

## Rekultivierungen über Deponien

# Schadstofftransport aus Deponien in den darüber liegenden Boden

*Die Emissionen aus Deponien werden seit längerer Zeit überwacht. Bis anhin war aber ausschliesslich der Transport von Schadstoffen in das Grundwasser Gegenstand von Untersuchungen. Die Frage, ob Schadstoffe aus Deponien in die darüber liegenden Abdeckschichten transportiert werden können, z. B. durch Bioturbation (Verlagerung durch wühlende Tiere), Gasfluss, kapillaren Aufstieg (Wasserfluss nach oben bei Trockenheit) oder durch Wurzeln, gab Anstoss zu verschiedenen Untersuchungen im Kanton Zürich.*

Alte Deponien, sowohl wilde als auch legale, sind häufig schlecht rekultiviert. Sie wurden üblicherweise nur mit einer dünnen Schicht irgendeines Aushub- oder Erdmaterials zugedeckt, das zudem in vielen Fällen mit Schadstoffen belastet war und immer noch ist. Die Einzelheiten zur Durchführung von Rekultivierungen werden seit 1991 in einer kantonalen Richtlinie geregelt.

## Anforderungen an Rekultivierungen

Grundsätzlich muss der rekultivierte Boden eine standortgerechte land- oder forstwirtschaftliche Nutzung erlauben, der Wasserhaushalt muss möglichst ungestört sein. In Rekultivierungsschichten wird er durch die Niederschlagsmenge, die Verdunstung, die Versickerung, den Oberflächenabfluss und die Wasservorratsänderung charakterisiert. Im Gegensatz zum natürlich gelagerten Boden sind als Folge der Reaktionswärme im Deponiekörper sogar Wasserdampf Flüsse möglich.

Bei der Rekultivierung über Deponien sind spezielle Abklärungen nötig, und die Abdeckung muss mindestens 1,5 Meter betragen. Das einzubauende Bodenmaterial darf keine unzulässige Schadstoffbelastung aufweisen und muss allenfalls vorher untersucht werden.

### Inhaltliche Verantwortung:

Samuel Isler  
 Fachstelle Bodenschutz  
 Kaspar-Escher-Haus  
 8090 Zürich  
 Telefon 043 259 31 86  
 Telefax 043 259 51 29  
 E-Mail: samuel.isler@vd.zh.ch  
 www.fabo.zh.ch  
 Amt für Landschaft und Natur  
 Volkswirtschaftsdirektion  
 des Kantons Zürich

### Autoren:

Bernhard Buchter  
 Luzius Matile



Manche Deckschichten über alten Deponien sind nur dünn und mit Schadstoffen belastet.

Quelle: Volkswirtschaftsdirektion/Fachstelle Bodenschutz

# BODEN

**Vorgänge im Deponiekörper**

In den zurzeit betriebenen Reaktordeponien wurde bereits vor dem Ablagerungsverbot durch die TVA kein Hauskehricht deponiert, sondern vor allem Baustellenabfälle, Schlacke und Strassenwischgut. In den unzähligen Deponien, die schon vor dem Inkrafttreten der TVA existierten und überall im Kanton zu finden sind, kommt Kehricht aber sehr wohl vor. Dieser ist häufig mit Industriemüll jeglicher Art vermischt.

In solchen Deponien laufen charakteristische Vorgänge ab. Zuerst werden organische Substanzen abgebaut, was zu einer Versauerung des Sickerwassers führt. Die sauren Verhältnisse sowie der hohe Gehalt an organischen Abbauprodukten erhöhen die Löslichkeit der diversen in der Deponie vorhandenen Schwermetalle wie Cadmium, Kupfer, Zink, Blei und Quecksilber. Später führt der Sauerstoffmangel zu Gärreaktionen. Dabei entsteht aus Sulfat Sulfid, das Schwermetalle vorübergehend stark bindet.

In Deponien mit Kehrichtschlacke machen die Oxide der Elemente Silizium, Eisen, Calcium und Aluminium mehr als 90 Prozent aus, Schwermetalle hingegen nur rund 1 Prozent. Chemische Reaktionen der basaltähnlichen Inhaltsstoffe führen für längere Zeit zu basischen Verhältnissen. In der Schlacke sind auch rund 3 Prozent Kohlenstoff enthalten, der in späteren Phasen zur Versauerung des Deponiematerials beitragen kann.

Die Anfangsphasen chemischer Vorgänge in Deponien sind relativ gut untersucht, bei späteren Phasen ist man dagegen auf theoretische Überlegungen angewiesen.

**Schadstofftransport aus Deponien**

Um abzuklären, ob Schadstoffe aus Deponien in die darüber liegenden Abdeckschichten transportiert werden können, liess die Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich von 1993 bis 1998 diverse Untersuchungen durchführen.

Eine Literaturrecherche im Jahr 1993 zeigte den Kenntnisstand im In- und Ausland auf. 1995 wurde der Aufbau und die Schadstoffbelastung der Deckschicht dreier Deponien untersucht.

Die Böden über den drei Deponien weisen alle tiefe Schwermetallgehalte auf. Die PAK-Gehalte im Boden einer Deponie überschreiten den Richtwert gemäss der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö). Der Prüfwert wird

jedoch nicht erreicht. Da die Herkunft des Rekultivierungsmaterials unbekannt ist und keine Referenzproben aus der Umgebung vorhanden sind, kann die Ursache der Verschmutzung nicht eruiert werden. Wahrscheinliche Gründe sind die Verwendung von bereits belastetem Material und die Vermischung mit dem deponierten Material an Ort und Stelle.

Bereits bei dieser ersten Untersuchung wurde klar, dass gesicherte Aussagen zu einem allfälligen Schadstofftransport aus dem Deponiekörper in die Rekultivierungsschicht nur in jenen seltenen Fällen möglich sind, bei denen der Ausgangszustand des Deckmaterials bekannt ist. Dann wäre auch die zeitliche Veränderung (Zu- oder Abnahme der Schadstoffgehalte) messbar.

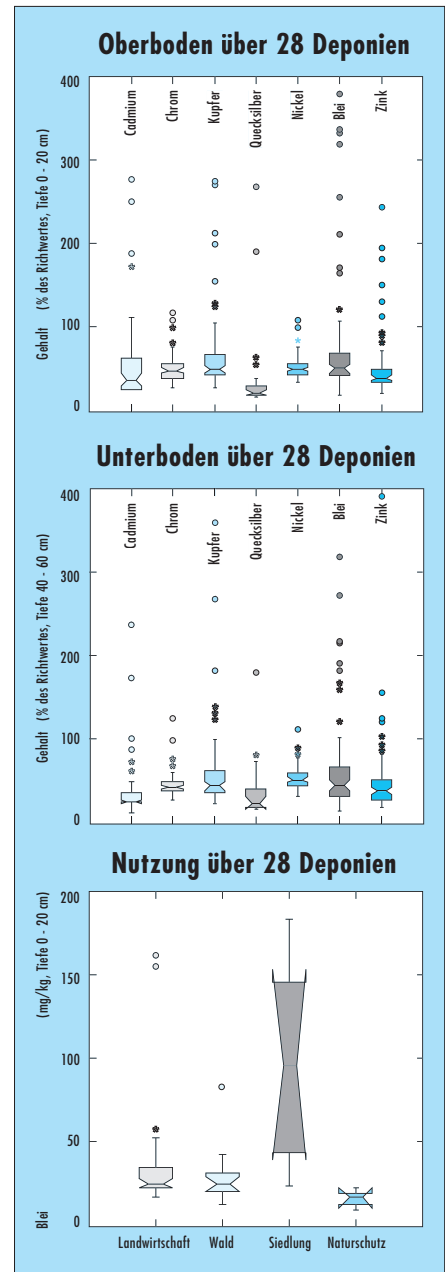
**Herkunft der Kontaminationen**

Im Rahmen des Projektes «Schadstoffbelastung in Böden rekultivierter Deponien» wurden im Jahre 1996 die Rekultivierungsschichten von 28 Deponien im Kanton in den Tiefen 0 bis 20 Zentimeter und 40 bis 60 Zentimeter beprobt und analysiert. Zusätzlich wurden die Rekultivierungsschichten von 12 der Deponien qualitativ beschrieben. Alle untersuchten Deponien sind vor Inkrafttreten der TVA rekultiviert worden.

Die gemessenen Belastungen reichen von «unverschmutzt» über «leicht verschmutzt» bis «stark verschmutzt». Die Darstellung mittels Boxplots (Ober- und Unterboden) zeigt dies deutlich. Die Werte sind in Prozenten des Richtwertes angegeben. Die Richtwerte werden in unverschmutzten Böden üblicherweise deutlich unterschritten. Bei den untersuchten Deponien sind die Gehalte im Oberboden (Tiefe 0–20 Zentimeter) gegenüber dem Unterboden (40–60 Zentimeter) leicht erhöht, wobei die Unterschiede gering sind. Meistens überschreiten gleich mehrere Schwermetalle den entsprechenden Richtwert. Bei einem zu hohen Gehalt im Oberboden ist häufig auch die Konzentration im Unterboden zu hoch.

Die Belastung des Bodens ist also nicht durch die Deponie bedingt, da die Gehalte im Unterboden immer geringer oder gleich hoch wie im Oberboden sind.

Die Schadstoffkonzentrationen im



Die Schwermetallbelastung der Rekultivierungsschichten stammt kaum von den darunter liegenden Deponien, sonst müsste der Gehalt im Unterboden höher sein als im Oberboden. Hingegen fällt auf, dass die Belastung in Siedlungsgebieten im Vergleich zu anderen Nutzungsarten erhöht ist. Quelle: VD/Fachstelle Bodenschutz

Böden hängen ausserdem von keiner der bekannten Informationen wie Startjahr, Abschlussjahr, Grösse oder von den Inhaltsstoffen der Deponie ab. Die sieben verschiedenen PCB und 16 PAK als mögliche Indikatoren für den Deponieinhalt treten immer zusammen auf, es gibt kein spezielles Muster.

Bei einer durch die Deponie verursachten Belastung des Bodens müsste ein Zusammenhang zwischen dem Inhalt der Deponie und dem Schadstoffgehalt

**Richt-, Prüf- und Sanierungswerte**

Richt-, Prüf- und Sanierungswerte geben Hinweise hinsichtlich der Gefährdung der Umwelt. Sie werden in der eidgenössischen Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) von 1998 verwendet, um die Gefährdung für Mensch, Tier und Pflanze abzuschätzen. Erfasst werden anorganische und organische Schadstoffe. Unterschieden wird bei einigen Schadstoffen zwischen totalem und löslichem Gehalt. Der lösliche Gehalt gibt vor allem die akute Gefährdung wieder (wie viel Schadstoff geht zur Zeit in die Umwelt), der Totalgehalt eher die Gefährdung in der Zukunft (wie gross ist die potenzielle Gefährdung).

Sofern die Schadstoffgehalte unter dem Richtwert liegen, ist die Bodenfruchtbarkeit gewährleistet. Bewegen sie sich zwischen Richt- und Prüfwert, ist die Bodenfruchtbarkeit nicht mehr gewährleistet, die Nutzung aber noch nicht gefährdet. Werden beide Werte überschritten, aber nicht der Sanierungswert, müssen Nutzungseinschränkungen aufgrund einer Gefährdungsabschätzung geprüft werden. Werden schliesslich alle drei Werte überschritten, ist die Nutzung mit Sicherheit gefährdet.

im Boden festzustellen sein. Dies trifft hier aber nicht zu.

Werden die Deponien in Bezug auf die aktuelle Nutzung beurteilt, fällt auf, dass in den Siedlungsgebieten im Vergleich zu den anderen Nutzungsarten die Schwermetallgehalte im Oberboden er-

höht sind. In der Abbildung gegenüber ist dies am Beispiel von Blei stellvertretend für andere Schwermetalle dargestellt. Zudem weisen die starken Streuungen bei den Gehalten im Siedlungsgebiet darauf hin, dass neben schwach belasteten auch stärker belastete Böden vorkommen. Die erhöhten Schwermetallgehalte sind im Oberboden deutlicher als im Unterboden.

Für die untersuchten Deponien kann also gefolgert werden, dass die stärkere Kontamination auf das verwendete Bodenmaterial und die aktuelle Nutzung im Siedlungsgebiet und nicht auf den Einfluss der Deponie zurückzuführen ist.

**Untersuchung der Deckschichten**

Parallel zur Bestimmung der Schadstoffgehalte wurden die Böden über 12 der Deponien anhand von Bodenprofilen beschrieben. Keine Rekultivierung erfüllte die Vorgaben der seit 1991 gültigen kantonalen Richtlinien. Die Mächtigkeiten der Rekultivierungsschichten waren zu gering und der Boden wurde mit ungenügender Sorgfalt aufgetragen. Teilweise war die Rohplanie (Deckschicht über der Deponie vor dem Aufbringen des Bodens) derart verdichtet, dass sich das Regenwasser im Boden staute. In solchen Fällen wären eine ausreichend geneigte Oberfläche des Deponiekörpers oder Sickerhilfen nötig.

**Wasser- und Gashaushalt**

Deponien zeichnen sich durch einen komplexen Wasser- und Gashaushalt aus. Einerseits fliesst Regenwasser in den groben Poren entlang so genannter präferenzzieller Fließwege in weniger als einem Tag bis zur Sohle der Deponie, andererseits sickert es langsam durch die feineren Poren und führt dort zu chemischen Reaktionen mit den Inhaltsstoffen. An verdichteten Schichten im Deponiekörper staut sich das Sickerwasser.

Abbauvorgänge führen zur Gasproduktion im Deponiekörper. Das meiste Gas verlässt die Deponie nach oben, ein Teil wird im Sickerwasser gelöst. Das produzierte Gas setzt sich vorwiegend aus Methan und Kohlendioxid zusammen und enthält diverse organische Schadstoffe, wie z.B. Benzol, in Spuren. Bei mächtigeren Deckschichten tritt Gas an wenigen Stellen konzentriert aus, bei geringer Mächtigkeit gleichmässig verteilt.

Bei drei Deponien wurde die Problematik des Schadstofftransportes genauer untersucht. Auf der ersten Deponie waren legal, später auch illegal (wild) Aushub, Industrieabfälle und Kehrrichtschlacke deponiert worden, auf der zweiten Aushub, Industrieabfälle und Hauskehricht. In beiden Fällen ist der Anteil der einzelnen Abfallsorten unbekannt. In der dritten Deponie lagern Salzschlacke und Schlämme mit einem hohen Gehalt an Chlorid.

Die erste Deponie wurde mit 50 Zentimetern Aushubmaterial überdeckt und zu einem kleinen Teil aufgeforstet. Auf der Wiese überschreiten die Zink- und Bleigehalte die Richtwerte nach VBBo nicht, wohl aber im Wald. Vermutlich wurde dort bereits verschmutztes Aushubmaterial zur Rekultivierung verwendet. Das Muster der Zink- und Bleigehalte im Oberboden spricht gegen eine Verlagerung durch aufsteigendes Wasser. Möglich ist auf Grund der Schwermetallverteilung im Boden Bioturbation. Je mächtiger die Deckschicht, desto geringer ist der Schwermetallgehalt. Bei der Untersuchung war die Deponieobergrenze häufig nicht erkennbar, da auch die Rekultivierungsschichten schwarze Materialien, vermutlich Schlacke, enthielten.



Im Jahr 1995 wurden die rekultivierten Böden über zwölf Deponien anhand von Bodenprofilen und Schadstoffmessungen untersucht.

Quelle: VD/Fachstelle Bodenschutz

Auf der zweiten Deponie überschreitet der Mittelwert der Bleigehalte den Richtwert im Oberboden, nicht aber im Unterboden. Die Zinkgehalte im Ober- und Unterboden liegen mehrheitlich unter dem Richtwert. Die Schwankungsbreite der Messwerte ist gross. Es ist keine Abhängigkeit zwischen den Konzentrationen und dem Abstand zur Deponieobergrenze zu erkennen. Die Rekultivierungsschicht ist z.T. über 100 Zentimeter mächtig, fehlt aber teilweise auch ganz. An einigen Orten sind deponierte Materialien sichtbar. Am wahrscheinlichsten ist auch hier, dass verschmutztes Material zur Rekultivierung verwendet oder Boden bei der Rekultivierung mit Deponiegut vermischt wurde.

Die Oberfläche der dritten Deponie ist mit einer Tonschicht und im Zentrum zusätzlich mit Kunststoffolie abgedichtet. Darüber liegt eine 40 bis über 100 Zentimeter mächtige Deckschicht. Die Rekultivierung war zum Zeitpunkt der Beprobung noch nicht abgeschlossen. Interessant ist der hohe Chloridgehalt des Deponiematerials, da Chlorid ein geeigneter Markierungsstoff für Wassertransport ist.

Am Rande der Deponie wurden im Unterboden direkt über der Tonschicht erhöhte Chloridgehalte gemessen, nicht aber über der Plastikfolie im Zentrum.



Rekultivierten Deponien sieht man ihre frühere Nutzung oft nicht mehr an. Quelle: VD/Fachstelle Bodenschutz

### Umgang mit Bodenbelastungen

Die Altlasten-Verordnung (AltIV) regelt den Umgang mit durch Abfälle belasteten Standorten, d.h. mit Ablagerungsstandorten (Deponien), Betriebsstandorten und Unfallstandorten. Art. 12 der AltIV besagt, dass «Einwirkungen von belasteten Standorten auf Böden sowie Einwirkungen von Böden, die mit Abfällen belastete Standorte sind, auf Menschen, Tiere und Pflanzen», nach den Artikeln 34 und 35 USG, zu beurteilen sind. Die Ausführungsbestimmungen dazu sind in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) dargelegt.

Die Erhebungen auf der ganzen Deponie und das dabei gefundene Chloridmuster weisen aber eher auf seitlichen Austritt aus den Deckschichten über der Folie hin als auf Bioturbation oder aufsteigendes Wasser aus der Deponie.

### Unsorgfältige Rekultivierungen

Ziel der Untersuchungen der Fachstelle Bodenschutz von 1993 bis 1998 war es, einen eventuellen Schadstofftransport vom Deponiekörper in die Rekultivierungsschichten zu erfassen. Aus theoretischen Überlegungen kommen dafür Bioturbation (Verlagerung durch wühlende Tiere) und aufsteigendes Wasser (kapillarer Aufstieg) als Transportmechanismen in Frage. Vermutet wurde auch, dass Wurzeln, besonders von Bäumen, Schadstoffe aus dem Deponiekörper aufnehmen, und diese über die abfallenden Blätter oder Nadeln im Oberboden der Deckschicht angereichert werden.

Bioturbation ist an wenigen Orten zu vermuten, wenn auch nicht beweisbar. Der Schadstofftransport durch kapillaren Aufstieg oder durch Akkumulation in Pflanzen ist vermutlich zu langsam, um die gefundenen Schadstoffgehalte zu erklären.

In den meisten Fällen muss angenommen werden, dass entweder bereits mit Schadstoffen belasteter Boden zur Rekultivierung verwendet wurde oder dass es bei der Rekultivierung zu einer Durchmischung von ausgebrachtem Material mit Deponiegut kam. Die geringen Mächtigkeiten der Rekultivierungsschichten unterstützen diese Vermutung. Die

kantonalen Richtlinien für die Durchführung von Rekultivierungen verlangen, dass die bei unbelastetem Untergrund vorgeschriebenen 1,1 Meter Bodenschicht überschritten werden. Häufig wird aber selbst dieser Wert bei weitem nicht erreicht.

### Künftige Untersuchungen

Um in Zukunft den Schadstofftransport aus dem Deponiekörper erfassen zu können, empfiehlt sich eine genaue Analyse des Anfangszustandes: Woher stammt das Material? Wie hoch ist dessen Belastung? Wurden beim Einbau Deponiematerial und Bodenmaterial vermischt? Welches ist die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht? Damit sind zeitliche Veränderungen und unter Umständen sogar die Mechanismen des Schadstofftransportes eruierbar. Als erster Schritt wurden daher auf einer kürzlich stillgelegten Deponie zwei Markierstoffe in die oberste Deponieschicht eingebracht. Nachdem die Rekultivierung abgeschlossen war, bestimmte man im Ober- und Unterboden die Gehalte dieser zwei Stoffe. Sollten sie im Laufe der Zeit in die Rekultivierungsschicht verlagert werden, wird dies anhand erhöhter Konzentrationen nachweisbar sein.

Die Abklärungen der Fachstelle Bodenschutz haben gezeigt, dass die Verlagerung von Schadstoffen aus Deponien in die Rekultivierungsschichten kaum in bedeutendem Ausmass stattfindet. Es hat sich aber auch gezeigt, dass erhebliche Schadstoffbelastungen auftreten können, falls bei unsachgemässer Rekultivierung verschmutztes Bodenmaterial verwendet wird oder eine Vermischung mit Deponiegut stattfindet.

### Gesetzliche Grundlagen und Vollzugshilfen

- Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), 1998, SR 814.12
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA), 1990, SR 814.600
- Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlastenverordnung, AltIV), 1998, SR 814.680
- Richtlinie für die Durchführung von Rekultivierungen, 1991, Baudirektion, Direktion der Volkswirtschaft, Zürich