

Natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse im Grundwasser

– Beispiele von hessischen Altlasten –

G5

VOLKER ZEISBERGER

Einleitung

In den letzten Jahren genießt das Thema „Natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse im Grundwasser und deren Überwachung“ hohe Aufmerksamkeit im Altlastenbereich. In Fachkreisen wird intensiv diskutiert, ob und unter welchen Bedingungen die Beobachtung natürlicher Abbau- und Rückhalteprozesse als Alternative oder Ergänzung zu aktiven Grundwassersanierungsmaßnahmen zugelassen werden kann. Erfahrungen mit Abbau- und Rückhalteprozessen auf Altlasten wurden bereits in den 90er Jahren in den USA gewonnen und unter den Begriffen **Natural Attenuation (NA)** und **Monitored Natural Attenuation (MNA)** publiziert. Interessant ist auch, dass bereits in den 60er Jahren in Hessen natürliche Abbauprozesse beobachtet und beschrieben wurden [1,2].

In der aktuellen Gesetzgebung wird auf natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse im Sicker- und Grundwasser nur am Rande eingegangen, z. B. in Anhang 1 Nr. 3.3 der BBodSchV [3]. Daher stellen sich für den Verwaltungsvollzug folgende Fragen:

- Kann die Überwachung natürlicher Abbau- und Rückhalteprozesse (Monitored Natural Attenuation, MNA) eine aktive Sanierungsmaßnahme ersetzen, wie z. B. das Fördern und Reinigen von Grundwasser?
- Unter welchen rechtlichen Rahmenbedingungen ist MNA zulässig? Kann aus rechtlicher Sicht MNA mit einer aktiven Grundwassersanierung gleichgesetzt werden?
- Wie muss der Nachweis erfolgen, dass natürliche

Abbau- und Rückhalteprozesse tatsächlich wirksam sind? Wie genau muss die Prognose der zukünftigen Schadstoffentwicklung erfolgen?

- Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit MNA aus Sicht der zuständigen Behörde akzeptabel ist? Unter welchen Randbedingungen ist MNA keinesfalls akzeptabel?
- Wie ist vorzugehen, wenn die Abbau- und Rückhalteprozesse geringer sind als prognostiziert wurde?

Mittlerweile besteht Konsens in Deutschland, dass natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse nicht als Sanierungsmaßnahme im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) eingestuft werden können. Sie sind jedoch als natürliche Standortgegebenheiten zu berücksichtigen, wenn Entscheidungen der Bodenschutzbehörden über Untersuchungen und Sanierungen auf Altlasten zu treffen sind. Unter Berücksichtigung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit kann MNA eine aktive Sanierungsmaßnahme ersetzen oder ergänzen.

Hessen hat 2004 als erstes Bundesland eine Vollzugshilfe zu natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen bei Altlasten veröffentlicht. Das Handbuch Altlasten des HLUG „Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA)“ [3] wurde von einer Arbeitsgruppe erstellt, in der das hessische Umweltministerium, die Regierungspräsidien, die Unteren Wasserbehörden und



das HLUG vertreten waren. Ebenfalls auf große Resonanz stieß ein Positionspapier der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) zum Thema MNA [4]. Beide Arbeitshilfen setzen unterschiedliche Schwerpunkte. So stehen bei der LABO-Arbeitshilfe rechtliche Aspekte im Vordergrund, während in der hessischen Arbeitshilfe fachliche Prüfkriterien genannt sind, mit denen die Anwendbarkeit von MNA beurteilt werden kann. Trotz einer unterschiedlichen rechtlichen Einstufung von MNA treten aus fachlicher Sicht keine gravierenden Gegensätze auf, so dass sich beide Arbeitshilfen ergänzen.

Noch während der Erarbeitung der hessischen Arbeitshilfe in den Jahren 2003 und 2004 wurde davon ausgegangen, dass typische MNA-Fälle kleinere Schadensfälle mit Mineralölprodukten (Tankstellen) und chlorierten Lösungsmitteln sind. Die letzten drei Jahre zeigten dagegen, dass vor allem bei größeren Altlasten diesbezügliche Anträge auf MNA gestellt wurden.

Abb. 1: Handbuch Altlasten des HLUG zum Thema MNA.

Fallbeispiele aus Hessen

Dem HLUG sind mit Stand 2006 sieben hessische Fälle bekannt. Diese Altlasten sind teilsaniert, meist mittels Bodenaushub. Bei den Schadstoffen handelt es sich um aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX), Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) und deponiebürtige anorganische Stoffe. Die Abbauprozesse im Grundwasser sind gut bis sehr gut untersucht, so dass die Entscheidungsgrundlagen für die Behörden fundiert sind. Für die Dauer der Überwachung der Abbauprozesse werden Jahrzehnte, teilweise auch deutlich mehr als 100 Jahre veranschlagt.

Nachfolgend werden beispielhaft vier hessische Altlasten vorgestellt, bei denen MNA angewandt wird bzw. eine Genehmigung des Sanierungsplans durch die Bodenschutzbehörde zu erwarten ist. Boden-

schutzbehörden sind die Umweltabteilungen der Regierungspräsidien (RPU'en) und die Unteren Wasserbehörden der Landkreise und kreisfreien Städte.

ESSO-Tanklager Kassel

- Benzolschaden
- Bodensanierung im Schadensherd abgeschlossen
- sehr hohe Benzolkonzentrationen im Grundwasser nahe der Schadstoffquelle (ca. 10 mg/l, \gg 50-fach Geringfügigkeitsschwellenwert GFS der LAWA)
- Fahnenlänge ca. 60 m
- geringe vertikale Ausdehnung der Benzolfahne im Grundwasser (< 0,5 m)
- Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ca. 100 m/a

- Abbauprozesse durch Grundwasseranalysen belegbar
- detaillierter Genehmigungsbescheid der Unteren Wasserbehörde liegt seit 2005 vor

Das ESSO-Tanklager in Kassel ist der erste hessische MNA-Fall, bei dem die Überwachung von Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser in einem Sanierungsbescheid durch die Bodenschutzbehörde festgeschrieben wurde [5]. Nach Abschluss der Bodensanierung im Jahr 2001 blieb eine hohe Grundwasserbelastung mit Benzol zurück. Beim Benzolabbau unter sulfatreduzierenden Bedingungen nutzen die Mikroorganismen das geogen im Grundwasser gelöste Sulfat. Obwohl im Schadensherd noch eine Benzolkonzentration von mehr als 10 000 µg/l vorliegt und damit der Geringfügigkeitsschwellenwert für Benzol sehr deutlich überschritten wird, kann MNA anstelle einer aktiven Grundwassersanierung toleriert werden, da sich die Benzolkonzentrationen innerhalb von 60 Metern bis auf ca. 25 µg/l reduzieren. Die Schadstofffracht, die mit dem Grundwasser vom Grundstück abströmt, ist gering.

Im Genehmigungsbescheid, der auf 30 Jahre befristet ist, wird eine Rückfallebene beschrieben: Falls in Zukunft die Abbauprozesse schwächer sind als erwartet, sind vom Sanierungspflichtigen Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen durchzuführen.

Teerölimprägnierung Hanau

- PAK-Schaden (Teeröl)
- Teerölrückgewinnung am Schadensherd
- hohe PAK- und BTEX-Konzentrationen im Grundwasser im Bereich der Schadstoffquelle (PAK ca. 200 µg/l, > 50fach GFS)

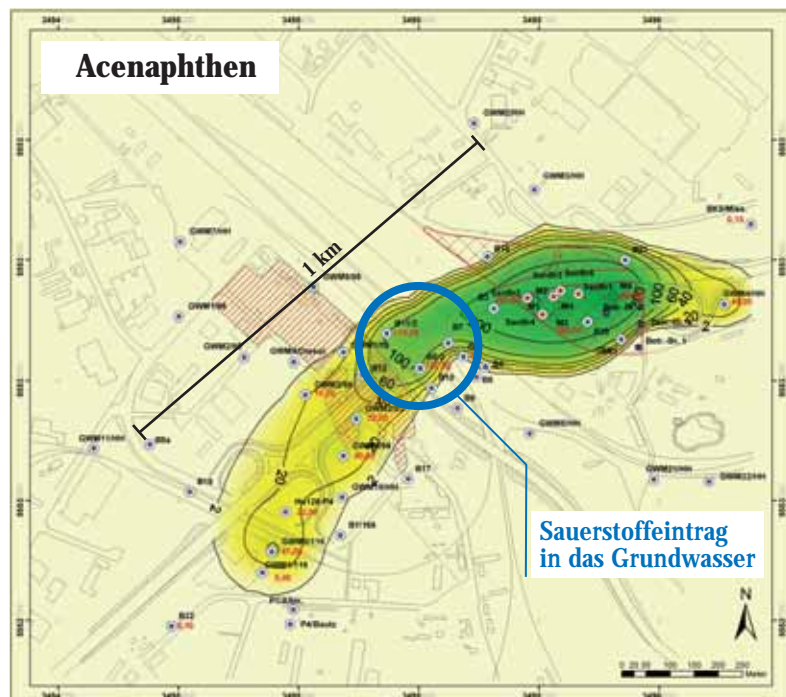


Abb. 2: Acenaphthen-Fahne im Grundwasser (grün: hohe Konzentrationen, gelb: mittlere Konzentrationen). Die Fahnenlänge beträgt ca. 1 km. In der Mitte der Fahne wird Sauerstoff eingetragen, um den Abbau des Acenaphthen zu beschleunigen (in-situ-Sanierung).

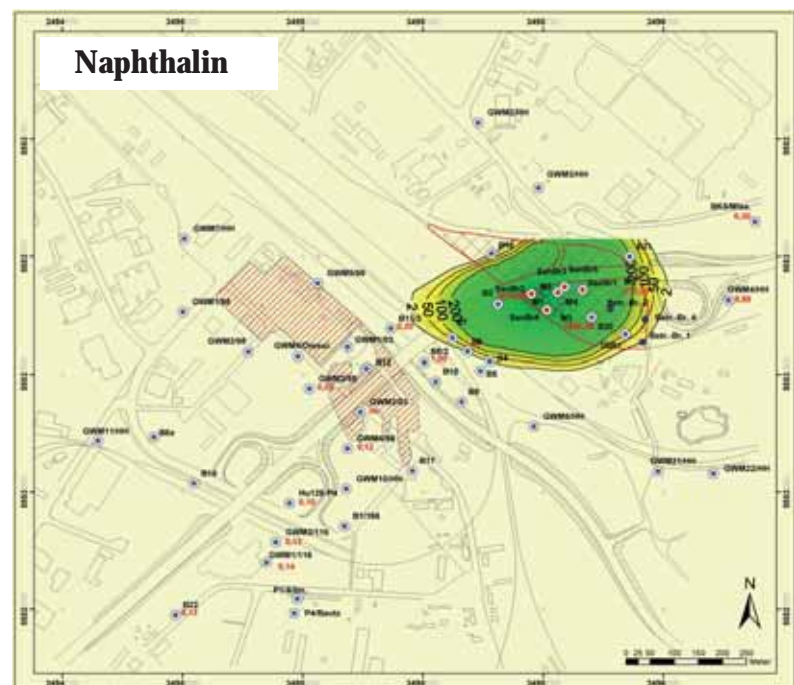


Abb. 3: Naphthalin-Fahne im Grundwasser (grün: hohe Konzentrationen, gelb: mittlere Konzentrationen). Die Fahnenlänge ist deutlich kürzer als bei Acenaphthen, da Naphthalin vergleichsweise gut abbaubar ist.

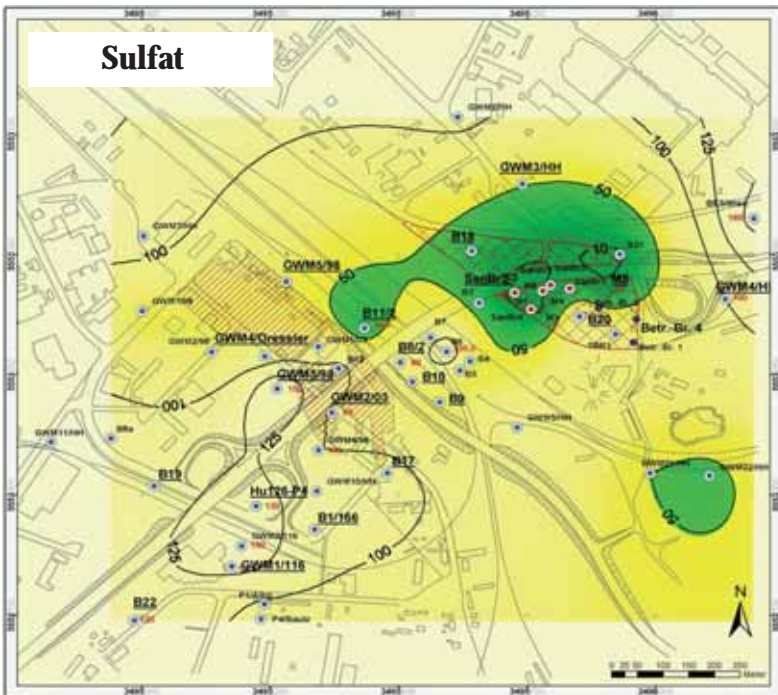


Abb. 4: Sulfatkonzentration im Grundwasser (grün: niedrige Konzentrationen, gelb: hohe Konzentrationen). Im Bereich des Schadenszentrums treten niedrige Sulfatkonzentrationen auf. Dies ist ein Hinweis auf intensive biologische PAK-Abbauprozesse unter sulfatreduzierenden Bedingungen.

- Fahnenlänge 1000 m (3-Ring-PAK)
- Fahne sehr gut erkundet, Fahne leicht rückläufig
- Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers ca. 200 m/a
- Vertikale Ausdehnung der Fahne ca. 10 m
- intensive Laboruntersuchungen zu Abbauverhalten und Toxizität
- in ca. 250 m Entfernung vom Schadensherd wird Sauerstoff in die Grundwasserfahne eingetragen (biologische in-situ-Sanierung), um die natürlichen Abbauprozesse zu unterstützen
- 2006 wurde eine ausführliche Machbarkeitsstudie erstellt als Voraussetzung für die Genehmigung des 2007 erstellten Sanierungsplans.

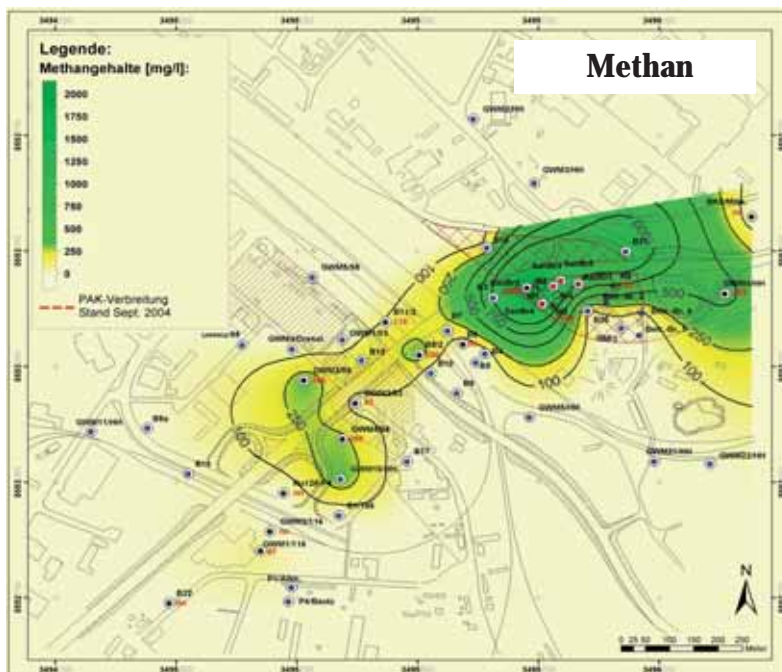


Abb. 5: Methan-Konzentration im Grundwasser (grün: hohe Konzentrationen, gelb: mittlere Konzentrationen). Im Schadenszentrum treten hohe Methankonzentrationen auf. Dies ist ein Hinweis auf biologische PAK-Abbauprozesse unter methanogenen Bedingungen.

Der Grundwasserschadensfall „Teeröl-impregnierung Hanau“ geht von einem laufenden Industriebetrieb aus. Das während des 2. Weltkrieges versickerte Teeröl wird mittels spezieller Brunnen abgeschöpft. Die vom Teeröl ausgehende Schadstofffahne hat eine Länge von ca. 1000 m und ist sehr gut untersucht. Die Ausdehnung der Fahne ist leicht rückläufig. Zahlreiche Spezialuntersuchungen zum Abbau und zur Toxizität zeigen, dass die im Grundwasser gelösten PAK und BTEX unter sulfatreduzierenden Bedingungen abgebaut werden. Aus den Abb. 2 und 3 wird deutlich, dass der 3-Ring-PAK Acenaphthen schwerer abbaubar ist als der 2-Ring-PAK Naphthalin, da Naphthalin eine deutlich kürzere Schadstofffahne verursacht als Acenaphthen. Unter aeroben Bedingungen, wenn also im Grundwasser gelöster Sauerstoff vorliegt, ist der Abbau von PAK wesentlich wirkungsvoller als unter anaeroben Bedingungen. Daher ist geplant, in Teilbereichen der Fahne das Grundwasser mit Sauerstoff anzureichern. Hierzu fanden 2006 Feldversuche mit dem in-situ-Sanierungsverfahren „Biosparging“ statt, bei dem Luftsauerstoff in das Grundwasser

eingeblassen wird [6]. Voraussichtlich Anfang 2007 wird der Sanierungsplan von der Bodenschutzbehörde (RPU Frankfurt) genehmigt werden, der die Kombination einer in-situ-Sanierung mit MNA vorsieht.

Raffinerie Raunheim

- BTEX-Schaden
- Sanierung der ungesättigten Bodenzone abgeschlossen, der Schaden befindet sich derzeit noch in der gesättigten Bodenzone und im Grundwasser
- Konzentrationen im Grundwasser im einstelligen mg/l-Bereich
- seit ca. 15 Jahren biologische in-situ-Sanierung (Hydraulischer Kreislauf mit Nährstoffzugabe, Ausdehnung der „Sanierungsinsel“ im Grundwasser ca. 600 m · 300 m)
- Abbauprozesse durch Labor- und Grundwasseruntersuchungen nachgewiesen
- Main ist nahegelegener Vorfluter
- Übergang von in-situ-Sanierung auf hydraulische Sicherung (bei Nutzung natürlicher Abbauprozesse) und später auf MNA vorgesehen
- Bodenschutzbehörde hat Sanierungsplan für verbindlich erklärt

Auf dem Gelände einer ehemaligen Raffinerie in Raunheim versickerten in den 70er und 80er Jahren infolge einer Leckage mehr als 1000 Tonnen des Benzin-Vorproduktes Pyronaphtha im Boden. Hauptschadstoffe sind BTEX und leicht- bis mittelflüchtige Alkane. Dies zog umfangreiche Boden- und Grundwassersanierungen nach sich. Bis 2006 wurde das Grundwasser mittels eines biologischen Sanierungsverfahrens gereinigt, indem verunreinigtes Grundwasser gefördert, mit den Elektronenakzeptoren Nitrat und Sauerstoff versetzt und oberstromig wieder versickert wurde.

Mittels Labor- und Grundwasseruntersuchungen wurde geprüft, ob auch ohne die Zugabe von Nitrat und Sauerstoff ein natürlicher Abbau im Grundwasser stattfindet. Diese Untersuchungen und eine Grundwassermodellierung ergaben, dass die Mikroorganismen auch das geogen im Grundwasser gelöste Sulfat als Elektronenakzeptor nutzen können und somit mit ein relevanter biologischer Schadstoffabbau erwartet werden kann.

Der Sanierungsplan nach § 13 BBodSchG sieht zunächst eine Umstellung der bisherigen in-situ-Sanierung auf eine hydraulische Sicherung am derzeitigen Fahnenende vor. Der Übergang von der hydraulischen Sicherung zu MNA ist nach einigen Jahren möglich, sobald ein relevanter Abbau stattfindet und entsprechende Nachweise vorliegen. Die Bodenschutzbehörde (RPU Darmstadt) hat den Sanierungsplan 2006 auf Grundlage des § 13 Absatz 6 BBodSchG für verbindlich erklärt. Konkrete Sanierungszielwerte wurden nicht festgeschrieben, da die hydraulische Sicherung und MNA voraussichtlich mehrere Jahrzehnte dauern wird. Über einen so langen Zeitraum ist aus Sicht der Bodenschutzbehörde keine Festlegung eines Sanierungszielwertes sinnvoll, da die zukünftigen Entscheidungskriterien für die Festlegung von Zielwerten nicht vorhersagbar sind.

Chemikalienhandel Kassel

- LHKW- und Chlorbenzolschaden
- Bodensanierung im Schadensherd abgeschlossen (1999)
- Hydraulische Sanierung im Zentrum der Schadstofffahne (ab 1999) und in einem hot-spot in der Schadstofffahne (ab 2006), MNA in den übrigen Fahnenbereichen (ab 2006)
- hohe Konzentrationen nahe Schadenszentrum (≥ 50 -fach GFS)
- Fahne ca. 250 m · 150 m
- Abstandsgeschwindigkeit ca. 25 m/a
- Laborversuche durchgeführt, Abbau unter aeroben Bedingungen nachgewiesen

Auf dem Gelände des ehemaligen Chemikalienhandels wurden chlorierte Verbindungen in großen Mengen freigesetzt, die zu einer starken Boden- und Grundwasserverunreinigung führten. Nach Abschluss der Bodensanierung wird im Bereich des Schadensherdes eine Grundwassersanierung mittels Abpumpen und Reinigen durchgeführt. Sowohl Laboruntersuchungen als auch Grundwasseruntersuchungen zeigen, dass in den oxischen Bereichen der Fahne relevante aerobe Abbauprozesse stattfinden. Dagegen liegen im Schadenszentrum und in einem hot-spot innerhalb der weiteren Fahne anoxische/reduzierende Bedingungen vor, unter denen kein rele-

vanter Schadstoffabbau auftritt. Die Ausdehnung der Schadstofffahne ist konstant bzw. leicht abnehmend. Die aktiven Sanierungsmaßnahmen (Fördern und Behandeln des Grundwassers) werden entsprechend den von der Bodenschutzbehörde (RPU Kassel) genehmigten Sanierungsplänen durchgeführt. In Teilbereichen der Fahne soll MNA zugelassen werden.

Ausblick

Das Wissen um biologische Abbauprozesse hat in den letzten Jahren sprunghaft zugenommen. Es liegen einige Arbeitshilfen und eine Vielzahl von Fachveröffentlichungen vor. Die Akzeptanz von MNA ist bei den zuständigen Behörden in Hessen steigend.

Wissenschaftliche Untersuchungen und Erfahrungen haben gezeigt, dass viele altlastentypische Schadstoffe abbaubar sind. Häufig sind die natürlichen Abbauprozesse allerdings nicht ausreichend wirksam, oder es reichern sich unerwünschte Zwischenprodukte an (z. B. Vinylchlorid beim unvollständigen Abbau von LCKW). Daher sollte stets zusätzlich geprüft werden, ob durch die Zugabe geeigneter Stoffe (biologische in-situ-Sanierung) der Abbau deutlich verbessert werden kann [6].

Die fachgerechte Planung und Durchführung von MNA ist aufwändig und kann mit hohen Kosten ver-

Den Untersuchungs- und Überwachungsmaßnahmen für die erste Stufe des MNA (kurze Überwachungsintervalle) stimmte die Behörde zu. Die Fortführung des MNA inkl. Formulierung von Sanierungszielen befindet sich in der Planungsphase, die Genehmigung ist für 2007 vorgesehen.

bunden sein, da die Überwachungsmaßnahmen Jahrzehnte andauern können. Erfahrungen zeigen, dass die oftmals angewendete hydraulische Grundwasseranreicherung nur über einen begrenzten Zeitraum effektiv ist und sich ebenfalls über Jahrzehnte erstrecken kann. Ist mit einer langen Sanierungsdauer zu rechnen, kann sowohl aus Gründen der Verhältnismäßigkeit als auch aus Umweltschutzgründen MNA gegenüber einer aktiven Grundwasseranreicherung vorteilhaft sein.

Voraussetzung für die Anwendung von MNA ist eine kooperative Zusammenarbeit zwischen dem Sanierungspflichtigen, dem Ingenieurbüro und der zuständigen Behörde. Die Befürchtungen der Vergangenheit, dass MNA ein „kontrolliertes Nichtstun“ ist und sich ein Sanierungspflichtiger auf Kosten der Umwelt aus der Verantwortung stehlen kann, haben sich in Hessen nicht bewahrheitet.

Literatur

- [1] NÖRING, F., FARKASDI, G., GOLWER, A., KNOLL, K.H., MATTHEB, G., SCHNEIDER, W.: Über Abbauvorgänge von Grundwasserunreinigungen im Unterstrom von Abfalldeponien.- Das Gas- und Wasserfach (GWF) (Wasser-Abwasser) 110 (44): 1225–1231, 1968
- [2] GOLWER, A., KNOLL, K.H., MATTHEB, G.: Qualitative Beeinträchtigung des Grundwasserdargebotes durch Abfallstoffe, Deutsche Gewässerkd. Mitteilgn. 1969, Sonderheft, S. 51–55
- [3] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 8 Teil 1 „Arbeitshilfe zu überwachten natürlichen Abbau- und Rückhalteprozessen im Grundwasser (Monitored Natural Attenuation MNA)“, 2. Auflage, 2005
- [4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Berücksichtigung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse bei der Altlastenbearbeitung, Positionspapier vom 01.06.2005
- [5] WÜSTEMANN, P., VOELKER, H.: MNA – (K)eine leichte Entscheidung, in: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Altlasten-annual 2005, S. 91–100
- [6] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG): Handbuch Altlasten Band 8 Teil 2 „Arbeitshilfen zur Überwachung und Nachsorge von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten – Biologische in-situ-Sanierungen“, 2005