,2%
>500 bis 1000 m	288 h	3,7%
Gesamtdauer	1157 h	14,9%
Tage mit Nebel	183	51,6%

1998/1999 (Juli - März)

Gesamtdauer 1533 h (23%)

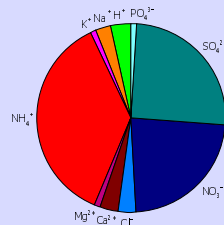


Abb. 3: Mittlere chemische Zusammensetzung der Ionen 1997

Nebeldeposition

Die Nebeldeposition von Wasser in das Waldgebiet am "Waldstein" wurde nach Trautner (1988) abgeschätzt. Die von Trautner durch Messung der Gewichtszunahme bei Nebelereignissen ermittelten Depositionsraten für *Picea abies* waren Grundlage für die Berechnung.

	Minimum	Maximum	Bemerkung
Depositionsrate (Trautner 1988)	0,16	0,39	g H ₂ O m ⁻² Blatt min ⁻¹
Blattflächenindex LAI (Alsheimer 1997)	5,7	8,1	für <i>Picea abies</i> am Waldstein
Gesamtblattoberfläche Waldstein	14,6	20,8	m ² m ⁻² Grundfläche
Nebeldauer 1997		1157 h	
Wasserdeposition 1997	163	564	mm
Niederschlag 1997		538 mm	
Anteil feuchte an Gesamteintrag	23%	51%	
Nebeldauer Juli - März 1998/1999		1533 h	
Wasserdeposition 1998/1999	223	773	mm
Niederschlag Juli - März 1998/1999		855 mm	
Anteil feuchte an Gesamteintrag	20%	45%	

Literatur

- Grunow, J. (1955) Der Nebelniederschlag im Bergwald. *Forstw. Zf.* 74, 21-36.
 Römpf, A. (1999) Analytische Untersuchungen ausgewählter Fremdstoffe im Nebel. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Umweltchemie und Ökotoxikologie der Universität Bayreuth, Bayreuth 1999, im Druck.
 Schrimpf, E., Klemm, O., Eiken, R., Frevert, T., und Herrmann, R. (1984) Anwendung eines Grunow-Nebelfängers zur Bestimmung von Schadstoffgehalten in Nebelnebelerschlägen. *Staub - Reinh. Luft* 44, 72-75.
 Trautner, F. (1988) Entwicklung und Anwendung von Messtechniken zur Untersuchung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Nebelwasser und dessen Deposition auf Fichten. Dissertation an der Universität Bayreuth, 160 S.
 Verhoeven, W., Herrmann, R., Eiken, R., und Klemm, O. (1987) A comparison of the chemical composition of fog and rainwater collected in the Fichtelgebirge, Federal Republic of Germany, and from South Island of New Zealand. *Theor. Appl. Climatol.* 38, 210-221.
 Yong, R. J., und Kowalski, A. S. (1995) Eddy correlation measurements of size-dependent cloud droplet turbulent fluxes to complex terrain. *Tellus* 47B, 331-352.
 Wrzesiński, T. (1998) Sommerlicher Nebel im Fichtelgebirge, Häufigkeit und chemische Zusammensetzung. Diplomarbeit an der Abteilung Klimatologie des Bayreuther Instituts für Terrestrische Ökosystemforschung, Bayreuth 1998, 128 S.
 Wrzesiński, T., und Klemm, O. (1999) Summer-time fog chemistry at a mountainous site in Central Europe. *Atm. Env.* im Druck.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt J. Gerchau für seine Hilfe bei allen technischen Problemen und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Zentralen Analytik des BITÖK für die Durchführung etlicher chemischer Analysen sowie Prof. Dr. H. Frank und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Umweltchemie und Ökotoxikologie für die gute Zusammenarbeit.

Die vorgestellten Projekte wurden im Rahmen der BITÖK-Förderung vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) durch Vorhaben Nr. PT BEO 51 - 0339476 B/C gefördert.

Messungen

Während beider Untersuchungszeiträume wurden folgende Messgrößen bestimmt:

- Sichtweite als Maß für Nebel und Nebeldichte (kontinuierlich als 10 min-Werte)
- Ionenzusammensetzung und pH-Wert des Nebelwassers (auf Basis der Nebelereignisse)
- allgemeine meteorologische Parameter zur Charakterisierung der Nebelereignisse (Wind, Temperatur usw.)
- Metallkonzentrationen (April bis Oktober 1997), Konzentrationen von Nitrophenolen und Halogenessigsäuren (Juli bis März 1998/1999)
- Nebeltröpfchenspektren (während einzelner Ereignisse Oktober 1998)

Messort

Die Messungen erfolgten an der Station "Waldstein" im nördlichen Fichtelgebirge in einem Fichtenbestand (siehe Abb. 1).

- Nebelsammlung und Tröpfchenspektrenmessung auf einem 30 m hohen meteorologischen Turm (in einer Höhe von 24 m über Boden = 810 m üNN)
- Sichtweite an einem Masten in Höhe von 4 m über Boden (770 m üNN) ca. 250 m von der Nebelsammlung entfernt

Messgeräte

- Present Weather Detector PWD11 von Vaisala zur Sichtweitenmessung und automatischen Benachrichtigung bei Nebel
- CaTech Active Strand Cloudwater Collector (CASCC) und CaTech Heated Rod Cloudwater Collector (CHRCC) zur Sammlung von Nebelwasser
- Polytec Particle Size Analyser PSE-1500 zur Messung der Tröpfchenspektren



Abb. 1: Lage der Station "Waldstein"

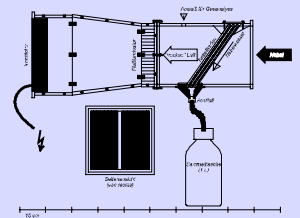


Abb. 2: Schema des Nebelsammlers

Chemische Zusammensetzung

1997 (April bis Oktober)

Ion	Median		
	Minimum	Maximum	Median
	µeq l ⁻¹	µeq l ⁻¹	µeq l ⁻¹
H ⁺	2	513	52 (pH 3,3 bis 5,7)
Na ⁺	0	664	30
NH ₄ ⁺	0	2580	550
Ca ²⁺	0	490	40
Cl ⁻	0	390	31
NO ₃ ⁻	20	1740	410
SO ₄ ²⁻	55	1800	420

1998/1999 (Juli bis März)

Median
µeq l ⁻¹
24
36
330
30
41
230
220

Zusammenfassung und Ausblick

Das Waldökosystem am "Waldstein" zeichnet sich durch sehr hohe Nebelhäufigkeiten (ca. 180 Nebeltage pro Jahr) aus. Daher ist eine detaillierte Untersuchung von Nebelchemie und Nebeldeposition für diesen Standort notwendig. Die beiden hier vorgestellten Arbeiten lassen eine grobe Abschätzung der Nebeldeposition mit einem Anteil von 20 bis 50% des Gesamtwassereintrags zu. Der Eintrag von Spurenstoffen via Nebel ist dabei als noch höher einzuschätzen, da die Konzentrationen der meisten Stoffe deutlich über denen im Regenwasser liegen. Eine quantitative Abschätzung dieser Einträge lässt das von uns verwendete Verfahren jedoch nicht zu, da die chemische Zusammensetzung der Nebelwasserprobe von Ereignis zu Ereignis sehr stark schwankt und sich diese Schwankungen nicht herausmitteln.

Zur ausführlichen Untersuchung der Nebeldeposition wird ab Ende 1999 am "Waldstein" ein Nebeltröpfchenspektrometer eingesetzt, welches mit hoher zeitlicher Auflösung (einige Hertz) Tröpfchenspektren aufnimmt. Durch Kombination dieser Messungen mit einer schnellen Vermessung des Windfeldes (Ultraschall-Anemometer) werden unter Anwendung mikrometeorologischer Ansätze (Eddy-Korrelation, Yong & Kowalski 1995) direkte Messungen der Nebeldeposition möglich werden. Zusätzlich werden die chemischen Parameter bestimmt und die Einträge der einzelnen Ionen auf dem Weg der feuchten Deposition quantifiziert. Dies wird unser Wissen über die Rolle des Nebels beim Stoffumsatz im Bergökosystem erheblich erweitern.



Abb. 4: Nebeltröpfchenspektrometer FM-100