

GRENZWERTE VON AUS VERSCHIEDENEN EMISSIONSQUELLEN STAMMENDEN STÄUBEN FÜR DIE ENTWICKLUNG AUSGEWÄHLTER ARTEN VON WALDBÄUMEN

Von

GRESZTA J., BRANIEWSKI St., NOSEK A. und SUCHANEK R.
Institut für Botanik der Polnischen Akademie der Wissenschaften
Kraków

Z U S A M M E N F A S S U N G

Die vorliegende Studie befaßt sich mit der Erfassung des Effektes von Stäuben aus den Elektrofiltern von sechs verschiedenen Industrierwerken auf die Entwicklung von Jungpflanzen ausgewählter Waldbaumarten. Erfasst wurden die chemische Zusammensetzung der Stäube, ihre Wirkung auf den Boden, das Wachstum der Pflanzen und deren Resistenz. Die Versuche sollten auch zur Ermittlung von Grenzwerten beitragen.

Versuchsbeete (150 x 200 cm) wurden unter gründlichem Durchmischen 30 cm tief mit dem jeweils zu untersuchenden Staub zu Konzentrationen von 1, 3, 5, 8 und 10 % versetzt, daneben blieben Kontrollflächen ohne Staubzusatz. Auf jedes Beet kamen 30 zweijährige Setzlinge von *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Picea abies*, *Larix europaea* und *Alnus glutinosa*. Erfasst wurden Bewurzelung, die Fähigkeit zum Überleben, die Blattentwicklung, Nekrosen usw.

Es konnte eine Resistenzreihe aufgestellt werden, beginnend mit *Pinus sylvestris*, weiter, in absteigender Reihenfolge, *Pinus nigra*, *Alnus glutinosa*, *Larix europaea* zur empfindlichsten Holzart *Picea abies*.

Die untersuchten Stäube können nach fallender Toxizität wie folgt angeordnet werden: Staub aus dem Aluminiumwerk, aus dem Kraftwerk, aus der Zinkhütte (Cd-hältiger Staub), Zementwerk (Staub aus den Drehöfen), aus der Eisenhütte (Hochöfen) und aus dem Zementwerk (Rohstoffmühlen), schließlich Staub aus der Kupferhütte. Die Versuche haben eine unterschiedliche Empfindlichkeit der Jungpflanzen gegenüber den eingebrachten Stäuben ergeben, besonders gilt dies für solche geringerer Toxizität; gegenüber hochtoxischen Stäuben (aus der Aluminiumhütte sowie Cd-hältiger Staub) erwiesen sich alle Versuchspflanzen empfindlich, Zusatz von 1% Staub reichte bereits aus, um 50% der Jungpflanzen zum Absterben zu bringen. In diesem Falle ist es schwierig, Resistenzunterschiede festzustellen.

¹⁾ Vorgetragen v. K. STEFAN (FBVA Wien)

Z W E C K U N D M E T H O D E D E R A R B E I T

Die vorgelegten Untersuchungen sollten den Grad der schädigenden Wirkungen der Stäube aus den häufigsten Emissionsquellen auf den Boden und dadurch bedingte Verluste des Höhenzuwachses an fünf Baumarten feststellen. Daraus sollte auf Schwellenwerte geschlossen werden, oberhalb derer die Resistenz der untersuchten Baumarten zusammenbricht. Besonderes Augenmerk wurde auf die überall im Staub enthaltenen Schwermetalle, vor allem auf das als sehr toxisch bekannte Zink, Blei, Kupfer und Kadmium gerichtet.

Zu diesem Zweck wurden 60 Versuchsflächen 150 x 200 cm angelegt. In diese wurde Staub aus den Elektrofiltern folgender Industriebetriebe eingebracht: Kupferhütte, Zinkhütte, Zementwerk, Kraftwerk, Aluminiumhütte und Eisenhütte.

Der für die Untersuchungen bestimmte Staub wurde mit dem Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm gründlich vermengt. Man erhielt so Versuchsflächen, deren Böden bis 30 cm Tiefe 1, 3, 5, 8 und 10 % Staub enthielten. Für jede Staubgattung wurde eine Kontrollfläche angelegt (0 - Probe), auf die die gewonnenen Ergebnisse bezogen wurden.

Auf die solcherart mit Staub versetzten Flächen wurden jeweils 30 zweijährige Setzlinge von folgenden Baumarten ausgesetzt: Kiefer (*Pinus sylvestris*), Fichte (*Picea abies*), Schwarzkiefer (*Pinus nigra*), Lärche (*Larix decidua*) und Schwarzerle (*Alnus glutinosa*).

Die Bodenanalysen wurden nach den üblichen Methoden der Bodenkunde durchgeführt: Der Schwermetallgehalt wurde nach der Methode ASA mit dem Spektralphotometer Varian - Techtron 1000 bestimmt. Nach den gleichen Methoden wurde auch der Kationengehalt der wässrigen Auszüge der Stäube ermittelt.

Im Laufe der Vegetationsperiode wurde die Entwicklung der Setzlinge und insbesondere deren Absterben beobachtet. Am Ende der Vegetationsperiode wurde der Höhenzuwachs der Setzlinge bestimmt, wobei nur solche berücksichtigt wurden, die am Leben geblieben sind.

E R G E B N I S S E D E R U N T E R S U C H U N G E N

C h e m i s c h e Z u s a m m e n s e t z u n g d e s S t a u b e s

Je nach Emissionsquelle dominieren in der chemischen Zusammensetzung der Stäube Verbindungen, die den Hauptbestandteil des bearbeiteten Rohstoffes oder der Nebenstoffe (z.B. Schmelzflußmittel, die während der technologischen Prozesse in die Öfen eingeführt werden) bilden. In den analysierten Stäuben dominieren Metalloxide, Silikate und Kalziumverbindungen (Tabelle 1).

T a b e l l e 1
Die chemische Zusammensetzung der für die Untersuchungen benutzten Stäube (%)

Herkunft der Stäube	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	ZnO	CuO	PbO	CdO
Kraftwerk	0,294	0,532	3,150	1,710	11,800	0,101	45,20	0,702	0,126	0,181	0,007
Eisenhütte (Hochöfen)	0,349	0,927	7,550	1,650	33,800	1,610	12,48	0,764	0,04	0,058	0,001
Kupferhütte (Kupferschlamm)	0,078	0,031	0,063	0,068	0,275	0,012	14,41	4,800	0,797	8,090	0,091
Eisenhütte (Sinteranlage)	0,104	0,119	7,000	1,520	62,200	1,090	10,15	0,031	0,006	0,030	0,013
Kupferhütte (Kupferstaub)	0,150	1,300	5,760	2,980	3,080	0,120	17,15	1,390	14,600	5,020	0,085
Zinkhütte (Cd-Pb-Zn-Staub)	3,480	0,160	0,200	0,050	0,183	0,040	0,68	60,700	0,239	9,340	2,500
Zinkhütte (Pb-Zn-Staub)	0,149	0,446	7,740	2,980	8,170	0,476	3,79	40,650	0,010	5,360	0,368
Zementfabrik (Drehrohrofen)	0,130	0,660	45,780	0,820	0,570	0,070	2,12	3,200	0,120	4,850	0,260
Zementfabrik (Rotationsmühlen)	0,130	0,280	55,210	1,930	1,660	0,260	1,07	1,16	0,280	0,250	0,050
Aluminiumhütte	8,220	0,060	0,750	0,180	1,460	0,010	53,19	1,460	2,090	3,920	0,090

Schwefelverbindungen treten gewöhnlich als Kalziumsulfat (CaSO_4), in Verbindung mit Schwermetallen als ZnSO_4 , bzw. als Sulfid, z.B. PbS , ZnS , FeS u.a. auf. Das im Staub vorkommende Zinksulfat kann eine Versauerung des Bodens verursachen (KRÜGER 1951). Aus Kraftwerkstäuben, die Natrium oder Kalziumsulfid enthalten, kann durch Hydrolyse H_2S entstehen, das auf die Pflanzen toxisch wirkt (HASELHOFF 1932). In kleineren Mengen sind Natriumverbindungen (hauptsächlich NaCl) und Kaliumverbindungen (vornehmlich KCl) vertreten, die infolge ihrer Löslichkeit unter dem Einfluß der Niederschläge leicht in die Bodenlösung übergehen und dadurch auf die Pflanzen toxisch wirken können. Dies bestätigen die Daten über die Ionenzusammensetzung wässriger Extrakte der einzelnen Staubarten, die durch einstündiges Ausschütteln von 1 g Staub in 1 l aqua dest. erhalten wurden (Tabelle 2). Bestimmungen der Bodenreaktion haben erwiesen, daß unter 9 analysierten Stäuben lediglich der Blei - Kupfer -Staub eine schwach saure Reaktion ergibt, die übrigen Staubarten hingegen bewirken eine schwach bis stark alkalische Reaktion. Die höchsten pH - Werte finden sich in Aufschwemmungen aus Kraftwerkstaub (ca. pH 9). Die Leitfähigkeitswerte der Wasserauszüge der Stäube (die den Grad der Versalzung anzeigen) schwanken in den Grenzen 25 - 6880 nS, was auf stark differente chemische Eigenschaften hinweist. Auf Grund der Analysen der Ionenzusammensetzung der Wasser-

T a b e l l e 2

Chemische Eigenschaften und Schwermetallgehalte der Böden

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Herkunft der Stäube	Staub- Dosis %	pH		P_2O_5 K_2O		Gesamt- N	Zn	Pb	Cu	Cd
		H_2O	KCl	mg/100 g		%	ppm			
Kraftwerk	0	6,0	4,6	3,9	1,8	0,084	50	50	5	0,5
	1	7,6	6,7	4,7	2,2	0,114	76	65	20	1,0
	3	7,9	7,4	11,4	2,0	0,109	207	115	25	1,0
	5	7,9	7,2	12,3	2,5	0,108	210	125	31	1,7
	8	8,0	7,1	16,1	4,7	0,117	221	165	40	6,0
	10	8,2	7,2	19,7	3,7	0,120	153	100	275	7,5
Eisenhütte (Hochöfen)	0	5,7	4,6	3,0	2,5	0,080	80	85	6	Spur
	1	7,4	7,1	8,8	7,9	0,075	183	85	17	"
	3	7,5	7,2	8,4	7,8	0,092	296	95	18	2,0
	5	7,7	7,4	9,2	11,0	0,103	740	115	17	6,0
	8	8,1	7,7	9,6	19,0	0,106	865	140	17	2,0
	10	8,0	7,9	9,2	25,7	0,120	1315	260	22	10,0
Eisenhütte (Sinter- anlage)	0	5,7	4,7	4,7	1,8	0,084	50	50	50	Spur
	1	6,2	5,8	5,5	2,8	0,274	76	75	25	10,0
	3	7,2	7,0	6,1	3,7	0,236	93	75	27	1,0
	5	7,5	7,3	10,1	3,9	0,260	95	75	28	2,0
	8	8,3	7,4	9,6	7,3	0,103	94	75	27	2,0
	10	8,6	7,5	9,6	7,9	0,084	153	95	50	2,0

Fortsetzung nächste Seite

Tabelle 2 (Fortsetzung)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kupferhütte (Kupfer- schlamm)	0	5,6	4,8	2,1	6,1	0,094	56	75	5	0,5
	1	4,8	5,0	2,2	6,8	0,195	117	860	54	1,0
	3	3,9	3,5	-	-	-	-	-	-	-
	5	3,8	3,5	-	-	-	-	-	-	-
	8	3,8	3,5	-	-	-	-	-	-	-
	10	3,7	3,5	3,0	8,3	0,134	265	346	102	3,5
Kupferhütte (Pb-Cu- Staub)	0	5,7	5,5	3,2	3,0	0,137	60	80	6	0,5
	1	4,8	4,3	3,6	3,5	0,196	138	278	410	2,2
	3	5,0	4,9	3,1	4,1	0,131	178	368	999	3,2
	5	5,7	7,0	2,3	4,0	0,150	348	738	1899	5,1
	8	5,7	5,0	2,0	5,4	0,140	418	901	2620	8,1
	10	5,6	5,2	2,1	10,0	0,108	996	2201	3850	9,2
Zinkhütte (Cd-Pb-Zn- Staub)	0	6,0	5,5	3,2	3,0	0,137	60	80	6	0,2
	1	7,4	7,0	2,9	2,7	0,135	1148	1645	53	143,0
	3	7,4	7,0	1,5	2,7	0,140	3448	4240	90	343,0
	5	7,4	7,0	1,3	2,7	0,131	12740	4890	99	427,0
	8	7,4	7,0	6,6	2,9	0,151	26990	4990	114	650,0
	10	7,4	7,0	0,2	2,9	0,165	28490	8040	129	1125,0
Zinkhütte (Pb-Zn- Staub)	0	5,8	4,5	1,8	6,6	0,155	7	72	5	0,5
	1	7,0	6,6	4,6	6,1	0,149	865	239	9	9,2
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	7,5	6,6	4,4	14,0	0,096	2880	3540	18	146,0
Zementwerk (Rohstoff- mühlen)	0	5,7	5,1	2,1	2,6	0,084	66	77	5	1,0
	1	7,9	7,3	2,0	5,2	0,274	58	70	6	1,0
	3	7,8	7,1	1,9	5,5	0,230	69	52	6	2,0
	5	8,0	7,4	1,9	10,9	0,260	76	55	9	2,5
	8	8,1	7,6	1,0	12,8	0,201	72	78	7	2,0
	10	7,9	7,6	1,0	12,8	0,201	72	78	7	2,0
Zementwerk (Drehöfen)	0	5,6	4,6	2,3	2,8	0,094	50	78	5	0,5
	1	7,6	7,1	7,5	8,3	0,213	57	75	8	1,5
	3	7,9	7,4	8,4	5,4	0,220	64	76	9	2,0
	5	8,0	7,7	8,4	9,9	0,228	59	71	9	1,0
	8	8,3	7,8	8,4	8,0	0,224	66	76	6	1,0
	10	8,2	7,9	11,4	11,8	0,240	65	77	9	1,5
Aluminium- hütte	0	6,0	5,1	3,4	3,8	0,086	58	63	6	0,5
	1	6,3	5,5	5,5	6,7	0,098	70	60	15	0,5
	3	6,7	5,6	6,5	4,5	0,110	60	80	16	2,0
	5	6,7	5,6	8,3	7,0	0,113	85	192	44	4,0
	8	6,7	5,6	8,4	9,4	0,108	92	104	54	3,5
	10	7,3	5,7	5,8	9,9	0,110	95	153	76	2,5

auszüge ergibt sich, daß von den Kationen Ca^{+++} und Na^+ und unter den Anionen SO_4 die höchsten Konzentrationen erreichen.

Das Na^+/K^+ - Verhältnis schwankt in einem Bereich 0,13 - 86, 66. Solche Werte haben in natürlichen Böden, auch nicht in extremen Fällen, wie in ausgesprochenen Salzböden, keine Entsprechung. Das niedrigste Na^+/K^+ - Verhältnis findet sich im Staub aus den Aluminium- und Zinkhütten (Cd, Pb und Zn-Staub) mit Werten zwischen 30, 76 und 86, 66.

Unabhängig von den chemischen Veränderungen im Boden verursachen Stäube mit viel SiO_2 eine Verdichtung, Versandung und Verschlammung der oberen Bodenschicht (WENTZEL 1959, GARBER 1967). Dies kommt besonders oft bei Stäuben aus Kraftwerken und aus dem Zementwerk vor (SCHEFFER, PRZENECK und VINS 1961 CAJA 1962, KELLER 1964).

W i r k u n g d e r S t a u b a r t e n a u f d e n B o d e n

Die Einbringung der Stäube in den Boden verursachte eine Änderung der Bodenreaktion und des Gehaltes an Pflanzennährstoffen. Der Gehalt an Pflanzennährstoffen stieg proportional zur Staubdosis im Boden. Die pH-Werte der mit Kupferschlamm und mit Blei-Kupfer-Stäuben versetzten Böden waren nicht wesentlich niedriger als vor dem Staubzusatz. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Reaktion der Stäube und der Böden, mit denen die Versuche durchgeführt wurden, annähernd übereinstimmen.

In den übrigen Fällen verschob sich die Bodenreaktion nach Zusatz der Stäube deutlich um 0,5 bis 2,5 pH-Einheiten gegen den alkalischen Bereich. Der Boden - pH stieg also von pH 5,8 bis 7,0, in extremen Fällen war der Anstieg noch größer, bei Staub aus dem Agglomerations-(Sinter-)werk bis pH = 8,6 (gemessen in H_2O). Eine verhältnismäßig geringe pH - Zunahme wurde mit Staub aus dem Sinterwerk und Zementwerk festgestellt (Tab.3).

Unter dem Einfluß der zugesetzten Stäube veränderte sich auch der Gehalt an den Nahrungsgrundbestandteilen N, K_2O , P_2O_5 . Der Gehalt an P_2O_5 stieg am stärksten nach Zusatz von Staub aus dem Zementwerk und auch bei Staub aus dem Kraftwerk. Mit Kupferstaub änderte sich der Gehalt nicht. Die übrigen Stäube erhöhten den Gehalt an verfügbarem P_2O_5 um 50 bis 300 % (Tabelle 2). Die Analysen ergaben nach Staubeinwirkung auch einen erheblichen Anstieg an K_2O im Boden. Mit Staub aus der Eisenhütte stieg der K_2O - Gehalt im Boden auf das Zehnfache an, mit Staub aus dem Zementwerk auf das Fünffache und mit den übrigen Stäuben um 50 bis 300 %.

Die Mengen an P_2O_5 , die mit dem Staub dem Boden zugeführt wurden, überstiegen nicht 19,7 mg/100 g Boden, bei K_2O nicht 25,7 mg/100 g Boden. Dies entspricht dem Gehalt von natürlichen mittelreichen Böden an diesen Bestandteilen (NOWOSIELSKI 1974). Daher darf man die Möglichkeit der Anreicherung des Bodens an Nahrungsbestandteilen durch Niederschlag des aus den Industrieemissionen stammenden Staubes nicht allzusehr überschätzen.

Eine Folge der Staubeinwirkung war vor allem der Anstieg des Gehaltes der Schwermetalle Cd, Cu, Pb und Zn im Boden. Der geringste Anstieg des Zn - Gehaltes wurde in Böden mit Staub

aus dem Zementwerk, aus der Aluminium- und der Eisenhütte, mit Staub aus dem Sinterwerk, aus dem Elektrizitätswerk und mit Blei-Kupfer-Schlamm (von 60 bis 265 ppm) festgestellt.

Ein mittelstarker Anstieg des Zinkgehaltes wurde nach Zusatz von Stäuben aus den Eisenhütten (aus Hochöfen) und aus Kupferhütten (Blei - Kupferstaub) im Ausmaß von 60 - 1315 ppm festgestellt. Am stärksten stieg der Zinkgehalt nach Zusatz von Stäuben aus der Zinkhütte (Kadmium - Blei - Zink - Staub) an, er stieg von 60 pp auf der Kontrollfläche bis 28490 ppm nach Zusatz der höchsten Staubdosis (= 10 %).

Analog stieg der Bleigehalt in den Böden. Am geringsten war der Anstieg des Bleigehaltes (50 bis 133 ppm) mit Stäuben aus dem Zementwerk, der Sinteranlage (Eisenhütte), dem Elektrizitätswerk und auch des Staubes aus dem Aluminiumwerk. Mittlerer Anstieg im Ausmaß von 75 bis 346 ppm scheint auf den Flächen nach Einwirkung des Staubes aus Hochöfen (Eisenhütte) wie auch der Kupferhütte (Blei-Kupfer-Schlamm) auf. Der höchste Bleigehalt im Boden stellt sich nach Zusatz des Staubes aus den Kupfer- und Zinkhütten ein, mit 10%igem Staubzusatz erreichte der Bleigehalt im Boden 8040 ppm (Tabelle 2).

Der Kupfergehalt auf den Kontrollflächen schwankt zwischen 5 und 8 ppm. Die geringsten Anstiege des Kupfergehaltes (bis 50 ppm) wurden in Böden mit Staub aus dem Zementwerk, aus den Eisen- und Zinkhütten gefunden. Mit Staub aus Kraftwerken, wie auch mit Cd-Pb-Zn-Staub war der Anstieg größer (von 6 auf 275 ppm). Den höchsten Anstieg verursachte Staub aus der Kupferhütte, in diesem Falle erreichte der Kupfergehalt im Boden mit 10 % Staubzusatz 3850 ppm.

Im Hinblick auf die große Toxizität ist der Kadmiumgehalt der Böden besonders beachtenswert. Auf den Kontrollflächen schwankte er von Spurenwerten bis 3,5 ppm (Tab.2). Bis 10 ppm stieg der Kadmiumgehalt mit Staub aus den Hochöfen der Eisenhütte, aus dem Kraftwerk und auch mit Staub aus der Kupferhütte. Den höchsten Kadmiumgehalt erreichte der mit Staub aus der Zinkhütte (Cd-Pb-Zn - Staub) kontaminierte Boden, hier stieg der Kadmiumgehalt mit der höchsten Staubdosis (10 %) auf 1125 an.

E i n f l u s s d e s S t a u b e s a u f d e n H ö h e n - z u w a c h s d e r S e t z l i n g e

Die Wirkung der Stäube aus den verschiedenen Emissionsquellen auf die Entwicklung der Setzlinge der fünf untersuchten Baumarten wurden anhand folgender beider Kriterien bestimmt:

1. Die Zahl der im Laufe der Vegetationsperiode abgestorbenen Setzlinge
2. die mittleren Höhenzuwächse der Setzlinge.

An der Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) wurden zusätzlich die Größe der Assimilationsfläche bestimmt.

Die Kiefer (*Pinus sylvestris*) zeigte gegen 7 von den 10 geprüften Staubarten erhebliche Resistenz. Mit der Maximaldosis (10 %) schwankte ihre Sterblichkeit zwischen 3 und 30 %. Minimal reagierte die Kiefer auf Kupferschlamm und auf Blei-Zink-Staub (Ausfall 3 - 5 %), mittelstark auf Blei-Kupfer-Staub und auf den

T a b e l l e 3
 Absterberate und Höhenzuwachs (HZ) von Jungpflanzen
 nach Kultur auf Böden mit Zusatz von Industriestaub

1	2	3		4		5		6		7	
		<i>Pinus sylvestris</i>		<i>Pinus nigra</i>		<i>Picea abies</i>		<i>Larix europaea</i>		<i>Alnus glutinosa</i>	
kultiviert mit Staub aus	Dosis	tot %	HZ cm	tot %	HZ cm	tot %	HZ cm	tot %	HZ cm	tot %	HZ cm
	Kraftwerk	0	0	6,8	0	4,9	0	3,6	0	15,5	0
1		0	6,4	3,3	4,5	13,3	3,4	23,3	13,5	46,7	19,6
3		16,7	6,1	20,0	4,0	26,7	2,7	26,7	9,7	96,7	17,9
8		16,7	2,9	30,0	3,7	33,3	1,8	53,3	9,4	100,0	0
10		30,0	2,1	63,3	3,1	53,3	1,5	83,3	5,5	100,0	0
Eisenhütte (Hochöfen)	0	0	6,3	0	5,2	0	3,7	0	11,4	0	14,7
	1	0	6,6	3,3	5,2	33,3	3,4	6,7	11,8	6,7	14,0
	3	10,0	6,0	36,7	5,0	30,0	3,5	16,7	10,4	24,0	13,4
	5	10,0	6,0	40,0	4,8	43,3	3,3	36,7	8,5	66,7	12,8
	8	20,0	5,7	66,7	4,2	53,3	3,0	66,7	6,9	50,0	11,8
10	26,7	5,4	76,7	4,3	70,0	2,8	70,0	6,0	76,7	11,7	
Eisenhütte (Sinteranlage)	0	0	6,8	0	4,0	0	5,1	0	15,2	0	17,8
	1	2,3	6,5	13,3	3,8	13,3	4,4	0	15,0	0	17,4
	3	6,7	6,4	26,3	3,0	23,3	5,2	23,3	14,5	6,7	17,0
	5	10,0	6,6	33,3	3,8	20,0	4,6	20,0	13,9	20,0	17,0
	8	20,0	6,8	33,3	3,0	10,0	4,4	16,7	16,3	33,3	16,6
10	26,7	6,4	36,7	2,3	16,7	3,3	16,7	13,7	20,0	16,6	
Kupferhütte (Kupferschlamm)	0	0	5,4	---	---	0	5,5	0	22,3	0	18,5
	1	0	3,6	---	---	0	3,2	0	10,5	0	18,2
	10	3,3	3,5	---	---	15,0	3,0	0	10,1	0	16,5
Zinkhütte (Pb-Zn-Staub)	0	0	7,0	---	---	0	5,8	0	18,7	0	20,3
	1	0	5,7	---	---	0	4,7	0	10,4	0	17,7
	10	2,5	5,8	---	---	6,0	4,8	0	9,6	0	16,6

(Fortsetzung nächste Seite)

Tabelle 3, Fortsetzung

1	2	3	4	5	6	7	
Kupferhütte (Pb-Cu-Staub)	0	4,3	5,0	0	12,4	0	24,6
	1	0	4,8	0	11,3	0	28,7
	3	3,3	3,3	0	10,8	6,7	17,6
	5	10,0	10,0	0	10,1	10,0	15,8
	8	10,0	10,0	3,2	6,7	20,0	10,4
	10	20,0	23,2	2,7	20,0	20,0	10,5
	0	0	---	---	0	0	15,2
	1	0	---	---	0	6,7	15,0
	3	0	---	---	23,4	33,9	13,9
	5	3,3	---	---	36,7	40,0	11,4
8	20,0	---	---	70,0	56,7	9,1	
10	93,9	---	---	90,0	80,0	7,7	
Zementwerk (Cd-Pb-Zn-Staub)	0	0	4,4	0	8,7	0	22,7
	1	0	4,2	0	8,7	0	18,0
	3	0	4,0	0	7,4	0	14,7
	5	3,3	---	---	6,9	10,0	13,3
	8	20,0	---	---	5,2	33,3	6,9
	10	93,9	---	---	3,7	50,0	6,3
	0	0	4,4	0	4,6	40,0	12,5
	1	0	4,3	0	4,4	50,0	8,4
	3	0	4,0	0	4,0	50,0	5,0
	5	0	3,9	0	4,2	50,0	5,2
8	6,5	4,1	10,0	10,0	70,0	3,6	
10	20,0	3,5	20,0	20,0	80,0	4,0	
Zementwerk (Drehöfen)	0	0	3,9	0	7,3	0	24,4
	1	20,0	3,5	33,3	0	10,0	10,4
	3	40,0	2,8	46,7	0	56,0	7,0
	5	33,3	2,6	53,3	0	50,0	5,8
	8	26,7	3,1	60,0	10,0	74,0	0
	10	33,3	2,7	40,0	20,0	48,0	0
	0	0	4,2	0	4,2	50,0	5,8
	1	6,7	3,0	0	0	0	11,0
	3	33,3	1,5	0	50,0	60,0	1,4
	5	46,7	0,7	0	90,0	80,0	0,4
8	46,7	0,6	10,0	90,0	100	0	
10	60,0	0	30,0	90,0	100	0	
Aluminiumhütte	0	0	4,2	0	4,2	0	21,7
	1	6,7	3,0	0	0,7	0	7,7
	3	33,3	1,5	0	0,5	66,7	1,0
	5	46,7	0,7	10,0	0,6	73,4	0,6
	8	46,7	0,6	30,0	0,3	80,0	0
	10	60,0	0	50,0	0,4	100	0
	0	0	4,2	0	4,2	50,0	5,8
	1	6,7	3,0	0	0	0	11,0
	3	33,3	1,5	0	50,0	60,0	1,4
	5	46,7	0,7	10,0	90,0	80,0	0,4
8	46,7	0,6	30,0	90,0	100	0	
10	60,0	0	50,0	90,0	100	0	

Staub aus dem Zementwerk (Rohstoffmühle), der Ausfall an Setzlingen stieg bis 20 %. Stärker reagierte die Kiefer auf Staub aus der Eisenhütte, aus dem Kraftwerk und dem Zementwerk (Drehöfen), hier reichte der Ausfall bis 30 % (Tabelle 3). Hingegen reagierte die Kiefer sehr stark, d.i. mit Ausfällen von 50 - 80 %, auf Staub aus der Aluminium- und der Zinkhütte (Cd - Pb - Zn - Staub).

Die Setzlinge der Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) erwiesen sich als weniger resistent, indem ihr Ausfall je nach Staubart zwischen 20 und 75 % schwankte. Sie zeigten größte Resistenz gegen Einwirkung von Stäuben aus dem Zementwerk (Rohstoffmühlen), gegenüber Pb-Cu-Staub, niedrige Dosen des Staubes aus der Aluminiumhütte (bis Dosis 5%) sowie gegen den Staub aus Kraftwerken.

Stärkere Selektivität gegenüber einzelnen Staubarten zeigten Fichte (*Picea abies*), Lärche (*Larix decidua*) und Schwarzerle (*Alnus glutinosa*). Sie waren voll resistent gegenüber Pb - Zn - Staub und gegen den Pb - Cu - Schlamm. Schwach reagierten Setzlinge dieser Bäume auch auf Eisenhüttenstaub (Sinterwerk) und auf den Kupferhüttenstaub. Hingegen zeigten sie völligen Resistenzmangel gegenüber Staub aus der Aluminiumhütte, aus Kraftwerken und aus dem Zementwerk, der Ausfall betrug nach Kontamination des Bodens mit diesen Stäuben 60 - 80 % (Tab. 3).

Mit diesem Resistenzverhalten der Schwarzerle ging die Abnahme der assimilierenden Blattoberfläche nur zum Teil konform. Mit 3 % Staub aus der Aluminiumhütte war keine assimilierende Fläche mehr bestimmbar, mit den höchsten Dosen (8 - 10 %) Pb-Zn- bzw. Cd-Pb-Zn-Staub waren nur 0 - 2 % Blattfläche vorhanden; die geringsten Reduktionen wurden mit Staub aus der Sinteranlage und mit Blei-Kupfer-Schlamm beobachtet (es verblieben bei 10 % Staub noch 42 - 45 % der Blattfläche), mit den übrigen Stäuben wurden bei 10 % Staub 29 - 17 % verbliebene Assimilationsfläche gemessen.

Zusammenfassend kann man den Beobachtungen entnehmen, daß sich Blei - Zink - Staub am wenigsten toxisch erwies, weiter (in der Reihe zunehmender Toxizität) Eisenhüttenstaub (Sinteranlage) und Staub aus dem Zementwerk. Die höchste Toxizität zeigte Staub aus der Aluminiumhütte, aus dem Kraftwerk und auch Kadmium - Blei - Zink - Staub.

Zu den mitteltoxischen Staubarten muß man Staub aus der Kupferhütte, aus dem Zementwerk und aus der Eisenhütte rechnen.

Am wenigsten toxisch erwies sich der Blei - Zink - Staub und weiter der Eisenhüttenstaub (aus der Sinteranlage) und aus dem Zementwerk (Rohstoffmühlen). Zur Gruppe der mitteltoxischen Stäube muß man den Staub aus der Kupferhütte, aus dem Zementwerk (Zementfabrik) und aus der Eisenhütte (Hochöfen) zählen. Als am meisten toxisch erwies sich der Staub aus der Aluminiumhütte, aus dem Kraftwerk und auch der Kadmium - Blei - Zink - Staub.

Auf Grund der gewonnenen Angaben ist es sehr schwer, eine Spezies als gegen alle in der Untersuchung geprüften Stäube resistent zu bezeichnen. Die Mehrzahl der untersuchten Baumarten reagiert selektiv, d.h. eine Species erweist sich wenigstens gegenüber einer der geprüften Stäube verhältnismäßig resistent bei gleichzeitigem Resistenzmangel gegen die übrigen Stäube. Ohne Zweifel sind *Pinus sylvestris* und *Pinus nigra* gegen alle geprüften Staubarten von erheblicher Resistenz; die übrigen untersuchten Pflanzen sind als empfindlicher einzustufen.

L I T E R A T U R

- BERGMANN-LEHNERT, J., 1962: Methoden zum Nachweis der Verschmutzungen von Blattoberflächen. Wiss.Z.Tech.Hochsch./Univ. Dresden 11: 571-574.
- CZAJA, A.T., 1962: Über das Problem der Zementstaubwirkung auf Pflanzen. Staub 22: 228-232.
- GARBER, K., 1967: Luftverunreinigung und ihre Wirkung. Gebrüder Boertrager, Berlin-Nikolassee.
- GRESZTA, J., 1965: Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia powietrza na gleby. Zakład Badań Naukowych Górnoślaskiego Okręgu Przemysłowego PAN, Zabrze. Materiały na sesje Rady Narodowej w Chrzanowie.
- HASELHOFF, E., 1932: Grundzüge der Rauchschadenskunde. Anleitung zur Prüfung und Beurteilung der Einwirkung von Rauchabgängen auf Boden und Pflanzen. Berlin, Verlag Gebrüder Boertrager.
- JERSOV, N.F., 1957: Fotosintez cistych i zapylnych listev vjaza welkolistegno i lipy melkolistnej. Dokł. Nauk SSSR 112: 1136-1138.
- KELLER, T., 1966. Zur Phytotoxizität von Fluorimmissionen für Holzarten. Mitt.Eidg.Anst.forst.Verswes.51/2: 301-331.
- KISSER, J., 1964: Forstliche Rauchschäden aus der Sicht des Biologen. Mitt.Forstl.Bundes-Versuchsanst.Wien 7-48.
- KLOKE, A., 1972: Zur Anreicherung von Cadmium in Böden und Pflanzen. 27/1 Sonderheft zu Landwirtschaftliche Forschung, Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrobiologischer Forschung XXII, J.D. Soneerländern Verlag, Frankfurt a/Main.
- KRÜGER, E., 1951: Rauchschäden durch Zink. Freiberger Forschungshefte. Aus. B 6 47-51.
- Mc INTIRE, W.H., 1957: Fate of air borne fluorides and alendordorf affects upon soil reaction and fertility. Assoc.Off. Agric.Chem. 40, 958.
- NOWOSIELSKI, O., 1975: Metody oznaczania potrzeb nawozenia. PWRIL, Warszawa.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Themas MR-II-15 in Zusammenarbeit mit dem Landwirtschafts-Department USA Projekt Po - Fg - 329 durchgeführt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [137_2_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Greszta J., Braniewski St., Nosek A., Suchanek R.

Artikel/Article: [Grenzwerte von aus verschiedenen Emissionsquellen stammenden Stäuben für die Entwicklung ausgewählter Arten von Waldbäumen 199-209](#)