

## **Luftbürtige Säurebelastung und Stickstoffeintrag in Waldökosysteme und ihre Auswirkungen auf die Bachwasserqualität**

E. Gy. FÜHRER

Institut für Forstwissenschaften, Abteilung Ökologie, Sopon

### **Einleitung**

In Ungarn verschlechterte sich der Gesundheitszustand der Wälder in den 80er Jahren laufend. Im Berg- und Hügelland war in erster Linie die Erkrankung der Traubeneichenwälder, im Flachland aber die Erkrankung der Sandkiefernwälder auffallend.

Bei der Beurteilung des Gesundheitszustandes der Waldökosysteme darf man die infolge der Luftverunreinigung entstandene Belastung der Ökosysteme nicht außer acht lassen. Obwohl in Ungarn die Konzentration der Gase Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickstoffoxid ( $\text{NO}_2$ ) in der Luft relativ gering ist (HORVÁTH, 1989; HORVÁTH & FÜHRER, 1990), kann die Menge der Niederschlagsdeposition (BRECHTEL, 1989), doch als hoch bezeichnet werden (BALAZS & FÜHRER, 1990; FÜHRER et al., 1990). Dementsprechend zählt zu den Schlüsselproblemen der Waldschadensforschung, neben der Säurebelastung und dem Schwefelhaushalt, auch der Stickstoffhaushalt (MOHR, 1990).

### **Material und Methode**

Wegen der oben erwähnten Gründe werden in der Nähe der österreichisch-ungarischen Grenze (Sopron) in einem alten Buchen-, Traubeneichen- und Fichtenwald zweiwöchentlich Wasserproben von Niederschlag, Streu- und Humussickerwasser sowie von mehreren Bächen (6 Stück) entnommen und auf 10 anorganische chemische Inhaltsstoffe ( $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) analysiert.

In den Untersuchungsgebieten treten kalkarme aber nicht basenarme Gesteine auf. Das bodenbildende Ausgangsmaterial ist Gneis. Die Böden sind überwiegend

gut durchlässige Braunerden und Parabraunerden. Der Humustyp ist Waldmull; das C/N-Verhältnis liegt immer unter 20.

## Ergebnisse

### Säurebelastung

In den untersuchten Waldökosystemen ist die luftbürtige Säurebelastung sehr verschieden (Tab. 1). In dem Fichtenbestand betrug die durchschnittliche atmosphärische Säurebelastung ( $\bar{\varnothing}$  der Meßjahre 1988-1990)  $4,93 \text{ kmol I.Ä.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ .

*Tabelle 1*  
Jahresraten der luftbürtigen Säurebelastung in kilomol Ionen-Äquivalenten pro Hektar (1988-1990)

	Buche	Eiche	Fichte
Niederschlagsdeposition	0,07	0,07	0,04
Partikuläre Interzeptionsdeposition	0,01	0,05	0,04
Gasförmige Interzeptionsdeposition	1,45	3,28	3,65
Protonenpufferung durch $\text{NO}_3$	0,61	0,74	2,32
Protonendeposition	0,92	2,66	1,41
$\text{NH}_4$ -Deposition	1,21	1,59	3,52
Gesamtsäuredeposition	2,13	4,25	4,93

Relativ wenig belastet war der Buchenbestand mit  $2,13 \text{ kmol I.Ä.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Der Eichenbestand erfuhr mit  $4,25 \text{ kmol I.Ä.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  eine etwa gleich starke Säurebelastung wie der Fichtenbestand.

Die Freiland-Säurebelastung (Protonendeposition +  $\text{NH}_4$ ) war mit 0,58 bis 0,67  $\text{kmol I.Ä.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  etwa zwischen 3,7 und 7,3mal geringer als diejenige der Waldökosysteme.

Hinsichtlich der Größe des Säureeintrages ist das entscheidende Anion das Sulfat, dessen durchschnittliche jährliche Konzentration im Freilandniederschlag sich zwischen 5,5 und 6,5 mg/l bewegt. Bei einem Jahresniederschlag von 650 mm ist die jährliche  $\text{SO}_4$ -Deposition  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Im Buchenwald ist sie das Dreifache, im Eichen- und Fichtenwald aber das Sechsfache im Vergleich zum Freiland. Dementsprechend ist die gasförmige Interzeptionsdeposition von Protonen durch  $\text{SO}_2$  bei der Buche 1,45; bei der Eiche 3,28 und bei der Fichte 3,65  $\text{kmol I.Ä.} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Diese wird aber zum großen Teil durch  $\text{NH}_3$  abgepuffert (Tab. 2).

*Tabelle 2*  
Die Größe der jährlichen Deposition der einzelnen anorganischen Ionen

Nieder-schlag	mm	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> kg/ha	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
<i>Buche</i>					
N	675	0,07	9,1	3,6	2,2
N <sub>K</sub>	459	0,02	13,7	17,2	2,0
N <sub>S</sub>	98	0,03	7,7	8,8	0,6
N <sub>B</sub>	557	0,05	21,4	26,0	2,6
<i>Eiche</i>					
N	675	0,07	9,1	3,6	2,2
N <sub>K</sub>	497	0,06	23,8	28,5	3,4
N <sub>S</sub>	27	0,06	4,9	3,9	0,3
N <sub>B</sub>	524	0,12	28,7	32,4	3,7
<i>Fichte</i>					
N	621	0,04	11,4	2,7	2,0
N <sub>K</sub>	383	0,25	61,3	29,3	3,7
N <sub>S</sub>	5	0,02	2,1	1,2	0,1
N <sub>B</sub>	388	0,27	63,4	30,5	3,8
<i>in Hessen</i>					
N	898	0,52	6,5	3,5	9,0
Nieder-schlag	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<i>Buche</i>					
N	3,2	16,9	10,9	17,3	38,1
N <sub>K</sub>	5,0	16,9	6,7	26,2	72,9
N <sub>S</sub>	1,1	5,6	2,1	17,5	31,6
N <sub>B</sub>	6,1	22,5	8,8	43,7	104,5

Nieder- schlag	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
			<i>Eiche</i>		
N	3,2	16,9	10,9	17,3	38,1
N <sub>K</sub>	7,9	29,4	10,0	52,0	188,5
N <sub>S</sub>	1,1	5,9	1,0	10,5	33,0
N <sub>B</sub>	9,0	35,3	11,0	62,5	221,5
			<i>Fichte</i>		
N	3,1	16,1	10,6	19,5	40,3
N <sub>K</sub>	8,2	37,3	16,7	103,1	246,2
N <sub>S</sub>	0,2	1,2	0,5	2,6	5,4
N <sub>B</sub>	8,4	38,5	17,2	105,7	251,6
			<i>in Hessen</i>		
N	2,8	11,6	15,6	34,1	51,4

N: Freilandniederschlag; N<sub>K</sub>: Kronendurchlaß; N<sub>S</sub>: Stammabfluß; N<sub>B</sub>: Bestandesniederschlag

### *Stickstoffbelastung*

Der Stickstoff gehört zu den wichtigsten Bioelementen der Waldökosysteme. Die anthropogene, luftbürtige Deposition von NO<sub>3</sub>-N und NH<sub>4</sub>-N belastet den natürlichen Stickstoffkreislauf aber immer stärker.

Im Soproner Gebirge wurde auf den Freilandmeßstellen im Durchschnitt 12,1 kg.ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> anorganischer Stickstoff mit dem Niederschlag deponiert (Abb. 1; Abb. 2). Der Nitratanteil betrug 34 %, also die Ammoniumbelastung war zweimal so hoch als die Nitratbelastung.

Der höchste Stickstoffeintrag mit dem Bestandesniederschlag wurde im Fichtenbestand mit 73,1 kg.ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> gemessen. Der geringste war im Buchenbestand mit 26,5 kg.ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Darauf folgt der Eichenbestand mit 36,5 kg.ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Im Vergleich zum Freilandniederschlag war die Stickstoffanreicherung im Bestandesniederschlag bei der Buche 2,4fach, bei der Eiche 3,3fach und bei der Fichte 5,5fach.

Der durchschnittliche Nitratanteil im Bestandesniederschlag beträgt bei der Fichte 33 %, bei der Buche 37 % und bei der Eiche 39 %, so daß eine zusätzliche Ammoniumaufnahme über die Blätter oder eine bestimmte Ammoniumnitrifikation im Kronenraum bei der Buche und der Eiche zu vermuten ist.

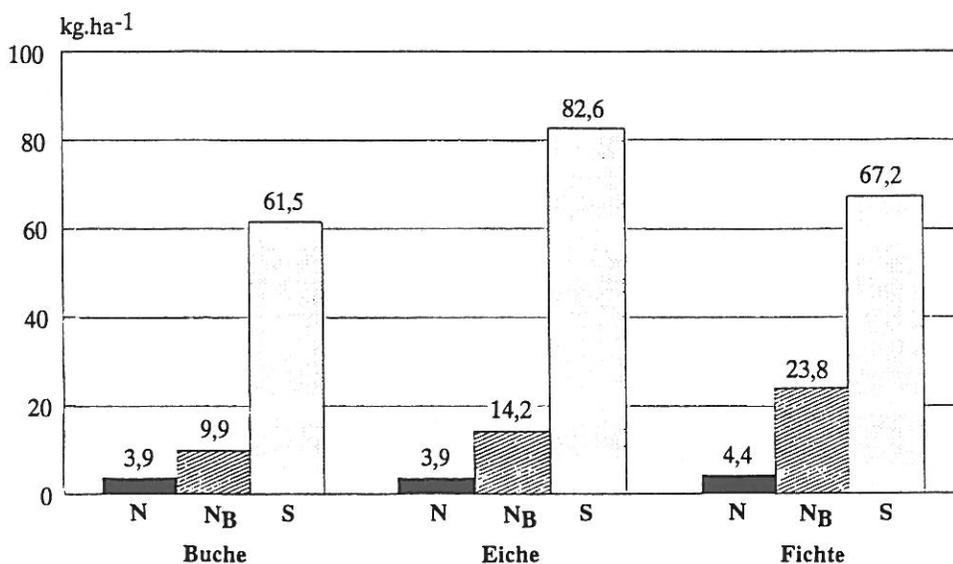


Abbildung 1

Jährlicher Nitrat-Stickstoffeintrag in Waldökosysteme. N: Freilandniederschlag; NB: Bestandesniederschlag; S: Streu- und Humussickerwasser

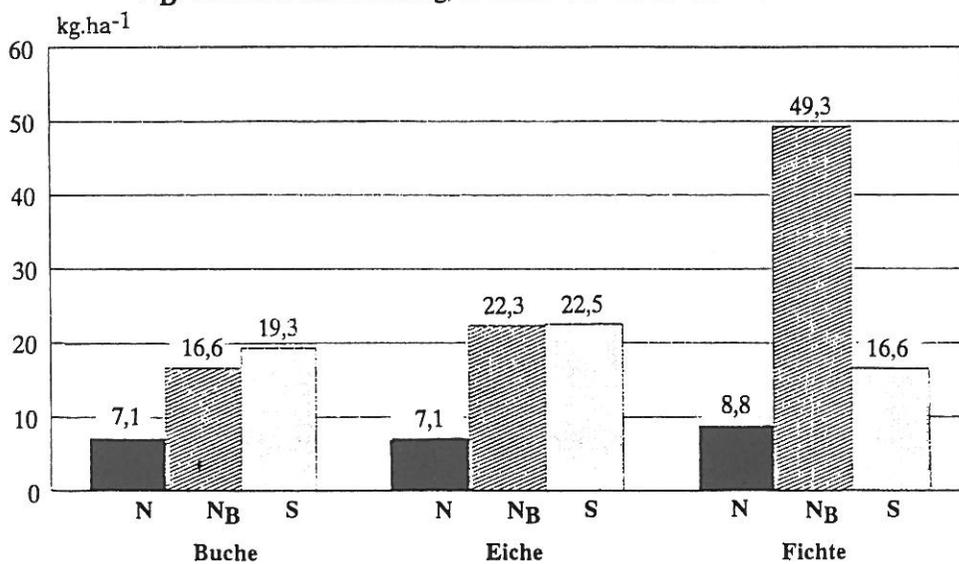


Abbildung 2

Jährlicher Ammonium-Stickstoffeintrag in Waldökosysteme. N: Freilandniederschlag; NB: Bestandesniederschlag; S: Streu- und Humussickerwasser

Die Ergebnisse des Streu- und Humuslysimeters zeigen, daß die Nitratkonzentrationen des Streu- und Humussickerwassers deutlich über den Ammoniumkonzentrationen liegen. Der höchste Stickstoffeintrag im Streu- und Humussickerwasser wurde im Eichenwald mit  $105,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  gemessen, darauf folgt der Fichtenwald mit  $83,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  und schließlich der Buchenwald mit  $80,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Die Stickstoffanreicherung im Streu- und Humuslysimeter im Vergleich zum Bestandesniederschlag war bei der Eiche 2,9fach, bei der Buche 3,2fach und bei der Fichte nur 1,1fach. Das bedeutet, daß bei der Buche und bei der Eiche ein intensiver Streu- und Humusabbau stattfindet. Bei der Fichte ist aber aufgrund einer gehemmten Humuszersetzung eine Humusakkumulation oder ein Denitrifikationsverlust zu beobachten.

Der Nitratanteil im Streu- und Humussickerwasser beträgt bei der Buche 76 %, bei der Eiche 78 % und bei der Fichte 80 %. Diese Ergebnisse weisen auf eine intensive Nitrifikation in der Streu- und Humusschicht hin.

#### *Bachwasserqualität*

Die wichtigsten luftbürtigen Säurebringer, das Sulfat, Nitrat und Ammonium weisen im Freilandniederschlag, Bestandsniederschlag, Streu- und Humussickerwasser und im Bachwasser sehr unterschiedliche Konzentrationshöhen auf.

Im Freilandniederschlag beträgt die Sulfatkonzentration im Durchschnitt 6 mg/l. Sie steigt im Bestandsniederschlag bei der Buche auf 19 mg/l, bei der Eiche auf 42 mg/l und bei der Fichte auf 65 mg/l. Im Streu- und Humussickerwasser erhöht sich die Sulfatkonzentration bei der Buche auf 66 mg/l, bei der Fichte auf 92 mg/l, und bei der Fichte auf 84 mg/l. Im Bachwasser geht sie aber wieder auf 28 mg/l zurück. Das Ergebnis zeigt, daß die Sulfat-Adsorptionskapazität der Bodenzone noch nicht erschöpft ist.

Die Veränderung der Konzentrationen des Nitrats und Ammoniums in den einzelnen Kompartimenten ist ähnlich wie beim Sulfat. Im Bachwasser ist die Konzentration im Durchschnitt bei Nitrat 2,9 mg/l und Ammonium 0,5 mg/l.

Ungünstige chemische Veränderungen, die von Luftverunreinigung und atmosphärischem Säureeintrag verursacht werden, treten in den Bächen nur dann auf, wenn die Ökosysteme in den zugehörigen Einzugsgebieten ihre Pufferkapazität verloren haben. Auf diese Weise kann die aktuelle Pufferfähigkeit der Einzugsgebiete durch die Ergebnisse von chemischen Analysen der Bachwasserqualität beurteilt werden. Für die Beurteilung des Versauerungszustandes können die folgenden Verhältniszahlen zwischen Ionen Äquivalenten in Betracht gezogen werden:

a.	$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	:	$(\text{HCO}_3^-)$	= 1,1
b.	$(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	:	$(\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-)$	= 6,8
c.	$(\text{HCO}_3^-)$	:	$(\text{SO}_4^{2-})$	= 6,7

Die Bachwasseranalysen zeigen, daß die Einzugsgebiete der seit 3 Jahren untersuchten 6 Bäche des Soproner Gebirges ein Hydrogen-Karbonat-Puffersystem haben. Es liegen nämlich die Verhältniszahlen von "a" beinahe bei 1 und von "b" und "c" wesentlich höher als 1.

### Folgerungen

Die Depositionsmeßergebnisse von Sopron zeigen, daß die gasförmigen Interzeptionsdeposition von Schwefel und Ammonium-Stickstoff in Waldbeständen von großer Bedeutung ist. Diese hohen Ammonium- und Nitrat-Stickstoffeinträge können zur Destabilisierung von Waldbeständen führen.

Die Ergebnisse von Messungen der Niederschlagsdeposition im Soproner Gebirge zeigen, daß einerseits die Waldökosysteme einer großen Säurebelastung bei gleichzeitig hohem Stickstoffeintrag unterliegen. Andererseits kann aber aufgrund der Analysenergebnisse vom Humussickerwasser und vom Bachwasser auf eine noch wirksame Säureabpufferung im Boden und Grundgestein geschlossen werden. Eine Erhöhung der Nitratkonzentration im Bachwasser ( $\varnothing$  2,9 mg/l) und eine Ammoniumtoxizität im Boden ( $\text{NH}_4/\text{NO}_3 < 1$ ,  $\text{NH}_4/\text{K} < 1$ ) im Streu- und Humussickerwasser und im Bachwasser, sind noch nicht zu beobachten.

### Literatur

- BALAZS, A. & FÜHRER, E., 1990. Niederschlagsdepositionsmessungen im Freiland und im Fichtenbestand in Ungarn, Sopron, und in Hessen, Witzenhausen. Expertentagung "Waldschadensforschung im östlichen Mitteleuropa und in Bayern", 13.-15. 11. 1990 in Schloß Neuburg bei Passau, GSF-Bericht 24/91. 388-393.
- BRECHTEL, H. M., 1989. Stoffeinträge in Waldökosysteme. Niederschlagsdeposition im Freiland und in Waldbeständen. DVWK Mitteilungen. 17. 27-52.
- FÜHRER E. et al., 1990. Szabadterületek és erdei ökoszisztémákban mért csapadékvíz összehasonlító kémiai elemzése. Előadás a "Környezetünk savasodása" című országos konferenciára.
- HORVÁTH L., 1989. A légköri savas ülepedés mértéke Magyarországon. OMSZ kisebb kiadványai. 65. 1-61.
- HORVÁTH, L. & FÜHRER, E., 1990. Acid deposition in forest ecosystems. Expertentagung "Waldschadensforschung im östlichen Mitteleuropa und in Bayern", 13.-15. 11. 1990 in Schloß Neuburg bei Passau, GSF-Bericht 24/91. 212-235.
- MOHR, H., 1990. Der Stickstoff - ein kritisches Element der Biosphäre. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Jahrgang 1990. 5. Abhandlung.

