Jber. naturwiss. Ver. Wuppertal 37 142–155 Wuppertal, 15. 4. 1984

Zur Filterkapazität und zum Bestandsklima eines Buchen- und Fichtenforstes im Bergischen Land

WILHELM KUTTLER
Mit 8 Tabellen

1. Einleitung

Im Staatswald Burgholz (Solingen; Bergisches Land) wurden in Zusammenarbeit mit dem Fuhlrott-Museum Wuppertal* von April/Mai 1983 bis Oktober 1983 Untersuchungen zum Bestandsklima und zur Ausfilterung von Luftverunreinigungen durch Nadel- und Laubbäume durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet liegt im Nordosten der Stadt Solingen und besteht aus einem 47 Jahre alten Fichten- *(Picea abies)* und einem 95 Jahre alten Buchenforst *(Fagus sylvatica)*. Auf eine detaillierte topographische Beschreibung dieses Raumes und eine Erläuterung der Bestandsdaten wird mit Hinweis auf die bei KOLBE (1979) erfolgte Darstellung verzichtet.

Im Vordergrund dieses Projektes steht die Ermittlung der Depositionsraten verschiedener anthropogener Luftverunreinigungen in einem als Erholungsraum genutzten Waldgebiet, dessen Luftgüte durch die hier vorherrschende westliche bis südwestliche Hauptwindrichtung nicht direkt durch den Ballungsgroßraum Ruhrgebiet beeinflußt wird, sondern eher durch die umliegenden Städte Wuppertal, Solingen und Remscheid sowie durch die Industriegebiete und -städte in der Rheinschiene.

Diese Untersuchungen sind insofern sehr wichtig, als sie die Heterogenität der Immissionssituation in sog. „Reinluftgebieten" bestätigen, wie durch die umfangreichen Messungen im Bergisch-Sauerländischen Gebirge kürzlich bestätigt wurde (Kuttler 1983a). Darüber hinaus ist es dringend notwendig, exaktes Zahlenmaterial über die Wirksamkeit der Ausfilterung anthropogener Luftverunreinigungen durch Waldökosysteme zu erlangen, um objektiv über die Komplexkrankheit des Waldes diskutieren zu können.

Neben der Darstellung dieser im Burgholz ermittelten Meßwerte werden vorläufige Ergebnisse über das unterschiedliche Wärme- und Luftfeuchteverhalten der Bestandsräume gegenüber dem Freiland mitgeteilt.

2. Meß- und Analyseverfahren

Die Klimamessungen wurden an jeweils einem Standort im Buchen-, Fichten- und Freilandbiotop (Coniferen-Schonung) vorgenommen, die Niederschlagsmessungen mit jeweils zwei Regenmessern (HELLMANN, Auffangfläche 200 cm²) unter Buche und Fichte und einem Meßgerät im Freiland. Das Niederschlagswasser, das auf seine chemische Zusammensetzung untersucht wurde, wurde an jeweils drei verschiedenen Stellen unter Buche und Fichte – aus den jeweils drei Proben wurde eine Mischprobe für die Analyse im Labor hergestellt – und an einem Freilandstandort aufgefangen. Es wurden Auffangtrichter und mit diesen verbundene Sammelgefäße (beide aus Polyäthylen) – letztere durch eine Kunststoffummantelung strahlungsgeschützt – in etwa 1,6 m über Grund aufgebaut. Zwischen Trichterabflußrohr und dem Verbindungsschlauch zum Sammelbehälter war ein Polyäthylensieb eingebaut (Maschenweite etwa 1 mm), um Verschmutzungen durch größere

* Dem Leiter des Fuhlrott-Museums, Herrn Dr. W. KOLBE, sei für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes seitens der Stadt Wuppertal herzlich gedankt.

Partikel zu verhindern. Die Auffangfläche der Trichter betrug rund 710 cm^2. Bei diesen Geräten handelte es sich um sog. „bulk-sampler" (permanent offene Auffangtrichter), die die gesamten trockenen und nassen Spurenstoffdepositionen vereinigt sammelten. Zur Verhinderung von Vogelkotverschmutzungen waren die Trichterränder mit kunststoffummantelten Schutzdrähten versehen. Proben, die offensichtlich verunreinigt waren, wurden verworfen.

Der Expositionszeitraum der Regenmesser und Spurenstoffsammler betrug jeweils eine Woche. Aus diesem Grunde konnten nur Summenbestimmungen und nicht Analysen von Einzelniederschlägen vorgenommen werden, ein für die Zielsetzung dieses Untersuchungsvorhabens ausreichendes Verfahren. Die gesammelten Niederschläge wurden im Labor des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum auf folgende Komponenten untersucht: pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sulfat-Schwefel, Chlorid, Calcium, Nitrat-Stickstoff und Blei. Die Analysenverfahren richteten sich nach Bestimmungsmethoden, die in den Schriften von IWANTSCHEFF (1972) und LANGE (1970) enthalten sind.

Die Bestimmung des pH-Wertes und der Chlorid-Konzentrationen erfolgte potentiometrisch mit Einstabmeßketten (Glaselektrode SCHOTT NG1 bzw. SCHOTT Ag61). Die Calciumkonzentrationen wurden mit Hilfe der Atomabsorptionsspektralphotometrie (AAS) ermittelt, das Sulfat gravimetrisch durch Fällung als schwerlösliches Bariumsulfat, das Nitrat photometrisch durch Natriumsalicylat, die Leitfähigkeit mit einem Konduktometer (LF56) und die H^+-Ionenkonzentration aus den pH-Werten berechnet.

Für die analysierten Spurenstoffe wurden die Konzentrationen in der Einheit [$mg \cdot l^{-1}$] Regenwasser bestimmt; aus den Einzelwerten wurden nach (1) arithmetische Mittelwerte, nach (2) die mit der entsprechenden Niederschlagsmenge gewichteten Mittelwerte berechnet.

$$M_{arith} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} Ki \qquad (1)$$

$$M_{gew} = \frac{\sum Ni \cdot Ki}{\sum Ni} \qquad (2)$$

M_{arith} = arithmetischer Mittelwert

M_{gew} = gewichteter Mittelwert

n = Anzahl der Proben

K = Konzentration

N = Niederschlagsmenge

Die Niederschlagsmengen wurden in der Einheit [$mm \mathrel{\hat{=}} l \cdot m^{-2}$] angegeben. Aus den Spurenstoffkonzentrationen und den in den entsprechenden Zeiträumen gefallenen Niederschlagsmengen wurden die Depositionsraten nach (3) für die Buchen- und Fichtenstandorte sowie für den Freilandstandort berechnet, und zwar in der Einheit [$mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$]

$$D_t = K_t \cdot N_t \qquad (3)$$

D_t = Spurenstoffdeposition $[mg \cdot m^{-2}]$ im Zeitraum t

K_t = Spurenstoffkonzentration $[mg \cdot l^{-1}]$ im Zeitraum t

N_t = Niederschlagsmenge $[l \cdot m^{-2}]$ im Zeitraum t

t = Meßzeitraum Tag, Woche, Monat

Die Messungen der Lufttemperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeiten wurden mit in Klimahütten (Gießener Hütte) aufgestellten Thermohygrographen vorgenommen. Die Aufzeichnung der beiden Parameter erfolgte kontinuierlich auf 7-Tage-Diagrammstreifen. Eine Kontrolle der aufgezeichneten Lufttemperatur erfolgte mit in jeder Klimahütte angebrachten Maximum- und Minimumthermometern, die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit einem ASSMANNschen Aspirationspsychrometer in unregelmäßigen Zeitabständen überprüft.

Die Klimahütten standen etwa 1,8 m über Grund. Aus den gemessenen Daten wurden folgende Parameter berechnet und für die Auswertung herangezogen:

1. Tagesmittel der Lufttemperatur (t) in [°C]

$$\text{nach} \quad \frac{t_{7^{00}} + t_{14^{00}} + 2 \cdot t_{21^{00}}}{4}$$

2. Tagesmittel der relativen Luftfeuchtigkeit (f_r) in [%]

$$\text{nach} \quad \frac{f_{r7^{00}} + f_{r14^{00}} + f_{r21^{00}}}{3}$$

3. Sättigungsdampfdruck (e_s) in [Torr]

$$\text{nach} \quad e_s = 4{,}58 \cdot 10^{\frac{7{,}45 \cdot t}{234{,}7 + t}}$$

4. Dampfdruck (e) in [Torr]

$$\text{nach} \quad e = f_r \cdot \frac{e_s}{100}$$

5. Absolute Luftfeuchtigkeit (f_a) in $[g \cdot m^{-3}]$

$$\text{nach} \quad f_a = \frac{1{,}06 \cdot e}{0{,}00366 \cdot t + 1}$$

6. Taupunkt (τ) in [°C]

$$\text{nach} \quad \tau = \frac{(\log \frac{e}{4{,}58}) \cdot 234{,}7}{7{,}45 - (\log \frac{e}{4{,}58})}$$

7. Die Werte für die Angaben unter den Punkten 3 bis 6 wurden nach 14:00 MOZ-Meßergebnissen der unter Punkt 1 und 2 genannten Parameter berechnet.

8. Sommertag: $t_{max} \geqslant 25\,°C$

9. Heißer Tag: $t_{max} \geqslant 30\,°C$

10. Frosttag: $t_{min} \leqslant 0\,°C$

3. Ergebnisse

3.1 Freilandniederschlag und Kronendurchlaß

Im gesamten Meßzeitraum (Mai bis Oktober) erreichte die Niederschlagssumme am Freilandstandort rund 545 mm, der Kronendurchlaßniederschlag des Buchenstandortes rund 340 mm und der des Fichtenstandortes rund 281 mm (Tab. 1).

Bezogen auf den Freilandwert wurden unter Buche 62% gemessen, unter Fichte dagegen nur 51%. Die von Monat zu Monat auftretende maximale Schwankungsbreite liegt im Freiland bei 157,8 mm bzw., bezogen auf die Gesamtsumme, bei 28,9%, unter Buche bei 99,3 mm bzw. bei 29,2% und unter Fichte bei 84,4 mm bzw. bei 30,0%; diese Werte zeigen, daß die maximale Amplitude der monatlichen Niederschlagssummen unabhängig vom Biotop in etwa gleich ist. Dies gilt jedoch nur für die im Sommerhalbjahr gefallenden Niederschläge; im Winter können sich die Werte wegen des Schneeanteils am Niederschlag beträchtlich verändern.

Vergleicht man einmal die monatlichen Kronendurchlaßniederschlagsmengen mit den Freilandwerten (Freilandwerte = 100%), dann ließe sich für den Buchenstandort ein mit annähernd 70% relativ hoher Bestandsniederschlag im Juli feststellen; der niedrigste Wert erreichte an diesem Standort im August 55,5%. Am Fichtenstandort wurden für den Monat Juli ebenfalls der höchste Wert mit 64,5% berechnet. Der niedrigste Kronendurchlaßwert unter Fichte ergab sich im Oktober mit 38,7%.

Die Berechnung der monatlichen prozentualen Niederschlagssummen der in den drei Biotopen gemessenen Werte zeigt, daß die monatliche Verteilung an allen drei Standorten außerordentlich unterschiedlich ist. So fielen im Monat Mai an der Freilandstation 33,7% der gesamten Niederschlagsmenge, im August dagegen nur 4,9%. Eine vergleichbare Werteverteilung ließ sich auch an den beiden Waldbiotopen erkennen.

Da die Messungen in den beiden Waldgebieten nur den jeweiligen Kronendurchlaß berücksichtigen, nicht jedoch den Stammablauf (dieser wurde nicht gemessen), kann aus den Differenzwerten zum Freilandstandort nicht ohne weiteres auf die Interzeptionsverluste geschlossen werden.

Bei den für den Fichtenstandort gemessenen und berechneten Werten kann davon ausgegangen werden, daß fast nichts in den Stammablauf geht. EIDMANN (1960) gibt für den Stammabfluß bei Fichte im Sommer 0,7% der Freilandniederschlagssumme an, ULRICH & MAYER (1980) geben 0% an.

	Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		Mai–Okt.	
	mm	a) %	mm	a) %	mm	a) %	mm	a) %	mm	a) %	mm	a) %	mm	a) %
Freiland	184,3	100	43,8	100	115,2	100	26,5	100	117,7	100	59,4	100	546,9	100
b) %	33,7		8,0		21,1		4,9		21,5		10,9			
Buche	114,0	61,9	26,1	59,6	80,4	69,8	14,7	55,5	69,0	58,6	35,4	59,6	339,6	62,1
b) %	33,6		7,7		23,7		4,3		20,3		10,4			
Fichte	96,2	52,2	28,0	63,9	74,6	64,5	11,8	44,5	46,9	39,9	23,0	38,7	280,5	51,3
b)%	34,3		10,0		26,6		4,2		16,7		8,2			

Tab. 1: Freiland- und Kronendurchlaßniederschläge in mm und %
a) Anteil am Freilandniederschlag; b) Anteil an der Gesamtsumme

Von den im Burgholz ermittelten Werten läßt sich demnach ein Interzeptionsverlust bei Fichte von rund 49% des Freilandniederschlages als wahrscheinlich angeben.

Bei der Buche läßt sich der Stammabfluß jedoch nicht vernachlässigen. Er beläuft sich nach verschiedenen Messungen im Sommer bei Altbeständen auf 10–16% (KHANNA & ULRICH 1981), auf 11% ± 2,6% (ULRICH & MAYER 1980), bzw. auf 12% (allerdings bei 19jährigen Buchen; BENECKE & PLOEG 1978).

Um quantifizierbare Werte für den Buchenstandort im Burgholz zu erhalten, wurde nach (4) die Interzeption von Buche berechnet (WIGHAM 1973).

$$I = a + bP^n \qquad (4)$$

I = Interzeption
a = 0,04 (Konstante)
b = 0,18 (Konstante)
P = Freilandniederschlagsmenge
n = 1,00 (Konstante)

Unter Zugrundelegung dieser Beziehung weist der Buchenstandort einen Interzeptionswert von 98,5 mm entsprechend 18% des Freilandniederschlages auf. Dieser Wert kommt den von SCHMIDT (1969) genannten Interzeptionswerten bei Buche mit 23% recht nahe. Da der Kronendurchlaß im Burgholz 62% betrug, müßten 20% bzw. 108,8 mm in den Stammabfluß gehen. Ein Wert, der mit den Meßergebnissen vorgenannter Autoren vergleichbar ist.

3.2 Spurenstoffkonzentrationen

Die Meßergebnisse der Spurenstoffkonzentrationen wurden für die drei Biotope als arithmetische und gewichtete Mittelwerte berechnet und zusammengestellt (Tab. 2 und 3). Welche Qualität den in Tabelle 2 enthaltenen Mittelwerten beigemessen werden kann, zeigen die Werte der entsprechenden Schwankungsbreiten (Variabilität = Standardabweichung in % des Mittelwertes). Die sichersten Mittelwerte dieser Untersuchung weisen am Freilandstandort die elektrische Leitfähigkeit mit 43,8% sowie die Calcium- und die Sulfat-Schwefelkonzentrationen mit rund 44% auf. Die größte mittlere Schwankungsbreite hatten die Bleikonzentrationen mit fast 72%.

Im Kronendurchlaßwasser der Buche weisen die Sulfat-Schwefelkonzentrationen mit 44,7% die gleiche Variabilität auf wie der Freilandwert, obwohl unter Buche wesentlich höhere Konzentrationen auftreten. Eine ähnlich niedrige Schwankungsbreite des Mittelwertes ergibt sich mit rund 49% für die Chlorid-Konzentrationen, die höchste Variabilität mit über 318% weist die H^+-Ionenkonzentration auf.

Weder im Freiland noch unter Fichte treten ähnlich hohe Schwankungsbreiten auf; dies könnte auf einen zeitlich stark schwankenden Kationen-Austausch zwischen H^+-Ionen und Calcium- bzw. Magnesium-Ionen an den Assimilationsorganen zurückgeführt werden, worauf bereits ULRICH et al. (1981) hinweisen. Auch die niedrigere H^+-Ionenkonzentration im Vergleich zum Freiland könnte damit zusammenhängen.

Die Variabilitäten der Mittelwerte der Spurenstoffkonzentrationen sind im Kronendurchlaßwasser unter Fichte wesentlich einheitlicher als unter Buche bzw. im Freiland. Die Spurenstoffkonzentrationen haben sich dort auf einem hohen Niveau eingependelt.

Ein Vergleich der Konzentrationsbelastung der drei Biotope mit den gewichteten Mittelwerten (Tab. 3) ergibt:

Die pH-Werte der Freiland- und der Buchenstation unterscheiden sich kaum, sie liegen bei pH = 4,1 und entsprechen damit dem Bereich, der für Niederschlags-pH-Werte in Nord-

		pH	H^+	LF	Ca	SO_4-S	CL	NO_3-N	Pb
	$\bar{x}$	4,25	0,0737	58,3	1,9	2,7	2,3	0,9	0,0285
Freiland	Min.	3,75	0,0045	25,4	0,7	0,5	0,3	0,3	0,005
	Max.	5,35	0,1778	118,8	3,3	5,4	4,2	2,7	0,075
	Variabilität (%)	8,7	66,9	43,8	44,3	44,7	52,3	62,0	71,8
	$\bar{x}$	4,96	0,0676	128,4	8,4	8,3	6,0	1,9	0,0352
Buche	Min.	3,0	0,0003	59,4	2,4	3,7	1,8	0,2	0,006
	Max.	6,5	1,0	318,5	21,5	19,2	11,0	8,1	0,077
	Variabilität (%)	15,8	318,6	52,1	64,9	44,7	48,9	101,7	55,6
	$\bar{x}$	3,56	0,364	410,4	11,0	21,8	11,1	5,9	0,087
Fichte	Min.	3,05	0,025	127,4	3,9	7,1	3,6	1,3	0,017
	Max.	4,6	0,891	1227,5	21,1	47,6	27,89	13,8	0,262
	Variabilität (%)	11,1	65,0	64,6	51,3	53,8	60,9	62,6	77,9

Tab. 2: Arithmetische Mittelwerte der Spurenstoffkonzentrationen $[mg \cdot l^{-1}]$, pH-Werte und Leitfähigkeiten $[\mu S \cdot cm^{-1}]$ in drei Biotopen im Burgholz (Solingen) (Zeitraum: Mai bis Oktober 1983)

	pH	H^+	LF	Ca	SO_4-S	Cl	NO_3-N	Pb
Freiland	4,12	0,0857	55,20	1,85	2,60	2,29	0,94	0,0297
Buche	4,15	0,1300	124,50	8,21	8,14	5,10	1,92	0,0385
Fichte	3,40	0,4777	444,14	11,39	23,70	12,04	6,18	0,0958

Tab. 3: Gewichtete Mittelwerte der Spurenstoffkonzentrationen [$mg \cdot l^{-1}$], pH-Werte und Leitfähigkeiten [$\mu S \cdot cm^{-1}$] in drei Biotopen im Burgholz (Solingen) (Zeitraum: Mai bis Oktober 1983)

rhein-Westfalen (KUTTLER 1983a; BARTELS 1983) und in Mitteleuropa (GEORGII 1981) charakteristisch ist.

Die pH-Werte des Kronendurchlaßniederschlages des Fichtenstandortes sind mit pH = 3,4 deutlich niedriger und repräsentieren ein etwa 5,2fach saureres Niederschlagswasser als die Freilandproben.

Die Bestimmungen der elektrischen Leitfähigkeiten der Regenwasserlösungen werden häufig als Indikatoren für deren Verschmutzungsgrad angewandt. Bei Buche liegen die Werte etwa 2mal, bei Fichte 8mal über den Freilandwerten. Die Anreicherungsfaktoren für Calcium erreichen bei Buche das 4,4fache, bei Fichte das 6,2fache, im Falle von Sulfat-Schwefel das 3,1- (Buche) bzw. das 9,1fache (Fichte). Die Chlorid-Konzentrationen sind bei Buche um 2,2 und bei Fichte um 5,3mal höher als im Freiland. Nitrat-Stickstoff erreicht am Buchenstandort eine 2fach höhere Konzentration, am Fichtenstandort eine 6,6fache. Für den Spurenstoff Blei konnten unter Buche nur geringfügige Erhöhungen (1,3fache) ermittelt werden, am Fichtenstandort höhere Anreicherungen, die bei dem Faktor 3,2 liegen.

Diese Ergebnisse verdeutlichen anhand der z. T. sehr hohen Anreicherungsfaktoren die Filterwirksamkeit von Waldbäumen bei anthropogenen Luftverunreinigungen. Die dominierende Ausfilterung luftfremder Stoffe durch Nadelbäume, insbesondere durch Fichten, wird auch beim Vergleich der im Burgholz (Berg. Land) gewonnenen Ergebnisse mit denen anderer Stationen deutlich (vgl. Tab. 4).

3.3 Spurenstoffdepositionen

Die Schwankungsbreite (Variabilität) der Mittelwerte der Spurenstoffdepositionsraten ist für die einzelnen Spurenstoffe z. T. relativ hoch. Das liegt einerseits an den unterschiedlich hohen Konzentrationen im Niederschlagswasser vor der Kronendachpassage, an den verschieden langen Trockenphasen zwischen zwei Niederschlagsereignissen, wodurch die Höhe der trockenen Depositionen und letztlich die Konzentration im Kronentraufwasser bestimmt wird, andererseits liegt dies an den unterschiedlich hohen Niederschlagsmengen, die in den drei Biotopen gemessen wurden.

Die Depositionsraten unter Fichte weisen mit Ausnahme der H^+-Ionendeposition die höchsten Variabilitäten der Spurenstoffe in allen drei Biotopen auf (vgl. Tab. 5). Sie liegen hier zwischen 83,9% (Calciumdeposition) und 123,7% (Bleideposition). Unter Buche wurden geringer schwankende Variabilitäten – abgesehen von der H^+-Ionendeposition – festgestellt. Sie bewegen sich zwischen 45,2% bei der Calciumdeposition und 73,8% bei der Bleideposition. Die Mittelwerte der Spurenstoffdepositionen sind damit sogar einheitlicher als die der Freilandstation, die – unter Nichtberücksichtigung des H^+-Ionenanteils – zwischen 48,7% (Calcium) und 104,2% (Blei) lagen.

	Berg. Land	Bochum[1])	Solling[2])	Kongalund (Schweden)[2])	Mooswald (Freiburg)[3])	Haard (nördl.) Ruhrgebiet)[4])
			Sulfat-Schwefel			
Buche	3,1	2,4	2,1	2,8	1,8	1,9
Fichte	9,1	12,8	5,2	9,6	5,9	7,5
			Chlorid			
Buche	2,2	–	2,4	4,0	1,7	1,8
Fichte	5,3	–	3,1	7,2	2,4	4,6
			Nitrat-Stickstoff			
Buche	2,0	2,5	1,4	–	–	1,6
Fichte	6,6	6,8	2,3	–	–	3,8
			Wasserstoffionen			
Buche	1,5	1,5	1,3	0,2	–	0,8
Fichte	5,5	4,7	3,8	2,9	–	5,2
			Blei			
Buche	1,3	–	0,7	–	–	–
Fichte	3,2	–	1,0	–	–	–
			Calcium			
Buche	4,4	–	2,5	3,7	1,6	2,4
Fichte	6,2	–	4,0	7,2	3,9	4,9

[1]) Werte z. T. nach KOCH (1983)
[2]) Werte nach HÖFKEN et al. (1981)
[3]) Werte nach KÜNSTLE et al. (1981)
[4]) Werte nach BLOCK & BARTELS (1983)

Tab. 4: Anreicherungsfaktoren von Spurenstoffkonzentrationen im Kronendurchlaß von Buche und Fichte im Vergleich zum Freiland für verschiedene Standorte

Die Variabilität der H^+-Ionendeposition ist an allen drei Standorten relativ hoch; sie erreicht Spitzenwerte am Buchenstandort, an dem bereits die Konzentrationsschwankungen sehr stark ausgeprägt waren.

Die Spurenstoffdepositionen am Freilandstandort unterscheiden sich z. B. von denen im mittleren Ruhrgebiet bestimmten (Standort Bochum; KUTTLER 1982, 1983b, c) folgendermaßen (bezogen auf die Ruhrgebietswerte):

		H^+	Ca	SO_4-S	Cl	NO_3-N	Pb
Freiland	$\bar{x}$	0,3190	5,2	8,8	7,9	3,2	0,113
	Min.	0,0061	2,3	1,2	0,6	0,7	0,014
	Max.	1,505	12,02	21,3	26,4	10,9	0,371
	Variabilität (%)	114,3	48,7	62,9	92,5	82,9	104,2
Buche	$\bar{x}$	0,3004	13,4	16,3	11,1	3,3	0,075
	Min.	0,0004	4,6	4,5	2,6	0,3	0,01
	Max.	4,84	24,0	33,4	34,4	8,6	0,217
	Variabilität (%)	351,1	45,2	55,4	67,5	64,2	73,8
Fichte	$\bar{x}$	0,9	18,1	43,1	18,5	10,6	0,18
	Min.	0,0075	2,5	4,8	1,9	0,9	0,09
	Max.	5,9	119,5	139,0	55,5	43,7	5,8
	Variabilität (%)	147,5	83,9	96,0	96,1	99,6	123,7

Tab. 5: Depositionsraten verschiedener Spurenstoffe in drei Biotopen im Burgholz (Solingen) (Zeitraum: Mai bis Oktober 1983) Angaben in $[mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}]$

Für Calcium und Schwefel wurden im Burgholz um etwa 10% niedrigere Ablagerungsraten gemessen, für Chlorid waren sie um 13% höher, für Nitrat-Stickstoff um etwa 47% höher und für Blei um 36% niedriger.

Prinzipiell läßt sich anhand der unter den Waldbäumen ermittelten Werte feststellen, daß dem Fichtenbiotop in allen Fällen wesentlich mehr Spurenstoffe zugeführt werden als dem Buchenbiotop und natürlich dem Freiland. So erreichen die Anreicherungsfaktoren für Fichte im Vergleich zum Freiland Werte zwischen 1,6 (Blei) und 4,9 (Sulfat-Schwefel); die für Fichte im Vergleich zur Buche liegen bei 1,4 (Calcium) und 3,2 für Nitrat-Stickstoff.

Die Meßwerte, die eine Quantifizierung der Ausfilterung anthropogener Spurenstoffe durch Waldbäume erlauben, werden in Tab. 6 mit denen anderer Stationsstandorte verglichen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung und der Vergleich zeigen die gute Übereinstimmung mit den an anderen Stationen gefundenen Werten.

3.4 Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse

Die als vorläufig zu betrachtenden Ergebnisse der kontinuierlichen Messung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in den drei Biotopen zeigen (Tab. 7 und Tab. 8), daß sich die Mittelwerte der Lufttemperaturen nur wenig unterscheiden.

Es fällt auf, daß für den Untersuchungszeitraum April bis Oktober die Werte in den beiden Waldbaumbiotopen etwas höher waren als die im Freiland gemessenen. Diese leichte Erhöhung der Mittelwerte der Lufttemperaturen ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß es zum 21.00-Uhr-Termin am Buchen- und Fichtenstandort noch allgemein wärmer war. Während der Freilandstandort zu diesem Zeitpunkt im Mittel 13,0° C aufwies, wurden für den Buchenstandort ein solches von 14,1° C berechnet. Der geringen Abkühlungsrate in Waldbiotopen steht eine noch niedrigere Erwärmungsrate in den frühen Morgenstunden gegenüber.

	Berg. Land	Bochum[1])	Solling[2])	Kongalund (Schweden)[2])
		Sulfat-Schwefel		
Buche	1,9	1,3	1,4	1,9
Fichte	4,9	5,3	3,1	5,3
		Chlorid		
Buche	1,4	–	1,8	2,8
Fichte	2,3	–	2,3	4,2
		Nitrat-Stickstoff		
Buche	1,0	1,5	0,9–1,0	–
Fichte	3,3	7,2	2,0	–
		Wasserstoffionen		
Buche	0,9	–	1,3	–
Fichte	2,8	–	3,8	–
		Blei		
Buche	0,7	–	0,6–1,1	–
Fichte	1,6	–	0,8–1,7	–
		Calcium		
Buche	2,6	–	1,5–1,9	2,6
Fichte	3,5	–	3,3	4,2

[1]) Werte z. T. nach KOCH (1983)
[2]) Werte nach HÖFKEN et al. (1981)

Tab. 6: Anreicherungsfaktoren von Spurenstoffdepositionen im Kronendurchlaß von Buche und Fichte im Vergleich zum Freiland für verschiedene Standorte

Die Werte in den Tabellen 7 und 8 machen deutlich, daß insbesondere die Maxima gedämpft werden, und zwar bei Fichte mit einem um 2,2 K niedrigeren Wert im Vergleich zum Freiland; bei Buche lag dieser Wert um 1,5 K unter dem des Freilandwertes. Während die Temperaturamplitude im Freiland beinahe 10 K erreichte, war diese bei Fichte mit 5,7 K und bei Buche mit 6,9 K erheblich niedriger. Sehr deutlich werden die Unterschiede im Temperaturverhalten der drei Biotope auch bei Vergleich der Anzahl der heißen Tage (H-Tg.; $t_{max} \geqslant 30\,°C$) und der Sommertage (S–Tg.; $t_{max} \geqslant 25\,°C$), die 1983 besonders gehäuft auftraten. Während an der Freilandstation insgesamt 10 heiße Tage während der Meßperiode erfaßt

	Lufttemperatur (°C)							τ	rel. Luftfeuchtigkeit (%)				f	e
	$\bar{x}$	Min.	Max.	Ampl. (K)	H-Tg.	S-Tg.	F-Tg.	(°C)	$\bar{x}$	Min.	Max.	Ampl.	($g \cdot m^{-3}$)	(Torr)
Freiland	13,2	9,6	18,6	9,8	10	37	2	7,7	69,4	48,0	93,1	46,4	8,1	8,4
Buche	13,7	10,3	17,1	6,9	5	22	2	8,5	76,4	54,4	92,8	39,0	8,7	9,0
Fichte	13,6	10,7	16,4	5,7	1	21	1	9,6	79,3	62,1	93,4	31,7	9,3	9,6

Tab. 7: Werte verschiedener Klimaparameter in den drei Biotopen (Zeitraum: April bis Oktober 1983)

	Lufttemperatur (K)				τ	rel. Luftfeuchtigkeit (%)				f	e
	$\bar{x}$	Min.	Max.	Ampl.	(K)	$\bar{x}$	Min.	Max.	Ampl.	($g \cdot m^{-3}$)	(Torr)
Freiland – Buche	−0,5	−0,7	1,5	2,9	−0,8	−7,0	− 6,4	0,3	7,4	−0,6	−0,6
Freiland – Fichte	−0,4	−1,1	2,2	4,1	−1,9	−9,9	−14,1	−0,3	14,7	−1,2	−1,2

Tab. 8: Abweichungen der Werte der Waldbaumbiotope von denjenigen des Freilandbiotops (Zeitraum: April bis Oktober 1983)

wurden, waren es unter Buche mit 5 Tagen nur die Hälfte und unter Fichte mit 1 Tag sogar nur ein Zehntel der Anzahl der Freilandwerte. Auch bei den Sommertagen zeichnet sich eine deutliche Differenzierung ab:

Konnten an der Freilandstation noch 37 Sommertage gemessen werden, so war ihre Anzahl unter Buche auf 22, unter Fichte auf 21 abgesunken. Auffallend ist, daß der Unterschied hinsichtlich der Zahl der Sommertage zwischen dem Buchen- und Fichtenbiotop nur außerordentlich gering ist, während die Differenz für die Anzahl der heißen Tage wesentlich größer ist.

Beide Waldbiotope zeigten nach diesen Werten ein ähnliches Temperaturverhalten bei Werten um 25° C, im Bereich von 30° C ändert sich dies jedoch sehr deutlich.

Im Freiland und am Buchenstandort traten jeweils zwei, am Fichtenstandort ein Frosttag auf.

Ein Blick auf die relative Luftfeuchtigkeit zeigt den zum Freiland um fast 10% höheren Wert unter Fichte und den zwischen vorgenannten Biotopen liegenden Wert am Buchenstandort. Während die Maxima in etwa gleicher Höhe lagen, traten bei den Minima deutlichere Unterschiede auf, die z. B. am Fichtenstandort um 14,1% über dem des Freilandstandortes lagen. Die Unterschiede im Luftfeuchtigkeitsverhalten werden auch durch die Differenzen der absoluten Luftfeuchtigkeit und des Dampfdruckes belegt. Die in Waldbiotopen wesentlich niedrigere Amplitude der relativen Luftfeuchtigkeit weist nachdrücklich auf die Dämpfung dieser Klimaparameter durch die Baumbestände hin.

Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse für den gesamten Meßzeitraum (April 1983 bis März 1984) ist vorgesehen.

4. Danksagung

Die Arbeiten im Gelände übernahmen die Zivildienstleistenden im Umweltschutz der Stadt Wuppertal: die Herren M. BREDEMEIER, M. BANG und R. FISCHER.

Die rechnergestützte Auswertung (Dr. D. GLATTHAAR, Dipl.-Geogr. P. M. KLECKER und Frau Phys.-Lab. G. HACKEL), die Probenanalyse (Frau Chem.-Lab. G. STEIN und Herr Chem.-Lab. W. GOSDA) und die Gerätebetreuung (Herr A. POHLE) lagen in Händen des Labors des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum. Allen Beteiligten sei herzlichst für ihren Einsatz gedankt.

Literatur

BARTELS, U. (1983): Wie sauer ist der Regen in Nordrhein-Westfalen? – Mitteilungen der LÖLF, **8,** Heft 2, 35–36.

BENECKE, P. & van der PLOEG, R. R. (1978): Wald und Wasser I. Komponenten des Wasserhaushaltes von Waldökosystemen. – Forstarchiv **49,** 1–7; II. Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und eines Fichtenaltbestandes im Solling. – Forstarchiv **49,** 26–32.

BLOCK, J. & BARTELS, U. (1983): Hohe Konzentrationen von Luftverunreinigungen in den Waldniederschlägen. – Mitteilungen der LÖLF, **8,** Heft 14, 19–34.

EIDMANN, F. E. (1960): Die Interception in Buchen- und Fichtenbeständen; Ergebnis mehrjähriger Untersuchungen im Rothaargebirge (Sauerland). – Colloquium Hannoversch.-Münden, Sept. 1959. Publ. No. 48, Ass. Int. Hydrol. Sci., 5–25.

GEORGII, H.-W. (1981): Review of the acidity of precipitation according to the WMO-network. – Idöjaras **85,** 1–10.

HÖFKEN, K.-D., GEORGII, H.-W. & GRAVENHORST, G. (1981): Untersuchungen über die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe an Buchen- und Fichtenwald. – Ber. Inst. Met. u. Geophys., Univ. Frankfurt/M., Nr. 46, 141 S.

IWANTSCHEFF, G. (1972): Das Dithizon und seine Anwendung in der Mikro- und Spurenanalyse. Weinheim/Bergstraße.
KHANNA, P. K. & ULRICH, B. (1981): Changes in the chemistry of throughfall under stands of beech and spruce following the addition of fertilizers. – Acta Oecologica, Oecol. Plant, Vol. 2 (16), 155–164.
KOCH, U. (1983): Gehölze eines industriellen Ballungsgebietes als Filter anthropogener Luftverunreinigungen. – Unveröff. Dipl. Arbeit am Geogr. Inst. d. Ruhr-Univ. Bochum.
KOLBE, W. (1979): Anwendung von Arbeitsmethoden aus dem zoologischen Forschungsprogramm des Solling-Projektes im Staatswald Burgholz (MB 4708) und ihre Ergebnisse (Minimalprogramm zur Ökosystemanalyse): Einführung. – Jber. naturwiss. Ver. Wuppertal, **32,** 29–35; Wuppertal.
KÜNSTLE, E., MITSCHERLICH, G. & RÖNICKE, G. (1981): Untersuchungen über Konzentration und Gehalt an Schwefel, Chlorid, Kalium und Calcium sowie den pH-Wert im Freilandniederschlag und Kronendurchlaß von Nadel- und Laubholzbeständen bei Freiburg i. Br. – Allg. Forst- u. J.-Ztg. **152,** 147–165.
KUTTLER, W. (1982): Investigations about wet deposition of pollutants in an urban ecosystem. – In: GEORGII, H.-W. & PANKRATH, J. (eds.): Deposition of Atmospheric Pollutants, Dordrecht, Holland, 97–113.
– (1983a): Immissionsbelastung des Bergisch-Sauerländischen Gebirges. – Monatsberichte des Umweltbundesamtes, Berlin, Nr. 5/83, 1–37.
– (1983b): Anthropogenes Schwefelproblem und saure Niederschläge. – Wohnbauforschung in Österreich, Mitt. d. Forschungsges. f. Wohnen, Bauen und Planen, Heft 1/2, 1–8.
– (1983c): Zum Ausmaß der Schwefelablagerung im Ruhrgebiet. – Ber. z. dt. Landeskunde, Bd. 57, Heft 1, 143–154.
LANGE, B. (1970): Kolorimetrische Analyse. – Weinheim/Bergstraße
SCHMIDT, G. (1969): Vegetationsgeographie auf ökologisch-soziologischer Grundlage. – Leipzig.
ULRICH, B. & MAYER, R. (1980): Subject area: Throughfall and stemflow. – In: NICHOLSON, J. A., PATERSON, I. S. & LAST, F. T. (eds): Methods for studying acid precipitation in forest ecosystems. Definitions and research requirements. Proc. of a workshop held in Edingburgh 19–23 Sept. 1977.
ULRICH, B., MAYER, R. & KHANNA, P. K. (1981): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. – Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 58, Frankfurt/M.
WIGHAM, J. M. (1973): Interception, Section IV, p. 4.1–4.9. – In: GRAY, D. M. (ed.): Handbook on the Principles of Hydrology, Toronto.

Anschrift des Verfassers:
Dr. WILHELM KUTTLER, Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum, Postfach 10 21 48, D-4630 Bochum 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: 37

Autor(en)/Author(s): Kuttler Wilhelm

Artikel/Article: Zur Filterkapazität und zum Bestandsklima eines Buchenund Fichtenforstes im Bergischen Land 142-155