

**STELLUNGNAHME
ZU
TERRA CLEAN**

Auftraggeber:	HUMI STAR GMBH & Co. KG Hauptstraße 2 27809 Lemwerder
Auftrag:	22.06.2001, 13.07.2001 und 09.04.2002
Inhalt des Auftrages:	Daten zur Bodenbelastung Daten zur Mobilität von Bodenschadstoffen Untersuchungen zur Schadstoffbindung von Terra Clean
Eingang der Probe:	22.06.2001 und 09.04.2002 01-2482-84, 01-2504 und 02-2637

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das untersuchte Probenmaterial

Allgemein

Die Böden der Hausgärten in Mitteleuropa sind gekennzeichnet durch hohe Schadstoffbelastungen.

Experten gehen davon aus, dass 72 % der Böden Europas kontaminiert sind. Unter Kontamination versteht man, die über das natürliche Verteilungsmaß hinausgehende schädliche Stoffansammlungen. Insbesondere Stoffe, die infolge physikalischer, chemischer oder biologischer Prozesse mobilisierbar sind und dadurch zu einer Belastung und Gefährdung natürlicher Lebensabläufe werden.

Dabei geht es im Kern nicht um die allgemein bekannten Fälle von Bodenverunreinigungen wie militärische Altlasten, Altablagerungen und ehemalige Industriestandorte, sondern um die flächenhafte schädliche Bodenveränderung durch diffuse Einträge.

Das können atmosphärische Immissionen sein und auch der jahrelange Einsatz schadstoffhaltiger Düngemittel und Spritzmittel im eigenen Garten.

Beispielhaft soll die Situation des Oberbodens der Wuppertaler Kleingärten aufgezeigt werden und den Schadstoffgehalten des weniger belasteten Unterbodens gegenübergestellt werden. Die Schadstoffe gelangen von oben in den Boden und werden dort zunächst gebunden.

		Oberboden	Unterboden	
Blei	Pb	184	57	mg/kg
Cadmium	Cd	1,0	0,14	mg/kg
Chrom	Cr	39,7	16,3	mg/kg
Kupfer	Cu	51,8	20,6	mg/kg
Nickel	Ni	24,3	28,1	mg/kg
Quecksilber	Hg	0,25	0,12	mg/kg
Zink	Zn	246	77	mg/kg

Tabelle 1: Schwermetallkonzentration im Oberboden und im Unterboden im Stadtgebiet Wuppertal

Die Tabelle verdeutlicht die Folge der Anreicherung von Schwermetallen im Oberboden.

Die Hauptursachen dieser beunruhigenden Situation ist unter anderem das über Jahrzehnte stetig steigende Verkehrsaufkommen, die Verbrennung fossiler Energieträger, der Hausbrand und das Gewerbe.

Zusätzlich sind die organische Schadstoffe wie beispielhaft das Benzo(a) pyren im innerstädtischen Bereich deutlich erhöht. Am höchsten belastet sind die Zier- und Nutzgärten in alter offener Bebauung und die Kleingartenanlagen.

Die Schadstoffe werden beim Aufenthalt im Freien über feine Stäube vom Menschen aufgenommen oder über Obst und Gemüse wieder in den Kreislauf geführt.

Für die häufig sandigen Böden der Gärten sind folgende Schwermetallkonzentrationen als angemessen zu beschreiben:

		Oberboden	Unterboden
Blei	Pb	bis 40	mg/kg
Cadmium	Cd	bis 0,4	mg/kg
Chrom	Cr	bis 30	mg/kg
Kupfer	Cu	bis 20	mg/kg
Nickel	Ni	bis 15	mg/kg
Quecksilber	Hg	bis 0,1	mg/kg
Zink	Zn	bis 60	mg/kg

Tabelle 2: Tolerierbare Schwermetallgehalte im Oberboden von Nutzgärten (Vorsorgewerte für Böden nach Anhang 2 Nr.4.1 BBodSchV)

Die Tabelle 2 zeigt den Widerspruch zwischen dem Anspruch auf eine gering belastete Umwelt und der Wirklichkeit in stadtnahen Böden.

Nach Herstellerangabe werden diese Schadstoffe mit TERRA CLEAN dauerhaft gebunden durch:

- § Adsorption und Einlagerung,
- § Ionenaustausch,
- § Fällung und durch
- § biologischen Abbau (org. Schadstoffe)

Die Mobilität der Schadstoffe wird eingeschränkt und in der Folge die Belastung der Pflanzen und des Grundwassers verringert.

Zwei Schwermetallquellen für Böden sind zu nennen.

- § Abhängig vom Standort sind sie Bestandteil des Ausgangsgesteins des Bodens. Die Verwitterung des Ausgangsgesteins bewirkt die Freisetzung dieser Schwermetalle.
- § Durch die Industrialisierung gelangen über den Wasser und Luftpfad weitere Schwermetalle auf den Boden.

Diese Schwermetalle werden unterschiedlich im Boden gebunden:

1. gelöst im Bodenwasser
2. aufgenommen vom Bodenleben (Bioakkumulation)
3. adsorbiert an Austauscherplätzen (Tone, Humus etc.)
4. ausgefällt als Karbonate beispielsweise
5. eingebunden in kristalline Strukturen (z.B. in Zeolithen)

Der Boden kann nur begrenzt die freigesetzten oder zugeführten Schwermetalle aufnehmen. Wird die Aufnahmekapazität des Bodens überschritten, werden die Schwermetalle mobiler und damit auch leichter verfügbar für die Vegetation und das Bodenleben.

Grundsätzlich lässt sich die Aufnahmekapazität des Bodens durch Zugabe adsorptionsfähiger Stoffe erhöhen.

TERRA CLEAN bietet zusätzliche Bindungsstellen an, die die Schwermetalle dauerhaft festlegen durch:

- | | |
|---|--|
| § | Erhöhung der Kationenaustauschkapazität (Bentonit) |
| § | Einbau in Gitterstrukturen (Zeolithe) |
| § | Förderung der spezifischen Adsorption |
| § | Unterstützung von Fällungsreaktionen (Kalk) |

Die Mobilität der Schadstoffe wird eingeschränkt und in der Folge die Belastung der Pflanzen, der Bodenlebewesen und des Grundwassers verringert.

Das **Verhältnis** festgelegter zu mobiler Schadstoffkonzentration hängt von sehr vielen physikalisch – chemischen Wechselwirkungen ab. Besonders Bedeutung hat der Boden pH- Wert, die Anzahl der Austauscherplätze (organische und anorganische), die Kationenart und die Schadstoffkonzentration (Abb. 1).

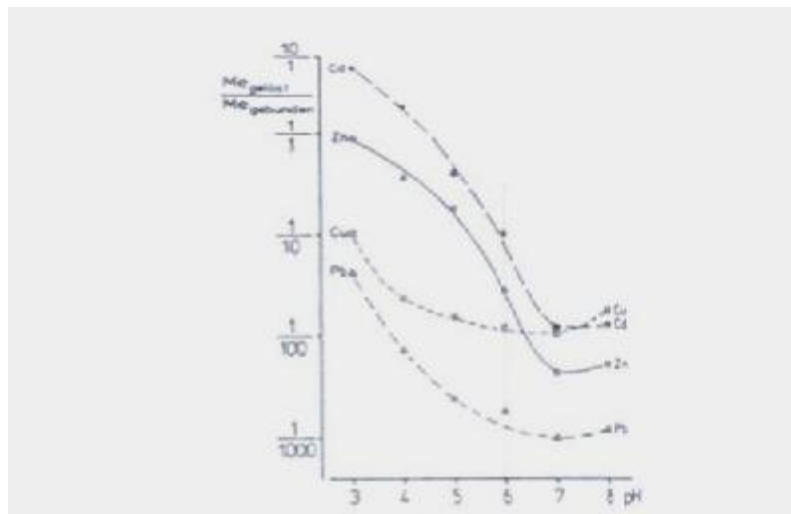


Abb. 1: das Verhältnis von gelösten zu gebunden Schwermetallen in Abhängigkeit vom pH-Wert (HARMS & BRÜMMER 1984)

Die Mehrzahl der Schadstoffe binden sich im Boden an feinste organische und mineralische Partikel, den Kolloiden.

TERRA CLEAN beinhaltet aus diesem Grund auch Bentonit, ein hervorragende Bindungsstelle für Schadstoffe. Wichtig ist, dass zunächst die Schadstoffe kolloidal gebunden werden, bevor sie in größeren Komplexen dauerhaft gebunden werden.

Diese Bindungspartner werden in Form von natürlichen Zeolithen, Bentoniten (Tone) und Carbonaten angeboten. Die Schadstoffe werden so vor dem Erreichen des Grundwassers bzw. der Pflanzen dauerhaft gebunden.

Bentonite tragen als mehrschichtige Tonminerale permanente negative Ladungen, die Metallkationen binden können. Darüber hinaus werden Kationen auch an Hydroxylgruppen der Tone gebunden. Das erhöhte Angebot von Bentonit in TERRA CLEAN verringert so die Löslichkeit der Schwermetallionen im Boden.

Bei der Fällung werden Schwermetallionen von anderen gelösten Ionen gebunden und als schwerlösliche Verbindungen ausgefällt. Beispielhaft kann hier Zinksilikat, Bleiphosphat und Cadmium- und Kupfercarbonat genannt werden.

Da der Schadstoffinput zur Zeit nicht maßgeblich verringert werden kann, wird dieses Konzept der „natürlichen Dämpfung“ (Natural Attenuation) verfolgt.

Frachtzusammensetzung

Die Schadstoffbelastung in Gärten rühren aus der schnellen Technisierung und „Chemisierung“ unserer Produktionsweisen, bei der zunächst die Produktivität im Vordergrund stand.

Die Schadstoffe kommen vornehmlich über den Luftweg auf den Boden. Schornsteine aus Hausbrand und Gewerbe sind neben den Verkehrsmitteln die wichtigsten Quellen. Schadstoffe können auch über Düngemittel und Pflanzenschutzmittel eingetragen worden sein.

Abgas, Abrieb und Tropfverluste sind die Emissionsquellen des Straßenverkehrs. Im Verbrennungsraum der Motoren bilden sich eine Vielzahl (bis zu 150) polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK). Außer PAK werden auch monozyklische Aromate wie Benzol, Toluol, Xylol und Phenol emittiert. Ottomotoren emittieren etwa 3 mg/km Benzol, Ottomotoren mit Katalysator etwa 0,5 mg/km.

Über das Abgas werden auch Chrom, Zink, Kupfer und Nickel abgegeben, in der Summe etwa 0,1 – 1 mg/km und an Cadmium ca. 0,05 mg/km.

Allein der Reifenabrieb wird mit 120 g je km Straßenlänge und 1.000 Kfz pro Jahr angenommen. Emittiert werden neben schwer abbaubaren organischen Verbindungen Zink, Cadmium, Blei, Kupfer, Chrom und Nickel. Durch den Abrieb von Bremsbelägen fallen die Schwermetalle Nickel, Chrom, Blei, Zink und besonders Kupfer an. Als Straßenabrieb ist bei Asphaltstrassen vorrangig mit ein- und mehrkernigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, besonders PAK zu rechnen. Diese Feinststäube werden von den Fahrzeugen und dem Wind aufgewirbelt und in angrenzende Flächen transportiert.

Aus den Kraftstoffen verflüchtigen sich Xylol, Toluol, Benzol, Nonan, Trimethylbenzol und Ethylbenzol, Stoffe die entweder als Additive zugemischt werden oder aus dem Rohöl stammen.

Der Hausbrand ist nicht unwesentlich an der Schadstoffsituation beteiligt.

Die Schornsteine der gewerblichen Wirtschaft geben je nach Produktionszweig das ganze Spektrum möglicher Schadstoffe ab. Nicht unbedeutend in diesem Zusammenhang die Zementfabriken, Kraftwerke und Abfallverbrennungsanlagen. Es würde hier zu weit führen ein Schadstoffkataster aufzublättern. In der Summe werden beispielhaft für Blei in Deutschland jährlich in Emittentennähe 310 – 715 g Blei pro Hektar und Jahr über den Niederschlag in den Boden eingetragen. In Ballungsräumen sind es immerhin noch 124 – 423 g Pb/ha/a und in ländlichen Regionen 54 – 146 g Pb/ha/a.

Über Mineraldünger werden jährlich ca. 22 t Cadmium auf unseren Böden verteilt, dazu kommen 13 t/a aus Wirtschaftsdüngern (Mist, Gülle, Jauche) und 69 t/a über die Luft. Die Pflanzen nehmen ca. 21 t/a auf, der Rest reichert sich kontinuierlich im Boden an.

Schwermetallsorption/Desorption und Fällung

Die wichtigsten Bindungsformen für Schwermetalle werden im Folgenden dargestellt.

Nickel wird hauptsächlich durch Sorption gehalten, während Blei, Cadmium, Kupfer und Zink durch Sorption und Fällung gehalten werden.

Unter Fällung versteht man die eigentliche Fällung z. B. FeOOH als auch die Mitfällung z. B. von Cadmium an ausgefällten Karbonaten. So wird Fe und Mn sehr gut ausgefällt, Cd, Cu, Pb und Rn bedeutend und Ni nur im geringen Maße.

Cadmium gehört zusammen mit **Zink** und **Nickel** zu den mobilen, relativ leicht verlagerbaren Schwermetallen. In stark sauren Böden ist die Cd-Löslichkeit sehr hoch, in Böden neutraler Reaktion findet dagegen nur eine sehr geringe Verlagerung statt. Besonders bei Cd ist deshalb ein konstant hoher pH- Wert im Boden sehr wichtig.

Es findet auch eine sehr langsame Diffusion von Cadmium und anderen Schwermetalle in das Gitter von Oxiden und z.T. auch Tonmineralien statt (vor allem Zink). Dabei werden die Schwermetalle irreversibel festgelegt.

Weiter sind metallorganische Komplexverbindung zwischen Schwermetallen und Huminsäuren von Bedeutung. Die Stabilität der Verbindungen nimmt von Cu > Pb > Ni > Zn ab.

Blei ist im Boden sehr immobil. Ähnlich wie **Kupfer** wird Blei durch spezifische Adsorptionsprozesse gebunden. Vor allem Fe-, Al- und Mn- Oxide weisen eine hohe, mit dem pH – Wert steigende Bindungskapazität für Blei auf.

Charakteristisch ist die schnelle Abnahme der Bleikonzentration innerhalb der ersten Meter ab Fahrbahnrand von z.B. 900 mg Pb/kg auf unter 200 mg Pb/kg. Blei wurde über Jahrzehnte aus dem Benzin freigesetzt und ein erheblicher Teil des Bleis wurde mit dem Straßenablaufwasser in den Seitenbereich eingetragen, mit dem Staub in die benachbarten Flächen und gasförmig global verteilt.

Quecksilber wird vor allem an die organische Substanz in einer sehr immobilen Form gebunden, in der es weitestgehend vor Verdampfung, Auswaschung und Aufnahme durch die Pflanzen geschützt ist. Auch Schwefel führt zusammen mit organischer Substanz zu komplexen Bindungen. Ist Hg an lösliche niedermolekulare Huminsäuren komplex gebunden, geht bei niedrigen pH- Werten das Hg in Lösung. In Sedimenten kann eine mikrobielle Methylierung von Hg stattfinden, wobei stark toxisches Methylquecksilber entsteht, was weniger stark gebunden werden kann.

Auch bei **Zink** ist das pH – Wert Regime sehr entscheidend. Bei pH- Werten < 6 steigt die Zn –Löslichkeit und damit die Mobilität stark an. Zink wird vorrangig unter aeroben Bedingungen durch Mn und Fe- Oxide sowie silicatische Tonminerale gebunden.

Chrom wird bei höheren pH- Werten in sehr schwer lösliches $\text{Cr}(\text{OH})_3$ und Cr_2O_3 vorwiegend mit Eisenionen komplex gebunden. Toxische Chrom IV- Verbindungen werden im aeroben Milieu in Anwesenheit von organischer Substanz zu Cr III Verbindungen umgebaut.

Um genauere Daten über das Puffervermögen der Feststoffmatrix zu erhalten, bietet sich das pH-stat-Testverfahren im leicht sauren Bereich an. Aus diesen Daten werden dann auch die Auswirkungen des Protoneneintrags über den sauren Regen abgeschätzt.

Im Labor wird in einer „Zeitraffermethode“ über das pH-stat-Testverfahren die langfristige Mobilität der Schwermetalle simuliert.

Wasserhaltefähigkeit

Die Bodenmikrobiologie erbringt besonders in der warmen Jahreszeit wichtige Abbauleistungen. Voraussetzung ist die ausreichende Feuchtigkeit des Bodens.

Terra Clean unterstützt die Wasserhaltefähigkeit des Bodens.

Die hohe Wasserhaltefähigkeit des TERRA CLEAN wird erreicht durch:

- § ein großes Porenvolumen,
- § einen hohen Anteil an Tonmineralien,

Sorption von Schadstoffen

Für den Boden lassen sich Pedotransferregeln aufstellen, die z. B. in Abhängigkeit vom Gehalt an Schadstoff - Fixierern die Grenzwertsorptionskapazität prognostizierbar macht.

Die vertikalen Stofftransporte für unterschiedlich mobile Schadstoffe in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften werden simuliert. Die unterschiedlichen Retardationsfaktoren bis hin zum Abbau organischer Schadstoffe finden in die Berechnungen Eingang.

Im Bodenökologischen Labor Bremen GmbH wurden Stofftransportkurven auf Grundlage von Versuchssperkolationen entwickeln.

Nach der Passage des Wassers durch TERRA CLEAN werden die Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes – Bodenschutzgesetzes unterschritten (siehe folgende Tabelle).

Arsen	As	10	µg/l
Blei	Pb	25	µg/l
Cadmium	Cd	5	µg/l
Chrom	Cr	50	µg/l
Kupfer	Cu	50	µg/l
Nickel	Ni	50	µg/l
Quecksilber	Hg	1	µg/l
Zink	Zn	500	µg/l

Tabelle 3: Prüfwerte Boden – Grundwasser BBodSchG

Die Sorptionsisothermen der relevanten Schwermetalle Kupfer, Blei und Zink wurden für Boden und TERRA CLEAN erfasst.

Beispielhaft wird das Soptionsvermögen für Kupfer auf der Folgeseite dargestellt.



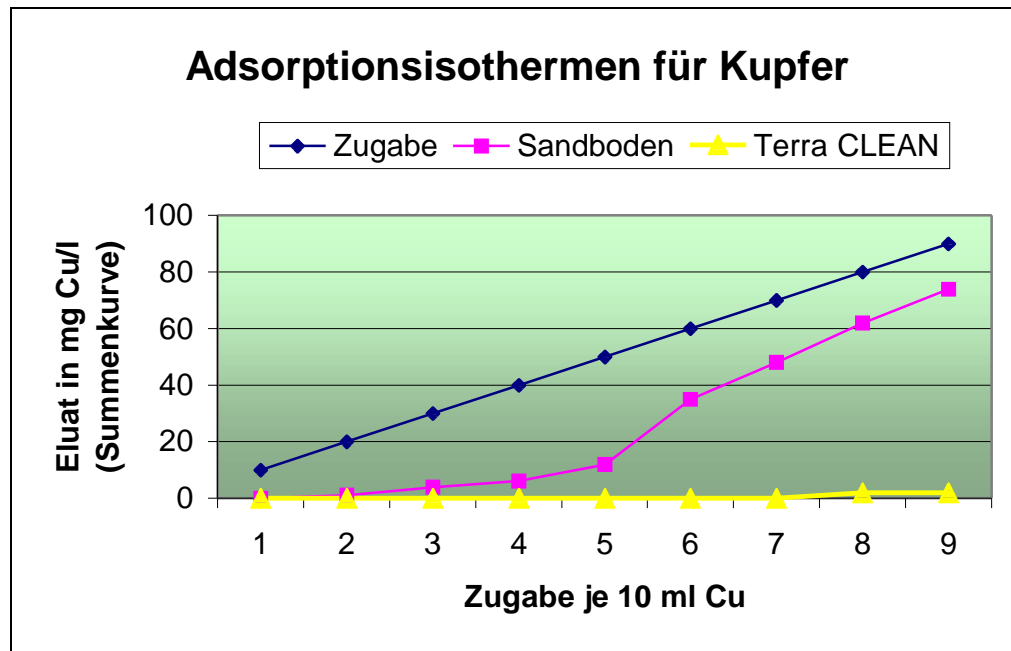
Abb. 1: Laboruntersuchungen zu TERRA CLEAN

Wie die folgende Graphik zeigt, hat TERRA CLEAN für Kupfer gegenüber einem sandigen Boden deutlich bessere Absorptionsergebnisse.

Bei Zink zeigen die Ablaufwerte, dass im Mittel ca. 90 % des Zinkes absorbiert werden.

Bei Blei ist die Absorption mit 99 % noch wesentlich höher. Die hohe Absorptionsleistung wird durch TERRA CLEAN erreicht.

Wird die Grenzkonzentration der Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser erreicht, gilt die Aufnahmefähigkeit des Bodens als erschöpft.

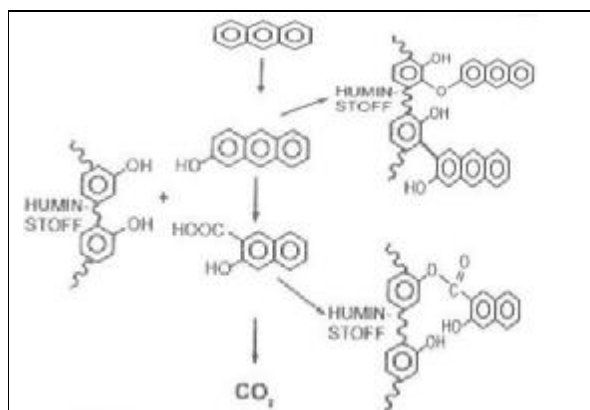


Adsorptionsisothermen von TERRA CLEAN bezogen auf Kupfer

Organische Schadstoffe

Organische Schadstoffe können mikrobiell abgebaut werden und insgesamt oder in Bruchstücken des Schadstoffs eingebaut werden.

Das bekannteste Beispiel für Immobilisierungseffekte von organischen Schadstoffen ist der Einbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in die Struktur von Huminstoffen. Es wird kontrovers diskutiert, inwieweit diese Prozesse langfristig reversible sind.



Metabolisierung und Festlegung von PAK in die organische Substanz

Abb. 3: Einbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Huminstoffe
(RICHNOW & MICHAELIS, 1996)

Der langsame mikrobielle Abbau greift sowohl die absorbierten PAK als auch die Huminstoffe an.

In einem biologisch aktiven Boden mit einem steten Input organischer Materialien überwiegen die gewünschten Einbauvorgänge von polyzyklischen Aromaten in die Struktur von Huminstoffen.

Komplizierte organische Verbindungen werden nicht nur angelagert. Speziell für sehr schwer abbaubare organische Verbindungen wie Xenobiotika ist der Prozess des Kometabolismus von Bedeutung, bei der ein normalerweise nicht mikrobiell abbaubarer Stoff in Gegenwart einer anderen abbaubaren Substanz von den induzierten Enzymen metabolisiert wird.

Im Folgenden beispielhaft Abbaukurven verschiedener PAK.

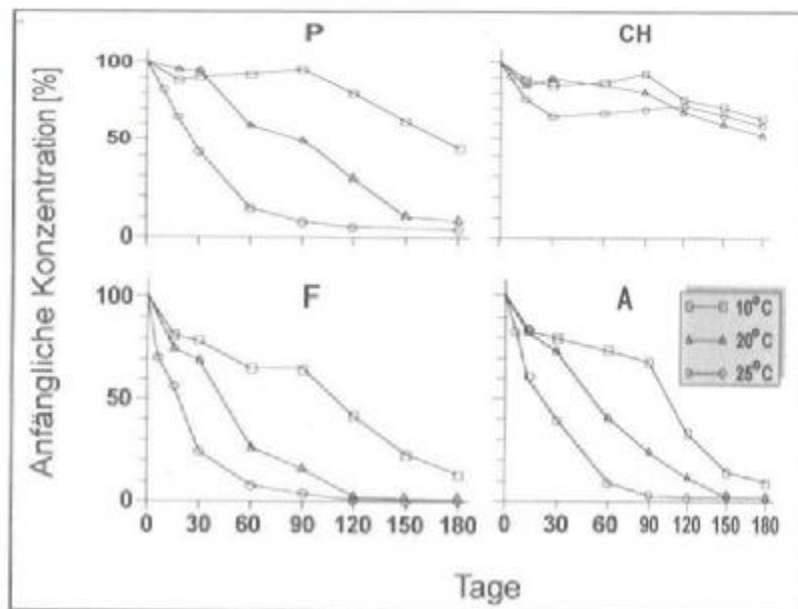


Abb. 4: Abbau verschiedener PAK in einem lehmigen Sand, Einfluss der Temperatur
P = Pyren, *CH* = Chrysen, *F* = Fluoren, *A* = Anthracen
 (MALISZEWKA-KORDYBACH, 1993)

Bei einer mittleren Temperatur des Bodens von 10°C wird der Abbau zwar verzögert ablaufen, wie das Diagramm jedoch belegt, ist nach 180 Tagen dennoch der überwiegende Teil abgebaut. Ausnahme in der Graphik das schwerer lösliche Chrysen, das jedoch bevorzugt Sorptionsprozessen unterworfen ist.

Gut abgebaut werden Mineraloelkohlenwasserstoffe und auch halogenierte leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe in der Konzentration und dem Zustand (residuale Verteilung), wie sie in der Regel anfallen. Sie werden damit aus dem System entfernt. Diesem mikrobiellen Abbau geht aber in der Regel auch eine Sorption an festen Oberflächen voraus.

TERRA CLEAN kann den organischen Schadstoffabbau nur indirekt fördern. So wird die mikrobielle Aktivität bei verringerten gelösten Schwermetallgehalten gefördert und darüber hinaus bieten die offenporigen Bestandteilen von TERRA CLEAN zusätzlich Oberflächen für Schadstoffe und Mikroorganismen an.

Porenvolumen

Dringen beispielhaft Oeltropfen in TERRA CLEAN ein, findet das Oel im wasserungesättigtem Bereich einen großen Porenraum vor. Das Oel verliert dadurch seine Fließfähigkeit und liegt als dünnes Häutchen an der Oberfläche des Porenraumes. In dieser „pendularen“ Verteilung ist das Oel für die Mikroorganismen am besten angreifbar. Voraussetzung ist der großer Porenraum des TERRA CLEAN.

TERRA CLEAN hat ein Porenvolumen von mind. 60 %.

Eignung als Pflanzenstandort

TERRA CLEAN wurde sehr nährstoffarm entwickelt um einer Überdüngung der Böden vorzubeugen.

Die Nährstoffgehalte liegen unterhalb deren einer Pikiererde.

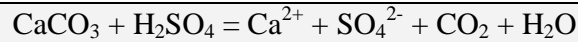
N (NO ₃):	< 100 mg/l
P ₂ O ₅ verfügbar:	< 100 mg/l
K ₂ O verfügbar:	< 100 mg/l

pH – Wert

Der Carbonatpufferbereich der BODENSTERNE liegt zwischen pH 7,2 und 8,2, abhängig vom CO₂ Partialdruck im Boden.

Der pH- Wert von 7 wird erst dann unterschritten, wenn alles reaktionsfähige Carbonat aufgebraucht wurde.

Werden die H^+ -Ionen über den sauren Regen in Form von Schwefelsäure eingetragen, entsteht folgende nicht reversible Reaktion:



Das Carbonat wird „aufgebraucht“.

Eine pH- Wertsenkung führt je nach Schwermetall zu unterschiedlichen Mobilisierungsraten, wie aus Tabelle 4 (SCHIMMING 1990) zu entnehmen ist.

Cadmium	Nickel	Zink	Kupfer	Chrom ^{III}	Blei	Quecks.
6,5 - 6	5,5	6 - 5,5	4,5	4,5 - 4	4	4

Tabelle 4: Grenz pH- Wert, bei es zu einer Mobilisierung der Schwermetalle kommt.

Während bei Blei die Freisetzung erst im sauren Milieu entscheidend zunimmt, beginnt bei Cadmium die Freisetzung schon im leicht sauren Bereich. Die Reihenfolge der Löslichkeit bei abnehmendem pH ist Cd - Zn - Cu - Pb.

Für eine Erhaltungskalkung werden durchschnittlich in Deutschland bei feinkörnigen Böden 400 - 500 kg CaO/ha und a eingesetzt. Auf einen Quadratmeter Gartenboden wären demnach 40 - 50 g CaO/a erforderlich. Der Hartkalk in dem Produkt „BODENSTERNE“ hat einen Mindestgehalt $CaCO_3$ von 50 %. Bei 200 g TERRA CLEAN pro m^2 und einem Anteil von 45 % Hartkalk entsprechen das 45 g/m^2 .

Dieser Rechnungsweg wird im Labor am Substrat mit einer Titrationskurve mit Lauge überprüft.

Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) ist die maximal sorbierbare Menge an Kationen. Schwermetalle sind Kationen. Die Austauschkapazität des TERRA CLEAN stellt somit auch Bindungsplätze für Schwermetalle dar. Die Austauschvorgänge werden von der Ionenart geprägt.

Angestrebt wird eine AK_{pot} von mindestens 15 $cmol_c/kg$. Erreicht wird der Wert maßgeblich durch Zugabe von Tonpräparaten in pelletierter Form und Zeolithen.

KAK_{pot} Acetat:	mind. 30 $cmol_c/kg$
KAK_{pot} :	mind. 15 $cmol_c/kg$

Die Fähigkeit des TERRA CLEAN als Ionentauscher zu fungieren, gewährleistet die Bindung der Schwermetallionen. Die Auswaschung der Schwermetalle wird verhindert, was einen aktiven Grundwasserschutz bewirkt.

Zeolithe

Verwendet werden natürliche kristalline, hydratisierte Alumosilikate mit Gerüststruktur.

Silicium- und Aluminiumoxidtetraeder sind die primären Bausteine. Die über Sauerstoffbrücken gebildeten Kristallstrukturen lassen Poren und Kanäle entstehen.

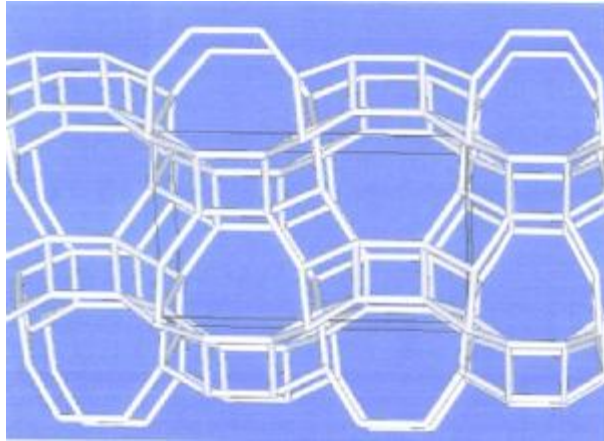


Abb. 5: Kristallstruktur eines Zeolithes aus der Familie der Phillipsite

Charakteristisches Merkmal ist die hohe Kationenaustauschkapazität der Zeolithe. Sie entsteht durch den Austausch von vierwertigen Siliciumatomen durch dreiwertige Aluminiumatome. Der Austausch bewirkt einen negativen Ladungsüberschuss.

BODENSTRNE enthalten natürliche Clinoptilolite, gehörig zur Heulandit Familie.

Das ausgewählte Clioptilolith hat eine:

ges. Austauschkapazität: 1,2 – 1,5 mol/kg
part. Austauschkapazität: mind. 0,70 mol/kg

Die Selektivität wird wie folgt beschrieben:

$Cs > NH_4 > Pb_2 > K > Na > Ca_2 > Mg_2 > Ba_2 > Cu_2 > Zn_2$

Der Porendurchschnitt liegt bei 4 Ångström (10^{-10} m).

Die empirische Formel: $(Ca, K_2, Na_2, Mg)_4Al_8Si_{40}O_{96} \times 24 H_2O$

Haupteigenschaften von TERRA CLEAN und Einsatzbereiche

Folgende Parameter wurden im Bodenökologischen Labor Bremen untersucht:

Wasserspeicherkapazität:	mind. 58 %
Kationenaustauschkapazität:	mind. 15 cmol _c /kg
KAK _{pot} Acetat:	mind. 30 cmol _c /kg
Adsorptionsfähigkeit:	>Pb ²⁺ >Cu ²⁺ >Zn ²⁺
pH- Wert:	>7,2
N (NO ₃):	< 100 mg/l
P ₂ O ₅ verfügbar:	< 100 mg/l
K ₂ O verfügbar:	< 100 mg/l

Tabelle 5: Physikalisch- chemische Parameter von TERRA CLEAN

Einsatzbereiche von TERRA CLEAN und Aufwandmengen

Belastung	Aufwandmenge
Leichte Belastung Reine Wohngebiete Flächen an Straßen mit max. 300 (DTV) täglich,	2 kg- Karton / 15 m²
Mittlere Belastung In der Nähe von Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung, Straßen mit 300- 5.000 (DTV) täglich	2 kg- Karton / 10 m²
Starke Belastung Flächen in Industriegebieten, Flächen an Straßen mit 5.000 - 15.000 (DTV) täglich	2 kg- Karton / 5 m²

Tabelle6: Aufwandmengen TERRA CLEAN bezogen auf unterschiedliche Belastungen
(DTV: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke)

Die angegebenen Aufwandmengen entsprechen den Herstellerangaben.
Eine überschlägige Berechnung ergab, dass die Aufwandmengen angemessen sind.

Die Gaben bewirken eine angemessenen Erhaltungskalkung, die die Festlegung der Schwermetalle sehr positiv beeinflusst.

Bentonite und Zeolithe bewirken zusammen mit dem Hartkalk eine signifikante Reduzierung der Anteile gelöster und damit verfügbarer anorganischer Schadstoffe.

Die Mobilität der Schwermetalle wird entscheidend herabgesenkt. Die Schädwirkung für Menschen, Tiere, Bodenorganismen und das Grundwasser wird reduziert.

Erste Laborergebnisse bestätigen, dass bereits mit der ersten Gabe die Freisetzungsrates für Schwermetalle signifikant verringert wird.

Bodenökologisches Labor Bremen GmbH