



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 08 758 T2 2004.11.18**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 208 922 B1**

(51) Int Cl.⁷: **B09C 1/10**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 08 758.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 490 051.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **03.03.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.11.2004**

(73) Patentinhaber:

Leggo, Peter J., Dr., Linton, GB

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(74) Vertreter:

**Kreutzer, U., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 47119
Duisburg**

(72) Erfinder:

Leggo, Dr., Peter J., Linton, GB

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Unterstützen des Pflanzenwachstums in mit Schwermetallen verunreinigten giftigen Substraten**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Aktivitäten der industrialisierten Zeit führten in bestimmten Arealen zu einer solch konzentrierten Ablagerung von Metallen, dass erhebliche Gesundheitsgefährdung oder gar Lebensgefahr daraus resultiert.

[0002] Metallproduzierende Tätigkeiten wie Bergbau oder Schmelzen, sowie die allgegenwärtige Anwendung von Metallen, führten zur Anreicherung von toxischen Metallen im Boden entsprechender Areale.

[0003] In den letzten Jahren wurden Anstrengungen unternommen, pflanzliche Sanierungsmethoden zu entwickeln. In diesen werden metallanreichernde Pflanzen, sogenannte Metallophyten, genutzt, um giftige Metalle von entsprechenden Böden zu entfernen.

[0004] Es ist seit einiger Zeit bekannt, dass bestimmte Pflanzen Metalle in ihren Blättern, Stamm oder Wurzeln anreichern.

[0005] Für Schwermetalle können zwei verschiedene pflanzliche Sanierungsmethoden unterschieden werden:

- „Wurzelfiltration“, d. h. die Anreicherung von Metallen in Pflanzenwurzeln;
- „Phytostabilisation“, d. h. die Pflanzenwurzeln limitieren die Verfügbarkeit von Schwermetallen und begrenzen somit deren Abwanderung in das Grundwasser.

[0006] Mehr als 400 Phytostabilisatoren sind bekannt. Die meisten dieser Pflanzen absorbieren Nickel, während Mangan, Cadmium und Blei verhältnismäßig selten absorbiert werden.

[0007] Verschiedene Metallophyten sind bisher getestet worden, so z. B. Brassicaceae (*Thlaspi brachypetalum*, *T. ochroleucum*, *T. caerulescens*, *T. rotundifolium*, *Cardaminopsis halleri*), Caryophyllaceae (*Minuartia verna*, *Polycarpea synandra*), Fabaceae (*Astragalus pectinatus*, *A. bisulatus*), Myriophyllium *verticillatum*, *Pshycho-trai douerreri*, *Viola calaminaria*.

[0008] Das Dokument US-A-5.917.117 bezieht sich auf eine Methode, in welcher eine Metallhyperakkumulation in Trieben von Pflanzen wie Brassicaceae (z. B., *Brassica*, *Sinapsis*, *Thlaspi*, *Alyssum*, *Eruca*) durch Kontakt mit chelatbildenden Mitteln (z. B. Roundup®) und einer hohen Konzentration von Schwermetallen erreicht wird. Die Pflanzen werden erst nach einer gewissen Wachstumsphase mit entsprechenden Mitteln in Kontakt gebracht, da Metallanreicherungen in den Trieben das Wachstum erheblich beeinträchtigen.

[0009] Die Verwendung von phytotoxischen Induktionsmitteln gemäß US-A-5.917.117 ist eine nicht ökologische Methode und birgt ein potentielles Risiko für den Anwender.

[0010] Dokument US-A-5.711.784 beinhaltet eine Methode zum Extrahieren von Nickel, Kobalt und anderen Metallen, inklusive der Platin-Paladium Familie, von Böden durch „phytomining“ (Phyto-Bergbau). Die Bedingungen beinhalten 1) das Senken des pH-Wertes des Bodens durch das Hinzufügen von Schwefel und der Hilfe von Ammoniak haltigen Stickstoff Düngern, 2) die Aufrechterhaltung einer niedrigen Ca Konzentration durch die Versäuerung der Böden mit Schwefel oder Schwefelsäure und 3) die Verabreichung von chelatbildenden Mitteln wie z. B. NTA an die Böden.

[0011] Die Methode, die im Dokument US-A-5.711.784 beschrieben wird, ist kompliziert und nicht ökologisch.

[0012] Das Dokument US-A-5.927.005 bezieht sich auf eine Methode zum Entfernen von Schwermetallen aus Böden mit der Hilfe von kreosoten Pflanzen (*Lacrea tridentata*). Um die pflanzliche Aufnahme der Metalle zu verbessern, wird auch hier vorgeschlagen den Säuregehalt der entsprechenden Böden zu erhöhen oder ihnen Chelate beizumischen.

[0013] Andere pflanzliche Sanierungsmethoden sind in folgenden Dokumenten beschrieben: WO-A-00/28093, WO-A-00/31308, WO-A-98/59080, WO-A-94/01357, EP-A-0 911 387, JP-A-57.000.190, DE-A-41 00 758, DE-A-39 21 336, US-A-5 100 455, US-A-5.320.663, US-A-5 364 451, US-A-5 785 735, US-A-5 809 693, US-A-5 853 576, US-A-5 928 406, US-A-5.944.872, US-A-6 117 462.

[0014] Trotz ansteigenden Interesses und intensiverer Forschung bleiben etliche Probleme pflanzlicher Sanierungsmethoden bestehen. Z. B. können einige Metalle in kontaminierten Gebieten durch solche Methoden nicht erfasst werden, da sie sich unterhalb der von Wurzeln durchdrungenen Schicht befinden. Viele der be-

kannten metallanreichernden Pflanzen sind zu kleinwüchsig, um signifikante Mengen von Metallen anzureichern. Hinzu kommt, dass viele der so weit identifizierten metallanreichernden Pflanzen tropisch sind.

[0015] Die hier vorgestellte Erfindung bietet eine Möglichkeit, das Wachstum von Pflanzenwurzeln in mit Schwermetallen kontaminierten Substraten zu verbessern.

[0016] Des Weiteren bietet diese Erfindung einen Weg zur Vermeidung von Oberflächenerosion, insbesondere auf mit Schwermetallen kontaminierten Böden.

[0017] Diese Erfindung fördert das Wachstum von Metallophyten und anderen Pflanzen auf mit Schwermetallen verseuchten Böden.

[0018] Die genannten Ergebnisse werden dabei auf ökologische Weise erzielt und sind kostengünstiger als die meisten bekannten biologischen Sanierungsmethoden.

[0019] Die Erfindung bietet eine Methode der Aufrechterhaltung von Pflanzenwuchs auf mit Schwermetallen verseuchten Substraten durch die Beimischung einer organisch-zeolithischen Komponente.

[0020] Die Schwermetalle können Zink, Kupfer, Blei, Kadmium oder Arsen darstellen und die beigemischte organisch-zeolithische Mischung beträgt zwischen 10% und 25% des entsprechenden Substrats.

[0021] Mit dieser Methode kann der Wachstum verschiedenster Pflanzen, insbesondere deren Wurzelsysteme, auf mit Schwermetallen verseuchten Substraten aufrechterhalten werden.

[0022] Wegen des Fehlens von verfügbarem Stickstoff und anderer essentieller Nährstoffe in mit Schwermetallen verseuchten Böden, ist das Pflanzenwachstum so stark eingeschränkt, dass kein Schutz vor Bodenerosion gegeben ist. Durch das Aufbessern entsprechender Böden mit organo-zeolithischem Dünger kann dieser Zustand überwunden werden, da das Wachstum von Pflanzen mit dichten Wurzelsystemen möglich wird.

[0023] Die Methodik der hier vorgestellten Erfindung kann dem Trieb-zu-Wurzel-Verhältnis der jeweiligen Pflanzenspezies angepasst werden. In dieser Hinsicht können Pflanzen, die Metalle wie Zn, Cd oder Cu in ihren Trieben anreichern, erfolgreich angebaut und anschließend geerntet werden, um die entsprechenden Metalle endgültig von der Wurzelschicht zu entfernen.

[0024] Die Methode der hier vorgestellten Erfindung ermöglicht es, das mit Metall angereicherte Pflanzengewebe durch Einäschern auf ein sehr geringes Volumen zu reduzieren. Die anfallende Asche kann mit Zeolith und Portland-Zement vermischt werden. Entsprechender Beton ist bekannt für seine hohe Druckfestigkeit.

[0025] Genauer gesagt, können die sich in der Asche befindlichen Schwermetallkationen in wässrige Lösung gebracht werden und durch Ionenaustausch in zeolithischen Tuff aufgenommen werden. Das daraus resultierende zeolithische Material kann getrocknet werden und zur Herstellung von Mischzementen von hoher Druckfestigkeit verwendet werden. Diese Zemente sind auch für ihre reduzierte, durch Alkali-Aggregat-Reaktionen erzeugte, Ausdehnung bekannt.

[0026] Es ist bekannt, dass natürliche Zeolith-Mineralen als biologische Dünger verwendet werden können (z. B. JP-A-10210855, JP-A-4197110, EP-A-444392, US-A-5 082 488, US-A-5 451 242, US-A-5 900 387, RU-A-2 121 777, RU-A-2 132 122, RU-A-2 137 340). Die Herstellung organischen Düngers unter der Verwendung von zeolithischem Tuff ist in Dokument US-4.559.073 beschrieben. Darin wird behauptet, dass die Einbeziehung von Zeolith den Wassergehalt der Mixtur reduziert und auf diese Weise effektive aerobe Gärung ermöglicht wird.

[0027] Dokument US-A-5.106.405 legt die ionenaustauschenden Eigenschaften von Ammoniakionen dar. Diese Eigenschaft wird mikrobiologisch kontrolliert und erlaubt eine Versorgung mit freigesetztem Stickstoff an Pflanzen, die in mit zeolithischem Biodünger versetzten Substraten wachsen.

[0028] Der Erfinder hat entdeckt, dass natürlich vorkommendes zeolithisches Material zur Herstellung von biologischem Dünger verwendet werden kann, der das Pflanzenwachstum in mit Schwermetallen kontaminierten Böden nachhaltig aufrechterhalten kann. Des Weiteren wurde vom Erfinder entdeckt, dass über das Verhältnis von zeolithischem Biodünger zu Substrat das Trieb-zu-Wurzel-Verhältnis der entsprechenden Pflanzen kontrolliert werden kann, wodurch das Pflanzenwachstum den jeweiligen Bedingungen angepasst werden kann.

So stellt z. B. ein dichtes Wurzelwerk einen effektiveren Erosionsschutz dar, während ein verstärktes Blatt- und Triebwachstum zu einer intensiveren Abreicherung der Böden mit Schwermetallen führt.

[0029] Auf unbehandelten, mit Schwermetallen verseuchten Böden findet kein Pflanzenwachstum statt, wodurch diese Böden verstärkter Erosion ausgesetzt sind. Dadurch werden die sich in diesen Böden befindlichen Giftstoffe in das örtliche Wassernetz befördert, wo sie isoliert und unkontrollierbar werden.

[0030] Im Folgenden wird an Hand von Beispielen die Durchführung beschrieben. Die Beispiele wurden aus Gründen der Veranschaulichung gewählt und sind nicht als Einschränkung des Anwendungsbereichs der Erfindung gedacht. Jegliche Variation der in den Beispielen genutzten Zusammensetzungen und Methoden, die einer auf diesem Gebiet erfahrenen Person möglich erscheinen, fallen innerhalb des Bereichs der hier vorgestellten Erfindung.

Beispiel

[0031] Ein tonreicher, verseuchter Boden enthält: 2,87% organische Substanz, 1,1% CaCO_3 , 2,24% Eisen, 28,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Kupfer, 915 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zink, 670 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei, 12,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium und 18,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Arsen. Dieser Boden wurde mit 16,7% organisch-zeolithischem Dünger vermischt.

[0032] Organo-zeolitischer Dünger wird wie folgt hergestellt.

[0033] Tierischer Dung, z. B. Hühnerdung, wird in einem Volumenverhältnis von 1 : 2 zusammen mit kleingeriebenem zeolithischem Tuff, der das zeolithische Mineral Ca, K, Clinoptilolith enthält, kompostiert (1 Volumen Tuff pro 2 Volumen tierische Reste). Diese Zutaten werden mit genügend Wasser vermischt, um die Mischung feucht zu machen. Kleingeschnittenes Stroh wird dem Gemisch beigelegt. Die Mischung wird zu einem Komposthaufen aufgeschüttet, wobei perforierte Plastikschläuche durch den Haufen verlegt werden. Der Haufen wird abgedeckt, um Aufweichung durch Regenwasser zu vermeiden, und durch die Schläuche wird Luft in den Komposthaufen geleitet.

[0034] Im Laufe der stattfindenden Reaktionen erreicht der Komposthaufen 50–70°C. Sobald diese Reaktionen abgeschlossen sind, fällt die Temperatur auf normale Werte. Zu diesem Zeitpunkt ist das kompostierte Material trocken, krümelig und geruchsfrei und kann als organo-zeolithischer Dünger verwendet werden.

[0035] Frühlingsweizen (*Triticum aestivum* L., vergleiche mit Red Fife) wurde in 2 kg des entsprechenden Substrats und, zum Vergleich, auch in unbehandeltem Boden eingesät. Die Pflanzen wurden bei normalen Lichtverhältnissen in einem Gewächshaus in je vier Töpfe von 255 mm Durchmesser gesät. Die Pflanzen wurden mit 90 ml destilliertem Wasser pro kg Substrat gewässert, und die Töpfe wurden auf flachen Schalen platziert, um herauslaufendes Wasser aufzusammeln. Die Pflanzen wurden täglich gewässert, und herausgesciektes Wasser wurde ohne nennenswerte Verluste in den Topf zurückgegossen. Die Pflanzen wurden regelmäßig einmal pro Monat geerntet und die Trockengewichte der Triebe (Trocknen bei 70°C) notiert.

[0036] Einen Monat nach dem Keimen wurden die Böden mit 400 ml entionisiertem Wasser (pH = 8.4) getränkt. Das entstehende Sickerwasser wurde chemisch auf kolloidale Partikel analysiert. Dies wurde zweimal pro Monat über eine Wachstumsperiode von drei Monaten wiederholt.

Chemische Zusammensetzung des Sickerwassers während der dritten Ernte

	Toxisches Substrat	Mit organisch-zeolithischem Dünger versetztes Substrat
--	--------------------	--

N	0,23 mg/l	178,00 mg/l
K	17,38 mg/l	66,70 mg/l
Ca	20,40 mg/l	253,00 mg/l
Mg	2,69 mg/l	27,10 mg/l
pH 7.8	E.C. 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$	
pH 7.2		E.C. 2077 $\mu\text{S}/\text{cm}$

[0037] Diese Ergebnisse zeigen den Grad der Mobilisation der wesentlichen Kationen in dem mit Dünger versetzten Substrat.

[0038] Durch die Untersuchung der Sickerwässer wurde festgestellt, dass in gedüngten Substraten die Konzentrationen von Metallspurenelementen wesentlich geringer sind als in unbehandelten, verseuchten Substraten. Dies wird am Beispiel von Zink deutlich:

Toxisches Substrat: $[\text{Zn}] = 0,65 \text{ mg/l}$

Gedüngtes Substrat: $[\text{Zn}] = 0,10 \text{ mg/l}$

[0039] Nach der Analyse der Sickerwässer gibt die chemische Analyse der Pflanzentriebe Auskunft über die unterschiedliche Aufnahme von Nährstoffen und Metall-Spurenelementen nach Art des Substrats.

Chemie der Pflanzentriebe während der dritten Ernte

	Mit organisch-zeolithischem Dünger versetztes Substrat	Toxisches Substrat
[N]	2,19 Gewichts-%	1,16 Gewichts-%
[K]	35,33 mg/g	18,20 mg/g
[Ca]	5,82 mg/g	2,82 mg/g
[Mg]	1,24 mg/g	0,85 mg/g
[Zn]	124 $\mu\text{g}/\text{g}$	67 $\mu\text{g}/\text{g}$
[Pb]	5 $\mu\text{g}/\text{g}$	3 $\mu\text{g}/\text{g}$
[Cu]	17 $\mu\text{g}/\text{g}$	5 $\mu\text{g}/\text{g}$

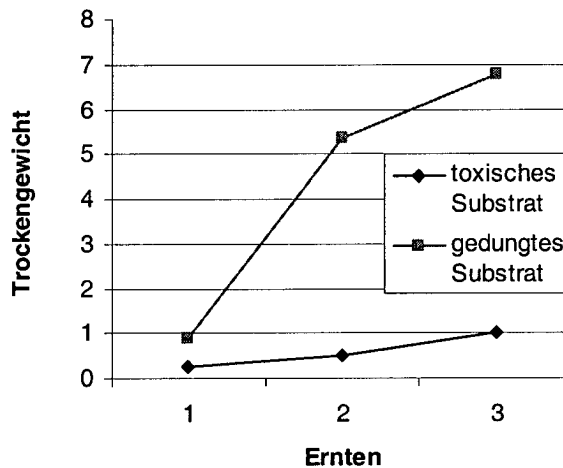
[0040] Die Chemie der Pflanzentriebe kann nun mit dem bekannten Nährstoffangebot von Frühlingsweizen verglichen werden:

	% Trockengewicht					$\mu\text{g}/\text{g}$	
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
angemes-sener Spiel-raum	3,0-4,5	0,3-0,5	2,9-3,8	0,4-1,0	0,15-0,3	20-70	5-10
Toxisches Substrat	1,16	0,5	1,80	0,3	0,10	67	5
gedüngtes Substrat	2,19	0,3	3,50	0,6	0,12	124	17

Trockengewicht der Triebe (protokolliert während der monatlichen Ernten)

1. Ernte

	Trockengewicht (g/Pflanze)
Toxisches Substrat	0,26
Gedüngtes Substrat	0,89

2. Ernte

Toxisches Substrat	0,52
Gedüngtes Substrat	5,36

3. Ernte

Toxisches Substrat	1,03
Gedüngtes Substrat	6,77

Kommentare zum gegebenen Beispiel

[0041] Der in der hier präsentierten Erfindung beschriebene Typ von organisch-zeolithischem Dünger kann so angepasst werden, dass Pflanzen mit einem dichten Wurzelwerk auf Böden heranwachsen können, die unter normalen Umständen aufgrund von Schwermetallverseuchung nicht genügend Nährstoffe bieten, um entsprechenden Pflanzenwuchs zu ermöglichen. Da keine zusätzlichen anorganischen Salze dem Boden beigelegt wurden, wird dies alleine durch mikrobiologische Aktivität erreicht.

[0042] Die Chemie der Pflanzentriebe zeigt, dass, im Fall von Frühlingsweizen, bei einer im Substrat verfügbaren Stickstoffkonzentration von 35% unterhalb der für den Wuchs dieser Spezies angemessenen Konzentration, ein dichtes Wurzelsystem gebildet wird. Da der Prozentsatz des dem Substrat beigemischten organisch-zeolithischen Düngers geändert werden kann, besteht die Möglichkeit die Stickstoffkonzentration an die jeweilige Pflanzenspezies anzupassen. Wird eine Maximierung des Triebwachstums gewünscht, kann der Prozentsatz des organisch-zeolithischen Materials erhöht werden, um die Stickstoffkonzentration in den entsprechenden Bereich zu bringen. Dies ist wünschenswert, wenn eine Maximierung der Aufnahme von Schwermetallen durch Pflanzen erzielt werden soll.

[0043] Die Spurenelementkonzentrationen von Zink und Kupfer in den Pflanzentrieben zeigen, dass durch die mikrobielle Aktivität (induziert durch organisch-zeolithischen Dünger) die Mobilität der Kationen im Boden erhöht wird und so diese Elemente den Pflanzen zur Verfügung stehen. Durch das Abernten der Pflanzen werden diese Elemente endgültig vom verseuchten Boden entfernt und mit der Zeit wird so die Bodenverunreinigung reduziert. Das Volumen der abgeernteten Pflanzen kann erheblich durch Einäschern reduziert werden und anschließend sicher gelagert oder recycelt werden. Da bekannter Weise die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Portland Zement durch die Beigabe von fein gemahlenem zeolithischem Tuff verbessert werden, wird vorgeschlagen, dass die in der Pflanzenasche verbleibenden Schwermetallionen in zeolithischen Tuff aufgesaugt werden. Dieser kann anschließend zur Beton Produktion verwendet werden.

Mögliche Erklärung

[0044] Eine Erklärung wird weiter unten im Text vorgeschlagen. Über die genauen Mechanismen wird weiterhin vom Erfinder geforscht. Während der Herstellung des organisch-zeolithischen Düngers stellt das beigemischte, klein geschnittene Stroh wahrscheinlich eine Quelle für Kohlenhydrate dar, die das Wachstum von vorhandenen Bakterien fördert. Ammoniakproduzierende Bakterien wie Clostridium und Penicillium zersetzen Proteine, Aminosucker und Aminosäuren zu Ammoniak. Der so entstehende Ammoniak wird dann als Kation (NH_4^+) durch Ionen Austausch in den Zeolith eingebaut, wo es im Porenraum der zeolithischen Kristallstruktur

verhältnismäßig locker gebunden wird. Durch die bakterielle Aktivität steigt die Temperatur auf 50–70°C und fällt auf Umgebungstemperatur, sobald die bakteriellen Reaktionen abgeschlossen sind.

[0045] Nach dem Beimischen des hergestellten Düngers zum Substrat diffundieren die im Zeolith leicht gebundenen NH_4^+ Ionen mit exponentieller Rate in das Substrat. Im organisch-zeolithischen Bestandteil lebende nitrifizierende Bakterien verwerten das freiwerdende NH_4^+ und wandeln es in für den Pflanzenwuchs notwendige Nitrat um. Dabei formen sie sehr große Populationen. Resultierend aus den bakteriellen Reaktionen werden Wasserstoffionen (Protonen) freigesetzt, welche dazu führen, dass sich im Boden befindliche Metalle absondern.

[0046] Der Erfinder hat gezeigt wie organisch-zeolithischer Dünger verwendet werden kann, um mit Schwermetallen wie Zink, Cadmium, Kupfer und Blei verseuchte Böden zu reinigen.

[0047] Der Erfinder hat nun entdeckt, dass beim Versetzen solcher Böden mit 16–17% an organo-zeolithischem Dünger vergleichbare Effekte erzielt werden, welche die Nitrat Konzentration erheblich erhöhen und Metallkationen mobilisieren.

[0048] Böden, die auf diese Weise verbessert wurden, haben einen leicht verringerten pH, aber eine um eine Größenordnung erhöhte elektrische Leitfähigkeit. Bei dem genannten Mischungsverhältnis von 16–17% wird der doppelte Gehalt von im toxischen Boden vorhandenem Stickstoff verfügbar. Dieser Zuwachs ist 35% unterhalb des angemessenen Bereichs für Frühlingsweizen (*Triticum aestivum* L., cv. Red Fife) und führt zur Maximierung des Wurzel-zu-Trieb-Verhältnisses. Auf diese Weise kann ein dichtes Wurzelsystem entwickelt werden. Durch Beigabe von mehr als 17% von organo-zeolithischem Dünger zu den entsprechenden Böden kann das Wurzel-zu-Trieb-Verhältnis verringert werden, wodurch das Triebwachstum besonders gefördert wird.

[0049] Die Mobilisierung von Kationen in der Bodenlösung stellt der wachsenden Pflanze Nährstoffe, wie z. B. Kalium, Kalzium, Magnesium und Zink, zur Verfügung und der Boden wird, bedingt durch den pflanzlichen Stoffwechsel, gegen eine Konzentration dieser Elemente und deren Diffusion von der Rhizosphäre gepuffert. Durch das in dieser Weise erhöhte Nährstoffangebot kann eine gesunde Pflanze auf mit Schwermetallen verseuchten Böden nachhaltig gedeihen. Der Erfinder hat beobachtet, dass Zink und Kupfer von den Pflanzen zu einer tolerierbaren Rate aufgenommen werden und in diesen Pflanzen keine Schäden resultierend vom verseuchten Substrat festgestellt werden konnten. Diese Eigenschaft kann genutzt werden, um Schwermetalle von der Rhizosphäre durch Abernten der mit den entsprechenden Metallen angereicherten Pflanzen zu entfernen. Das Volumen des pflanzlichen Materials kann durch Einäscherung wesentlich minimiert werden, ohne dass dabei die Metalle verloren gehen. Diese mit Metallen angereicherte Asche kann anschließend mit Portland Zement und feingemahlenem zeolithischem Tuff vermischt werden. Auf diese Weise kann Beton mit sehr guten kompressiven Eigenschaften und niedrigen alkalischer Reaktivität hergestellt werden, was der Entsorgung der Schwermetalle entspricht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufrechterhaltung des Pflanzenwachstums in toxischen Substraten, die durch Schwermetallelemente verunreinigt sind, bei dem die toxischen Substrate mit einer organo-zeolithischen Mischung behandelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die organo-zeolithische Mischung umfasst das Zeolith-Mineral Ca-K-Klinoptilolith und tierische Abfälle.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin das Schwermetallelement Zink, Kupfer, Blei, Cadmium, Arsen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, worin die tierischen Abfälle Hühner-Dung umfassen.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, worin die organo-zeolithische Mischung hergestellt wird durch Kompostieren von tierischen Abfällen mit zerkleinertem zeolithischem Tuff.

5. Verfahren nach Anspruch 4, worin das Volumenverhältnis von Tuff zu tierischen Abfällen etwa 1 : 2 beträgt.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, worin eine Kohlenstoffquelle mit zeolithischem Tuff und tierischen Abfällen gemischt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, worin die Kohlenstoffquelle zerhacktes Stroh umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, worin die organo-zeolithische Mischung den verunreinigten Substraten in einer Menge zwischen 10 und 25% zugesetzt wird.

9. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Aufrechterhaltung des Wachstums von Sommerweizen.

10. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Aufrechterhaltung des Wachstums von Metallophyten-Pflanzen, Metall-haltigen Metallophyten-Pflanzengewebe, die in geeigneten Zeitabständen gesammelt und entfernt werden.

11. Anwendung nach Anspruch 10, worin die Schwermetallkationen, die in der Pflanzenasche zurückbleiben, durch Austausch in zeolitischen Tuff eingeführt werden, der Zement oder einem Äquivalent zugesetzt wird.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen