

**Mitteilungen**  
**zur**  
**Ingenieurgeologie und Hydrogeologie**

**Entwicklung eines naturnahen Bewertungsverfahrens für die  
Gefährdungsabschätzung von Altlastverdachtsflächen und  
Verwertungsmaterialien  
– ein Beitrag zum Grundwasserschutz –**

**Mouad Lambarki El Allioui**

Mitt. Ing.- u. Hydrogeologie	Heft 93	151 Seiten	81 Abb. 29 Tab.	Aachen Juni 2006
---------------------------------	---------	------------	--------------------	---------------------

# Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i> .....	VII
<i>Abbildungsverzeichnis</i> .....	X
<i>Tabellenverzeichnis</i> .....	XIII
<i>Abkürzungs- und Formelzeichen</i> .....	XV
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Allgemeines</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Beschreibung des Arbeitskonzeptes</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Stand der Wissenschaft</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Rechtliche Grundlagen für den Boden- und Grundwasserschutz</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG).....	8
2.1.2 Bedeutung der Richtlinien der LAWA.....	11
2.1.3 Bedeutung der Regeln der LAGA.....	12
<b>2.2 Schwermetalle in der Umwelt</b> .....	<b>14</b>
2.2.1 Verhalten von Schwermetallen in Böden.....	15
2.2.2 Einflussfaktoren auf den Stofftransport im System Boden-Grundwasser.....	18
2.2.2.1 Advektion.....	19
2.2.2.2 Diffusion.....	22
2.2.2.3 Dispersion.....	25
2.2.2.4 Sorption.....	26
2.2.2.5 Komplexbildungsverhalten.....	31
2.2.2.6 Stoffabbauprozesse.....	32
2.2.3 Probleme bei der Stofftransportbeschreibung in der ungesättigten Zone.....	32
2.2.4 Wissenschaftlicher Entwicklungsstand von Elutionsverfahren.....	34
<b>3 Charakterisierung der untersuchten Materialien</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 Allgemeines</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 Untersuchungsmaterialien</b> .....	<b>40</b>
3.2.1 Auswahl der kontaminierten Feststoffe.....	40

3.2.2	Auswahl der Bodentypen, in denen der Feststoff ein- bzw. aufgelagert wird .....	41
3.2.3	Bestimmung bodenphysikalischer Eigenschaften .....	43
<b>4</b>	<b><i>Angewandte Verfahren zur Bestimmung der Emission</i></b> .....	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Versuche zur Bestimmung des Gesamtgehaltes und der Bindungsformen</b> .....	<b>46</b>
4.2.1	RFA-Analyse .....	46
4.2.2	Sequentielle Extraktion .....	46
<b>4.3</b>	<b>Elutions- und Extraktionsversuche</b> .....	<b>48</b>
4.3.1	Untersuchungen an Elutionszellen (pH-Wert Einfluss) .....	48
4.3.2	Gesättigte Säulenversuche (nach DIN V 19753) .....	49
<b>4.4</b>	<b>Weitere Extraktionsverfahren</b> .....	<b>50</b>
4.4.1	Bodensättigungsextraktion (BSE) .....	50
4.4.2	Schütteltest DEV S4 1:10 .....	51
4.4.3	Schütteltest DEV S4 1:2 .....	51
4.4.4	Modifizierte Bodensättigungsextraktion (MBSE) .....	52
<b>5</b>	<b><i>Diskussion der Ergebnisse der Emission</i></b> .....	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse der sequentiellen Extraktion</b> .....	<b>54</b>
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse der Elutionsversuche</b> .....	<b>57</b>
5.3.1	Ergebnisse der Zellenelution (Einfluss des pH- Wertes) .....	57
5.3.2	Ergebnisse der gesättigten Säulenversuche .....	60
<b>5.4</b>	<b>Ergebnisse der Extraktionsversuche</b> .....	<b>64</b>
5.4.1	DEV S4- Elution 1:10 (DIN 38414) .....	64
5.4.2	Bodensättigungsextraktion (DIN V 19735) .....	66
5.4.3	Ergebnisse weiterer Extraktionsversuche .....	67
<b>5.5</b>	<b>Diskussion der Einflussparameter</b> .....	<b>69</b>
5.5.1	Einfluss des Versuchsaufbaus und des Energieeintrags .....	69
5.5.2	Einfluss des Feststoff/ Wasser- Verhältnisses .....	71
5.5.3	Weitere Einflussgrößen .....	73
5.5.4	Vergleich und Korrelation von Bodensättigungsextraktion und DEV S4-1:10 .....	76
<b>5.6</b>	<b>Bewertung der angewandten Verfahren</b> .....	<b>79</b>
<b>5.7</b>	<b>Fazit und Empfehlung für die Gefährdungsabschätzung am Ort der Probenahme</b> .....	<b>80</b>
5.7.1	Auswertung der Emission im ETI- Konzept .....	81
5.7.2	Auswertung der Emission im Excel-Tool .....	84

<b>6</b>	<b><i>Versuche zur Bestimmung der Transmission</i></b> .....	<b>- 87 -</b>
6.1	<b>Einführung</b> .....	<b>- 87 -</b>
6.2	<b>Transmissionsversuche</b> .....	<b>- 87 -</b>
6.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung .....	- 87 -
6.2.2	Probenvorbereitung und -einbau .....	- 90 -
6.2.3	Versuchsablauf.....	- 90 -
6.2.4	Grundlagen zur Versuchsauswertung.....	- 91 -
<b>7</b>	<b><i>Ergebnisse der Transmissionsversuche</i></b> .....	<b>- 96 -</b>
7.1	<b>Chemische Parameter</b> .....	<b>- 96 -</b>
7.2	<b>Massenfluss</b> .....	<b>- 97 -</b>
7.3	<b>Sorption</b> .....	<b>- 102 -</b>
7.4	<b>Reine Diffusionsversuche für Löß- und Geschiebelehm</b> .....	<b>- 109 -</b>
7.5	<b>Transportprognose aus den Transmissionsversuchen</b> .....	<b>- 115 -</b>
7.5.1	Sorptionsisotherme aus den Transmissionsversuchen.....	- 117 -
7.5.2	Kinetik der Sorptionskapazität .....	- 117 -
7.5.3	Beispiel für die Umrechnung der tatsächlichen Transportzeit in hydrologische Jahre .....	- 122 -
7.6	<b>Batchversuche</b> .....	<b>- 124 -</b>
7.6.1	Durchführung.....	- 124 -
7.6.2	Ergebnisse der Batchversuche .....	- 124 -
7.6.3	Adsorptionsisotherme .....	- 125 -
7.7	<b>Vergleich der Ergebnisse der Batch- und Transmissionsversuche</b> .....	<b>- 130 -</b>
<b>8</b>	<b><i>Sickerwasserprognose</i></b> .....	<b>- 133 -</b>
8.1	<b>Tool für die Erstellung der Sickerwasserprognose</b> .....	<b>- 133 -</b>
8.2	<b>Beispiel für die Anwendung des ETI- Konzeptes</b> .....	<b>- 138 -</b>
<b>9</b>	<b><i>Schlussfolgerung</i></b> .....	<b>- 140 -</b>
<b>10</b>	<b><i>Zusammenfassung und Ausblick</i></b> .....	<b>- 143 -</b>
<b>11</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b> .....	<b>144</b>