

Zum Konzept des qualifizierten Nichtstun bei der Altlastensanierung

Dr. Reinhard Wienberg

1 Einleitung

Lange Zeit schien es, als ob die in den USA bereits seit 1994 geführte Diskussion über natürlicherweise im Untergrund ablaufende Abbau- und Immobilisierungsprozesse und ihre Nutzbarkeit für kontaminierte Grundwässer in Deutschland nicht wahrgenommen oder ignoriert würde. Mit einem Editorial im Altlasten-Spektrum versuchte ich vor etwa einem Jahr die Diskussion anzuregen: Mein Ausgangspunkt war, "...daß die Gefahr besteht, daß sich Sanierungspflichtige angesichts hoher Behandlungskosten und leerer Kassen unter Hinweis auf "Selbstreinigungsprozesse" ihrer Verpflichtung entziehen. Andererseits sollten natürlicherweise ablaufende Schadstoffabbau- bzw. immobilisierungsprozesse sachkundig eingeschätzt und bei der Beurteilung verschiedener Sanierungsvarianten berücksichtigt werden....Mein Wunsch wäre es, ... eine Fachdiskussion zu eröffnen, bevor "Intrinsic Attenuation" so weit unkritisch adaptiert wird, daß die Altlasten allein den "Selbstreinigungskräften der Natur" überlassen werden" [1].

In der Zwischenzeit ist die Diskussion auch bei uns angekommen; diese Thematik wird von einigen Forschergruppen bearbeitet, eine Arbeitsgruppe der Fachgruppe Wasserchemie in der GDCh hat sich unter der Obmannschaft von Prof. Förstner diesem Thema gewidmet, von Prof. Teutsch wurde eine Literaturstudie mit dem Schwerpunkt Ausbreitungsweite von Schadstofffahnen bei natürlichen Abbauprozessen erarbeitet. Nicht zuletzt diese Veranstaltung spiegelt das gesteigerte Interesse wider.

Dabei ist das zugrundeliegende Konzept durchaus nicht neu. Es hat zwei verschiedene Wurzeln.

- Im umwelttechnischen Bereich sind natürlicherweise ablaufende Abbau- und Immobilisierungsprozesse die Grundlage für die biologische Abwasserbehandlung, für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Vorflut von Abwässern, für die Trinkwassergewinnung durch Uferfiltration, für die früher weit verbreitete Abwasserverrieselung. Die Abfallforschung hat sich intensiv mit den Abbau- und Immobilisierungsprozessen im Deponiekörper und -untergrund beschäftigt. Auch die biologische Bodensanierung versucht, natürlicherweise ablaufende Prozesse zu nutzen und durch verschiedene Techniken zu optimieren.
- In der ökotoxikologischen Grundlagenforschung werden natürliche Schadstoffabbauprozesse seit langem untersucht. Nachdem Audus, 1950, den

ersten Nachweis eines biochemischen Chlorpestizidabbaus geführt hat und der abbauende Organismus isoliert werden konnte [2], wurden zahlreiche Studien mit Chemikalien aus verschiedensten Stoffgruppen durchgeführt und grundlegende Fragen zu Abbau-mechanismen und zur Abbaukinetik geklärt. Auch die Bereiche Grundwasser- und Bodenschutz haben zur intensiven Bearbeitung natürlicherweise ablaufender Schadstoffabbau- bzw. -immobilisierungsprozesse beigetragen. So können z.B. die wichtigsten Abbauphänomene bei den LCKW seit nunmehr fast 10 Jahren als geklärt gelten.

2 Vom Deponie- bzw. Altlastenuntergrund als biogeochemischer Reaktor zum Konzept des sicheren Einschlusses und wieder zurück?

Schon seit Ende der sechziger Jahre wurde versucht, das Konzept der Reaktordeponie mit dem Deponieuntergrund als erweiterten *biogeochemischen Reaktor* für die Abfallbehandlung einzusetzen und so die beobachteten biologischen Abbauprozesse und mechanischen sowie geochemischen Immobilisierungserscheinungen (z.B. die Sulfidfällung bei Schwermetallen) nutzen zu können. Golwer und Matthes [3] postulierten 1969 unter Deponien eine großräumige, geschlossene biochemische Zonierung mit einer sickwasserbeeinflussten anaeroben, einer Übergangs- und einer durch seitlich zutretendes sauerstoffreiches Wasser aeroben Zone. Sie konnten zeigen, daß deponiebürtige Schadstoffe im Abstrom durch biologische Abbauprozesse eliminiert wurden und prägten den Begriff von der biochemischen Selbstreinigung des Untergrundes.

Diese Ergebnisse konnten von Goetz und Wienberg [4] bestätigt werden; sie konnten bei Sickerwässern aus jungen Deponien mit kurzkettingen Karbonsäuren, Alkoholen und Aminen über 90 % der organischen Fracht bestimmen und ihre gute Abbaubarkeit belegen. Zur Deutung der Vorgänge legten sie das in Abb. 1 wiedergegebene Schema vor. Es faßt die im Untergrund ablaufenden Vorgänge bei der Bildung und Umsetzung von Sickerwasser zusammen. Maßgeblich für den Transport und Umsatz des Sickerwassers sind Aufbau und stoffliche Zusammensetzung des Deponiekörpers und des mineralischen Untergrundes. Der vorhandene Porenraum bestimmt die Wasserkapazität und -bewegung sowie den Gasaustausch und stellt den Besiedlungsraum für Mikroorganismen dar. Die mineralische Zusammensetzung bewirkt die anorganische Austauschkapazität und eine gewisse Pufferwirkung gegenüber pH-Änderungen. Allerdings können hohe Salzfrachten oder starke organische Belastung die anorganische Austauschkapazität erheblich reduzieren.

In einem solchen System stellen sich bezüglich Sorption/Desorption, Fällung/Lösung sowie Oxidation/Reduktion Gleichgewichte ein, die durch Nachlieferung von Sickerwasser, Verdünnung durch zufließendes Grundwasser und durch biologische Um- und Abbauvorgänge verschoben werden.

Die Tätigkeit der Mikroorganismen bewirkt in einem rückgekoppelten Prozeß Änderungen der pH-Werte und Redoxpotentiale. Organische Inhaltsstoffe werden z.T. bis zur Mineralisierung abgebaut [4], und Zwischenprodukte bzw. abgestorbene Organismen stellen wieder neue Komplexbildner bzw. Austauschkörper dar.

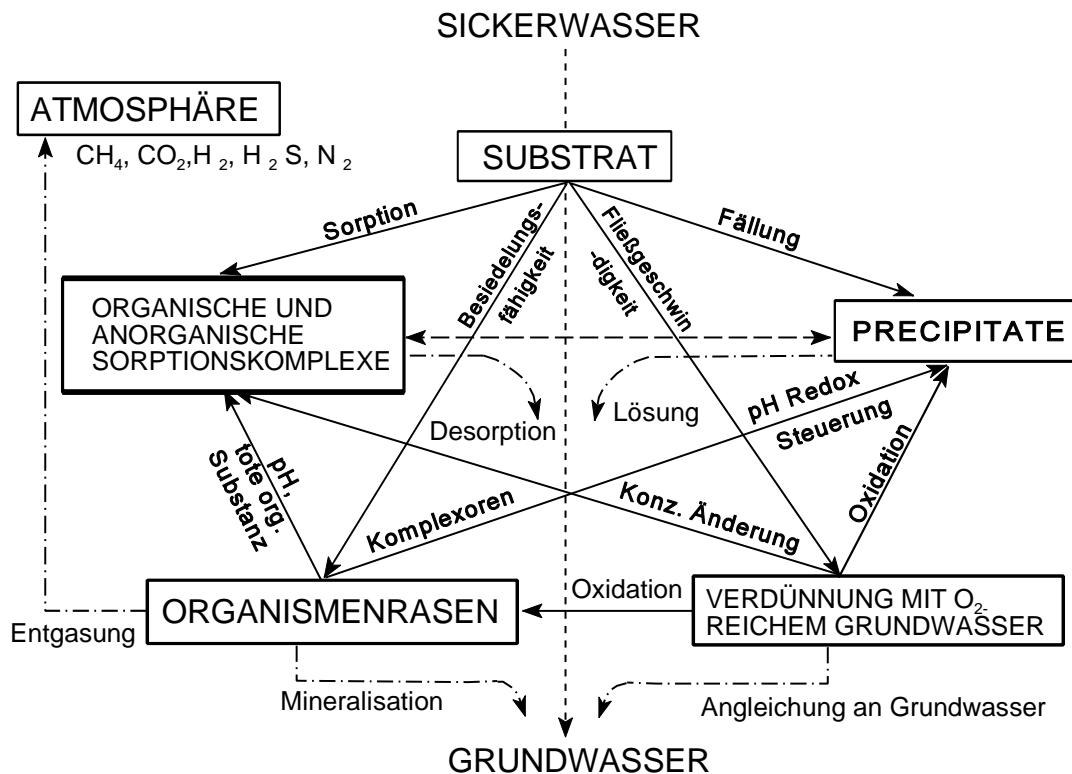


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Bildung und Umsetzung von Müllsickerwasser in der Deponie und im deponienahen Untergrund [4]

Es zeigte sich allerdings bald, daß das Konzept des Deponieuntergrundes als erweiterter biogeochemischer Reaktor in der Praxis scheitern mußte. Für eine Prognose und Optimierung des Abbaus bzw. der Immobilisierung im Untergrund müßten die Milieubedingungen wie z. B. pH, Redoxpotential, Nährstoffangebot sowie die Mikroorganismenpopulation gut erfaßbar und vor allem auch regelbar sein. Die Milieubedingungen ergeben sich jedoch erst in der Rückkopplung auf Grund der Abbauprozesse. Steuernde Eingriffe - etwa wie bei einer Kläranlage - sind im Deponieuntergrund nicht möglich. Dementsprechend unsicher ist im Einzelfall sowohl der qualitative (Metabolitenbildung) als auch der quantitative Abbauerfolg. Diese Konzeption hat in der Vergangenheit - wie zahlreiche Grundwasserschäden durch Altlasten zeigen - nicht zum Erfolg geführt.

Bereits Anfang der 80er Jahre setzte sich mehr und mehr das entgegengesetzte Konzept des sicheren Einschlusses durch. Abfälle und ihre Emissionen werden durch die Deponie- und Altlastenabdichtungssysteme von der übrigen Umwelt ferngehalten, Gas und Sickerwasser - soweit diese entstehen - sind zu behandeln. Dieser vollständige Paradigmenwechsel ist vor allem in der Erfahrung mit den Altlasten und ihren potentiellen Emissionen begründet.

Bei der nunmehr erneut aufgebrochenen Diskussion um die natürlicherweise im Untergrund ablaufenden Abbau- und Immobilisierungsprozesse und ihre Nutzbarkeit für kontaminierte Grundwässer stellt sich die Frage, ob hier in historischer Unkenntnis lediglich ein Pendel zurückschwingt, oder ob auf Grund neuer Ergebnisse und Voraussetzungen ein neuerlicher Paradigmenwechsel erforderlich wird. Oder handelt es sich bei der gesamten Diskussion lediglich um eine euphemische Wortspielerei: soll hier aus Kostengründen Nichtstun mit einem wohlklingenden Namen versehen und zum Programm gemacht werden?

3 Zu den Definitionen

Neu ist bei der Diskussion nach oben gesagtem also lediglich die Begrifflichkeit und das nach 20 Jahren weiterer wissenschaftlicher Forschung wesentlich weiter verbreitete Verständnis fundamentaler Prozesse.

In der amerikanischen Diskussion werden zwei weitgehend synonym benutzte Begriffe verwandt, *Intrinsic Bioremediation* und *Natural Attenuation*. Sie lassen sich nicht direkt übersetzen; dementsprechend gibt es bisher auch keine griffigen deutschen Entsprechungen sondern eine Reihe von Umschreibungen. Demnach heißt ersteres in etwa "dem System selbst inwohnende Fähigkeit der biologischen Sanierung" und letzteres "natürliche Schadstoffrückhaltung bzw. -minderung".

Aus der amerikanischen Diskussion sind mir zwei Definitionen bekannt. Die erste geht vom *Handlungskonzept* aus, die zweite von den zugrundeliegenden *Prozessen* und *Zielen*.

Handlungsansatz: Das Konzept der Intrinsic Bioremediation als Sanierungsstrategie fußt darauf, daß natürlicherweise ablaufende Schadstoffabbauprozesse vonstatten gehen, ohne daß weitergehende menschliche Eingriffe vorgenommen werden außer einer sorgfältigen Beobachtung (US National Research Council, 1994 [5]).

Prozeß- und Zielansatz: Das Konzept der Natural Attenuation geht von den Einzelprozessen biologischer Abbau, Dispersion, Verdünnung, Sorption, Verflüchtigung und/oder chemischer und biochemischer Stabilisierung von Schadstoffen aus. Die Toxizität, Mobilität oder das Volumen der Schadstoffe sollen effektiv so weit reduziert werden, daß die menschliche Gesundheit und das Ökosystem nicht gefährdet sind (US EPA [6]).

4 Umweltpolitische Grundsätze

Im folgenden will ich versuchen, die Definitionen und zugrundeliegenden Konzepte anhand umweltpolitischer Grundsätze zu überprüfen. Danach sollen Konsequenzen besprochen und Empfehlungen abgegeben werden.

4.1 *Grenzwerte dürfen nicht allein durch Verdünnung erreicht werden. Neben Konzentrationen sind Frachten zu betrachten.*

Das Ziel der Umwelttechnik sollte es sein, Schadstoffe zu konzentrieren und einzuschließen und nicht zu verdünnen und zu verstreuen. Dieser fundamentale Grundsatz wird durch das Konzept der Natural Attenuation bei der Definition nach dem Prozeß- und Zielansatz verletzt. Ausdrücklich werden als Natural-Attenuation-Prozesse Dispersion und explizit auch die Verdünnung genannt. Mit Verdünnungseffekten ist aber im Grundwasser immer zu rechnen, sei es durch zutretendes unkontaminiertes Grundwasser oder durch die Grundwasserneubildung. Insbesondere in flachen, oberflächennahen und wenig abgedeckten Grundwasserleitern kann dies mehr oder weniger rasch zur Ausbildung stationärer Konzentrationsverhältnisse führen. Betrachtet man ausschließlich Konzentrationen an den Rändern der Schadstofffahne und nicht die Frachten, so werden Sanierungszielwerte möglicherweise allein durch Verdünnung unterschritten und eine weitergehende Sanierung erübrigt sich in vielen Fällen.

4.2 *Alle Prozesse müssen bilanzierend bis zu den stabilen Endprodukten bzw. -wirkungen betrachtet werden.*

Allein eine Betrachtung der vorhandenen Kontamination reicht nicht aus; sämtliche Abbau- und Entstehungsprodukte sollten ermittelt werden. Um sich über den Erfolg sicher zu sein, muß eine Bilanz zeigen, daß alle Ab- und Umbaupfade erfaßt wurden und nicht möglicherweise besonders toxische Endprodukte übrig bleiben. Diese Forderung ist schwer zu erfüllen und zeigt, daß auch bei der Sanierung nach dem Konzept der Intrinsic Remediation/Natural Attenuation erheblicher Aufwand zu betreiben ist. Zwei Beispiele mögen dies erläutern:

- Beim Abbau von Perchlorethen verläuft die Abbaukette unter anaeroben Verhältnissen über 1,2-Dichlorethen bis zum Vinylchlorid. Von den Stoffen dieser Abbauketten ist Vinylchlorid wegen seines hohen krebserzeugenden Potentials die problematischste Substanz. Vinylchlorid wird erst unter aeroben Bedingungen effektiv weiter abgebaut. Vinylchlorid ist jedoch aus Wasser äußerst flüchtig und geht bei der Probenahme leicht verloren. Nur äußerst vorsichtige, angepaßte Probenahme würde verhindern, daß eine Giftung im Grundwasserabstrom als Sanierungserfolg ausgegeben wird.
- Viele organische Schadstoffe bilden mit dem organischen Material sog. gebundene Rückstände. Sie sind so stark an der Bodenmatrix gebunden, daß sie mit den üblichen Extraktions- und Analyseverfahren nicht mehr zu erfassen sind. Gleichwohl ist nicht a priori sicher, daß sie nicht in gleicher oder veränderter Form wieder freigesetzt werden können und evtl. ein Risiko darstellen können. Diese gebundenen Rückstände gehen allenfalls als Bilanzfehlbetrag in die Gesamtbilanz ein. Die derzeit einzige Möglichkeit, sie zu erfassen, ist die sanierungsbegleitende Laboruntersuchung mit Hilfe ¹⁴C-markierter Schadstoffe.

In der Regel gehen Abbau- und Immobilisierungsprozesse nicht ohne Spuren an einem Grundwasserkörper vorbei. Selbst wenn z.B. Perchlorethen bis zu seinen Endprodukten CO₂ und Chlorid abgebaut wird, muß bedacht werden, in welchem Maße es zu einer Aufhärtung, Aufsalzung und bei pH-sensiblen Grundwassersystemen zu einer Versauerung kommen kann.

Weil diese Abbauprozesse meist nicht spurlos ablaufen, lehne ich auch den Begriff "Selbstreinigung" des Bodens ab. Das "Selbstreinigungsvermögen" ist eine Eigenschaft, die ein guter Grundwasserleiter zunächst kaum hat; hochqualitatives Grundwasser ist nährstoff- und keimarm, außer bei Mineralwässern gering salzhaltig und wenig hart. Ebenso ist die Besiedlungsdichte mit Mikroorganismen nur gering. Erst auf Grund der Belastung mit organischem, abbaubarem Material und mit Nährstoffen baut sich eine zahlenmäßig und leistungsmäßig erhebliche Mikroorganismenbesiedlung auf. Somit ergibt sich ein hohes "Selbstreinigungsvermögen" erst als Rückkoppelungsergebnis aus der Schadstoffbelastung. Ein hohes "Selbstreinigungsvermögen" ist also durchaus keine wünschenswerte Eigenschaft eines Grundwasserleiters; wäre dies anders, so wäre, polemisch zugespitzt, der Tropfkörper eines Klärwerks das Ideal für einen Grundwasserleiter.

4.3 *Eine Verlagerung von einem in ein anderes Umweltkompartiment ist allein noch keine Sanierung.*

Bei den meisten aktiven Sanierungsverfahren findet im einem entscheidenden Schritt eine Verlagerung in dasjenige Kompartiment der Umwelt statt, aus welchem der Schadstoff am einfachsten erfaßt und weiter verarbeitet werden kann. Auch bei der Intrinsic Remediation finden derartige Verlagerungen statt, z.B. beim Übergang von Schadstoffen aus der wäßrigen Lösung an die Feststoffe in Form gebundener Rückstände oder beim Übergang in die Bodenluft. Es muß zumindest sicher gestellt sein, daß mit jeder Verlagerung auch eine zunehmend bessere Beherrschbarkeit der Schadstoffe erreicht wird.

In der prozeßorientierten Definition wird auch die Stabilisierung und als Ziel die Reduzierung der Mobilität genannt. In Analogie zur Diskussion um die Verfestigungstechnik bei der Altlastensanierung ist auch hier der zuverlässige Nachweis der Langzeitwirkung zu fordern.

5 **Konsequenzen**

Im folgenden will ich die Konsequenzen mit Hilfe einiger Merksätze zusammenfassen:

- Es sollte nicht zulässig sein, reine Verdünnungsprozesse zur Handlungsgrundlage von Intrinsic Remediation-Maßnahmen zu machen.
- Soweit Immobilisierung als Einzelprozeß bestimmend ist, muß die Langzeitwirkung sicher bewiesen sein.
- Bei biochemischen Abbauprozessen muß die Wirksamkeit unter allen vorherrschenden Bedingungen, insbesondere den jeweiligen Redoxverhältnissen, belegt sein.
- Die Übertragbarkeit von Labordaten auf die Natur ist mit scale-up-Versuchen zu belegen.
- Es ist ein so umfassendes Monitoring-Programm zu installieren, daß ein unerkanntes Versagen dieses Konzeptes ausgeschlossen ist.
- Geologische und hydrogeologische Bedingungen im Sanierungsbereich müssen gut bekannt sein und ein effektives Monitoring erlauben.

- Durch entsprechende Analytik ist sicher zu stellen, daß möglicherweise entstehende Reaktionsprodukte zuverlässig erkannt und quantifiziert werden.
- Die Wirksamkeit ist mit Hilfe vollständiger Bilanzen zu belegen.
- Es sollten Handlungskonzepte auch für konventionelle Maßnahmen für den Fall bereit stehen und vereinbart werden, daß die Ziele einer Intrinsic Remediation-Maßnahme nicht erreicht werden.
- So lange die Abbauprozesse nicht so weit abgeschlossen sind, daß die Ziele erreicht werden, darf ein Monitoring Programm nicht beendet werden.

Intrinsic Remediation-Maßnahmen sollten nicht erfolgen bei besonders sensiblen Nutzungen insbesondere in Kombination mit besonders toxischen Kontaminanten. Sie schließen sich auch aus, wenn schwierige Untergrundverhältnisse eine zuverlässige Kontrolle verhindern.

6 Fazit und Ausblick

Die bisherigen Ausführungen mögen den Eindruck erwecken, daß ich der Intrinsic Remediation bzw. Natural Attenuation sehr kritisch gegenüber stehe; dies ist auch durchaus richtig und gewollt. Ich befürchte insbesondere, daß hier ein gewollter politischer Prioritätenwechsel - weg von der Altlastensanierung und generell vom kostenintensiven Umweltschutz - scheinbar verschleiert werden könnte und durch die Wissenschaft unter Nutzung einer schönen Terminologie legitimiert werden sollte. Allein, es wäre töricht, deshalb die natürlicherweise ablaufenden Prozesse leugnen und auf ihre Nutzung verzichten zu wollen. Dies wäre schon allein deshalb widersinnig, weil wir genau diese Prozesse bereits jetzt vielfach nutzen, ohne uns dessen bewußt zu sein und ohne eine hochtrabende Terminologie zu nutzen. Wenn uns die Gefahr des Mißbrauches bewußt ist, können wir mit den Prozessen selbst offensiv umgehen, ohne als Legitimaten vereinnahmt zu werden.

Als Fazit kann festgehalten werden:

- Biologische Prozesse laufen im Untergrund ab und können genutzt werden, aber zu ihrer Einschätzung ist ein sehr hohes Maß an Spezialkenntnissen erforderlich.
- Der Aufwand und die Zeitdauer für das erforderliche Monitoring kann unter ungünstigen Fällen sehr hoch werden, was bei Kostenabwägungen berücksichtigt werden muß.
- Je weniger wir an aktiver Sanierungstechnik einsetzen wollen, desto mehr müssen wir in der Lage sein, zuverlässige Prognosen über die ablaufenden Prozesse abzugeben. Und schließlich:
- Nichtstun erfordert andererseits auch Aktivität: Je mehr wir diese Konzepte anwenden wollen desto mehr müssen wir unsere Kenntnisse über natürlicherweise im Untergrund ablaufende Abbau- und Immobilisierungsprozesse vertiefen. Hier sind im besonderen Maße die Institutionen der Umweltforschung und der Forschungsförderung gefragt.

7 Literatur

- [1] Wienberg, R.: Nichtstun und beobachten - eine alternative Grundwasser-Sanierungstechnik? Editorial, Altlasten-Spektrum 6 (2), 55-56 (1997)
- [2] Audus, L.J.: Biological detoxification in soil: isolation of an efficient organism. Nature (London) 166, 356 (1950)
- [3] Golwer, A., Matthes, G.: Qualitative Beeinträchtigung des Grundwasserdargebotes durch Abfallstoffe. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Sonderheft 1969: 51-55 (1969)
- [4] Goetz, D., Wienberg, R.: Biologische Steuerung des Abbaus von Müllsickerwasser. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 33, 137-148 (1982)
- [5] US National Research Council (NRC): Alternatives for ground water cleanup. Nat. Acad. Press, Washington, 315 S. (1994)
- [6] Nyer, E.K., Duffin, M.E.: The state of the art of bioremediation. Groundwater Monitoring and Remediation 17(2), 64-69 (1997)

Adresse des Autors

Reinhard Wienberg

Dr. R. Wienberg
Umwelttechnisches Büro und Labor
Gotenstraße 4
20097 Hamburg

Titel