

Aus der Sektion Chemie der Karl-Marx-Universität Leipzig

Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte

11. Mitteilung: Methodischer Beitrag zur Ermittlung von Kultivierbarkeitswerten für industrielle Abprodukte

Von Joachim Tauchnitz, Rolf Schnabel, Walter Pihan, Richard Mahrwald
und Horst Hennig

Mit 10 Abbildungen und 4 Tabellen
(Eingegangen am 8. August 1979)

1. Einleitung

Als Ergebnis unserer bisherigen Untersuchungen (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1979 b, 1979 c) zum Schadverhalten von Abprodukten gegenüber Pflanzen wurden sogenannte „charakteristische Werte“ erhalten. Diese charakteristischen Werte können als Parameter zur Erarbeitung der Technologie von gemischten Schadstoffdeponien gelten (Tauchnitz u. a. 1979 a). Technologisch ist eine gemischte Schadstoffdeponie so zu organisieren, daß sich der Deponiekörper fast problemlos in die Landschaft einordnet. Vegetationsfeindliches Material ist ab bestimmten Konzentrationen, die durch charakteristische Werte angegeben werden, nicht in der Kultivierungszone einer Schadstoffdeponie abzulagern.

In den bisherigen Untersuchungen (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1979 b, c) wurden 4 Werte ausgewählt, die für die Charakterisierung eines Schadstoffes ausreichend erscheinen. Das sind:

- K_{90} ... Mischungsverhältnis, bei dem die Keimung 90 % des Kontrollversuches beträgt.
- K_{50} ... Mischungsverhältnis, bei dem die Keimung 50 % des Kontrollversuches beträgt.
- D_{10} ... Mischungsverhältnis, bei dem die Wuchsdepression der oberirdischen Pflanzenteile 10 % (= 90 % des Wachstums) des Kontrollversuches erreicht und
- D_{50} ... Mischungsverhältnis, bei dem die Wuchsdepression der oberirdischen Pflanzenteile 50 % des Kontrollversuches beträgt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, eine einheitliche Methodik zur Ermittlung der charakteristischen Werte, die als Kultivierbarkeitswerte zu bezeichnen sind, herauszuarbeiten. Damit sollen die Kultivierbarkeitswerte (K_b -Werte) untereinander vergleichbar gemacht werden.

2. Voraussetzungen

2.1. Das Mischungsverhältnis (M)

Die zentrale Größe aller bisherigen Untersuchungen ist das Mischungsverhältnis M , das wie folgt definiert ist (Tauchnitz u. a. 1979 a):

$$M = \frac{\text{Menge schadstoffhaltiger Produkte (S)}}{\text{Menge schadstofffreier Produkte (B)}} \quad (1)$$

M ist eine unabhängige Variable. Sie ist gültig für die Gesamtheit eines Deponiekörpers. Bedingung für die Gültigkeit von M ist eine homogene Durchmischung aller Komponenten. In der Praxis können Inhomogenitäten auftreten, die sich als Schadstellen in der Kultivierungszone, durch Hemmung biologischer Abbauprozesse oder durch örtlich begrenzte Auslaugungen des Schadstoffes äußern.

Da die Schadstellen in einer Kultivierungszone auf Konzentrationsgradienten des Schadstoffes zurückzuführen sind, die Schadwirkung bezüglich der Kultivierung exakt ermittelt werden muß, ist bei der Ermittlung der K_b -Werte mit „quasi“-homogenen Mischungen zu arbeiten.

2.1.1. Schadstoffhaltiges Abprodukt

Das schadstoffhaltige Abprodukt S oder der Schadstoff selbst ist eine Substanz oder ein Substanzgemisch, das in seiner angefallenen Form keinen Pflanzenwuchs ermöglicht bzw. diesen so stark beeinträchtigen kann, daß die Wuchshöhe $< 25\%$ der Wuchshöhe der gleichen Pflanze auf humusreichem Boden beträgt. Beispiele für S sind diverse Gießereialtsande [Tauchnitz, Schnabel u. a. (1981)], HF-haltige Substrate (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1979 c), A-Komponenten der PUR-Produktion (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1979 b), Schwermetallverbindungen und Kohlenwasserstoffe.

2.1.2. Schadstofffreie Substrate

Schadstofffreie Substrate B sind solche Stoffe, die einen mit humusreichem Boden vergleichbaren Pflanzenwuchs zu tragen vermögen. Die erreichte Wuchshöhe liegt zwischen 70 und $> 100\%$ gegenüber Komposten. Typische schadstofffreie Substrate sind z. B. alle Arten von natürlichen unbelasteten Böden, einige Aschen, Bauschutt, Wasser.

2.2. Fremdeinflüsse

Soll M als unabhängige Variable in den Versuchen genutzt werden, sind weitere mögliche Einflußfaktoren auf das Wachstum abzuschätzen und konstant zu halten. Es sind dies in der Praxis die meteorologischen Verhältnisse, der schwankende Wassergehalt des Substrates, An- und Abreicherungsprozesse des Schadstoffes in der Wurzelzone der Pflanzen, der Eintrag von Material (Boden) aus der Umgebung und die Veränderung des Substrates durch die Pflanzen, durch Wurzelausscheidungen, verrottende organische Substanz (Blätter etc.) und die Durchwurzelung selbst, die Tätigkeit der Bodenorganismen, die Qualität der Luft, die Nährstoffverhältnisse und bei Gefäßversuchen die Größe der Gefäße (Jacob 1961, Giesecke 1954). Es liegt in der Natur des Versuches, daß er Modellcharakter trägt. Aus diesem Grunde kann für eine praktische Anwendung nicht eine Versuchsreihe allein ausschlaggebend sein, sondern es ist eine Serie von Versuchsreihen notwendig, die sich, beginnend vom Laborversuch, systematisch an die Praxisbedingungen herantastet. Die charakteristischen Werte von Schadstoffen werden deshalb nach der Differenzmethode (Giesecke 1954) ermittelt, indem man die von M unabhängigen Variablen gleichsinnig und gleichzeitig auf alle Versuche wirken läßt und so die „reine“ Wirkung von M herausfiltert. Das betrifft alle o. g. Fremdeinflüsse außer den Wassergehalt des Substrates und dessen Veränderung durch die Pflanzen bzw. die Bodenorganismen. Letztere Größe wird nach Möglichkeit verkleinert, indem ein möglichst großer Wurzelraum verwendet und so der Einfluß dieser Größe pro Menge des Substrates vernachlässigbar klein wird. Sie geht in die Ergebnisse mit ein und wird im weiteren vernachlässigt.

2.3. Mischungsverhältnis M_0

Das Mischungsverhältnis M [Gl. (1)] ist je nach dem aktuellen Wassergehalt der Substrate großen Schwankungen ausgesetzt. Dieser bewegt sich zwischen praktisch Null und der maximalen Wasserkapazität (in Ausnahmefällen sogar darüber). Aus diesem Grund wird ein theoretisches Mischungsverhältnis M_0 definiert.

Faßt man in (1) die variablen Wassermengen in S und B getrennt, ergibt sich

$$M = (S' + W_s) / (B' + W_B) \quad (2)$$

S' = wasserfreies schadstoffhaltiges Material,

B' = wasserfreies schadstofffreies Material,

$W_{s, B}$ = Wassermengen in den Materialien.

Reduziert man das Mischungsverhältnis aus Gründen der Vergleichbarkeit auf wasserfreie Materialien, so wird erhalten:

$$M_0 = S'/B. \quad (3)$$

Die Umrechnung von M auf M_0 und umgekehrt erfolgt über

$$M = f \cdot M_0. \quad (4)$$

Der Umrechnungsfaktor f ergibt sich aus (1), (3) und (4) zu

$$f = M/M_0 = S \cdot B'/B \cdot S'. \quad (5)$$

Da die in den Substraten (S, B) vorhandenen Wassermengen als Anteil in % angegeben werden (im weiteren $x_{S, B}$), können die Trockenmengen (S' , B') wie folgt ausgedrückt werden.

$$S' (B') = S (B) \cdot (1 - 0,01 x_S (x_B)). \quad (6)$$

Wird (6) in (5) eingesetzt, erhält man

$$f = \frac{S \cdot B (1 - 0,01 x_B)}{S (1 - 0,01 x_S) \cdot B} = \frac{(1 - 0,01 x_B)}{(1 - 0,01 x_S)}. \quad (7)$$

f ermöglicht es, mit Hilfe der Wassergehalte die Mischungsverhältnisse M auf miteinander vergleichbare Mischungsverhältnisse M_0 bzw. von diesen auf M bei bekanntem Wassergehalt umzurechnen.

3. Abhängige Variablen

Die Zielstellung dieser Arbeit engt den Kreis der möglichen abhängigen Variablen ein. An diese Variablen werden folgende Anforderungen gestellt:

Ihre Änderung muß deutlich meßbar, signifikant und eindeutig sein. Zwischen ihnen und M_0 muß ein möglichst einfach zu beschreibender Zusammenhang bestehen. Weiterhin muß das Auswertungsverfahren möglichst unkompliziert und schnell durchführbar sein. Von den möglichen Meßgrößen wurden daher die Keimung, die Wuchshöhe der oberirdischen Pflanzenteile und das Wurzelwachstum ausgewählt. Die Ermittlung des mathematischen Ausdrucks der Abhängigkeit zwischen den Variablen und M_0 (M) wird an anderer Stelle beschrieben.

3.1. Keimung g (germination)

Die Auswertung der Keimung erfolgt durch das Aussäen einer bestimmten, konstanten Samenzahl und das Auszählen der Pflanzen nach einem bestimmten Zeitabschnitt. Die Abhängigkeit der Keimung g von M_0

$$g = f_g (M_0) \quad (8)$$

wird ermittelt, indem der absolute Wert von g bei $M_0 = 0$ (Kontrollversuch) gleich 1 gesetzt wird und alle anderen g als Relativwerte zu g bei $M_0 = 0$ errechnet werden. Es ergeben sich also folgende charakteristische Wertepaare aus (8): (0; 1), (K_{90} ; 0,9), (K_{50} ; 0,5).

3.2. Wuchshöhe der oberirdischen Pflanzenteile s (shoot)

s wird beschrieben in der Funktion:

$$s = f_s (M_0). \quad (9)$$

Die absolute Wuchshöhe der oberirdischen Pflanzenteile wird gemessen vom Wurzelansatz bzw. der Substratoberfläche bis zur obersten Blattspitze bzw. Sproßknospe. Die so erhaltenen Absolutwerte werden arithmetisch gemittelt.

Die Mittelwerte in Abhängigkeit von M_0 werden analog g in Relativwerte überführt. Aus (9) werden folgende charakteristische Wertepaare abgeleitet: $(0;1)$, $(\bar{D}_{10}; 0,9)$, $(D_{50}; 0,5)$.

3.3. Wurzelwachstum r (root)

Beim Wurzelwachstum

$$r = fr(M_0)$$

wird analog zu s verfahren.

Es ist zu beachten, daß das Wurzelwachstum weniger exakt ermittelt werden kann, da das Herauslösen der Wurzeln aus dem Substrat in Abhängigkeit von dessen Konsistenz oft zum Abreißen feiner Wurzelteile führt. Aus diesem Grund wird das Wurzelwachstum auch nicht zur Ermittlung charakteristischer Werte verwendet, sondern dient, indem man $\left(\frac{s}{r}\right)$ am Punkt $M_0 = 0$ mit $\left(\frac{s}{r}\right)$ bei anderen Mischungsverhältnissen vergleicht, dazu, den Punkt der stärksten Schädigung zu ermitteln. Es gilt

$$\begin{aligned} (s/r)_{(M_0=0)} &< (s/r)_{(M_0>0)}: && \text{Der Sproß wird stärker geschädigt.} \\ (s/r)_{(M_0=0)} &= (s/r)_{(M_0>0)}: && \text{Die Schädigung erfolgt gleichlaufend.} \\ (s/r)_{(M_0=0)} &> (s/r)_{(M_0>0)}: && \text{Die Wurzel wird stärker geschädigt.} \end{aligned}$$

4. Wertung der Kb-Werte

Für die praktische Anwendung sind die Kb-Werte wie folgt zu benutzen:

- Ausschlaggebend für die Einschätzung der Schadwirkung eines Substrates sind die Werte D_{10} bzw. D_{50} , da sowohl die biologische Stoffproduktion als auch die Vitalität der Pflanzen wesentlich von der Wuchshöhe abhängen.
- Die Werte K_{90} bzw. K_{50} sind Ergänzungsgrößen, die einen entsprechenden Mehrbedarf an Saatgut gegenüber belasteten Flächen anzeigen.
- Infolge der zu erwartenden Inhomogenitäten bei Substratmischungen auf der Deponie muß ein $M_0 = D_{10}$ für die gesamte Substratmischung mindestens erreicht werden und die Inhomogenitäten dürfen $M_0 = D_{50}$ nicht überschreiten.
- Für $K_{50} < D_{10}$ ist dieser Wert statt D_{10} zu verwenden.

5. Durchführung der Versuche und Diskussion der Ergebnisse

Geht man davon aus, daß ein in seiner Schadwirkung unbekannter Stoff untersucht wird, so gliedert sich der Untersuchungsgang in mehrere Stufen, die hier am Beispiel des bereits bekannten Schadstoffs SYS-tol SWK 6310 dargestellt werden.

5.1. Grobeinschätzung der Schadwirkung – Schadstofftest

Die grundsätzliche Überlegung bei der Konzipierung einer Testmethode zur Ermittlung von Schadwirkungen war, den Schadstoff der Pflanze in einer verfügbaren Form direkt zu bieten und Substrateffekte möglichst auszuschalten. Das beschränkt die zu testenden Stoffe auf wasserlösliche und emulgierbare. Unlösliche und nicht emulgierbare Stoffe können, wenn sie sehr fein vorliegen, als Suspension eingesetzt werden. Es ist aber darauf zu achten, daß die Suspension möglichst homogen ist, um Inhomogenitäten der Schadstoffkonzentration zu vermeiden. Die Technik des Schadstofftests beruht auf einer Modifizierung der Methode von Sauerlich (1961):

In ein Petrischälchen (10 cm Durchmesser) werden 7 ml einer Lösung, Emulsion oder Suspension des zu untersuchenden Stoffs in destilliertem Wasser gegeben. Anschließend wird ein Blatt Filterpapier (für die gesamte Versuchsreihe stets die gleiche Sorte verwenden!) auf die Oberfläche der Flüssigkeit aufgebracht, so daß diese beim Absinken des Filterpapiers den Filter passieren muß und Feststoffe unterhalb des Filterpapiers bleiben. Auf dem Filterpapier wird eine für die Versuchsreihe konstante Zahl vorbehandelter Samen gleichmäßig verteilt.

Die Vorbehandlung der Samen erfolgt durch dreistündiges Vorquellen in destilliertem Wasser und anschließendes oberflächliches Abtrocknen mit einem Tuch.

Die so vorbereiteten Petrischälchen werden bei 20 °C im Dunkeln sechs Tage stehen gelassen. Anschließend erfolgt die Auswertung entsprechend Abschnitt 3.

Aus den erhaltenen Absolutwerten wurden g und s ermittelt und entsprechende Näherungsgleichungen errechnet. Diese werden in den Abb. 1 und 2 dargestellt. Aus den grafischen Darstellungen sind die K_b -Werte ermittelt worden (Tab. 1).

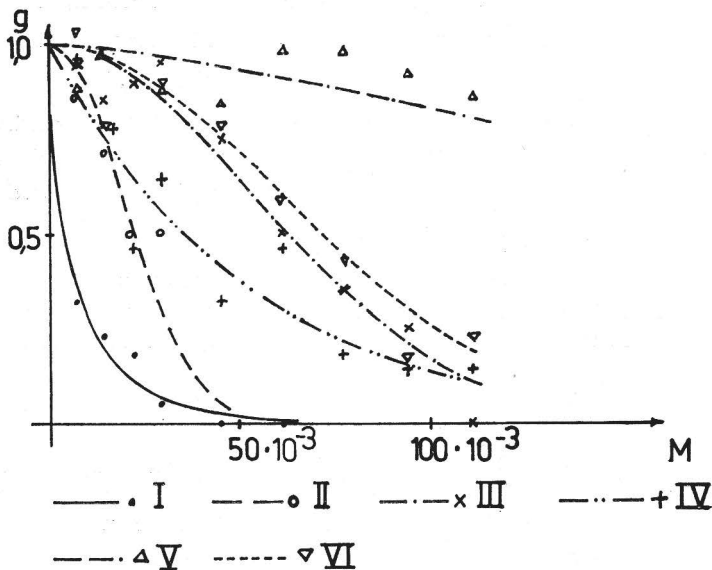


Abb. 1. Abhängigkeit der Keimung vom SYS-tol-Gehalt (Schadstofftest).
Näherungsgleichungen der dargestellten Kurven

I. $\ln g = -32,4 M^{0,7}$		- <i>Daucus sativus</i> HOFFM.									
M	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061	0,077			
$g_{exp.}$	1,00	0,32	0,23	0,18	0,05	0,00	0,00	0,00			
g_{th}	1,00	0,37	0,20	0,11	0,07	0,02	0,01	0,00			
II. $\ln g = -2044 M^{2,1}$		- <i>Tritolium repens</i> ssp. <i>repens</i> L.									
M	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061				
$g_{exp.}$	1,00	0,86	0,71	0,50	0,50	0,00	0,00				
g_{th}	1,00	0,94	0,77	0,51	0,30	0,05	0,00				
III. $\ln g = -179 M^2$		- <i>Secale cereale</i> L.									
M	0,000	0,007	0,014	0,022	0,009	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111	
$g_{exp.}$	1,00	0,95	0,85	0,90	0,95	0,75	0,50	0,35	0,25	0,00	
g_{th}	1,00	0,99	0,97	0,92	0,86	0,70	0,51	0,35	0,21	0,11	

IV. $\ln g = -20 M - \text{Triticum aestivum L.}$

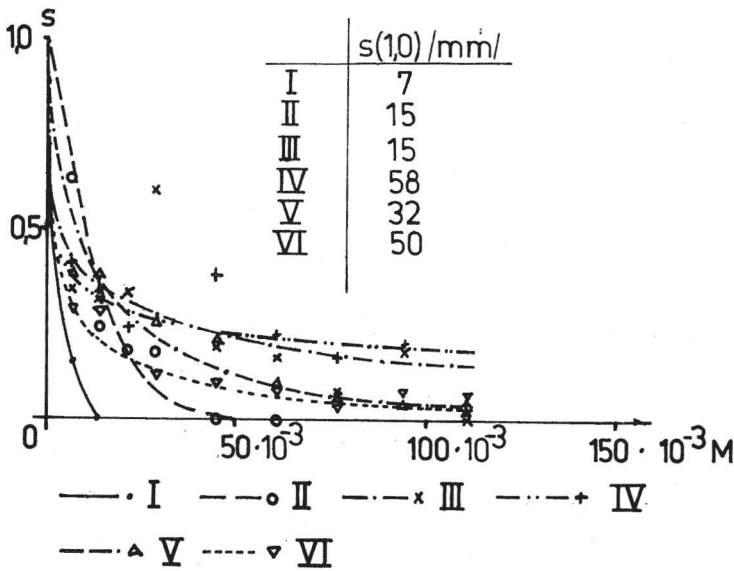
<i>M</i>	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111
<i>g_{exp.}</i>	1,00	0,96	0,77	0,46	0,64	0,32	0,46	0,18	0,14	0,14
<i>g_{th}</i>	1,00	0,87	0,76	0,64	0,56	0,41	0,30	0,21	0,15	0,11

V. $\ln g = -6,1 M^{1,5} - \text{Lepidium sativum L.}$

<i>M</i>	0,000	0,007	0,014	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111
<i>g_{exp.}</i>	1,00	0,88	0,98	0,88	0,84	0,98	0,98	0,92	0,86
<i>g_{th}</i>	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84	0,80

VI. $\ln g = -136 M^2 - \text{Sinapis alba L.}$

<i>M</i>	0,000	0,007	0,014	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111
<i>g_{exp.}</i>	1,00	1,03	0,78	0,89	0,78	0,59	0,43	0,16	0,22
<i>g_{th}</i>	1,00	0,99	0,97	0,89	0,76	0,60	0,45	0,30	0,19



Erläuterung: siehe Abb. 1

Abb. 2. Abhängigkeit des Wachstums vom SYS-toI-Gehalt (Schadstofftest). Näherungsgleichungen der dargestellten Kurven (s. auch Abb. 1)

I. $\ln s = -3239 M^{1,5}$

<i>M</i>	0,000	0,007	0,014
<i>s_{exp.}</i>	1,00	0,15	0,00
<i>s_{th}</i>	1,00	0,15	0,00

II. $\ln s = -175 M^{1,2}$

<i>M</i>	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061
<i>s_{exp.}</i>	1,00	0,63	0,25	0,18	0,18	0,00	0,00
<i>s_{th}</i>	1,00	0,64	0,35	0,17	0,08	0,01	0,00

III. $\ln s = -3,8 M^{0,3}$ (Versuch nach 3 Tagen abgebrochen)										
M	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111
$s_{exp.}$	1,00	0,34	0,32	0,33	0,60	0,19	0,16	0,07	0,18	0,00
s_{th}	1,00	0,42	0,35	0,30	0,27	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14
IV. $\ln s = -2,7 M^{0,2}$										
M	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111
$s_{exp.}$	1,00	0,40	0,33	0,24	0,26	0,38	0,22	0,16	0,19	0,04
s_{th}	1,00	0,37	0,32	0,28	0,26	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18
V. $\ln s = -13 M^{0,6}$ (Versuch nach 4 Tagen abgebrochen)										
M	0,000	0,007	0,014	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111	
$s_{exp.}$	1,00	0,38	0,38	0,26	0,21	0,09	0,06	0,05	0,02	
s_{th}	1,00	0,52	0,37	0,21	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	
VI. $\ln s = -8,8 M^{0,4}$ (Versuch nach 4 Tagen abgebrochen)										
M	0,000	0,007	0,014	0,029	0,045	0,061	0,077	0,094	0,111	
$s_{exp.}$	1,00	0,29	0,28	0,12	0,09	0,08	0,04	0,07	0,05	
s_{th}	1,00	0,30	0,20	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	

s (1,0) [mm]: Meßwerte der Wuchslängen in mm

Tabelle 1. Kb-Werte¹ für den Schadstoff SYS-tol aus dem Schadstofftest

Pflanze	K ₉₀	D ₁₀	K ₅₀	D ₅₀
I	< 1	1	4	4
II	9	2	22	10
III	24	< 1	62	3
IV	5	< 1	35	1
V	67	< 1	235	8
VI	28	< 1	71	2

¹ alle Werte · 10⁻³.

Als Testpflanzen sind solche mit sehr kleinen Samen aus folgenden Gründen nicht geeignet:

- Sehr kleine Samen (*Daucus sativus* HOFFM., *Tritolium repens* L., *Papaver dubium* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) MED. u. a.) sind schwierig zu handhaben.
- Die Keimpflanzen sind ebenfalls sehr klein und schwer meßbar.
- Derartige Samen werden meist in großen Mengen von der Pflanze produziert, so daß bei der Ernte Samen unterschiedlichen Reifegrades vorlagen und die natürliche Keimfähigkeit für Testversuche zu gering ist.

Pflanzen mit sehr großen Samen (*Phaseolus vulgaris* L. oder *Pisum sativum* L.) können wegen ihres Flächenbedarfs und ihrer großen Flüssigkeitsaufnahme ebenfalls nicht verwendet werden.

Von den hier verwendeten Pflanzen sind also die Getreidearten (*Secale cereale* L. und *Triticum aestivum* L.) wegen ihrer schnellen Keimung, ihrer robusten Keimpflanzen und vor allem wegen des unverzweigten und geraden Sprosses sowie *Lepidium sativum* L. geeignet. *Lepidium sativum* L. scheidet bei der Keimung eine gallertartige Hüllschicht aus, die den Keimling beim Keimvorgang offenbar gegen Schädwirkungen

schützt. Die Keimung selbst erfolgt unter den verschiedensten Bedingungen schnell (24–36 Stunden) und in hohem Prozentsatz ($\geq 85\%$). Die für die Messung ungünstige Zartheit und Zerbrechlichkeit der Pflanze wird durch o. g. Vorzüge aufgewogen. *Sinapis alba* L. erscheint als Testpflanze nicht geeignet, da ab 5. Tag Absterbeerscheinungen auftraten (auch im nicht kontaminierten Medium). Abb. 3 zeigt, daß das SYS-tol im Substrat Wasser vorwiegend als Wurzelgift wirkt.

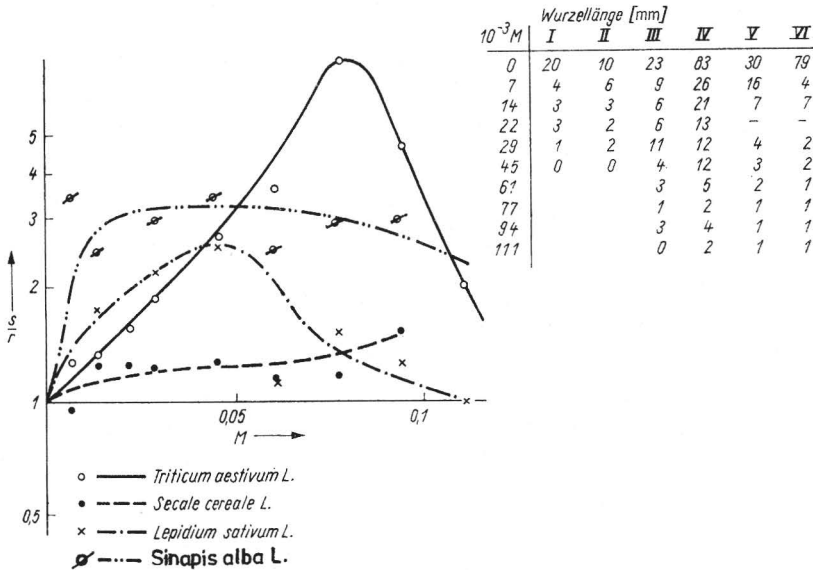


Abb. 3. Wirkung der SYS-tol SWK 6310 als Wurzelgift mit Angabe der Meßwerte. I–VI: s. Legenden zu den Abb. 1 und 2

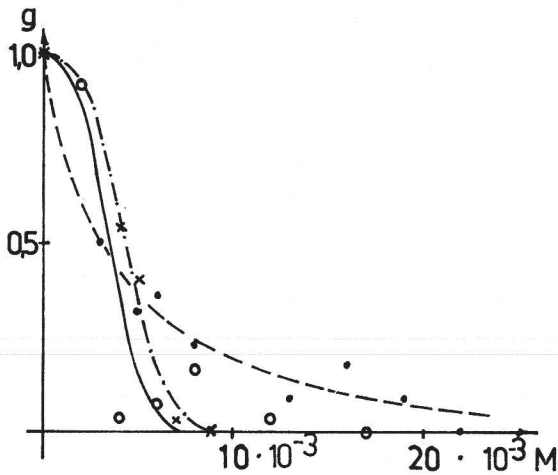
5.1.1. Beeinflussung der Schadwirkung von SYS-tol SWK 6310 durch eine oberflächenaktive Substanz („Fit“)

Der Schadstofftest kann auch zur Prüfung der Schadwirkung von Stoffgemischen verwendet werden. Dazu wurde eine Kombination von oberflächenaktiven Substanzen (OAS) und SYS-tol SWK 6310 getestet, indem verschiedene SYS-tol-Mengen zu einer Lösung von „Fit“ mit einem $M = 0,002$ zugegeben wurden. Die Ergebnisse sind den Abb. 6 und 7 zu entnehmen. Die Abbildungen zeigen, daß OAS die Schadwirkung des SYS-tol SWK 6310 vergrößern.

Zum Vergleich wurden mit „Fit“ Schadstofftests durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Abb. 4 und 5. Daraus ist zu entnehmen, daß OAS eine sehr starke Schadwirkung auf Pflanzen ausüben. Besonders deutlich wird das beim Vergleich mit der Wirkung von SYS-tol SWK auf *Lepidium sativum* L. Die OAS verhindern die Ausbildung der den Keimling während der Keimung schützenden Gallerthülle und lösen Fettbestandteile aus den Samenkörnern heraus. Das Samenkorn wird durch die OAS durchdrungen und verliert seine Funktion. Ebenso besteht die Möglichkeit, daß die vorhandenen Schadstoffe durch die OAS in die Samenkörner „hineingeschleppt“ werden. Die Schadwirkungen werden vergrößert (siehe Abb. 4 bis 7).

5.2. Ermittlung der Schadwirkung am Modellversuch – Gefäßversuche

Aufgabe der Gefäßversuche ist es, die Schadwirkung einer im Schadstofftest als Schadstoff erkannten Substanz oder eines bekannten Schadstoffes unter idealen De-



- — *Triticum aestivum* L.
- — *Secale cereale* L.
- — *Lepidium sativum* L.

Abb. 4. Schadwirkung von oberflächenaktiven Substanzen auf die Keimung. Näherungsgleichungen der dargestellten Kurven

Lepidium sativum L.

$$\ln g = -5,081 \cdot 10^6 M^{2,9}$$

M	0,000	0,004	0,005	0,007	0,009
$g_{\text{exp.}}$	1,00	0,54	0,40	0,03	0,00
g_{th}	1,00	0,57	0,34	0,06	0,00

Secale cereale L.

$$\ln g = -41,8 M^{0,7}$$

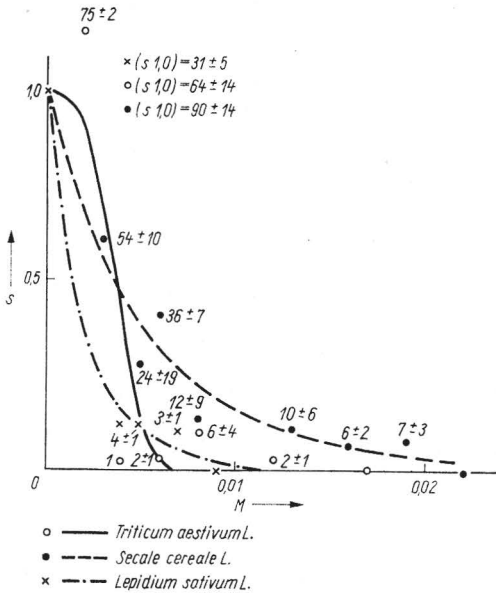
M	0,000	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,019	0,022
$g_{\text{exp.}}$	1,00	0,50	0,32	0,36	0,23	0,00	0,09	0,18	0,09	0,00
g_{th}	1,00	0,49	0,36	0,31	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	0,06

Triticum aestivum L.

$$\ln g = -3,09 \cdot 10^6 M^{2,7}$$

M	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,012	0,017
$g_{\text{exp.}}$	1,00	0,92	0,04	0,08	0,17	0,04	0,00
g_{th}	1,00	0,85	0,35	0,05	0,00	0,00	0,00

poniebedingungen zu ermitteln. Das beinhaltet, daß der Schadstoff homogen mit einem schadstofffreien Substrat oder einer schadstofffreien Substratmischung vermischt und dieses Deponiemodell unter möglichst konstanten äußeren Bedingungen (Temperatur, Wassergehalt, Licht etc.) untersucht wird.



$10^{-3}M$	Wurzellänge [mm]		
	\circ —————	\bullet —————	\times - - - -
0	88 ± 27	125 ± 27	20 ± 13
2	90 ± 24		
3		24 ± 12	
4	12 ± 5		2 ± 1
5		12 ± 6	2 ± 1
6		13 ± 7	
7			~ 1
8	3 ± 2	4 ± 3	
9			0
10			
12	0		
13		~ 1	
16		~ 1	
17			
19		~ 1	
22		0	

Abb. 5. s in Abhängigkeit von M bei OAS im Schadstofftest. Näherungsgleichungen der dargestellten Kurven

Triticum aestivum L.

$\ln s = - 1.3215 \cdot 10^8 M^{3,4}$

M	0,000	0,002	0,004	0,006	0,008	0,012	0,017
$s_{exp.}$	1,00	1,16	0,02	0,03	0,10	0,03	0,00
s_{th}	1,00	0,92	0,39	0,03	0,00	0,00	0,00

Secale cereale L.

$\ln s = - 115,2 M^{0,9}$

M	0,000	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,013	0,016	0,019	0,022
$s_{exp.}$	1,00	0,61	0,27	0,41	0,13	0,00	0,11	0,07	0,08	0,00
s_{th}	1,00	0,54	0,38	0,32	0,22	0,16	0,10	0,06	0,04	0,02

Lepidium sativum L.

$\ln s = - 267 M^{0,9}$

M	0,000	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011
$s_{exp.}$	1,00	0,12	0,12	0,10	0,00	0,00
s_{th}	1,00	0,16	0,10	0,05	0,02	0,00

Angabe der Meßwerte der Wuchslängen der oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteile in mm

Die schadstofffreien Bodensubstrate sind chemisch und physikalisch zu charakterisieren. In diesem Fall werden die agrochemischen Parameter angegeben (siehe Tab. 2). Es werden Mitscherlich-Gefäße verwendet, die Versuchsmethodik entspricht einer „künstlichen“ Bodenkultur (Giesecke 1954) und die Technik dem Mitscherlich-Versuch.

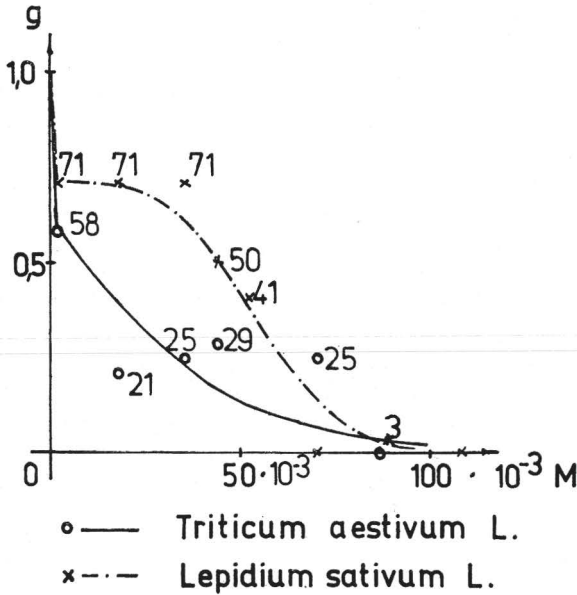
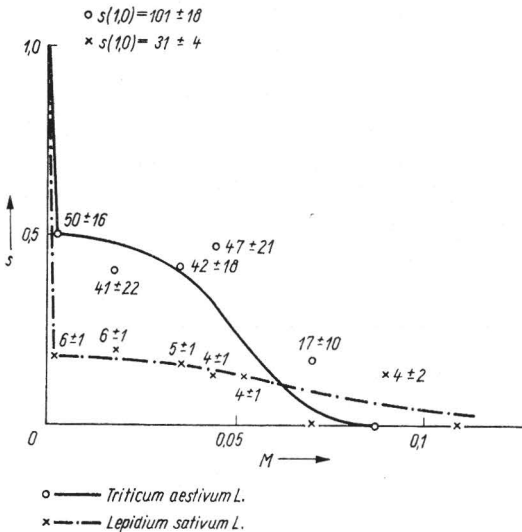


Abb. 6. g in Abhängigkeit von M bei Mischungen von SYS-tol mit OAS im Schadstofftest mit Angabe der ermittelten Absolutwerte

M	0,000	0,002	0,018	0,035	0,044	0,052	0,070	0,089	0,108
g _{exp.}	1,00	0,71	0,71	0,71	0,50	0,41	0,00	0,03	0,00

Triticum aestivum L.

M	0,000	0,002	0,018	0,035	0,044	0,052	0,070	0,089	0,108
g _{exp.}	1,00	0,58	0,21	0,25	0,29	0,00	0,25	0,00	0,00



10 ⁻³ M	Wurzellänge [mm]	
	○	x
0	123 ± 17	33 ± 13
2	34 ± 8	3 ± 1
18	37 ± 17	5 ± 1
35	20 ± 9	4 ± 1
44	28 ± 12	3 ± 1
52		2 ± 1
70	11 ± 7	
87	0	
89		2 ± 1
108		0

Abb. 7. s in Abhängigkeit von M bei Mischungen von SYS-tol mit OAS im Schadstofftest mit Angabe der Absolutwerte der ober- und unterirdischen Pflanzenteile in mm

Lepidium sativum L.

M	0,000	0,002	0,018	0,035	0,044	0,052	0,070	0,089	0,108
S _{exp.}	1,00	0,18	0,20	0,16	0,13	0,13	0,00	0,13	0,00
S _{th}	1,00	0,18	0,18	0,16	0,14	0,12	0,08	0,05	0,02

Triticum aestivum L.

M	0,000	0,002	0,018	0,035	0,044	0,052	0,070	0,089	0,108
S _{exp.}	1,00	0,50	0,41	0,42	0,47	0,00	0,17	0,00	0,00

Für Mischungen mit dem Substrat Wasser wurden Glasgefäße verwendet. Der Wasserstand wurde täglich geprüft und wenn nötig ergänzt. Der Wechsel des Substrats einschließlich der Erneuerung der Nährstoffe (Zugabe von 300 mg des handelsüblichen Nährstoffgemisches „Wopil“ zu 300 ml Substrat) erfolgte wöchentlich.

Tabelle 2. Verwendete Substratmischungen

	$10^{-3} M_0$	MWK [%]	Wasser- gehalt [%]	κ [mS·cm ⁻¹]	pH (0,1 N KCL)
Bauschutt ¹	0	26		0,70	7,2
	27	31	11 ± 1	0,55	8,0
	113	35		0,55	8,1
Kompost ¹	0	104		1,10	7,0
	15	88		0,80	7,8
	24	93	40 ± 1	0,70	7,8
	36	82		0,60	7,7
	58	86		0,85	7,8
	72	83		0,55	7,8
	105	83		0,60	7,8
	122	85		0,50	7,7

κ : Leitfähigkeit

MWK: maximale Wasserkapazität

¹ Die agrochemischen Parameter sind in Tauchnitz, Schnabel u. a. (1981) angegeben.

Tabelle 3 und Abb. 8–10 zeigen die Ergebnisse von Gefäßversuchen mit dem Schadstoff SYS-tol und den Substraten Wasser, Bauschutt und Kompost, die in Tab. 2 charakterisiert werden. Die Lufttemperaturen (Tagesmittel) während der Versuchszeit betragen 13 ± 2 °C. Als Testpflanze fungierte *Lepidium sativum* L.

Aus den Abb. 8 und 9 wurden die Kb-Werte ermittelt (die grafischen Darstellungen entsprechen den angegebenen Näherungsgleichungen).

Die in Tab. 4 enthaltenen Werte weisen im Verhältnis zum Schadstofftest (Tab. 1) eine höhere Empfindlichkeit von *Lepidium sativum* L. gegenüber SYS-tol aus. Als Ursache dafür kann die kürzere Versuchsdauer des Schadstofftests angesehen werden. Die sehr hohen Kb-Werte zeigen, daß die ausgeschiedene Gallerthülle die Schädigung mindert. Bei Bauschutt führt der geringe Wassergehalt wahrscheinlich auch zu einer verringerten Gallertausscheidung. Die übrigen Werte zeigen eine Abnahme der Schädigung mit der Zunahme des Gehaltes an organischer Substanz und der Austauschkapazität der Böden. Gleichsinnig verlagert sich der Ort der größten Schädigung von der Wurzel (Abb. 3) zum Sproß (Abb. 10).

Tabelle 3. Ergebnisse der Gefäßversuche mit SYS-tol nach 42 Tagen (11. 1. - 22. 2. 1978)

M_0	r (mm)		
	Wasser	Bauschutt	Kompost
0	68 ± 16	40 ± 12	52 ± 14
0,007	16 ± 3	—	—
0,008	—	43 ± 11	—
0,014	12 ± 1	—	—
0,015	—	—	55 ± 13
0,024	—	—	53 ± 8
0,026	7 ± 1	—	—
0,027	—	18 ± 3	—
0,036	—	—	41 ± 12
0,040	—	10 ± 1	—
0,045	4 ± 1	—	—
0,054	—	0	—
0,058	—	—	52 ± 12
0,072	—	—	51 ± 18
0,086	—	—	40 ± 12
0,105	—	—	48 ± 11
0,122	—	—	39 ± 4
0,150	—	—	26 ± 6

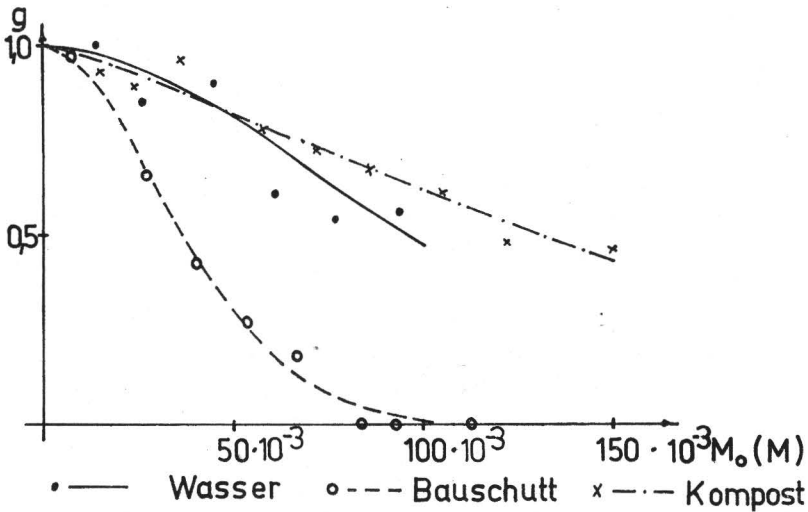


Abb. 8. Abhängigkeit der Schädigung auf die Keimung vom SYS-tol-Gehalt und vom Substrat. Näherungsgleichungen der dargestellten Kurven

Wasser (Nährlösung)

$$\ln g = -47,7 M^{1,8}$$

M	0,000	0,007	0,014	0,026	0,045	0,061	0,077	0,094
$g_{exp.}$	1,00	1,15	1,00	0,85	0,90	0,61	0,54	0,56
g_{th}	1,00	0,99	0,98	0,94	0,84	0,73	0,62	0,51

Bauschutt

$$\ln g = - 269,4 M_o^{1,8}$$

M_o	0,000	0,008	0,027	0,040	0,054	0,067	0,084	0,093	0,113
$g_{exp.}$	1,00	0,97	0,66	0,42	0,27	0,18	0,00	0,00	0,00
g_{th}	1,00	0,96	0,67	0,44	0,24	0,13	0,04	0,02	0,00

Kompost

$$\ln g = - 9,82 M_o^{1,3}$$

M_o	0,000	0,015	0,024	0,036	0,058	0,072	0,086	0,105	0,122	0,150
$g_{exp.}$	1,00	0,93	0,89	0,96	0,78	0,72	0,67	0,61	0,48	0,46
g_{th}	1,00	0,96	0,93	0,88	0,78	0,73	0,67	0,59	0,53	0,43

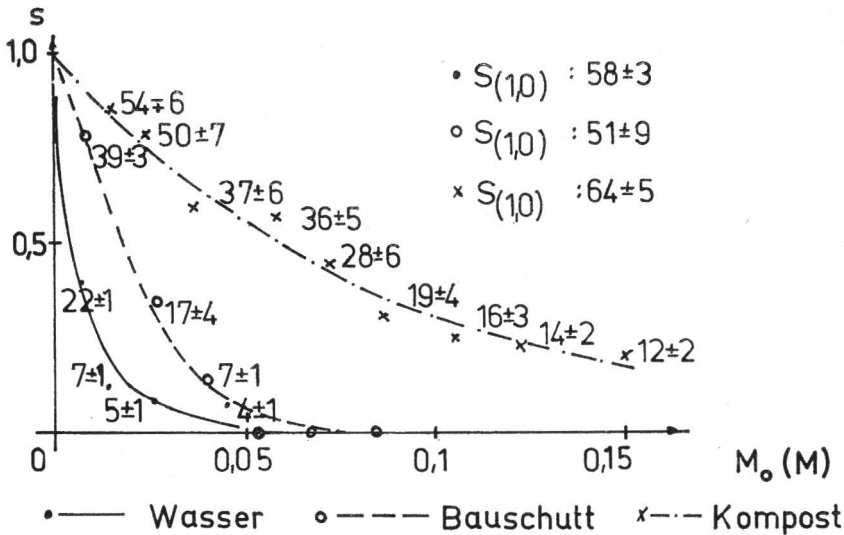


Abb. 9. Abhängigkeit der Schadwirkung auf das Wachstum vom SYS-tol-Gehalt und vom Substrat. Nährgleichungen der dargestellten Kurven

Wasser (Nährlösung)

$$\ln s = - 32,47 M^{0,7}$$

M	0,0000	0,007	0,014	0,026	0,045
$s_{exp.}$	1,00	0,39	0,12	0,08	0,07
s_{th}	1,00	0,37	0,19	0,08	0,02

Bauschutt

$$\ln s = - 194,5 M_o^{1,4}$$

M_o	0,000	0,008	0,027	0,040	0,054	0,067	0,084
$s_{exp.}$	1,00	0,78	0,34	0,14	0,00	0,00	0,00
s_{th}	1,00	0,80	0,29	0,12	0,04	0,01	0,00

Kompost

$$\ln s = - 12,1 M_o$$

M_o	0,000	0,015	0,024	0,036	0,058	0,072	0,086	0,105	0,122	0,150
$s_{exp.}$	1,00	0,85	0,78	0,59	0,56	0,44	0,30	0,24	0,22	0,19
s_{th}	1,00	0,83	0,75	0,65	0,50	0,42	0,35	0,28	0,23	0,16

mit Angabe der gemessenen Absolutwerte (in mm)

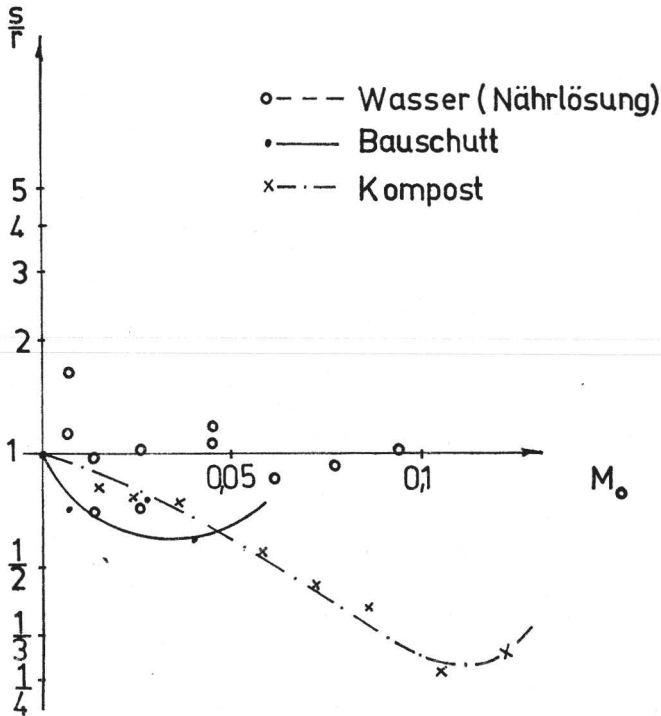


Abb. 10. Wirkung des Schadstoffes SWK 6310 als Wurzelgift in verschiedenen Substraten

Tabelle 4. Kb-Werte¹ für den Schadstoff SYS-tol aus den Gefäßversuchen

	K ₉₀	D ₁₀	K ₅₀	D ₅₀
Wasser	33	< 1	95	4
Bauschutt	13	5	36	18
Kompost	31	9	130	57

¹ alle Werte · 10⁻³

5.3. Überprüfung der Ergebnisse im Feldversuch

Die im Gefäßversuch ermittelten Kb-Werte können nach Überprüfung im Feldversuch unter natürlichen Bedingungen unmittelbar auf der Deponie verwendet werden. Die Technik des Feldversuches wurde bereits ausführlich beschrieben (Tauchnitz, Schnabel u. a. 1979 b; Jacob u. a. 1961).

Zusammenfassung

- Am Beispiel des Pflanzenschadstoffes SYS-tol SWK 6310 wurde das Verfahren zur Ermittlung von charakteristischen Werten für die Technologie einer gewünschten Schadstoffdeponie dargestellt.
- Als unabhängige Variable tritt das „theoretische“ Mischungsverhältnis M_0 auf. Das Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile s und der Wurzeln r sowie die Keimung g werden in Abhängigkeit von M_0 untersucht und dargestellt.

- Für das SYS-tol wurden folgende D_{10} ermittelt:
- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| Wasser | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| Bauschutt | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Braunkohlenkesselhausasche | $22 \cdot 10^{-3}$ (25) |
| Kompost | $9 \cdot 10^{-3}$ |
| lehmhaltiger Aueboden | $19 \cdot 10^{-3}$ (15) |
- Die entsprechenden D_{50} sind:
- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| Wasser | $4 \cdot 10^{-3}$ |
| Bauschutt | $18 \cdot 10^{-3}$ |
| Braunkohlenkesselhausasche | $65 \cdot 10^{-3}$ |
| Kompost | $57 \cdot 10^{-3}$ |
| lehmhaltiger Aueboden | $49 \cdot 10^{-3}$ (50) |

S c h r i f t t u m

- Giesecke, F.: Methodenbuch, Bd. IX. Der Vegetationsversuch. 2. Der Gefäßversuch und seine Technik (Sand- und Bodenkultur). Neumann Verlag, Radebeul/Berlin (1954).
- Jacob, A., H. Rüter und W. U. Behrens: Methodenbuch, Bd. X. Der Vegetationsversuch. 3. Der Feldversuch und seine Technik. Neumann Verlag, Radebeul/Berlin (1961).
- Sauermilch, W.: Vergleichende Weizenkeimversuche mit Verbindungen der Pyridinreihe. Beitr. Biol. Pflanze **36** (1961) 91–96.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 10. Mitt.: Charakteristik verschiedener Gießereialtsande durch Pflanzenversuche. Hercynia N. F., Leipzig **18** (1981) 3, 304–331.
- Tauchnitz, J., u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 2. Mitt.: Abgrenzung reiner Schadstoffdeponien von gemischten Schadstoffdeponien. Hercynia N. F., Leipzig **16** (1979 a) 1, 81–91.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte und 4. Mitt.: Möglichkeit der Kultivierung systolverunreinigter Böden. Hercynia N. F., Leipzig **16** (1979 b) 169–183.
- Tauchnitz, J., R. Schnabel u. a.: Zur Ablagerung der industriellen Abprodukte. 5. Mitt.: Deponie fluorwasserstoffverseuchter Böden. Hercynia N. D., Leipzig **16** (1979 c) 440–448.

Dr. rer. nat. Joachim Tauchnitz
 Dipl.-Chem. Rolf Schnabel
 Dipl.-Chem. Walter Pihan
 Prof. Dr. Richard Mahrwald
 Prof. Dr. sc. Horst Hennig
 Karl-Marx-Universität Leipzig
 Sektion Chemie
 DDR - 7010 Leipzig
 Liebigstraße 18