

Abklärung der Umweltverträglichkeit von terrasystem Belagsysteme

terrasystem gmbh
Akazienweg 38
D-68623 Lampertheim

Kurzfassung des Originalberichts vom 29. Mai 1996



[Basler&Hofmann](#)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung
2	Rechtliche Grundlagen
2.1	Prinzip der Selbstkontrolle
3	Inhaltsstoffe
4	Abklärung zu den Inhaltsstoffen
5	Systemabgrenzung
5.1	Lebenszyklus
5.2	Modifikation in der Zusammensetzung
5.3	Untersuchungsprogramm
6	Resultate der durchgeführten Untersuchun ^g en
6.1	Chemische Analysen
6.2	Mineralisation durch Mikroorganismen
6.3	Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen
6.4	Waschversuch
6.5	Abbaubarkeit des Eluats durch Microorganismen
7	Schlussfolgerung

Einleitung

Das vom Unternehmen terrasystem gmbh, entwickelte und hergestellte Produkt TS 01 und TS 02 setzt sich zusammen aus ein- oder zwei Komponenten, Epoxidharz und Härter oder Polyurethan, terrasystem dient als Bindemittel zur Stabilisierung von Schotter, Splitt und Sanden.

Es werden zwei Verarbeitungsverfahren unterschieden. Bei der Stabilisierung von Splitt und Sanden werden diese vor Ort mit dem zuvor homogenisierten Bindemittel vermischt und ausgebracht. Bei der Stabilisierung von Schotter werden Epoxidharz und Härter ebenfalls vor Ort gemischt oder Polyurethansysteme als 1 Komponenten System in flüssiger Form auf die Schotteroberfläche aufgesprüht oder mit anderen Zuschlagsstoffen z.b Granit, Basalt, Glas oder Colorquarz gemischt. Das Bindemittel fließt in die Tiefe und verklebt dabei die einzelnen Schotterkörner untereinander.

Derzeit wird terrasystem im Rahmen von Pilotprojekten in mehreren Ländern geprüft. Bevor das Produkt kommerziell vertrieben werden kann, muss jedoch dessen Umweltverträglichkeit abgeklärt werden.

Auftrag

Die terrasystem gmbh hat dieses Umweltgutachten von der TerraElast AG München übernommen, die beauftragte das Unternehmen Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich, mit der Durchführung der zur Abklärung der Umweltverträglichkeit von TS 01 und TS 02 notwendigen Untersuchungen.

Projektorganisation

Mit der in den Bereichen Physik, Chemie und Biologie notwendigen Spezialuntersuchungen hat Basler & Hofmann folgende Unternehmen betraut: Bachema AG, Schlieren, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, St. Gallen sowie Eberhard Recycling AG, Kloten.

Zeitlicher Ablauf

Die Arbeiten gliederten sich in Voruntersuchungen, Hauptuntersuchungen sowie Auswertungen und Bericht. Insgesamt dauerten die Bearbeitungen rund drei Jahre.

- In der Phase der Voruntersuchungen wurden die Inhaltsstoffe analysiert, das Untersuchungsprogramm festgelegt, sowie die mit den Spezialuntersuchungen beauftragten Unternehmen ausgewählt.
- Den größten Teil der Zeit nahm die Durchführung der Untersuchungen in Anspruch, da nicht nur das momentane Umweltverhalten von TS 01 und TS 02 untersucht wurde, sondern auch das Langzeitverhalten unter dem Einfluss verschiedenster Bedingungen.
- Im Anschluss an jeden Versuch wurden die Resultate mit dem Auftraggeber besprochen und falls notwendig, dem Versuchsprogramm entsprechend angepasst.

2 Rechtliche Grundlagen

Die rechtlichen Grundlagen stellen die einschlägigen Gesetze und Verordnungen der EU und der Schweiz dar.

2.1 Prinzip der Selbstkontrolle

Schweiz

Die Prüfung der Umweltverträglichkeit von Stoffen, Erzeugnissen und Gegenständen unterliegt der Selbstkontrolle des Herstellers. Die gesetzlichen Vorschriften besagen, dass der Hersteller und/ oder Importeur einen Stoff, ein Erzeugnis oder einen Gegenstand nur dann abgeben darf, wenn er dessen Umweltverträglichkeit beurteilt hat und zur Annahme berechtigt ist, dass dessen Handhabung die Umwelt und unmittelbar über die Umwelt den Menschen nicht gefährden kann.

Europäische Union

Das Konzept des EU- Chemikalienrechts ist mit dem Schweizer Recht durchaus kompatibel.

Auch in der EU;

- wird zwischen alten und neuen Stoffen unterschieden,
- besteht die Pflicht, den Abnehmer über den sachgerechten Umgang
- mit Chemikalien zu informieren sowie gelten nach dem Gefahrenpotential und Verwendungszweck abgestufte Anforderungen für das Inverkehrbringen.

3 Inhaltsstoffe

T2 01 und TS 02 wird durch eine chemische Reaktion der beiden Komponenten Epoxidharz und Härter gewonnen, oder reagiert mit Luftfeuchtigkeit. Die Zusammensetzung gilt als Produktionsgeheimnis. Sie wurden durch Basler & Hofmann auf anmeldepflichtige Stoffe überprüft (siehe Kapitel 4)

4 Abklärung zu den Inhaltsstoffen

Soweit die eingesetzten Stoffe anmeldepflichtig sind, handelt es sich durchwegs um alte Stoffe, für welche die EINECS- Nummern vorliegen. Die übrigen Stoffe sind ausschließlich aus den Elementen C, H, O und N aufgebaut und daher nicht anmeldepflichtig.

5 Systemabgrenzung

5.1 Lebenszyklus

Die Untersuchungen behandeln mit Ausnahme der Herstellung den gesamten Lebenszyklus von terrasystem. Es sind diese:

- die vollständige Analyse der Umweltverträglichkeit von TS 01 und TS 02 nach Einbau, sowohl im nicht angebondenen als auch im ausgehärteten Zustand sowie
- die Prüfung der Wiederverwendungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von mit TS 01 und TS 02 behandelten Körnungen.

5.2 Modifikationen in der Zusammensetzung

Alle in diesem Bereich dargestellten Untersuchungen basieren auf ordnungsgemäß abgeordneten TS 01 und TS 02 Systeme.

Modifikation im Verlauf der Prüfung der Umweltverträglichkeit

Aufgrund der Resultate der ersten Eluattests (vgl. Abschnitt 6.1) wurde der ursprüngliche eingesetzte Flammschutzmittel durch ein chlorfreies Produkt ersetzt. Einzig die Langzeitversuche (künstliche Alterung, Erdvergrabung) wurden nur in der ursprünglichen Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 durchgeführt, da diese zum Zeitpunkt der Modifikation bereits gestartet waren und aus zeitlichen Gründen nicht wiederholt werden konnten. Ein Analogieschluss lässt sich jedoch rechtfertigen da, auch die Untersuchungen mit dem chlorfreien Produkt (Mineralisation, biologische Resistenz) zu dem gleichen Ergebnis führten.

Alle übrigen Versuche wurden entweder wiederholt oder mit der modifizierten Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 durchgeführt. Die noch in der ursprünglichen Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 vorgenommenen Tests sind im Resultatteil jeweils speziell gekennzeichnet.

Aktuelle Modifikation

Im aktuellen Produkt wurden die Flammschutzmittel durch ein weniger wassergefährdendes Produkt ersetzt.

5.3 Untersuchungsprogramme

Das gesamte Untersuchungsprogramm zur Umweltverträglichkeit von TS 01 und TS 02 gliedert sich in folgende drei Bereiche:

Chemie

Analyse der chemischen Eigenschaften (TVA- Eluat, Gesamtchlorgehalt von reinem TE 01 und TE 02 (abgebunden und nicht abgebunden), von TS 01 und TS 02 /Schotter- Gemisch und reinem Schotter als Vergleich

Biologie

Analyse der Beständigkeit von reinen Plättchen aus TS 01 und TS 02 gegenüber UV- Strahlung und/ oder Mikroorganismen bzw. Abklärung, ob Plättchen aus TS 01 und TS 02 einen toxischen Einfluss auf Mikroorganismen haben. Abbaubarkeit der aus TS 01 und TS 02 eluierbaren Substanzen.

Physik

Waschversuch von unbehandeltem und mit TS 01 und TS 02 behandeltem Neuschotter.

Versuchsanordnungen

Test A

Dieser Test beinhaltet eine Eluatuntersuchung gemäß schweizerischer TVA (Technische Verordnung über Abfälle), der den Vorschriften der DEV (Deutsche Einheitsverfahren) entspricht, an vollständig abgebundenem reinem Terrasystem, einem TS 01 und TS 02 / Schotter- Gemisch mit Vollverfestigung (A2) sowie reinem Schotter (A3) zur Kontrolle.

Test B

In Test B wird das Auslaugverhalten von TS 01 und TS 02 beim Abbinden untersucht. Zu diesem Zweck wird frisch auf Schotter aufgetragenes TS 01 und TS 02 mit Wasser beregnet, die Fraktionen der Beregnung halb stundenweise gesammelt und analysiert.

Test C

In Test C wird die Mineralisation von TS 01 und TS 02 anhand eines standardisierten Tests mit Mikroorganismen (Belebtschlamm aus einer Abwasserreinigungsanlage) geprüft (OECD 301 B, sog. Sturm-Test).

Test D

In Test D wird mittels UV- Strahlung und Berieselung mit destilliertem Wasser an TS 01 und TS 02 eine künstliche Alterung simuliert. Anschließend wird bei den künstlich gealterten Proben das Eluat gemäß TVA (analog wie bei Test A) untersucht.

Test E

In Test E1 wird beurteilt, ob TS 01 und TS 02 Schimmelpilzen als Ernährungsgrundlage dient bzw. ob von TS 01 oder TS 02 eine toxische Wirkung auf diese Pilze hervorgerufen wird (DIN 53739, Methode B).

In Test E2 wird die Bakterienresistenz von TS 01 und TS 02 geprüft. Bewertet wird der Gewichtsverlust von TS 01 und TS 02 (DIN 53739, Methode C).

In Test E3 bzw. E4 wird TS 01 und TS 02 in microbiell aktiver (E3) bzw. - zur Kontrolle- in mit microbizider Lösung versetzter Erde (E4) eingegraben. Beurteilt wird sowohl der Gewichtsverlust (DIN 53739, Methode D) als auch das Eluat (analog wie bei Test A) von TS 01 und TS 02.

Test F

Test F beinhaltet die gleichen Untersuchungen wie in Test E, allerdings mit vorgängig gealterten Proben (Kombination von Test D und E).

Test G

In Test G wird der Waschprozess für ein Terrasystem/ schotter- Gemisch in einer Laboranlage simuliert. Anschließend werden die einzelnen Fraktionen des Waschprozesses sowie das Waschwasser auf das Eluat respektive die Inhaltsstoffe analysiert.

Test H

In Test H wird die biologische Abbaubarkeit der organischen Verbindungen aus dem Eluat von TS 01 und TS 02 untersucht. Gemessen werden in standardisierten Tests mit Mikroorganismen.

(Belebtschlamm) aus einer Abwasserreinigungsanlage die Elimination des organischen Kohlenstoffs (OECD 302 B) und der biochemische Sauerstoffbedarf über fünf Tage (BSB).

6. Resultate der durchgeführten Untersuchungen

6.1 Chemische Analysen (Test A, B, D, E ¼, F3/4)

Vollständig abgebundenes TS 01 und TS 02 (Test A1, A2, A3)

Untersuchte Parameter:

Da aufgrund der Stoffzusammensetzung in TS 01 und TS 02 mit Sicherheit keine Schwermetalle enthalten sind, beschränkte sich die Untersuchung im Eluattests auf die nichtmetallischen Komponenten (Test2 nach TVA): Es sind dies: Ammonium, Cyanid, Fluorid, Nitrit, Sulfid, Phosphat, DOC, EOX, bzw. AOX und Phenol. Zusätzlich wurden bei einzelnen Personen noch GC/MS- Untersuchungen zur Identifikation der eluierten Substanzen bzw. die Bestimmung des Gesamtchlorgehaltes der Festsubstanz durchgeführt.

Fazit

Aufgrund der Resultate die ersten Eluattests konnte die Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 durch das Ersetzen des chlorhaltigen Flammmhemmers aus Umweltsicht optimiert werden (K* zu K). Schotter mit TS 01 und TS 02 erfüllt auch bei Vollverfestigung d.h. 1 kg TS 01 und TS 02 pro 0,1m³ Schotter problemlos alle Grenzwerte der schweizerischen TVA. Die Werte der chemischen Analysen liegen sogar in der gleichen Größenordnung wie für reinen Schotter.

Nicht abgebundenes TS 01 und TS 02 (Test B)

Versuchsanordnung und untersuchte Parameter

Bahnschotter wurde in einem Kunststoffgefäß (PVC-frei) mit durchlässigem Boden mit TS 01 und TS 02 vollverfestigt und sofort nach dem Auftragen beregnet (11-13l m²h). Das durch das Schotterbett abgelaufene, filtrierte Wasser wurden fraktioniert aufgefangen (Zeiteinheit durchschnittlich 30 min) und auf die Parameter DOC und AOX untersucht. Zur Kontrolle wurden zusätzlich noch durch ein reines Schotterbett (ohne TerraElast) abgelaufenes Wasser sowie das Beregnungswasser analysiert.

Fazit

Aufgrund der Resultate des Beregnungsversuchs sollte TS 01 und TS 02 nicht bei sehr starkem Regen ausgebracht werden, da die Auslagraten von nicht vollständig abgebundenem TS 01 und TS 02 – und damit die DOC- und AOX Frachten in den Untergrund des Gleiskörpers nicht umweltverträglich sind. Setzt während des Ausbringens von TS 01 und TS 02 starker Regen ein, sind die mit terrasystem behandelten Streckenabschnitte oder Flächen vor Regen mittels Abdeckplane ect. zu schützen.

Künstlich gealterter und/oder erdvergrabenes terrasystem Material (Test D, E3/E4, F3/F4)

Versuchsanordnung und untersuchte Parameter

Von künstlich gealtertem und/oder erdvergrabenern TS 01 und TS 02 wurde im Eluattest der DOC und der EOX bestimmt. Es wurden folgende Kombinationen untersucht:

Parallel zu den Versuchen geführte unbehandelte Klimakontrolle	A1*
Von TS 01 und TS 02 (44 Wo. Alte Probe)	
Künstlich gealtertes TS 01 und TS 02 (28 Wo.)	D
In microbiell aktiver Erde vergrabenes TS 01 und TS 02 (32 Wo.)	E3
In microbizider Erde vergrabenes TS 01 und TS 02	E4
Künstlich gealterter und anschließend in microbiell aktiver Erde	F4
Vergrabenes TS 01 und TS 02 (44 Wo.)	

Künstliche Alterung

Für den sieben Monate dauernden Prozess der künstlichen Alterung wurde folgender 6 Stunden- Zyklus gewählt: 5 Stunden Bestrahlung (UVA mit einer Wellenlänge von 315- 400 nm), dann 1 Stunde Berieselung mit destilliertem Wasser. Die Bestrahlung bei einer Temperatur von 50°C.

Fazit

Die vorliegenden Resultate sind wie folgt zu interpretieren. So nimmt die Eluierbarkeit von organischen Verbindungen durch UV-Bestrahlung und durch Einlagerung in biologisch aktiver Erde zu, während die Kombination der zwei Tests zu keiner messbaren Erhöhung des DOC- Gehaltes führt. Bei einer worst-case-Betrachtung dieser teilweise widersprüchlichen Daten muss daher davon ausgegangen werden, dass Alterungsprozesse und biologische Aktivitäten zu einer Erhöhung der potentiell eluierbaren organischen Substanzen führen können. Basierend auf den vorhandenen Resultaten ist mit einer maximalen Erhöhung des DOC- Gehaltes um den Faktor 10 zu rechnen. Diese erhöhte Löslichkeit würde somit bei einer Vollverfestigung (Verhältnis TS 01 und TS 02 zu Schotter = 1:180) zu einer zusätzlichen DOC- Belastung von 1,2 mg / l führen, was aber noch immer deutlich unter dem Richtwert Inertstoffe liegt.

6.2 Mineralisation durch Microorganismen (Test C)

Versuchsanordnung und untersuchte Parameter

Die Untersuchung der biologischen Abbaubarkeit (Mineralisation durch Belebtschlamm einer Abwasserreinigungsanlage) erfolgte im aquatischen System. Gemessen wurde die Umwandlung des in den TS 01 und TS 02 Plättchen enthaltenen organisch gebundenen Kohlenstoffs zu Kohlendioxid (CO₂) und Wasser während 28 Tagen (Mineralisationsversuch an gemahlenern TS 01 und TS 02 Plättchen, Korngröße 0,063-0,125 mm). Gleichzeitig wurde auch überprüft, ob die Nitrifikation durch das gemahlene TS 01 und TS 02 gehemmt wird.

Fazit

Sowohl die ursprüngliche (K*) als auch die modifizierte (K) Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 sind durch Microorganismen (Belebtschlamm) kaum abbaubar (1,6-2,4% in 28 d). Zudem wurde auch keine Hemmung der Nitrifikation beobachtet.

6.3 Beständigkeit gegenüber Beständigkeit Microorganismen (Test E, F)

Versuchsordnung und untersuchte Parameter

Pilze (E1)

Durch Sandstrahlen aufgeraute TS 01 und TS 02 Plättchen (K* und K) wurden für 16 Wochen in ein spezifisches, mit Sporen von Prüfpilzen (*Aspergillus niger*, *penicillium funiculosum*, *Paecilomyces varioti*, *Gliocladium virens*, *Chaetomium globosum*) beimpftes Agarmedium gebracht.

Anschließend wurden die Proben optisch beurteilt und gleichzeitig auch die Gewichtsverluste (vgl. Bakterientests E2) bestimmt. Beobachtet wurde, ob die TS 01 und TS 02 Plättchen von den Prüfpilzen überwachsen sind (Wachstumsversuch) bzw. ob das Wachstum der Prüfpilze von den TS 01 und TS 02 Plättchen durch die Ausbildung von sog. Hemmhöfen beeinflusst wird. (Toxizität).

Bakterien (E2)

Durch Sandstrahlen aufgeraute TS 01 und TS 02 Plättchen (K* und K) wurden während 16 Wochen in ein vollständiges Nährmedium mit Bakterien (*Pseudomonas aeruginosa*, 10/5 Keime/ml) inkubiert. Als Beurteilungsparameter für die Zerstörbarkeit durch Microorganismen diente der Gewichtsunterschied gegenüber gleich lang inkubierten Sterilproben.

Erdeingrabung (E3)

Durch sandstrahlen aufgeraute TS 01 und TS 02 Plättchen (K* und K) wurden während 16 respektive 32 Wochen in microbiell aktiver Erde eingegraben. Als microbizide Lösung für Sterilkontrollen wurde Orthophenylphenol (0,1% ig) verwendet.

Als Beurteilungsparameter für die Zerstörbarkeit durch Microorganismen diente der Gewichtsunterschied gleich lang inkubierter Sterilproben.

Vorgängige künstliche Alterung

In Test F wurde der Test E wiederholt, jedoch mit vorgängig gealterten Proben (vgl. Abschnitt 6.1.3)

Fazit

Die festgestellten Gewichtsunterschiede gegenüber Sterilkontrollen waren bei der Prüfung mit Schimmelpilzen, Bakterien sowie beim Erdeingrabtest (mit biologisch aktiver Erde) minimal. Sowohl die ursprüngliche (K*) als auch die modifizierte (K) Zusammensetzung von TS 01 und TS 02 kann daher als microbiell schwer abbaubar bezeichnet werden. Diese Aussage gilt auch für vorher künstlich gealterte Proben. Die zusätzlich durchgeführte optische Prüfung des Schimmelpilzwachstums bestätigt die Resultate der Gewichtsprüfung. Zudem konnte mittels der optischen Prüfung nachgewiesen werden, dass von TS 01 und TS 02 keine toxische Wirkung auf Schimmelpilze ausgeht.

6.4 Waschversuch (Test G)

Versuchsanordnung und untersuchte Parameter

Ausbringen von TS 01 und TS 02

Ungefähr eine Tonne frischer Schotter wurde unter Dach an einem geschützten Ort auf einer Plastikfolie (PVC-frei) in einer ca. 30 cm hohen Schicht aufgetragen. Anschließend wurde eine Fläche von 1x1 m mit einer Schnur aus-gesteckt. Die TS 01 und TS 02 Menge für Vollbefestigung dieser Fläche wurde von einem Mitarbeiter vor Ort gemischt und mittels einer Gießkanne aufgetragen. Vor der Probenahme wurde der Schotter zum Aushärten und Abbinden zwei Wochen (29.08.94-12.09.94) vor Fremdeinflüssen geschützt belassen.

Schotterwaschanlage

Der Schotterwaschprozess wurde mit ca. 10 kg Schotter in einer Erd- und Schotteraufbereitungsanlage (Typ RUBAG RM 100C/spezial) im Labormaßstab simuliert. Die Schotterprobe wurde während 60 min ohne jeglichen Zusatz von Tensid oder anderen Chemikalien gewaschen. Anschließend wurde die Probe im Trommelmischer in die einzelnen Kiesfraktionen unterteilt. Das Waschwasser wurde zum Absetzen der größeren Partikel 10 min stehengelassen und anschließend filtriert.

Analysen

Mittels chemischer Analysen wurden folgende Parameter bestimmt: Die Menge und der Gesamtchlorgehalt der einzelnen Fraktionen sowie der DOC und AOX des Eluats der Schotterfraktion und des Waschwassers.

Berechnungen

Aufgrund der Menge und des Gesamtchlorgehaltes konnten bei den einzelnen Fraktionen folgende Parameter berechnet werden: Der absolute Chlor- und terrasystem- Gehalt (1kg TS 01 und TS 02 enthält 2860 mg Chlor), die Verteilung von TS 01 und TS 02 auf die einzelnen Fraktionen sowie der Chlor- und TS 01 und TS 02 - Anteil.

Fazit

Einer direkten Anwendung der aus dem Waschversuch anfallenden Schotterfraktion (>99%) sowohl im Gleisbau als auch als Zuschlagstoff für Beton steht aus Sicht der Umwelt nichts im Wege. Das gleiche gilt für die mengenmäßig vernachlässigbaren Kies- und Sandfraktionen. Der Entsorgungsweg der Schlammfraktion hängt vom Verschmutzungsgrad des Schotters ab und nicht von der TS 01 und TS 02 - Zugabe im Schotter. Das Waschwasser erfüllt die strengen kolonialer Grenzwerte (Kanton Zürich) zur Einleitung in die Kanalisation für Bodenwaschanlage und kann demzufolge unbehandelt in die Kanalisation eingeleitet werden.

6.5 Abbaubarkeit des Eluats durch Microorganismen (Test H)

Versuchsordnung und untersuchte Parameter

BSB/5

Gemessen wird diejenige Menge Sauerstoff, die von Microorganismen in fünf Tagen verbraucht wird, um die im Eluat von TS 01 und TS 02 vorhandenen biochemisch verwendbaren Stoffe abzubauen.

Elimination TOC

Um die direkte Elimination des totalen organischen Kohlenstoffs zu bestimmen, wird dessen Konzentration im Eluat während 28 Tagen gemessen.

Fazit

Bereits die hohen BSB/5- Werte weisen auf eine gute biologische Abbaubarkeit des Eluats hin. Bestätigt wird diese gute Abbaubarkeit durch die periodische Bestimmung der TOC- werte über 28 Tage. Gemäß einer Publikation der EMPA (1) kann TS 01 und TS 02 aufgrund der erhaltenen Resultate als biologisch sehr gut eliminierbare Industriechemikalie eingestuft werden.

Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von TS 01 und TS 02 zeigen, dass einer Anwendung von TS 01 und TS 02 von Sicht der Umwelt nichts im Wege steht. Das Produkt ist durch Microorganismen kaum abbaubar, trotzdem aus TS 01 und TS 02 eluierbare Substanzen können jedoch gut abgebaut werden. Auch die Entsorgung in einer Erd- und Schotterwaschanlage ist ohne negative Umweltauswirkungen möglich.

U. Baumann, P. Kölbener (1995). Darf ein Produkt über das Abwasser entsorgt werden? Chimia 49 197-203

(1) Anforderungen an biologisch gut eliminierbare Industriechemikalien: über 80% Elimination nach 14 Tagen.

(2) U. Baumann, P. Kölbner (1995). Darf ein Produkt über das Abwasser entsorgt werden? Chimia 49 197 - 203