Reaktordeponie und Endlager: Ergebnisse aus der Sicht der Forschung

Autor(en): **Förstner, U.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 4

PDF erstellt am: **11.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77037

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Reaktordeponie und Endlager

Ergebnisse aus der Sicht der Forschung

Einleitung

Im folgenden berichte ich über einige Ergebnisse unseres ersten Workshops über Reaktordeponien und Endlager.

VON U. FÖRSTNER, HAMBURG

Gut die Hälfte der Teilnehmer waren Ingenieure, die traditionellen Bearbeiter dieser Thematik. Es waren jedoch darüber hinaus jeweils etwa 10 Teilnehmer aus den Bereichen Geologie und Chemie anwesend, zusätzlich 4 Biologen. Etwa zwei Drittel der Teilnehmer waren aktive Forscher, ein Drittel stammte aus der Praxis und Administration. Insgesamt eine günstige Zusammensetzung für die Bearbeitung dieser Thematik, auch wenn sich der eine oder andere Kollege aus den Ingenieurdisziplinen manchmal an die guten alten Zeiten erinnert haben mag, als man diese Fragen unter sich ausmachen konnte.

Ich glaube, dass es Zeit war, sich den naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen zu öffnen. Gerade für die Abschätzung der langfristigen Effekte ist die Kenntnis der grundlegenden geochemischen Prozesse erforderlich. Wir haben zu diesem Thema bislang sehr wenig beigetragen. Ich schätze aus meiner Erfahrung in beiden Bereichen, dass ungefähr zehnmal mehr über die Geochemie des Mondes publiziert wurde als über das Verhalten von Spurenelementen in Mülldeponien. Hier eröffnen sich wichtige Forschungsaufgaben sowohl im Grundlagen- als auch Anwendungsbereich, die ich am Ende des Artikels noch einmal zusammenfassen möchte.

Reaktordeponie und Endlager

Ich möchte zuerst den Unterschied zwischen Reaktordeponie und Endlager aufzeigen, wie er sich für die Forschung darstellt (Bild 1). Vom Standpunkt der Belastung aus gesehen, haben wir ein relativ breites Spektrum an Stoffen, teils über, teils unter einer Endlagerqualität liegend.

Im Falle des Endlagers stellen wir die Bedingungen mit technischen Mitteln (Vorbehandlung) so ein, dass die Emissionen im gesetzlich festgelegten Rahmen bleiben. Die Veränderungen über die Zeit gesehen sind gering.

Im Falle der Reaktordeponie liegen einige Parameter oberhalb der Grenzwerte. Im Verlauf der ersten Betriebsjahre finden sehr wesentliche Verbesserungen bei kritischen Werten statt, doch gibt es auch nach Abschluss der aktiven Gasentwicklung, nach etwa 30 bis 100 Jahren, immer noch Werte über den «Endlager-Bedingungen», so dass eine weitere Überwachung über einen längeren Zeitraum hinweg erforderlich sein wird. Ich weise nochmals auf den Faktor Zeit hin, der in diesen Dimensionen doch etwas grundsätzlich Neues für unsere Thematik darstellt.

Prozesse in der Reaktordeponie

In einer Reaktordeponie von Siedlungsabfällen gibt es eine Abfolge von Phasen, die prinzipiell vorgegeben ist.

Die einzelnen Phasen können jedoch zeitlich verkürzt oder verlängert sein. Zunächst ist eine solche Deponie noch aerob, aber mit der Abnahme von Sauerstoff kommen durch die Vermittlung bestimmter Bakterien Prozesse in Gang, bei denen Säuren gebildet werden. Diese wiederum werden durch andere Bakterien in Methan und Kohlendioxid umgewandelt. Die Methanbildung setzt sich über einige Jahrzehnte hinweg fort, mit der Erhöhung der pH-Werte stabilisiert sich diese Entwicklung. Am Ende hört die Methanbildung auf, doch ist immer noch organische Stubstanz vorhanden, die abgebaut werden kann.

Auf sehr lange Sicht ist zu erwarten, dass die Deponie aus dem anaeroben in den aeroben Zustand zurückkehrt (Bild 2).

Es gibt, erstaunlich genug, noch keine Beobachtungen über die volle Entwicklungszeit einer Landdeponie, aus denen sich die Verhältnisse in der späten Methanphase ablesen lassen. Wir sind bislang auf Erfahrungen aus Labortests und auf theoretische Überlegungen angewiesen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die saure anaerobe Phase relativ ungünstig ist; bei niedrigen pH-Werten werden Metalle mobilisiert, und es gibt verstärkte Verkrustungen aus Eisenoxiden in den Drainagesystemen. Man kann versuchen, diese Phase zu verkürzen, z.B. durch Vorkompostierung eines Teils des Materials; es wurde auch eine Sikkerwasserrückführung versucht sowie die Anwendung von Kalk, um den pH-Wert anzuheben.

Nach Einsetzen der methanogenen Phase kann eine Oberflächenabdekkung installiert werden, mit der die Sikkerwassermengen kontrolliert werden können sowie die Gase besser erfassbar sind.

Insgesamt sind die Eingriffsmöglichkeiten in eine Reaktordeponie recht begrenzt. Es wurde festgestellt, dass durch beschleunigte Behandlung in einer früheren Phase die Geschwindigkeiten in der methanogenen Phase nicht wesentlich beeinflusst werden.

Aus den vorliegenden Erfahrungen lassen sich zwei Thesen ableiten. Die erste Feststellung lautet, dass die Endlagerqualität - wenn man den Abfall sich selbst überlassen kann - mittelfristig (30–100 Jahre), d.h. bis zum Ende der methanogenen Phase, nicht erreicht wird. Sickerwasser und Gasmengen fallen langfristig an, und auch nach Beendigung der akuten Gasentwicklung werden Grenzwerte im Sickerwasser

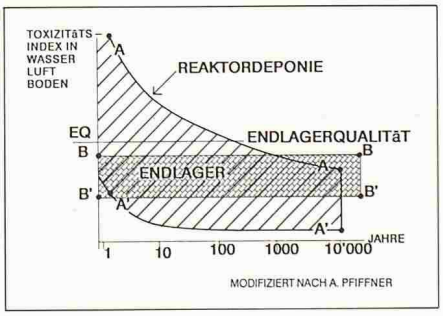

Bild 1. Unterschied zwischen Reaktordeponie und Endlager

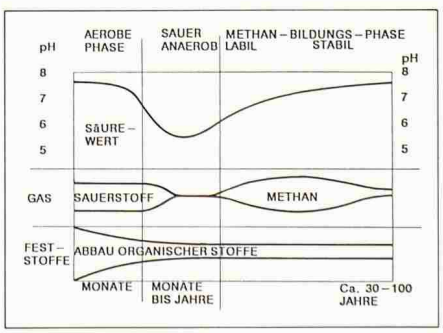

Bild 2. Die Entwicklungsphasen einer Reaktordeponie

	Reaktordeponie	Endlager	Erdkruste
Feste Hauptkomponenten	«Inert»-Abfall Abbaubare Substanzen Auslaugbare Substanzen	Silikate, Oxide [Gips, Steinsalz] (Kohlige Substanzen)	Quarz, Karbonate, Tone, Fe-Oxide (Huminsäuren)
Feste Nebenbestandteile	Metalle in verschiedenen chem. Formen Organ. Mikroschadstoffe	Angereicherte Metalle [Organische Mikroschadstoffe]	Metalle (überwiegend) im Gleichgewicht
Gelöste Stoffe	Organische Abbauprodukte, Ph- und Redoxgradienten, gelöste Salze	(pH). [Salze]	

( ) Untergeordnete Bestandteile/geringe Veränderung
[ ] Verringerung durch Vorbehandlung

Bild 3. Vergleich der drei Systeme Reaktordeponie, Endlager und Erdkruste

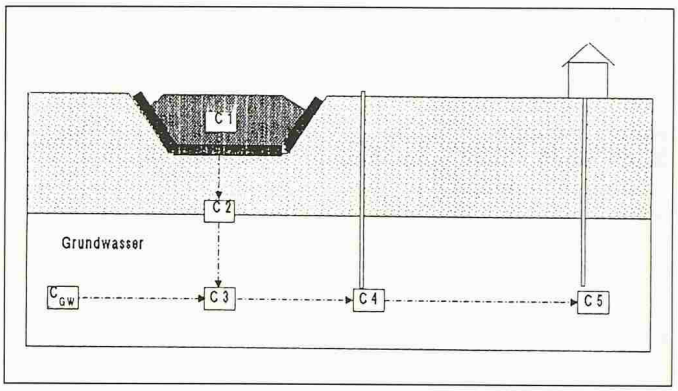

Bild 4. Messstrategien zur Ermittlung der Endlagerqualität

überschritten. Das bedeutet nicht, dass die Deponie dann in ein Desaster einmündet, sondern vielmehr, dass man weiter den Aufwand der Beobachtung und Sickerwasserbehandlung betreiben muss.

Die zweite Feststellung lautet, dass die Qualität des Sickerwassers vom Eintrag an Stoffen bestimmt wird. Der Zeitraum, in dem eine Behandlung notwendig sein könnte, kann dann aus heutiger Sicht nicht abgeschätzt werden. Einige Substanzen, die nicht auf eine Siedlungsabfalldeponie gehören, sind die Metalle Cd, Hg, As und Sn sowie organische Schadstoffe wie halogenierte Kohlenwasserstoffe und Nitroaromaten.

Eine interessante Frage ist, inwieweit aus der Struktur und aus dem Chemismus eines Schadstoffs sein zukünftiges Umweltverhalten abgeschätzt werden kann. Hier zeichnet sich eine gewisse Systematik ab, und mit Hilfe einiger geschickter Chemiker sollte es möglich sein, die schlimmsten Effekte rechtzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Die Qualität der Hüllen

Die Hüllen um den Deponiekörper bestehen aus Oberflächen- und Basisabdichtungen, letztere mit Einrichtungen zur Sickerwassersammlung. Beim Einsatz von Ton- und Kunststoffmaterialien wurden folgende Erfahrungen gemacht:

- die Dichtungen sind nicht undurchlässig
- Vorläufersubstanzen: Chloride, best. organische Verbindungen
- richtiger Einbau ist wichiger als Materialeigenschaften.

Besondere Forderungen sind zu stellen hinsichtlich einer Beschleunigung des Abbaus organischer Substanzen, welche sich nachteilig auf die Reaktionen mit Dichtungsmaterialien, Materialsetzungen und Gasproduktion auswirken können.

Forschungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich massgeschneiderter Abdichtungen, besonders für die Sammelsysteme, und bei der Entwicklung von Modellen zur Abschätzung der Schadstoffretention.

Die Deponie als Endlager

Bevor wir zu den Entwicklungen im Endlager kommen, möchte ich einen kurzen Vergleich über das «Inventar» der drei in Frage kommenden Systeme geben.

Wichtig ist es, den Vergleich zum Klassenziel, der Erdkruste, vorzunehmen. Dort finden wir Quarze, Karbonate, Tonminerale und Eisenoxide als Hauptbestandteile; die Schwermetalle sind überwiegend im Gleichgewicht mit den Lösungen.

Einige Komponenten finden sich auch in den Endlagerbestandteilen, z.B. Silikate und Oxide, die bei Hochtemperaturprozessen entstehen. Kohlige Substanzen, z.B. aus Pyrolyseprozessen, können Metalle sehr gut einbinden. Durch Vorbehandlung können kritische Substanzen – leicht lösliche Salze, organische Mikroschadstoffe – vor der Ablagerung eliminiert werden. Einer der Vorteile ist dann, dass die chemischen Bedingungen langfristig stabil gehalten werden können, und die Einhaltung der Endlagerqualität kann ebenfalls langfristig vorhergesagt werden.

Bei der Deponie als Endlager sollten zum Beispiel Aschen aus der Verbrennung fester Abfälle ihren endgültigen Platz finden; entsprechend den vorhergehenden Ausführungen ist in der Regel eine Vorbehandlung durchzuführen, bei der leicht lösliche Chloride ausgewaschen werden.

Forderungen für die Endlagerqualität sind: die Zusammensetzung der Ablagerung muss in allen Details bekannt sein; die Abfälle oder Abfallreststoffe müssen im thermodynamischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung sein (erste und wichtigste Barriere); die Form der Ablagerung ist vorgegeben (Oxide/Sulfide); zur Kontrolle der Endlagerqualität sollte die Sickerwasserzusammensetzung an der Grenzfläche Abfall/Untergrundabdichtung mindestens über 50 Jahre gemessen werden, dazu ist also eine Untergrundabdichtung mit Sickerwassersammlung erforderlich. Dieser «Liner» kann auch als zweite Barriere – zusätzliche Sicherheit – angesehen werden. Es wurde auch über die Notwendigkeit diskutiert, die «Geologie» als dritte Barriere (langfristige Sicherheit) einzusetzen. Der letzte Punkt – Beeinflussung des Grundwassers – ist eher eine politische Forderung.

Zukünftige Forschung

Die Felder der zukünftigen Forschung liegen zunächst bei den Vorbehandlungsmethoden und bei der Erforschung von diagenetischen Veränderungen, unter denen der Geologe all jene Prozesse versteht, bei denen aus einem Lockermaterial letztlich ein Gestein wird, d.h. Stoffaustausch an Grenzflächen, Lösung und Ausfällung, Rekristallisation und Verdichtung des Porenraums.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von problemspezifischen Biotests für subtoxische und langfristige Effekte, nicht nur für Einzelorganis-

men, sondern für Organismen-Vergesellschaftungen. Diese Tests sollen u.a. eine Rolle spielen in den Risikoabschätzungen für verschiedene langfristige Endlagerszenarien. Schliesslich sind noch Messstrategien und die Weiterentwicklung von Überwachungstechniken zu nennen.

Testverfahren

Bei der Entwicklung von Testverfahren ist als wichtiger Punkt hervorzuheben, dass es einen Einheitstest nicht gibt, sondern dass vielmehr für die einzelnen Kriterien spezifische Testmethoden entwickelt und eingesetzt werden müssen.

Auslaugungstests, wie sie bisher vor allem für kurz- und mittelfristige Abschätzungen verwendet werden, enthalten eine Reihe von Fallstricken. Wir bewegen uns im Moment sehr langsam vorwärts. Um überhaupt etwas Land unter die Füsse zu bekommen, sei darauf verwiesen, dass zumindest ein Vergleich mit der Endlagerqualität «Gestein» (lokal oder Standard) gewisse Hinweise geben könnte, wo sich unser heutiges Endlagermaterial einordnen lässt.

Messstrategien

Zur Messstrategie ist anzumerken, dass sich der Ort der Auswirkung relativ weit entfernt von der Verschmutzungsquelle (hier Deponie) befinden kann.

Die Messstrategien zur Ermittlung der Endlagerqualität sind in Bild 4 dargestellt. Dazu ist folgendes zu bemerken:

Vorteil der Messung an C 1 wäre die unmittelbare Kontrolle am Abfluss, was Hinweise auf zusätzlich erforderliche Messungen und Anfangsparameter für ein Ausbreitungsmodell ergibt. Der Nachteil wäre, dass aus einer punktuellen Messung nur wenige Informationen für die echten Emissionen in den Untergrund zu erhalten sind.

Vorteil der Messung an C 4 wäre die Information über die Wirkung der verschiedenen nachgeschalteten Barrieren sowie über das reale Ausmass der Emissionen. Nachteilig wäre vor allem der zeitliche Verzug zwischen einer Schadstoffabgabe und der Möglichkeit ihrer Erfassung. Es sollte deshalb angestrebt werden, eine Kombination der beiden Messstrategien zu erreichen.

Forschungsschwerpunkte

Ich möchte abschliessend noch einige Schwerpunkte zukünftiger Forschung nennen:

Grundlagenforschung

- Verhalten organischer Substanzen, (Abbau, Synthese, Transport)
- Reaktivität kritischer Metalle bei verschiedenen Deponiebedingungen

Methodenentwicklung

- Biotests für langfristige Effekte
- Elutionstests für langfristige Effekte
- physikalische Modelle

Angewandte Forschung

- Trennungs- und Anreicherungstechniken
- Beschleunigung des organischen Abbaus

Grundlagen

Die Grundlagen für diesen Artikel wurden von 4 Gruppen erarbeitet.

Die erste Gruppe unter der Leitung von Prof. *R.K. Ham,* Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin befasste sich mit *den biologischen und chemischen Prozessen in einer Reaktordeponie.* Diese Reaktordeponie kann sowohl für den Abbau von organischen Substanzen verstanden werden, kann aber als weiteres Behandlungsverfahren z.B. von Schlacken eingesetzt werden.

Die zweite Gruppe unter der Leitung von Prof. *R. Stegmann,* Arbeitsbereich Umweltschutztechnik, Technische Universität Hamburg-Harburg widmete sich den Fragen des *Stofftransports in der Reaktordeponie und den Hüllenmaterialien,* d.h. den Abdichtungen an der Basis und an der Oberfläche des Deponiekörpers.

Die dritte Gruppe unter der Leitung von Prof. *A. Pfiffner,* Geologisches Institut, Universität Bern, behandelte die *wissenschaftlichen und technischen Kriterien für die Endlagerqualität.*

Die vierte Gruppe unter der Leitung von Dr. *P.H. Brunner,* Abt. Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt EAWAG, Dübendorf diskutierte über die *derzeitigen und zukünftigen Möglichkeiten zur Bestimmung der Endlagerqualität.*

Jede Gruppe fand 3 bis 4 grundlegende Arbeitspapiere vor und erstellte einen Gruppenbericht, der dann in Plenarsitzungen weiter diskutiert wurde.

- Extraktion löslicher Komponenten
- Verfestigung und Stabilisierung
- Rückgewinnung von Wertmetallen

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *U. Förstner,* Arbeitsbereich Umweltschutztechnik, Technische Universität Hamburg-Harburg, Eissendorferstr. 38, BRD-2001 Hamburg 90.

Reaktordeponie und Endlager

Ergebnisse für die Praxis

Einleitung

Die vier Tage von Gerzensee waren für mich als Praktiker in mancher Hinsicht ein grosser Gewinn.

VON W. RYSER, UTTIGEN

Über die Zielsetzung der Endlagerqualität eines Abfalls, bzw. der Verhinderung von Altlasten für kommende Generationen, war man sich rasch einig.

Über die Frage der Belastbarkeit der Biosphäre bzw. der Lithosphäre durch Reststoffe kamen anfänglich grösste Differenzen zu Tage. Vielleicht kann man sich in diesem Punkt auf internationaler Ebene auch noch nicht restlos einigen.

Während wir in unserem Land davon ausgehen müssen, dass praktisch jeder Quadratmeter Boden in irgend einer Weise bereits heute oder in abschätzbarer Zeit genutzt wird, kennt z.B. der Amerikaner in seinem Land weite Landstriche, wo solche Massstäbe nicht gelten und auch kaum vorstellbar sind.

Aus diesen Überlegungen ist es sicher richtig, dass wir ein eigenes Abfalleitbild nach unseren Massstäben entwikkeln, ausländische Erkenntnisse der gleichen Zielsetzung jedoch immer verfolgen, Vergleiche anstellen und vor allem aufwendige Paralleluntersuchungen vermeiden. In diesem Sinne ist der Swiss-Workshop aus meiner Sicht bereits sehr positiv ausgefallen, und ich möchte an dieser Stelle allen Teilneh-