

Aus dem Institut für Ackerbau und Pflanzenzucht  
der Agrarwissenschaftlichen Universität Keszthely  
Lehrstuhl für Botanik und Pflanzenphysiologie  
(Leiter des Lehrstuhles: Prof. Dr. I. Karpati)

## **Wirkung von Metallstäuben aus einem Eisenerzauf- bereitungswerk auf Wachstum, Entwicklung, einige physiologische Vorgänge und den Ertrag von Busch- bohnen „in situ“ und unter kontrollierten Bedingungen**

Von Gyula Borka und Christine Szinten

Mit 6 Tabellen

(Eingegangen am 28. Juni 1983)

### **E i n f ü h r u n g**

Die Immissionswirkung des Metallstaubes eines Erzaufbereitungswerkes wird von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Staubes, dem anatomischen Aufbau der Pflanzen, der Menge und Verteilung der Niederschläge maßgeblich beeinflusst.

Im allgemeinen verursachen metallhaltige Stäube in niedrigen Konzentrationen bei den Pflanzen keine akuten Schäden, sie rufen allerdings eine Depression des Wachstums, des Ertrages und der Leistung hervor. Durch sie verschiebt sich das Gleichgewicht der biochemischen Reaktionen, die Synthese lebenswichtiger Produkte wird gehemmt, giftige Stoffe reichern sich in den Organen der Pflanzen an. Der auf den Blättern abgelagerte Staub wirkt nachteilig auf den Strahlen-, Wärme- und Wasserhaushalt der Pflanzen, mit seiner großen Absorptionskapazität bindet er auch beachtliche Mengen an giftigen Gasen (Schwefeldioxid, Fluor, Kohlenmonoxid usw.). Mit den generativen Organen in Berührung kommend, schädigt er die Befruchtungsvorgänge.

1982 untersuchten wir die Wirkung des von einem 4–4,5 Millionen Tonnen Eisenerz aufarbeitenden Werkes in die Atmosphäre emittierten Flugstaubes auf Buschbohnen.

### **M a t e r i a l u n d M e t h o d e**

Im Verlaufe unserer Untersuchungen bestimmten wir zuerst „in situ“ bei Buschbohnen der Sorte „Budaer Konserve“ in verschiedenen Abschnitten der Vegetationsperiode das Ausmaß der Verunreinigung; den erhaltenen Wert simulierten wir dann bei den in Gefäßen bzw. auf Kleinparzellen gezogenen Pflanzen.

Bei der Feststellung der Pflanzenverunreinigung am natürlichen Standort erhielten wir mit der Kollodium-Häutchen-Methode von Helbing (1973) zuverlässige Ergebnisse. Bei Anwendung dieser Methode wird angenommen, daß in einer Kollodiumlösung gleicher Menge (2 ml) und Konzentration (5 %) der Trockensubstanzgehalt praktisch gleich ist. Daher erhält man das Gewicht der Verunreinigungsstoffe als Mehrgewicht, wenn man das auf einem verunreinigten Blatt bekannter Größe aus Kollodiumlösung gebildete Häutchen vorsichtig abzieht und trocknet und danach vom Gewicht desselben das eines ebensolchen „sauberen“ Häutchens abzieht. Von den untersuchten Blättern fertigten wir vor der Behandlung mit Kollodiumlösung mikroskopische Aufnahmen entsprechender Vergrößerung an. Diese leisteten nicht nur gute Dienste beim schnellen

visuellen Vergleich, sondern mit entsprechenden Hilfsmitteln kann man auch die Größe und die räumliche Verteilung der Staubteilchen feststellen.

Mit der künstlichen Bestäubung der Pflanzen begannen wir, wenn die Blätter eine Größe von 2–3 cm<sup>2</sup> erreicht hatten. Obwohl auf den oberirdischen Pflanzenteilen – in erster Linie auf den Blättern – in den verschiedenen Abschnitten der Vegetationszeit unterschiedliche Verunreinigungskonzentrationen zu finden waren, rechneten wir während der gesamten Entwicklungszeit nur mit einem Wert. Dies war möglich, weil die metallhaltigen Stäube nur bis zu einer bestimmten Konzentration auf den Pflanzen hafteten und hier eine schwer entfernbare bleibende Verunreinigung bildeten. Die für kürzere oder längere Zeit auftretende, diese Konzentration überschreitende Staubmenge wusch der Regen jedoch ab, danach verblieb erneut die vorherige bleibende Verunreinigung zurück. Wir konnten beobachten, daß feste Verunreinigungsstoffe in höherer Konzentration keine nachweisbaren Veränderungen der physiologischen Vorgänge hervorriefen, wenn sie nur kurze Zeit wirkten. So ergab sich die Möglichkeit, innerhalb eines Segmentes während der ganzen Vegetationsperiode mit einer Verunreinigungsmenge zu rechnen.

In den verschiedenen Abschnitten der Vegetationszeit bestimmten wir mit der Helbing-Methode den Grad der Verunreinigung von „stark“ verschmutzten, in der vorherrschenden Windrichtung unter der Rauchfahne wachsenden Pflanzen und von „weniger“ verschmutzten Pflanzen in den davon abweichenden Windrichtungen. Diese Mengen simulierten wir bei den unter kontrollierten Bedingungen gezogenen Pflanzen. Während der Vegetationszeit untersuchten wir laufend die phänologischen Veränderungen, die Wuchshöhe, den Wachstumsrhythmus, die Größe der Blattspreiten, die Ausbildung der generativen Organe, die Blüte und die Befruchtung, die Ertragsmenge und -güte.

Von den physiologischen Vorgängen bestimmten wir den Pigmentgehalt der Blätter mit dem Spektrofotometer (Bruisma 1963), die Atmungsintensität mit dem Frevil-Gerät (Frenyó-Kovács 1976), die Aktivität der Katalase mit der Methode von Frenyó (1962), den Gehalt an löslichem Eiweiß mit der Folin-Methode (Fletscher and Osborne 1966). Den Wasserhaushalt der Pflanzen untersuchten wir gravimetrisch durch Auswiegen der Gefäße.

### Ergebnisse und Diskussion

Als Auswirkung des aus dem Erzaufbereitungswerk stammenden auf die Blätter gebrachten Flugstaubes verringerte sich die Wuchshöhe der Buschbohnen (Tab. 1).

Tabelle 1. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf die Wuchshöhe und den Gehalt an löslichem Eiweiß von Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Bedingungen

	Behandlung	Gefäß		Parzelle		„in situ“	
		Wert	%	Wert	%	Wert	%
Höhe [cm] <sup>1</sup>	Kontrolle	51,0	100,0	55,2	100,0	53,6	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	50,1	98,2	54,6	99,0	52,8	98,5
	10 g/m <sup>2</sup>	49,2	96,5	53,9	97,7	51,7	96,5
Gehalt an löslichem Eiweiß [mg/g] <sup>2</sup>	Kontrolle	369,1	100,0	391,0	100,0	375,0	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	369,5	100,1	391,0	100,0	378,0	100,8
	10 g/m <sup>2</sup>	365,4	99,0	389,0	99,5	369,0	98,4

<sup>1</sup> Durchschnitt von 100 Pflanzen

<sup>2</sup> Durchschnitt von 4 Wiederholungen

Bei Bestäubung verlangsamte sich der Wachstumsrhythmus, was in erster Linie die meristematischen Gewebe betraf. Die jungen Blattspreiten waren besonders bis zu einem Alter von 13–15 Tagen gegenüber der Verunreinigung empfindlich. Während dieser Zeit sank das Wachstum um 22 % im Vergleich zur Kontrolle, dies glich sich später (im Alter von 20–30 Tagen) etwas aus.

Wenn wir die Bestäubung erstmals auf 15 Tage alten Blättern durchführten, konnten wir kein deutliches Zurückbleiben des Wachstums feststellen.

Bei der Bestäubung blieb besonders das Längenwachstum der Blätter zurück, wodurch sich die Assimilationsfläche entsprechend verringerte. Auch die Anzahl der Blätter war geringer. Als Ergebnis dessen wurde die Gesamtblattfläche kleiner.

Der aus dem Erzaufbereitungswerk stammende Staub rief bei allen Eigenschaften und physiologischen Leistungen der Buschbohnen vielfältige und komplizierte Wirkungen hervor. So sank zum Beispiel der Pigmentgehalt der bestäubten Pflanzen wesentlich (Tab. 2). Die Abbauprozesse verstärkten sich, die Atmungsintensität und die Katalase-Aktivität der bestäubten Blätter war während der gesamten Vegetationsperiode intensiver (Tab. 3 und 4), was ebenfalls darauf hinweist, daß die grundlegenden Stoffwechselforgänge gestört waren. Als Ergebnis dessen sank die Nettoproduktion erheblich.

Die Transpiration der Pflanzen verringerte sich auf Grund der Staubverunreinigung schon zu Beginn der Entwicklung, dies prägte sich mit fortschreitender Vegetationsperiode weiter aus (Tab. 5).

Der Gehalt der Bohnenblätter an löslichem Eiweiß veränderte sich im Vergleich zur Kontrolle weder bei „geringer“ (5 g/m<sup>2</sup>) noch bei „starker“ (10 g/m<sup>2</sup>) Verschmutzung (Tab. 1).

Der infolge der Störung der Stoffwechselforgänge aufgetretene unsichtbare Schaden beeinflusste auch die Ausbildung der generativen Organe. Besonders verringerte sich die Zahl der Hülsen pro Pflanze, aber auch die Länge derselben verkürzte sich, und es waren auch weniger Samen darin.

Tabelle 2. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf den Gesamtpigmentgehalt von Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Verhältnissen<sup>1</sup>

	Behandlung	Anfang		Vegetationszeit		Ende	
		Wert	%	Wert	%	Wert	%
Gefäß	Kontrolle	4,43	100,0	5,25	100,0	4,81	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	4,39	99,1	5,25	100,0	4,63	96,3
	10 g/m <sup>2</sup>	4,26	96,2	5,14	97,9	4,56	94,8
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,055 <sup>2</sup>	0,8	0,065 <sup>1</sup>	1,2	0,011 <sup>2</sup>	0,4
Parzelle	Kontrolle	4,63	100,0	5,52	100,0	5,02	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	4,55	98,3	5,39	97,6	4,86	96,8
	10 g/m <sup>2</sup>	4,42	96,5	5,18	93,8	4,67	93,0
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,093	2,0	0,035 <sup>2</sup>	0,6	0,039 <sup>2</sup>	0,8
„in situ“	Kontrolle	4,58	100,0	5,41	100,0	5,02	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	4,51	98,5	5,31	98,2	4,89	97,4
	10 g/m <sup>2</sup>	4,38	95,7	5,19	95,9	4,73	94,2
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,035	0,8	0,025 <sup>2</sup>	0,5	0,055 <sup>3</sup>	1,1

<sup>1</sup> mg/g TG

<sup>2</sup> 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau

<sup>3</sup> 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau

Tabelle 3. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf die Atmungsintensität von Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Verhältnissen<sup>1</sup>

	Behandlung	Anfang		Vegetationszeit		Ende	
		Wert	%	Wert	%	Wert	%
Gefäß	Kontrolle	0,48	100,0	0,68	100,0	0,56	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,51	106,3	0,73	107,4	0,60	107,1
	10 g/m <sup>2</sup>	0,54	113,3	0,76	111,2	0,64	114,3
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,04 <sup>3</sup>	8,3	0,04 <sup>4</sup>	5,9	0,03 <sup>4</sup>	5,4
Parzelle	Kontrolle	0,45	100,0	0,62	100,0	0,51	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,46	102,2	0,65	104,8	0,54	105,9
	10 g/m <sup>2</sup>	0,50	111,1	0,68	109,7	0,58	113,7
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,025 <sup>4</sup>	5,6	0,05 <sup>2</sup>	8,1	0,01 <sup>5</sup>	2,0
„in situ“	Kontrolle	0,46	100,0	0,65	100,0	0,54	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,48	104,3	0,69	106,2	0,57	105,6
	10 g/m <sup>2</sup>	0,51	110,9	0,73	112,3	0,60	111,1
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,01 <sup>5</sup>	2,2	0,01 <sup>5</sup>	1,5	0,03 <sup>3</sup>	5,5

<sup>1</sup> µg CO<sub>2</sub> [min] 0,5 cm<sup>2</sup><sup>2</sup> 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau    <sup>3</sup> 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau    <sup>4</sup> 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau    <sup>5</sup> 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges NiveauTabelle 4. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf die Katalaseaktivität von Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Verhältnissen<sup>1</sup>

	Behandlung	Anfang		Vegetationszeit		Ende	
		Wert	%	Wert	%	Wert	%
Gefäß	Kontrolle	0,26	100,0	0,30	100,0	0,27	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,27	103,8	0,32	106,7	0,29	107,4
	10 g/m <sup>2</sup>	0,30	115,4	0,36	120,0	0,31	114,8
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,02 <sup>2</sup>	7,7	0,02 <sup>2</sup>	6,7	0,03 <sup>3</sup>	11,1
Parzelle	Kontrolle	0,28	100,0	0,33	100,0	0,29	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,29	103,6	0,33	100,0	0,29	100,0
	10 g/m <sup>2</sup>	0,31	110,7	0,34	103,0	0,32	110,3
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,02 <sup>2</sup>	7,1	—	—	0,01 <sup>4</sup>	3,4
„in situ“	Kontrolle	0,29	100,0	0,33	100,0	0,28	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	0,30	103,4	0,35	106,1	0,30	107,1
	10 g/m <sup>2</sup>	0,33	110,8	0,36	109,1	0,31	110,7
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,02 <sup>2</sup>	6,9	0,02 <sup>2</sup>	6,1	0,02 <sup>3</sup>	7,1

<sup>1</sup> ml O<sub>2</sub> [2 min] 20 Blattringe mit 5 mm φ<sup>2</sup> 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau    <sup>3</sup> 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau    <sup>4</sup> 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau

Trotzdem fällt der Zeitpunkt, zu dem die Bohnen besonders empfindlich gegenüber Erzstaub reagierten, nicht auf die Blütezeit. Die ungünstige Ausbildung der generativen Teile (Sinken der Hülsenzahl und -länge, Samenzahl) kam nicht nur durch Störung der Befruchtung zustande. Bei der Ausbildung der generativen Organe waren

die Umstände auch nicht nachteiliger, wenn wir nicht die Pflanzen, sondern nur die generativen Teile bestaubten, oder wenn wir die generativen Organe nicht, sondern nur die übrigen Teile der Pflanze bestaubten. So änderten sich bei Bestäubung der Blüten und Hülsen nicht nur deren Stoffwechselforgänge, sondern auch die der sich in ihrer Nähe befindlichen Blätter. Die Ergebnisse weisen darauf hin, daß sich ein „versteckter Schaden“ ausgebildet hat. Bei mit Zementflugstaub bestaubten Buschbohnen konnten wir ähnliches beobachten.

Tabelle 5. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf die Evapotranspiration von Buschbohnen unter kontrollierten Bedingungen<sup>1</sup>

Behandlung	Anfang		Vegetationszeit		Ende	
	Wert	‰	Wert	‰	Wert	‰
Kontrolle	180,5	100,0	205,8	100,0	93,4	100,0
5 g/m <sup>2</sup>	171,4	95,0	193,4	94,0	87,0	93,1
10 g/m <sup>2</sup>	162,8	90,2	182,7	88,8	81,2	86,9

<sup>1</sup> g Gewichtsverlust (Gefäß) 24 h.

Tabelle 6. Wirkung des aus einem Erzaufbereitungswerk stammenden Metallstaubes auf den Ertrag und die Ertrags Elemente von Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Bedingungen

	Behandlung	Gefäß		Parzelle		„in situ“	
		Wert	‰	Wert	‰	Wert	‰
Ertrag g/Gefäß kg/Parzelle	Kontrolle	19,50	100,0	4,330	100,0	4,185	100,0
	5 g/m <sup>2</sup>	18,86	96,7	4,176	96,4	4,040	96,5
	10 g/m <sup>2</sup>	18,29	93,8	4,070	94,0	3,975	85,0
	SD 5 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,60 <sup>3</sup>	3,1	0,077 <sup>4</sup>	1,8	0,046 <sup>4</sup>	1,1
Hülsen/Pflanzen <sup>1</sup> [Stück]	Kontrolle	2,75	100,0	2,82	100,0	—	—
	5 g/m <sup>2</sup>	2,66	100,4	2,73	96,8	—	—
	10 g/m <sup>2</sup>	2,59	96,7	2,66	94,3	—	—
Länge der Hülsen <sup>2</sup> [cm]	Kontrolle	7,05	100,0	7,17	100,0	—	—
	5 g/m <sup>2</sup>	7,01	99,4	7,08	98,7	—	—
	10 g/m <sup>2</sup>	6,80	96,5	7,02	97,9	—	—
Samen/Hülse <sup>2</sup> [Stück]	Kontrolle	4,63	100,0	4,75	100,0	—	—
	5 g/m <sup>2</sup>	4,55	98,3	4,70	98,9	—	—
	10 g/m <sup>2</sup>	4,51	97,4	4,62	97,3	—	—

<sup>1</sup> Durchschnitt von 20 Pflanzen

<sup>2</sup> Durchschnitt von 20 Hülsen

<sup>3</sup> 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau

<sup>4</sup> 0,1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>iges Niveau

### Zusammenfassung

1982 untersuchten wir die Wirkung des von einem 4–4,5 Millionen Tonnen Eisenerz verarbeitenden Werkes in die Atmosphäre emittierten Flugstaubes auf Buschbohnen „in situ“ und unter kontrollierten Bedingungen.

Das Ausmaß der Pflanzenverunreinigung stellten wir mit der Helbing-Methode fest. In den verschiedenen Abschnitten der Vegetationszeit bestimmten wir in der vorherrschenden Windrichtung unter der Rauchfahne und in den davon abweichenden Richtungen das Maß der Verunreinigung, welches wir bei den unter kontrollierten Bedingungen gezogenen Pflanzen künstlich simulierten.

Im Laufe der Untersuchungen stellten wir fest, daß durch Einwirkung des aus dem Erzaufbereitungswerk stammenden Flugstaubes die Wuchshöhe der Pflanzen sinkt, sich der Wachstumsrhythmus der Blätter verlangsamt, was besonders im ersten Abschnitt der Entwicklung deutlich wurde.

Der Flugstaub rief bei den Bohnen verschiedene und komplizierte Wirkungen bei allen Eigenschaften und physiologischen Leistungen hervor: der Pigmentgehalt der Pflanzen sank, die Atmungsintensität und die Katalase-Aktivität der Blätter erhöhten sich. Als Ergebnis dessen verringert sich die Nettoproduktion.

Der Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt der bestaubten Pflanzen gestaltete sich ungünstig.

Der auf Grund der Störungen der Stoffwechselforgänge entstandene unsichtbare Schaden beeinflusste auch die Ausbildung der generativen Organe. Die Zahl der Hülsen sank, die Hülsen wurden kleiner, und die Samenanzahl in ihnen verringerte sich.

Infolge der Störung der Stoffwechselforgänge und der nachteiligen Entwicklung der generativen Organe sanken Ertragsmenge und -güte bedeutend.

### Schrifttum

- Bruisma, J.: The Quantitative Analysis of Chlorophylls in Plant Extracts. *Photochem. and Photobiol.* 2 (1963) 231–243.
- Helbing, C. D.: Staubimmissionen im Bonner Stadtgebiet und deren artspezifische Ablagerungen auf Blättern ausgewählter Gehölze. Inaugural-Dissertation, Bonn 1973.
- Fletcher, R. A., and Osborne, D. J.: Gibberilline as Regulator of Protein and Ribonucleic Acid Synthesis During Senescence in Leaf Cells of *Taraxacum officinale*. *Canadian J. of Bot.* 44 (1966) 739–745.
- Frenyó, V.: Neues Verfahren zur Feststellung der Katalase-Aktivität von Pflanzen im freien Feld. *Annal. Univ. Sci., Budapest* 5 (1962) 131–136.
- Frenyó, V., és Kovács, G.: Talajminták légzésének kísérletes vizsgálata. *Bot. Közlem.* 63 (1976) No. 4, 241–248.

Dr. Gyula Borka und Dr. Christine Szinten  
Agrarwissenschaftliche Universität Keszthely  
Lehrstuhl für Botanik und Pflanzenphysiologie  
H - 8361 Keszthely  
Deak Ferenc utca 16  
VR Ungarn