Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freising-Weihenstephan 1990) Band 20
1991

Zur Demographie von *Typha*- und *Phragmites*-Halmen unter Borbelastung

Reinhard Bornkamm

Synopsis

Typha angustifolia and *Phragmites australis* were cultivated for more than 3 years with boron concentrations between ca. 0 (tap water) and 430 mg/l in the substrate solution. Biometric data were taken at regular intervals, data of biomass and boron and nitrogen contents in the plants at the end of the experiment. *Phragmites* showed a fast decrease of shoot growth (especially shoot density) with high boron load, a slower decrease of subterranean growth; a few rhizomes survived even in the most extreme conditions. The possible threshold value was calculated as appr. 1 mg/l. *Typha* first of all showed a fast degree of shoot growth rate (not of shoot density) lateron shoot and subterranean growth decreased almost in the same rate so that practically no bud bank resisted under the most extreme conditions.

Typha, Phragmites, boron

1. Einleitung

Das Vorkommen und die Wirkung von Bor in Pflanzenbeständen sind schon Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. In der ganz überwiegenden Zahl der Fälle standen dabei Probleme des Bor-Mangels im Vordergrund, wie er in landwirtschaftlichen Kulturen häufig zu beobachten ist (Zusammenfassungen: STILES 1958, DUGGER 1983, BERGMANN 1988). Das Auftreten sehr hoher Bor-Konzentrationen, verbunden mit phytotoxischen Wirkungen, ist für Salzstandorte bekannt (KINZEL 1982, LETSCHERT 1986). Bor spielt jedoch auch als Umweltchemikalie eine Rolle, wobei Verbrennungsprozesse, Wasch- und Düngemittel als Quellen zu nennen sind (HOCK & ELSTNER 1982). Angaben über Schwellenwerte der Toxizität liegen für Kulturpflanzen vor (KEREN & BINGHAM 1985), fehlen für Wildpflanzen jedoch fast vollständig (SCHÖBERL & HUBER 1988, GERIKE & al. 1989 a, vgl. auch KOHLER 1976). Einerseits werden landwirtschaftliche Böden erst bei B-Gehalten von > 0,5 mg/l als optimal versorgt angesehen (EL-GHARABLY & BUSSLER 1985, BERGMANN 1988), beträgt der Trinkwasser-Richtwert 1 mg/l und werden Beregnungsempfehlungen bis zu 4 mg/l (bei 100 mm pro Vegetationsperiode) abgegeben (MIN. AGRIC., FISH., FOOD 1981, KEREN & BINGHAM 1985). Andererseits werden bereits 0.7 mg/l (SCHACHTSCHABEL & al. 1982) zumindest aber 3-5 mg/l (HOCK & ELSTNER 1982) in der Bodenlösung bzw. im Beregnungswasser als toxische Grenzwerte für Kulturpflanzen angesehen.
Die Angaben zeigen, daß der Optimalbereich bei Bor sehr eng ist; genauere Kenntnisse der Schwellenwerte wären daher hier besonders wichtig. Im Freiland gemessene Konzentrationen erreichen in einigen Fällen in belasteten Gewässern die kritische Größenordnung von 1 mg/l und etwas darüber (BLUME & al. 1980), häufiger allerdings liegen die Werte bei 0.1-0.4 mg/l (GRAFFMANN & al. 1974, KOHLER 1976, GERIKE & al. 1989 a, b), in unbelasteten Gewässern sogar bei 0,1 mg/l und darunter (BOYD & WALLEY 1972).
Eigene mehrjährige Versuche mit *Phragmites australis* führten bei Borgaben von 0.35 mg/l im Vergleich zu Leitungswasser (0,1 mg/l) nicht zu sicheren Ergebnissen. Außer den Borgehalten selbst war keine Größe signifikant verändert (BLUME & al.1979, BORNKAMM & al. 1980). Um in dieser Frage zu einer Klärung zu kommen, wurden neue Versuche in Form einer Bor-Konzentrationsreihe mit sehr hohen Konzentrationen angesetzt, um verläßliche Dosis-Wirkungskurven zu erhalten, die es gestatten, durch Interpolation sowohl die ungefahren Schwellenwerte der Schadigung als auch die letalen Werte zu ermitteln. Dabei wurde der Demographie der Halme besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde in mit einem Auslauf versehenen Gefäßen (70 l Volumen; 0,18 m^2 Oberfläche ausgeführt, die im April 1980 (einmalig) über Schichten aus Styromoll und Kunststoffvlies mit torfhaltigem Quarzsand als Substrat und Nährlösung beschickt wurden (nähere Angaben bei BORNKAMM & RAGHI-ATRI 1978). Die Borgaben wurden als 20 l Stammlösung mit 0,1, 300, 600, 900 oder 1200 mg B/l (als H_3BO_3) zugefügt. Als effektive Borkonzentration wurde die Konzentration angesehen, die sich (als Folge von Verdünnung und von Sorption des Substrats) nach längerer Zeit (August 1982) im Gefäß eingestellt hatte (die B-Aufnahme durch die Pflanzen war vernachlässigbar klein). Im Frühjahr 1980 wurden gleichgroße Rhizomteile aus Freilandpopulationen von *Typha angustifolia* und *Phragmites australis* eingesetzt. Da einige Gefäße wegen Undichtigkeiten ausfielen, ergab sich insgesamt der in Tab. 1 aufgeführte Versuchsansatz.
Während des Versuchs wurden während der Vegetationsperiode etwa monatlich Anzahl der Halme, mittlere Höhe der fünf höchsten Halme und Gesamthalmlänge bestimmt. Nach Versuchsende (August 1983) wurden die Pflanzen geerntet, in Fraktionen aufgeteilt und getrocknet, gewogen und auf ihren Borgehalt nach BASSON & al. (1969) in der von KEMPF & ANDRES (1977) wiedergegebenen Methode analysiert.

Tab 1: Versuchsansatz

Nr.	B-Konzentration in der Substratlösung (mg $B.l^{-1}$ in Klammern Zahl der Werte)				Gefäße mit Typha	mit Phragmites	gesamt
B0	0,18	±	0,05	(4)	3	3	6
B1	49	±	11	(6)	2	4	6
B2	121	±	14	(7)	4	3	7
B3	237	±	52	(5)	4	1	5
B4	430			(1)	1	2	3

3. Ergebnisse

Abb. 1 zeigt den gleichmäßigen Verlauf der Höhenentwicklung bei den unbelasteten Beständen (B 0) in allen Versuchsjahren. Bei *Phragmites* bleibt schon B 1, bei *Typha* erst B 2 und B 3 weit zurück. Überraschenderweise halten sich bei *Phragmites* einige Halme in B 4 bis 1982.
Mit dem Einbringen gleichgroßer Rhizomteile war die Halmzahl noch nicht standardisiert worden, so daß sich hier während des Versuchs Unterschiede in der Anfangszahl und der Borwirkung überlagerten. Die jahreszeitliche Entwicklung wird am Beispiel von 1983 später (s. Tab. 3) besprochen, hier sollte zunächst am Beispiel der jeweiligen Augustwerte (Abb. 2) der längerfristige Trend dargestellt werden.
Phragmites beginnt unbelastet (B 0) mit sehr hohen Halmzahlen, die durch eine Dichteregelung auf etwa die Hälfte reduziert werden; B 1 bleibt stark zurück, die vorübergehende Sonderrolle von B 4 wurde bereits erwähnt. *Typha* beginnt mit niedrigen Halmzahlen und kann die Dichte während des Versuchs erhöhen. B 1 liegt hier höher als B 0, während B 2 und B 3 stark zurückbleiben und B 4 ganz ausfällt.
Die Gesamtlänge aller Halme zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die mittlere Maximalhöhe und soll daher nicht näher erörtert werden.

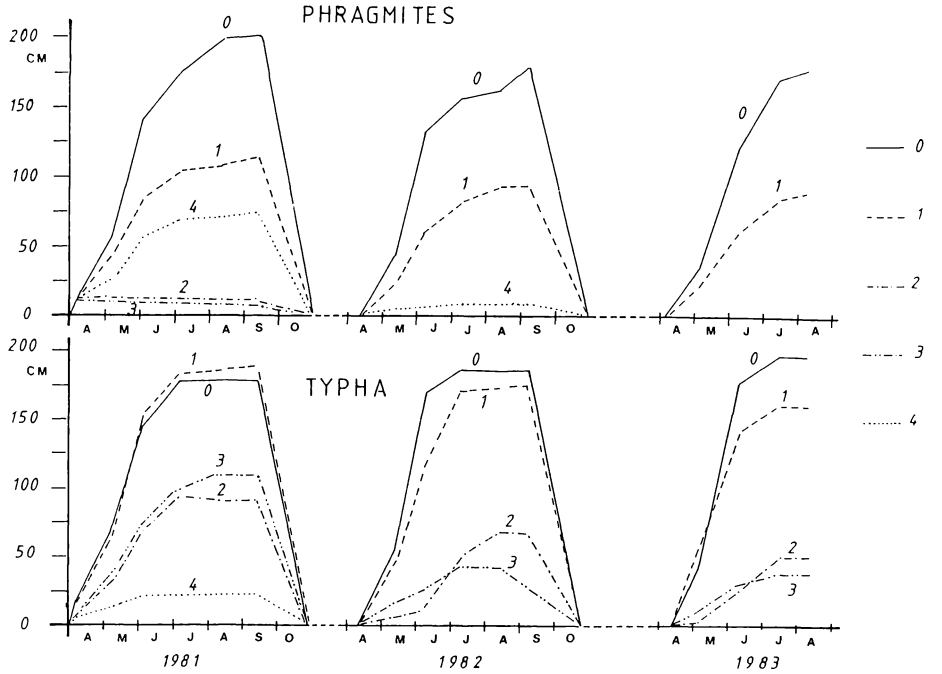

Abb. 1: Mittlere Höhe der fünf höchsten Halme von *Phragmites australis* und *Typha angustifolia* bei unterschiedlichen B-Konzentrationen in der Substratlösung. Konzentration für 0-4 s. Tab. 1 (B 0-B 4)

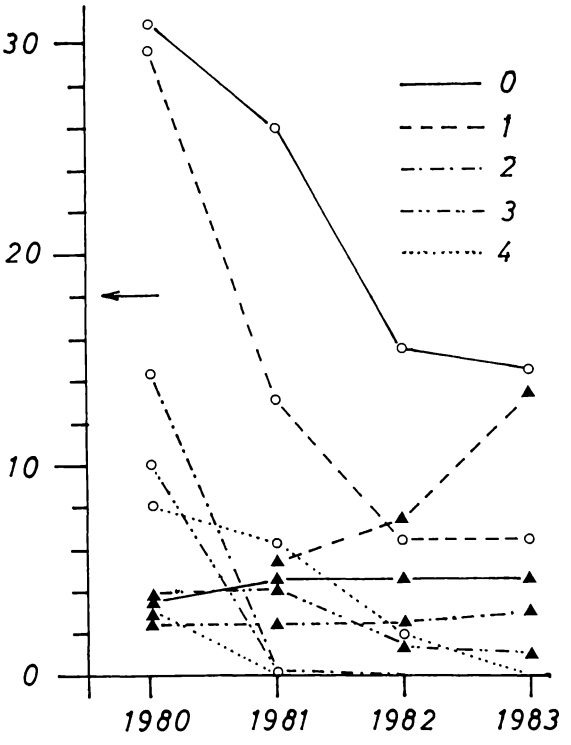

Abb. 2:
Halmzahlen/Gefäß (0,18 m^2) von *Typha angustifolia* (▲) und *Phragmites australis* (o) jeweils im August der Versuchsjahre 1980-1983 bei unterschiedlichen B-Konzentrationen in der Substratlösung. 0-4 s. B 0-B 4 in Tab. 1. Der Pfeil gibt den Wert 100 Halme/m^2 an.

Die bei Abschluß des Versuchs ermittelten Biomassen sind in Tab. 2 zusammengestellt. Unbelastet (B 0) liegen sie bei *Phragmites* deutlich höher als bei *Typha*, was vor allem auf die unterirdischen Teile zurückzuführen ist. *Phragmites* zeigt bereits bei B 1 eine Halbierung der Werte, sowohl unterirdisch (U) als auch oberirdisch (O). Bei höheren Belastungen (B 2-B 4) werden gar keine Halme mehr ausgebildet, O besteht nur noch aus (weitgehend abgestorbenen) Stoppeln, während ein kleiner Teil der Rhizome am Leben bleibt, so daß das Verhältnis O:U von etwa 0,4 auf etwa 0,1 sinkt. Bei *Typha* gibt es kaum einen Unterschied zwischen B 0 und B 1, von dem Rückgang bei starker Belastung (B 2-B 4) sind sowohl O als auch U betroffen, so daß das Verhältnis O:U nur von etwa 0,7 auf etwa 0,3 sinkt.

Tab. 2: Biomasse (in g/Gefäß) von *Phragmites australis* und *Typha angustfolia* bei unterschiedlicher Borbelastung B 0-B 4 (s. Tab. 1). 1 g/Gefäß = 5,56 g/m^2

	Phragmites australis				Typha angustifolia			
	B0	B1	B2	B3+4	B0	B1	B2	B3+4
Blätter	14,4	7,4	-	-	11,1	13,6	1,9	1,7
Halme u. Blattscheiden	38,4	15,2	-	0,3	22,9	18,8	1,2	1,4
Infloreszenzen	-	-	-	-	5,7	4,7	-	-
Stoppeln	13,8	9,2	2,3	3,4	9,2	9,3	2,9	4,2
Summe oberirdisch	66,6	31,8	2,3	3,7	48,9	46,4	6,0	7,3
Rhizome lebend	102,6	47,6	4,3	7,1	51,0	41,5	9,2	6,9
Rhizome tot	1,3	5,9	11,8	12,2	0,8	8,5	10,7	11,0
Wurzeln	74,3	28,4	8,2	6,4	16,3	16,2	3,7	4,7
Summe unterirdisch	178,2	81,9	24,3	25,7	68,1	66,2	23,6	22,6
Gesamtsumme	244,8	113,7	26,6	29,4	117,0	112,6	29,6	29,9
Oberird.: Unterird.	0,37	0,39	0,09	0,14	0,72	0,70	0,25	0,32

Tab. 3: Durch Interpolation ermittelte Schwellenwerte (Minderung des Parameters um 10 %) für Bor bei *Phragmites australis*; jeweils Werte im August (in mg B/l)

Parameter	1981	1982	1982
Halmzahl im August	0,9	0,8	0,8
mittl.Höhe der 5 höchsten Halme im August	1,0	0,8	0,8
Gesamtlänge aller Halme	0,9	0,8	0,8
Biomasse der Blätter			0,8
Biomasse der Halme + Blattscheiden			0,8
Biomasse der Stoppeln			1,1
Biomasse der Rhizome			1,0
Biomasse der Wurzeln			0,9
Gesamtbiomasse			0,9

Bei *Phragmites* waren alle gemessenen Werte signifikant (Signifikanzschwelle 1 %) mit dem Logarithmus der B-Konzentration korreliert. Für zahlreiche Wachstumsparameter wurde die entsprechende Regressionsgerade benutzt, um eine Interpolation des Schwellenwertes vorzunehmen. Dabei wurde (nach dem Vorgehen von EL-GHARABLY & BUSSLER 1985) diejenige B-Konzentration als Schwellenwert angesehen, bei der sich der entsprechende Parameter um 10 % vermindert hat. Das ist natürlich nur eine Schätzung, die Ergebnisse (Tab. 3) zeigen jedoch, daß sich alle Werte in der Größenordnung von 1mg/l bewegen, obwohl keineswegs alle Parameter direkt voneinander abhängen. Der (halb)letale Werte LD 50 läßt sich sinnvoll nur für Halmzahlen berechnen. Er liegt 1981 bei 26, 1982 bei 19 und 1983 bei 17 mg B/l bei *Typha* ergab sich keine so enge Korrelation zwischen Wachstumsparametern und B-Konzentration, daher konnte keine solche Interpolation vorgenommen werden. Jedoch zeigen die bisher schon besprochenen Daten, daß *Typha* weniger B-empfindlich ist als *Phragmites*.

Die Kohorte der Sprosse im Frühjahr 1983 wurde demographisch untersucht. Bei *Phragmites* wurden von den Ausgangsknospen der (Vertikal-)Rhizome bis zu den abgestorbenen Trieben sechs Klassen gebildet, die in Tab. 4 benannt sind. Für jeden Zeitraum wurde die Ursprungsklasse vertikal, die Zielklasse horizontal angeordnet. Ohne Belastung (B 0) trieb bis zum 1.4. eine unbekannte Zahl von Ausgangsknospen (? in Tab. 4) zu sichtbaren Sproßspitzen aus (44 = 14,7 pro Gefäß = 100 % in Tab. 4). Von ihnen erreichten etwa 2/3 bis zum 4.5. eine Höhe von mehr als 30 cm, die meisten bis 8.8. die Klasse der mittleren Halme. Bei B 1 war die Zahl der Halme pro Gefäß mit 7,0 nur etwa halb so hoch (vgl. auch Abb. 2), die verbleibenden Halme entwickelten sich jedoch nur geringfügig langsamer (z. B. 4.5.-8.6.) oder starben etwas eher ab. Bei B 2-B 4 wurden keine Halme mehr gebildet. In typischer Weise traten während des Sommers noch einzelne junge Halme auf. Dementsprechend war bei den Triebspitzen des Frühjahrs 1983 die Wahrscheinlichkeit, die Klasse M (mittlere Halme) zu erreichen, bei B 1 etwas geringer, abzusterben, (Klasse T) etwas höher als bei B 0 (Tab. 5).

Tab. 4: Verteilung der Halme von *Phragmites australis* auf phänologische Klassen mit (B 1) und ohne (B 0) Borbelastung (Angaben in %). K = Knospen, nicht oberirdisch sichtbar; S = junge Triebspitze (bis 30 cm Länge); N = niedrige Halme (31-110 cm); M = mittlere Halme (111-180 cm); H = hohe Halme (> 180 cm); T = tot. Die Klassen zu Beginn des Zeitraums sind senkrecht, zu Ende des Zeitraums waagerecht angeordnet. Z = Gesamtzahl der Halme; Z/G = Halme je Gefäß; * = neuer Sproß

PHRAGMITES AUSTRALIS (1983)

	1.1. - 1.4.							1.4. - 4.5.							4.5. - 8.6.							8.6. - 14.7.							14.7. - 8.8.						
B0	K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T	
K	?	100																												*					
S									39	61							27	7		5															
N																	27	34					16	38						11	5				
M																								33	8						67	4		
H																																8		
T																										5								5
Z			44							44							44							44							44 + 1				
Z/G			14,7							14,7							14,7							14,7							15,0				

B1	K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T		K	S	N	M	H	T	
K	?	100															**							*											
S									36	64					4	25				7						3									
N																29	35					16	32			7			14	4				
M																							32							61	10		
H																																		
T																										7								11
Z			28							28							28 + 2							28 + 3							28 + 3				
Z/G			7,0							7,0							7,5							7,8							7,8				

Tab. 5: Übergangswahrscheinlichkeiten der Kohorte junger Triebspitzen von *Phragmites australis* im Frühjahr 1983 in verschiedene phänologische Klassen mit (B 1) und ohne (B 0) Borbelastung. S = junge Triebspitzen (bis 30 cm lang; N = niedrige Halme (31-110 cm); M = mittlere Halme (111-180); H = hohe Halme (> 180 cm)l; T = tot; Z = Anzahl der Halme. Zeitraum 1.4.-8.8.83.

	Z	S	N	M	H	T
B0	44	0,000	0,11	0,72	0,12	0,05
B1	28	0,000	0,14	0,65	0,10	0,11

Bei *Typha angustifolia* wurden sechs Klassen etwas abweichend formuliert, da einige Triebe zur Blüte kamen, was bei *Phragmites* nicht der Fall war. Aus Platzgründen werden nicht alle Werte einzeln dargestellt, sondern nur die Übergangswahrscheinlichkeiten (Tab. 6). Hier war die Wahrscheinlichkeit, die Klasse H (hohe Halme) oder B (Blütenstände) zu erreichen, in allen Belastungsklassen (B 1-B 3) vermindert (Tab. 5). Die Wahrscheinlichkeit, während des Sommers abzusterben, war bei B 3 drastisch erhöht.

Tab. 6: Übergangswahrscheinlichkeit der Kohorte junger Triebspitzen an *Thypha angustifolia* im Frühjahr 1983 in verschiedene phänologische Klassen mit (B 1, B 2, B 3, S. Tab. 1) und ohne (B 0) Borbelastung. S = junge Triebspitze (bis 30 cm lang); N = niedrige Halme (31-130 cm); H = hohe vegetative Halme (> 130 cm); B = hohe blühende Halme (> 130 cm); T = tot; Z = Anzahl der Halme. Zeitraum 1.4.-8.8.83

	Z	S	N	H	B	T
B0	15	0,00	0,13	0,36	0,38	0,13
B1	22	0,00	0,44	0,28	0,23	0,05
B2 + B3	21	0,00	0,42	0,24	0,00	0,34

Bei Kulturpflanzen wird die Grenze zwischen gegenüber Bor sensitiven und semitoleranten Arten bei einem Schwellenwert von 1 mg/l gezogen (KEREN & BINGHAM 1985, BERGMANN 1988). *Phragmites* ist danach gerade noch zu den sensitiven Arten zu rechnen. Dies ist insofern überraschend, als Schilf an stark belasteten Standorten oft dominierende Art ist, z. B. in Pflanzenkläranlagen (SCHOLL & al. 1985, GEHRKE & al. 1986), wo es noch bei 0,8 mg/l B sehr vital gedeiht (GERIKE & al. 1989 a). Vermutlich steht es hier jedoch schon nahe am Schwellenwert, jedoch vor einer langen Überlebensspanne.

Auffallend ist, daß die Entwicklung oberirdischer Sprosse sehr viel stärker geschädigt wird, als die Entwicklung unterirdischer Organe. Interessanterweise war selbst bei den höchsten Borgaben, bei denen schließlich gar keine oberirdischen Halme mehr ausgebildet waren, doch noch geringe Reste lebender Rhizome und Wurzeln zu finden. *Phragmites* gelingt es auf diese Weise, auch bei stärksten Belastungen, eine kleine Knospenbank im Substrat zu erhalten, mit der sie unter günstiger werdenden Bedingungen wieder austreiben kann. Dies steht in Übereinstimmung mit der Vorstellung, die von MEYER (1986) am Beispiel von *Solidago canadensis* für konkurrenzkräftige, hauptsächlich klonal wachsende mehrjährige Arten entwickelt wurden. Die Vorstellung besagt, daß zwar gegenüber manchen Noxen niedrige Schadschwellen bestehen können, daß sich aber dann ein sehr breiter Bereich nur somatischer Schädigung anschließt, der den Pflanzen das Überleben ermöglicht, ehe sie bei extremen Konzentrationen vollständig absterben. In unserem Versuch hat sich *Typha* weniger B-empfindlich verhalten als *Phragmites*, wobei der Unterschied des Schwellenwertes nach den vorliegenden Daten nicht quantifiziert werden kann. Die höhere Toleranz beruht nicht darauf, daß *Typha* weniger B aufnimmt als *Phragmites* (AHL & JÖNSSON 1972). Die Angaben in Tab. 7 zeigen zwar große Streuungen, sie lassen aber doch erkennen, daß beide Pflanzen größenordnungsmäßig gleiche B-Gehalte aufwiesen bzw. in einem

Falle (grüne Blätter, B 1) bei *Typha* sogar deutlich höher liegt (signifikant < 5 %). Die von uns gefundenen Borgehalte von bis zu 3 Promille liegen sehr hoch, sind aber nicht außergewöhnlich. So fanden OERTLI & KOHL (1961) in nekrotischen Maisblättern nach Bewässerung mit 10 mg/l B sogar Werte bis über 12 Promille (vgl. auch JUDEL 1978).

Tab 7: B-Gehalte in Promille der Trockensubstanz bei unterschiedlicher Borbelastung

	B0	B1	B2 + 3 + 4
Phragmites australis			
grüne Blätter	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,04	-
Halme + Blattscheiden	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,00	-
Rhizome, lebend	0,04 ± 0,01	0,28 ± 0,31	1,34 ± 1,42
Wurzeln	0,04 ± 0,02	0,60 ± 0,60	1,74 ± 1,44
Typha angustifolia			
grüne Blätter	0,03 ± 0,01	1,84 ± 0,55	1,94 ± 0,31
Halme + Blattscheiden	0,02 ± 0,01	0,30 ± 0,29	0,54 ± 0,50
Rhizome, lebend	0,02 ± 0,00	0,22 ± 0,17	0,54 ± 0,15
Wurzeln	0,27 ± 0,33	0,46 ± 0,31	3,07 ± 1,08

Im Unterschied zu *Phragmites* ändert sich bei *Typha* das Verhältnis oberirdische: unterirdischer Biomasse bei Borbelastung nur wenig, d. h. beide nehmen ± gleichmäßig ab. Es ist daher auch wenig wahrscheinlich, daß sich *Typha* nach einer Extrembelastung aus einer unterirdischen Knospenbank wieder regenerieren kann.
Die demographischen Untersuchungen der Sprosse 1983 läßt auch Schlüsse auf den Angriffsort des Bors zu. Bei *Phragmites* ist die Verminderung der Halmzahlen, also die Reduzierung der Zahl aktiver Meristeme besonders deutlich. Sofern Halme gebildet werden, sind ihre Entwicklungschancen nur geringfügig vermindert. Eine Ausnahme war nach einem Jahr (im Sommer 1981) zu erkennen, wo die Populationen B 2 + B 3 weitgehend, B 1 teilweise zusammenbrachen. Im Gegensatz zeigte *Typha* bei B 1 hohe Halmzahlen, während die demographischen Werte bereits eine verminderte Entwicklungsmöglichkeit dieser Halme anzeigten. Der Ablauf des Versuchs zeigt auch, daß man die Reaktion von langlebigen Perennen auf einen Schadstoff nur dann adäquat erfassen kann, wenn der Versuch langfristig angelegt wird.

Danksagung

Ich danke Frau Lorelies Fuchs für sorgfältige Ausführung der Analysen, Herrn Dr. T. Kempf (Bundesgesundheitsamt) für Beratung.

Literatur

AHL, T. & E. JÖNSSON, 1972: Boron in Swedish and Norwegian fresh waters. Ambio 1: 66-70.
BASSON, W. D., BÖHMER, R. G. & D. A. STANTON, 1969: An automated procedure for the determination of boron in plant tissue. Analyst 94: 1135-1141.
BERGMANN, W., 1988: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. G. Fischer-Verlag, Stuttgart, New York: 762 S.

BLUME, H.-P., BORNKAMM, R., KEMPF, Th., LACATUSU, R., MULJADI, S. & F. RAGHI-ATRI, 1979: Chemisch-Ökologische Untersuchungen über die Eutrophierung Berliner Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Phosphate und Borate. Schriftenr. Ver. Wasser-, Boden-, Lufthygiene 48: 1-152.

BLUME, H.-P., BORNKAMM, R., KEMPF, Th., MULJADI, S. & F. RAGHI-ATRI, 1980: Bor-Status Berliner Gewässer. Arch. Hydrobiol. 89: 426-439.

BORNKAMM, R. & F. AGHI-ATRI, 1978: Wachstum und Inhaltsstoffe von Schilf bei abgestuften Gaben von Stickstoff, Phosphor und Bor. Verh. Ges. Ökol. 6: 361-367.

BORNKAMM, R. RAGHI-ATRI, F. & M. KOCH, 1980: Einfluß der Gewässereutrophierung auf *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. ex STEUDEL. Garten + Landschaft 1/80: 15-19.

BOYD, C. E. & W. W. WALLEY, 1972: Studies of the biogeochemistry of boron. I. Concentrations in surface waters, rainfall and aquatic plants. The Am. Midl. Nat. 88: 1-14.

DUGGER, W. M., 1983: Boron in plant metabolism. Encycl. Plant Physiol. N. S. 15 B: 626-650.

EL-GHARABLY & R. BUSSLER, 1985. Critical levels of boron in cotton plants. Z. Pflanzenern. Bodenk. 148: 681-688.

GEHRKE, B., HAAS, H., LIPPERT, C. & B. PREVOT, 1986: Naturnahe Klärverfahren aus landschaftsplanerischer Sicht. Landschaftsentw. Umweltforsch. 42: 1-262.

GERIKE, P., WINKERL, K. & W. JACOB, 1989 a: Gewässeruntersuchungen im Stromgebiet des Rheins und ökologische Folgerungen. Tenside Surf. Det. 26: 270-275.

GERIKE, P., WINKERL, K., SCHNEIDER, W. & W. JAKOB, 1986 b: Zur Wasserqualität des Rheins bei Düsseldorf. Tenside Surf. Det. 26: 21-26.

GRAFFMANN, G., KUZEL, P., NÖSLER, H. & G. NONNEMACHER, 1974: Spurenbestimmung von Bor in Oberflächengewässern und Trinkwässern. Chemiker-Zeitung 98: 499-504.

HOCK, B. & E. F. ELSTNER, 1984: Pflanzentoxikologie. Bibliograf. Inst. Mannheim-Wien-Zürich.

JUDEL, K. G., 1978: Bindung und Verlagerung von Bor in Böden mit hoher Bortoxizität für Kulturpflanzen. Landwirtsch. Forsch. SH. 34/II: 103-108.

KEMPF, Th. & K.-F. ANDRES, 1977: Die Automatisierung von Analysenverfahren für die Bestimmung von Boraten, Sulfaten und Nitraten in Wasserproben. Chemie, Labor Betrieb 28: 229-232.

KEREN, R. & F. T. BINGHAM, 1985: Boron in water, soils, and plants. Adv. Soil. Sci. 1: 229-276.

KINZEL, H., 1982: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Verlag Ulmer, Stuttgart: 534 S.

KOHLER, A., 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren für Belastungen von Fließgewässer-Ökosystemen. Verh. Ges. Ökol. 4: 255-276.

LETSCHERT, U., 1986: Zum Mineralstoffhaushalt einiger Chenopodiaceae bei hohen Bor- und Salzangeboten. Diss. Bot. 96: 1-244.

MEYER, G., 1986: Untersuchungen zur Schadstoffverträglichkeit von *Solidago canadensis* L. Diss. TU Berlin: 113 S.

MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES & FOOD, 1981: Water quality for crop irrigation: Guidelines on chemical criteria. Leaflet 776: 1-6.

OERTLI, J. J. & H. C. KOHL, 1961: Some considerations about the tolerance of various plant species to excessive supplies of boron. Soil Sci. 92: 243-247.

SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.-H & U. SCHWERTMANN, 1982: Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Aufl. Enke Verlag, Stuttgart: 442 S.

SCHÖBERL, P. & L. HUBER, 1988: Ökologisch relevante Daten von nichttensidischen Inhaltsstoffen in Wasch- und Reinigungsmitteln. Tenside Surf. Det. 25: 99-107.

STILES, W., 1958: Essential micro-(trace) elements. Encycl. Plant Physiol. IV: 558-598.

Adresse

Prof. Dr. Reinhard Bornkamm
Institut für Ökologie
Technische Universität Berlin
Rothenburgstraße 12

W - 1000 Berlin 41

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 20_2_1991

Autor(en)/Author(s): Bornkamm Reinhard

Artikel/Article: Zur Demographie von Typha- und Phragmites-Halmen unter Borbelastung 927-934