

Aus der Sektion Chemie
der Karl-Marx-Universität Leipzig

Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte

13. Mitteilung: Ermittlung der Kultivierbarkeitswerte von abzulagernden Schadstoffen aus dem Experiment

Von J. Tauchnitz, R. Schnabel, W. Pihan, R. Mahrwald und H. Hennig

Mit 2 Tabellen

(Eingegangen am 15. Januar 1980)

1. Einleitung

Die Gestaltung der Abschlußschicht gemischter Schadstoffdeponien (Tauchnitz u. a. 1978, 1979 a) bildet die Grundlage für deren Kultivierung. Deshalb ist es notwendig, möglichst exakte Angaben über die Grenzwerte von Schadstoffen für diese Schicht vorzugeben. Diese Grenzwerte werden im Rahmen dieser Arbeit als Kultivierbarkeitswerte (K_b) der Schadstoffe bezeichnet (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1981 a).

Die D_{10} -, D_{50} -, K_{90} , K_{50} -Werte stellen die Mischungsverhältnisse beim relativen Wachstum von $s = 0,9$ bzw. $0,5$ und bei der relativen Keimung $g = 0,9$ bzw. $0,5$ dar.

Da diese Mischungsverhältnisse nicht von vornherein bekannt sind und demzufolge nur in den seltensten Fällen im Gefäßversuch auftreten, ist es notwendig, diese zu errechnen. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis einer Funktion zur Beschreibung der Zusammenhänge:

$$s = F_1(M_0)$$
$$g = F_2(M_0).$$

2. Allgemeine Grundlagen

Die Ertragsbildung (Wachstum, Keimung) hängt von einer Vielzahl von Umweltfaktoren ab. Biologische Systeme sind durch die entwicklungsgeschichtlich herausgebildeten Mechanismen in der Lage, sich durch Regulation ihres Stoffwechsels den natürlichen, konkreten Wachstumsbedingungen anzupassen. Das kybernetisch-regulatorische Prinzip ist die Maximierung der Neubildung der Pflanzenmasse als eine wesentliche Voraussetzung zur Sicherung der Fortpflanzung und damit der Arterhaltung. Aufgrund der Vielfalt der möglichen Einflußgrößen beobachtet man in der Regel für die Ertragsbildung an Biomasse keinen scharf abgegrenzten Extremwert. Vielmehr vermögen die Pflanzen innerhalb eines relativ großen Parameterraumes annähernd den gleichen Ertrag zu realisieren. Erst beim Überschreiten der Grenze bei einem oder mehreren Parametern, das heißt, wenn die regulatorische Kapazität des biochemischen Systems „Pflanze“ in mindestens einer Regelgröße erschöpft ist, tritt die Abhängigkeit des Wachstums von den ausgewählten Parametern deutlich zu Tage.

Betrachtet man nun den Boden als eine Mischung verschiedener chemischer Substanzen, so ist die Konzentration eines ausgewählten Schadstoffes ein Parameter unter vielen. In seiner physiologischen Wirkung zeichnet er sich allenfalls dadurch aus, daß die Anpassungsfähigkeit der Pflanzen hinsichtlich Variation dieses Parameters auffallend gering ist.

Die anderen Parameter (Einflüsse) waren durch die Versuchsführung bedingt für alle Versuchsglieder gleich, so daß die wachstumshemmende Wirkung im wesentlichen Ausdruck der Konzentration des Schadstoffes ist.

Da die physiologischen und biochemischen Wirkungen der Schadstoffe auf die Testpflanzen nicht bekannt sind, soll als erster Schritt dahin die Abhängigkeit des Wachstums von der Konzentration des Schadstoffes im Boden ermittelt werden. Auf der Suche nach dem wahren Zusammenhang müssen eine Vielzahl von verschiedenen mathematischen Funktionstypen hinsichtlich ihrer Anpassung an das Versuchsmaterial überprüft werden. Zur Eingrenzung der Möglichkeiten soll zunächst der mögliche Kurvenverlauf theoretisch abgeleitet werden.

Gartenkompost ist ein Boden, dessen Parameter in Hinsicht auf das Pflanzenwachstum optimal sind. Der Versuch mit Kompost dient deshalb als Referenzversuch. Auf dem reinen Schadstoff ist dagegen kein oder nur ein geringes Wachstum möglich. Es gilt also:

$$\left. \begin{array}{l} s_{\text{Kompost}} \\ g_{\text{Kompost}} \end{array} \right\} = 1$$

$$\left. \begin{array}{l} s_{\text{Schadstoff}} \\ g_{\text{Schadstoff}} \end{array} \right\} = \text{Minimum.}$$

Geht man hingegen von einem Substrat aus, dessen wachstumsbeeinflussende Parameter nicht optimal sind, kann durch die Zumischung eines Schadstoffes eine Parameterkombination entstehen, die zu einem Suboptimum der Ertragsbildung führt.

$$\begin{array}{ccccc} \text{Bodensubstrat} & & \text{Mischung} & & \text{Schadstoff} \\ s(g) & > & s(g) & > & s(g) \end{array}$$

Die geringe Anzahl von Versuchspunkten innerhalb einer Meßreihe läßt es jedoch nicht zu, allzu komplizierte Funktionale zu betrachten.

3. Auswertung der experimentellen Ergebnisse

Die bisher erhaltenen Versuchsdaten wurden zunächst nach den Funktionstypen

$$s = a M_0 + b, \quad (1)$$

$$s = a M_0^3 + b M_0^2 + c M_0 + d, \quad (2)$$

$$s = a e^{-b M_0^2}, \quad (3)$$

$$s = h + a \cdot e^{-b (|M_0 - c|) d} \quad (4)$$

verifiziert.

Als Gütemaß für die Anpassung wurde die Summe der Abweichungsquadrate in jeder Versuchsreihe für jeden Funktionstyp berechnet. (Gebräuchlicher ist zwar das Bestimmtheitsmaß, aber im vorliegenden Fall ist die Anwendung der $(\Delta s)^2$ gerechtfertigt.

Ein Vergleich der Minima der $(\Delta s)^2$ für die einzelnen Gleichungen zeigt, daß in den meisten Fällen die Gleichung (4) die experimentell ermittelten Werte am besten widerspiegelt. Für die Berechnung der K_b -Werte wird daher die allgemeine Gleichung

$$s, g = h + a \cdot e^{-b (|M_0 - c|) d}$$

verwendet.

Die bisher errechneten Konstanten für verschiedene Schadstoffe und die daraus abgeleiteten charakteristischen Werte zeigen die Tab. 1 und 2.

Ermittelte Konstanten der allgemeinen Nahrungsgleichung
 Tab. 1 für verschiedene Schadstoffe, Bodensubstrate und Pflanzen

$$s = h + a \cdot e^{-b/(M_0 - c)} \cdot d$$

Versuchsnr.	Schadstoff	Substrat	Pflanze	Konstanten					Kb	
				a	b	c	d	h	D ₁₀	D ₅₀
001	Systol A-SWK 6310	Auelehm	Papaver dubium	10	530	0	1,8	0	0,009	0,025
002			Helianthus annuus	10	1350	0	2,6	0	0,026	0,054
003			Beta vulgaris	10	155,3	0	1,7	0	0,014	0,041
004			Gras-Klee-Mischung	10	108,5	0	1,7	0	0,017	0,051
005	(Tauchnitz u.a. 1979b 1984a)	Asche	Papaver dubium	10	179,7	0	1,6	0	0,010	0,031
006			Helianthus annuus	10	91	0	1,0	0	0,023	0,067
007			Beta vulgaris	10	121	0	1,8	0	0,020	0,057
008			Gras-Klee-Mischung	10	84,1	0	1,0	0	0,024	0,070
010		Wasser	Daucus sativus	10	3239	0	1,5	0	0,001	0,004
011			Trifolium repens	10	175	0	1,2	0	0,002	0,010
012			Secale cereale	10	3,8	0	0,3	0	< 0,001	0,003
013			Triticum aestivum	10	2,7	0	0,2	0	< 0,001	0,001
014			Lepidium sativum	10	13	0	0,6	0	< 0,001	0,008
015			Sinapis alba	10	8,8	0	0,4	0	< 0,001	0,002
022	Nährlösung Bauschutt Kompost		Lepidium sativum	10	3247	0	0,7	0	< 0,001	0,004
023				10	194,5	0	1,4	0	0,005	0,018
024				10	12,1	0	1,0	0	0,009	0,057

Versuchsnr.	Schadstoff	Substrat	Pflanze	Konstanten					Kb	
				a	b	c	d	h	D ₁₀	D ₅₀
016	OAZ	Wasser	Triticum aestivum	10	1.3215 · 10 ⁰	0	3,4	0	0,002	0,004
017	(Tauchnitz u.a. 1979 c)		Secale cereale	10	115,2	0	0,9	0	< 0,001	0,003
025			Lepidium sativum	10	267	0	0,9	0	< 0,001	0,001
039	GS 1	Asche	Avena sativa	0,41	0,004	14,4	1,3	0	-	-
040		Kompost	10	0,103	0	0,8	0	1,03	10,84	
049		Ton	0,6	0,7308	0	0,3	0	-	0,010	
050		Brikett-abrieb	0,95	0,33	1,9	0,48	0	1,88/1,92	5,90	
051		(Tauchnitz u.a. 1981b)	Koksstaub	0,7	0,22	0	0,85	0	-	1,65
052			Bauschutt	0,75	0,238	0,9	0,4	0	-	4,69
053			Lob	0,7	0,055	0	1,2	0	-	4,52
054			Auelehm	0,95	0,0632	0	2,5	0	0,94	2,53
060			Braunkohle	0,9	0,94	5	1,2	0	5,00	4,32
064				0,9	0,21	5	0,77	0	5,00	8,81
064		Torfmulld	0,28	0,535	0	0,15	0	-	-	
066	GS2 siehe GS1	Kompost	Avena sativa	10	0,649	0	0,9	0	0,13	1,08
035	ASS-1 (Tauchnitz 1980)		Lepidium sativum	10	12	0	0,8	0	0,003	0,028
047		Kompost	Galinsoga parviflora	10	17,5	0	0,6	0	< 0,001	0,005

Versuchsnr.	Schadstoff	Substrat	Pflanze	Konstanten					Kb	
				a	b	c	d	h	D ₁₀	D ₅₀
036	ASS-2, Tauchnitz u.a. 1980	Kompost	Lepidium sativum	10	32	0	1,1	0	0,006	0,031
046			Galinsoga parviflora	10	29	0	0,8	0	0,001	0,009
048			Stellaria media	10	6,5	0	0,4	0	< 0,001	0,004
056	ASS-3 (Tauchnitz u.a. 1980)	Kompost	Lepidium sativum	1,25	21,8	0,04	1,3	0	0,080	0,127
057			Stellaria media	10	2,35	0	0,8	0	0,021	0,217
058			Galinsoga parviflora	10	1,76	0	0,3	0	< 0,001	0,045
072	ERS-F ERS-A (Tauchnitz u.a. 1980)	Kompost	Lepidium sativum	10	3,35	0	0,85	0	0,017	0,157
073				0,22	0,73	0	0,4	0,78	0,628	-

s... relative Wuchshöhe (Kompost = 1)
 h... relative Wuchshöhe auf reinem Schadstoff
 a... Differenz zwischen maximaler relativer Wuchshöhe und h
 c... M₀, bei dem s ein Maximum ist
 b, d... Konstanten, abhängig von Schadstoff, Substrat, Pflanzenart u.a.

Ermittelte Konstanten der allgemeinen Nahrungsgleichung $g = h + a \cdot e^{-b((M-cl)^d}$
 Tab.2 für verschiedene Schadstoffe, Bodensubstrate und Pflanzen

Versuchs Nr.	Schadstoffe	Substrat	Pflanze	Konstanten					charakteristische Werte	
				a	b	c	d	h	K ₉₀	K ₅₀
001	Systola-SWK6310	Auelehm	<i>Papaver dubium</i>	1,0	155	0	1,2	0	0,002	0,011
002			<i>Helianthus annuus</i>	1,0	2490	0	2,6	0	0,021	0,043
003			<i>Beta vulgaris</i>	1,0	309·10 ⁵	0	4,3	0	0,031	0,049
004			Gras-Klee-Mischung	1,0	76000	0	3,7	0	0,026	0,043
005		Asche	<i>Papaver dubium</i>	1,0	97100	0	3,5	0	0,020	0,034
006			<i>Helianthus annuus</i>	1,0	7037	0	3,1	0	0,028	0,051
007			<i>Beta vulgaris</i>	1,0	460	0	1,9	0	0,012	0,033
008			Gras-Klee-Mischung	1,0	5076	0	3,0	0	0,027	0,051
010		Wasser	<i>Daucus sativus</i>	1,0	32,4	0	0,7	0	<0,001	0,004
011			<i>Trifolium repens</i>	1,0	459	0	1,7	0	0,007	0,022
012			<i>Secale cereale</i>	1,0	179	0	2,0	0	0,024	0,062
013			<i>Triticum aestivum</i>	1,0	20	0	1,0	0	0,005	0,035
014			<i>Lepidium sativum</i>	1,0	6,1	0	1,5	0	0,067	(0,235)
015			<i>Sinapis alba</i>	1,0	136	0	2,0	0	0,028	0,071
023		Bauschutt	<i>Lepidium sativum</i>	1,0	2694	0	1,8	0	0,013	0,036
024		Kompost	1,0	9,82	0	1,3	0	0,031	0,130	
016	OAZ	Wasser	<i>Triticum aestivum</i>	1,0	309·10 ⁶	0	2,7	0	0,002	0,003
017			<i>Secale cereale</i>	1,0	4,18	0	0,7	0	<0,001	0,003
025			<i>Lepidium sativum</i>	1,0	5,081·10 ⁶	0	2,9	0	0,002	0,004

Versuchs Nr.	Schadstoff	Substrat	Pflanze	Konstanten					charakteristische Werte	
				a	b	c	d	h	K ₉₀	K ₅₀
039	GS1	Asche	<i>Avena sativa</i>	0,84	0,00776	0,1	1,3	0	-	33,45
040		Kompost		1,30	0,145	1,8	0,7	0	5,58	16,58
049		Ton		1,10	0,21	0	0,9	0	0,951	4,35
050		Brikettabrieb		0,85	0,1655	0	0,3	0	-	48,6
051		Koksstaub		1,0	0,3282	0	0,55	0	0,13	3,89
052		Bauschutt		1,1	0,327	0	0,4	0	0,295	9,03
053		Los		0,32	0,19	0	0,3	0	-	-
054		Auelehm		1,6	0,656	0	0,5	0	0,77	3,74
060		Braunkohle		0,7	0,22	5	0,5	0	-	2,66
064		Torfmuld		0,7	0,304	5	0,12	0	-	7,33
		0=M ₀ =5	0,8	0,0043	8	1,3	0	-	-	
		5=M ₀	0,8	0,009	8	1,3	0	-	29,0	
066	GS2	Kompost	<i>Avena sativa</i>	1,0	0,2635	0	1,1	0	0,43	2,41
035	ASS-1	Kompost	<i>Lepidium sativum</i>	1,0	7,2	0	1,0	0	0,015	0,096
036	ASS-2	Kompost	<i>Lepidium sativum</i>	1,0	1,86	0	0,6	0	0,008	0,193
056	ASS-3	Kompost	<i>Lepidium sativum</i>	1,0	302,3	0	3,6	0	0,110	0,185
072	ERS-F	Kompost	<i>Lepidium sativum</i>	1,25	5,9	0,15	1,0	0	0,206	0,305
073										

Erklärung: siehe Tab.1

Bei einem Vergleich der K_b-Werte, insbesondere der D₁₀- und D₅₀-Werte, werden für die Ablagerung der Abprodukte auf einer Deponie und für die Abschätzung der phytotoxischen Wirkung folgende Aussagen erhalten:

- Sind alle Versuche unter ähnlichen Bedingungen und mit gleichem Pflanzenmaterial durchgeführt worden, dann sind die K_b-Werte vergleichbar, und es läßt sich eine Reihenfolge (Abstufung) der Schadwirkung für die Abprodukte erkennen.

ASS-1 \approx ASS-2 $>$ Systol A \gg ASS-3 $>$ ERS-F $>$ ERS-A.

Für die Gießereialsande müssen aufgrund der Verwendung von anderem Pflanzenmaterial gesonderte Betrachtungen angestellt werden. Es gilt GS-2 $>$ GS-1.

Läßt man das Pflanzenmaterial unberücksichtigt, könnten die Gießereialsande zwischen den Gliedern ERS-F und ERS-A o. g. Reihe eingeordnet werden:

ASS-1 \approx ASS-2 $>$ Systol-A \gg ASS-3 $>$ ERS-F $>$ GS-2 $>$ GS-1 $>$ ERS-A.

- Von Bedeutung für die Kipptechnologie einer gemischten Schadstoffdeponie ist die Frage, mit welchen Komponenten (Abprodukte, Böden oder Lockergesteinen) das betreffende Abprodukt (Schadstoff) abgelagert werden muß, ohne daß das Prinzip der gemischten Schadstoffdeponie gestört wird. Für den Schadstoff GS-1 wurde bei Anwendung der verschiedenen Materialien folgende Reihe ermittelt:

Kompost \approx Auelehm \ll Brikettabrieb $<$ Bauschutt \approx Löß $<$ Koksstaub \ll Ton \ll Asche \approx Torfmüll.

Kompost und Auelehm puffern die Schädigung des Schadstoffes GS-1 am besten. Da dieser Schadstoff mehrere Faktoren der Schädigung erkennen läßt (niedriger pH-Wert, hoher SO_4^{--} -Gehalt, organische Inhaltsstoffe, kleine MWK, kleiner T-Wert u. a.), widerspiegelt diese Reihe auch dessen unterschiedliche Auswirkungen im Substrat. Es überlagern sich darin die Abnahme der Phytotoxizität mit der Erhöhung des pH-Wertes, der Sorptionskapazität, des Nährstoffgehaltes und der maximalen Wasserkapazität (MWK).

Analoge Ergebnisse für verwendete Komponenten lassen sich bei den Versuchen mit Systol A - SWK 6310 erkennen:

Kompost $<$ Bauschutt \ll Wasser.

Die Phytotoxizität vom Systol A nimmt mit zunehmender Sorptionskapazität der verwendeten Substrate ab.

Z u s a m m e n f a s s u n g

In vorliegender Arbeit wird die Ermittlung der Kultivierbarkeitswerte (K_b) für kontaminierte Böden beschrieben. Bei einem Vergleich von mehreren Funktionstypen wurde als optimalster die Funktion $s, g = h + a e^{-b(M_0 - c)^d}$ ermittelt. Mit dieser Funktion werden die K_b -Werte D_{10} , D_{50} , K_{90} und K_{50} berechnet. Durch die erhaltenen K_b -Werte können die in den Boden oder auf die Deponie gelangenden Abprodukte bezüglich der Möglichkeit der Kultivierung der verunreinigten Flächen miteinander verglichen werden.

S c h r i f t t u m

- Tauchnitz, J., R. Schnabel, W. Mahrla, K. Riedel und H. Scholz: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 1. Mitt.: Untersuchung über die Kultivierungsmöglichkeit von Deponien industrieller Abprodukte. *Hercynia N. F.*, Leipzig 15 (1978) 1, 58-65.
- Tauchnitz, J., H. Böhm, W. Mahrla, K. Riedel, W. Schiller, R. Schnabel, H. Scholz und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 2. Mitt.: Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien von gemischten Schadstoffdeponien. *Hercynia N. F.*, Leipzig 16 (1979 a) 1, 81-93.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel, A. Glöckner und H. Hennig: 4. Mitt.: Möglichkeit der Kultivierung systolverunreinigter Böden. *Hercynia N. F.*, Leipzig 16 (1979 b) 2, 169-183.
- Tauchnitz, J., Schnabel, M. Semper und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 5. Mitt.: Deponie fluorwasserstoffverseuchter Böden. *Hercynia N. F.*, Leipzig 16 (1979 c) 4, 440-448.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel, W. Pihan, A. Glöckner, R. Mahrwald und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 11. Mitt.: Ermittlung von Kultivierbarkeitswerten industrieller Abprodukte. *Hercynia N. F.*, Leipzig 19 (1982) (im Druck).

Tauchnitz, J., R. Schnabel, J. Rittig, R. Mahrwald und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 10. Mitt.: Charakteristik verschiedener Gießereialsande durch Pflanzversuche. *Hercynia N. F.*, Leipzig **18** (1981) 304–331.

Tauchnitz, J., R. Schnabel, D. Bense, V. Kunze und H. Hennig: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 8. Mitt.: Beitrag zur Ablagerung von Abprodukten aus dem Bereich der Farbenindustrie. *Hercynia N. F.*, Leipzig **17** (1980) 303–316.

Dr. rer. nat. J. Tauchnitz
Dipl.-Chem. R. Schnabel
Dipl.-Chem. W. Pihan
Prof. Dr. R. Mahrwald
Prof. Dr. sc. H. Hennig
Karl-Marx-Universität Leipzig
Sektion Chemie
DDR - 7010 Leipzig
Liebigstraße 18