

**Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser  
Band 47 – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung zum BMBF-  
Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“**

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Teil A</b>	<b>Leitempfehlung zur Vorgehensweise bei der Bestimmung der Quellstärke für die Sickerwasserprognose .....</b>	<b>1</b>
<b>Teil B</b>	<b>Forschungsreport.....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>5</b>
1.1	Aufgabenstellung und Projektstruktur des Förderschwerpunkts.....	5
1.1.1	Die Sickerwasserprognose nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.....	5
1.1.2	Aufgabenstellung für den Förderschwerpunkt.....	5
1.1.3	Struktur und Umfang des Förderschwerpunkts.....	6
1.1.4	Entwicklung der Normung hinsichtlich der Verwendung der Quellstärke während der Laufzeit des Förderschwerpunktes und daraus resultierende Arbeitsschwerpunkte.....	8
1.2	Auswertung und Dokumentation der Forschungsergebnisse .....	9
1.2.1	Auswertung der Projektergebnisse und Textanordnung .....	9
1.2.2	Berichtsgrundlagen und Literatur .....	9
1.2.3	Datendokumentation .....	10
1.2.4	Definitionen, Abkürzungen und Größenbezeichnungen.....	11
<b>2</b>	<b>Analytisches Programm und Referenzmaterialien .....</b>	<b>15</b>
2.1	Analytisches Programm.....	15
2.2	Referenzmaterialien.....	16
2.2.1	Bereitstellung .....	16
2.2.2	Mineralische Hauptbestandteile .....	16
2.2.3	Gesamtgehalte der Referenzmaterialien .....	17
<b>3</b>	<b>Versuche mit Freiland-Lysimetern .....</b>	<b>18</b>
3.1	Aufbau und Betrieb .....	18
3.1.1	Beschreibung der Freiland-Lysimeteranlagen.....	18
3.1.2	Betrieb der Freiland-Lysimeteranlagen .....	20

3.2	Vergleich der Quellstärken .....	25
3.2.1	Unterschiede der Lysimeter .....	25
3.2.2	Vergleich der pH-Werte des Eluats aus der Quellstärkeschicht.....	25
3.2.3	Vergleich der elektrischen Leitfähigkeit im Ablauf der Quellstärkeschichten und nach zusätzlicher Passage der Transportschichten.....	27
3.2.4	Konzentrationsprofile in der Transportzone der FZJ-Lysimeter .....	29
3.2.5	Elektrische Leitfähigkeit im Vergleich der vier FZJ-Lysimeter.....	30
<b>4</b>	<b>Zusammenwirken von Quellstärkeschicht und Transportzone in den Freiland-Lysimetern.....</b>	<b>32</b>
4.1	Eluatkonzentrationen im Ablauf der Quellstärkeschicht und nach Passage der Transportzone .....	32
4.1.1	Freisetzung von Anorganika in den Quellstärke-Lysimetern.....	32
4.1.2	DOC-Konzentration und Trübung in den Freiland-Lysimetern.....	33
4.1.3	PAK-Freisetzung in den GSF-Quellstärke-Lysimetern.....	34
4.1.4	Freisetzung von MKW in den GSF-Quellstärke-Lysimetern.....	36
4.2	Vergleich der Konzentrationen im Ablauf der GSF-Transport-Lysimeter mit der Quellstärke der GSF-Quellstärke-Lysimeter.....	37
4.2.1	Übersicht zu den Hauptcharakteristika des Zusammenwirkens von Quellstärke und Transportzone.....	37
4.2.2	Schwermetalle .....	38
4.2.3	Anorganische Hauptionen.....	38
4.2.4	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) .....	39
4.2.5	Schlussbemerkung .....	40
4.3	Stoffbilanzen und Nachuntersuchung der GSF- Lysimeter .....	40
4.3.1	Mobilisierte Fracht für Anthracen bei RM-BS und RM-BO .....	41
4.3.2	Gesamtbilanz für die Summe 15 PAK.....	41
4.3.3	Gesamtbilanz für die Schwermetalle.....	42
4.4	Zusammenfassung .....	44
<b>5</b>	<b>Ableitung mathematischer Funktionen für die Quellstärke als Eingangsgröße für die Transportmodelle.....</b>	<b>46</b>
5.1	Quellstärkefunktionen aus SiWA-Schlussberichten und der Literatur.....	46
5.1.1	Funktion auf der Basis des Ansatzes von TAMMAN.....	46
5.1.2	DUALEXPO-Gleichung .....	48
5.1.3	Funktionen auf Basis der HENRY-Gleichung.....	49
5.1.4	Erfassung der Auswirkung von Einflussfaktoren auf den Stofftransport mit der FREUNDLICH-Gleichung .....	52
5.2	Gleichungen aus der SiWA-Task-Force Quellstärkefunktionen .....	54
5.2.1	TFQ1 Quellstärkefunktionen für Hauptionen und Schwermetalle .....	54
5.2.2	TFQ2 Quellstärkefunktionen für organische Schadstoffe.....	57
5.2.3	TFQ3 Übertragung der Laborergebnisse auf den Feldmaßstab .....	60

5.2.4	TFQ4 Laborsäulenversuche mit Referenzmaterialien als Datengrundlage für die Entwicklung von Quellstärkefunktionen unter gesättigten und ungesättigten Bedingungen.....	65
5.2.5	Anmerkung zur Weitergabe von Quellstärkefunktionen in Form der hier beschriebenen mathematischen Funktionen.....	65
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Labor-Säulenversuche zur Schadstoffmobilisierung.....</b>	<b>66</b>
6.1	Konzentration anorganischer Parameter im Eluat von Laborsäulen.....	66
6.1.1	Schwermetalle .....	66
6.1.2	Hauptionen Sulfat und Calcium.....	68
6.1.3	Mineralische Hauptbestandteile Aluminium und Silizium .....	68
6.1.4	Elektrische Leitfähigkeit als Indikator für die Konzentration der Hauptionen.....	69
6.1.5	Gesamtaustrag der Anorganika beim Säulentest.....	71
6.2	Mobilisierung von PAK in gesättigten Laborsäulen .....	71
6.2.1	Kurvenform der Quellstärke der PAK Pyren und Phenanthren .....	72
6.2.2	Nachweis des Bioabbaus von PAK.....	72
6.2.3	Bereich konstanter Konzentration der PAK.....	76
6.2.4	Gesamtaustrag der PAK beim Säulentest .....	77
<b>7</b>	<b>Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Eluatkonzentration im Säulenversuch .....</b>	<b>79</b>
7.1	Einflussfaktoren beim Säulenversuch.....	79
7.1.1	Einfluss der Temperatur.....	79
7.1.2	Einfluss der Schichthöhe .....	82
7.1.3	Präferentieller Fluss .....	86
7.1.4	Partikulärer Schadstofftransport.....	92
7.2	Einfluss variabler Betriebsfaktoren beim Säulenversuch.....	94
7.2.1	Auswirkung der Fließrate auf die Konzentrationen im Säuleneluat.....	94
7.2.2	Auswirkung von Flussunterbrechungen .....	98
7.2.3	Einfluss der Zusammensetzung des Zulaufwassers, Packen und Vorkonditionieren der Laborsäulen .....	101
7.2.4	Einfluss des Kohlensäuregehaltes im Porengas .....	103
7.2.5	Einfluss der Ionenstärke .....	104
7.2.6	Vergleich von Säulenversuchen unter gesättigten und ungesättigten Fließbedingungen .....	107
7.2.7	Untersuchungen zur Veränderung der Hauptbestandteile von Hausmüll-Verbrennungssasche beim Kontakt mit Wasser und Atmosphäre .....	110
7.3	Zusammenfassung .....	113
<b>8</b>	<b>Untersuchung und Weiterentwicklung der Batch-Verfahren.....</b>	<b>116</b>
8.1	Varianten und Erfahrungen bei Batch-Tests.....	117
8.1.1	Erfahrungen mit dem Bodensättigungsextrakt BSE .....	117
8.1.2	Definition des MBSE .....	118
8.1.3	Erfahrungen mit den Schütteltests S-2 und S-10.....	119

8.1.4	Vergleich zwischen Schüttelextrakt und Säulenversuch .....	121
8.1.5	Kaskadentest .....	122
8.1.6	Multi-WF-Extraktion MWF (parallele Versuchsansätze).....	123
8.1.7	Theoretische Untersuchungen zu multiplen Schüttelversuchen.....	125
8.1.8	Schlussbemerkung .....	125
8.2	Extraktionsverfahren mit besonderer Zielsetzung.....	125
8.2.1	Sequentielle Extraktion, Sättigungsextraktion .....	126
8.2.2	pH-Stat-Verfahren.....	127
8.3	Weiterentwicklung des Bodensättigungsextrakts (SBSE) .....	128
8.3.1	Verbesserungsvorschläge.....	128
8.3.2	Definition des SBSE.....	129
8.3.3	Größenverhältnis von SBSE und MBSE .....	130
8.4	Schlussfolgerungen für das Anwendungsfeld von Batch-Versuchen .....	131
<b>9</b>	<b>Bestimmung der Quellstärke im Labortest, BAM-Laborvergleich (Ringversuch) und Arbeitsvorschriften .....</b>	<b>132</b>
9.1	Vorbehandlung der Eluate für die Bestimmung der Quellstärke.....	132
9.2	Ergebnisse des Laborvergleichstest zur Bestimmung der Quellstärke.....	133
9.3	Ergebnisse des Laborvergleichs mit Batch-Versuchen .....	135
9.4	Untersuchungen zum Deklarationstest mit einem End-WF von 2 L/kg.....	136
9.5	Anmerkungen zu den Arbeitsvorschriften.....	136
<b>10</b>	<b>Konzept zur Bewertung des Auslaugverhaltens mineralischer Baustoffe/-körper durch Sicker- und Kontaktgrundwasserprognose .....</b>	<b>138</b>
10.1	Einleitung: Mechanismen der Auslaugung .....	138
10.2	Bestimmung der Quellstärke für Boden und Grundwässer in Kontakt mit Bettungsmassen, Spritz- und Schlitzwandbeton .....	140
10.2.1	Aufgabenstellung .....	140
10.2.2	Versuchsprogramm.....	140
10.2.3	Ergebnisse .....	141
10.3	Bestimmung der Quellstärke für Boden und Grundwasser in Kontakt mit Betonfundamenten und Bodeninjektionen.....	146
10.3.1	Aufgabenstellung .....	146
10.3.2	Versuchsprogramm.....	146
10.3.3	Ergebnisse .....	147
10.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	150

<b>11</b>	<b>Transport-Rechenmodelle für die Sickerwasserprognose .....</b>	<b>154</b>
11.1	Einleitung .....	154
11.2	Mathematische Grundlagen.....	155
11.2.1	Quellstärkefunktionen für die Anwendung bei der Transportsimulation .....	155
11.2.2	Umrechnung von WF in Betriebszeit.....	155
11.2.3	Umrechnung der Betriebszeit-Daten eines Säulenversuchs in die der Quellstärkeschicht eines Freiland-Lysimeters.....	156
11.3	Nachweis der Treffsicherheit von Simulationsprogrammen und Anforderungen an ihre Leistungsmerkmale .....	158
11.3.1	Eingabedaten für die Simulationsrechnung.....	158
11.3.2	Anforderungen und Grenzen der Dateneingabe in die Transportmodelle .....	159
11.3.3	Ergebnisse der Simulations-Untersuchungen .....	165
11.3.4	Anforderungen an Simulationsmodelle .....	169
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>172</b>
12.1	Transportzone der Freiland-Transport-Lysimeter .....	172
12.2	Quellstärkebestimmung und Laborsäulenversuche.....	173
12.3	Batch-Versuche (BSE, MBSE und Schüttelextrakte).....	175
12.4	Fazit .....	176
<b>13</b>	<b>Liste der Vorhaben im Rahmen des BMBF/UBA-Förderschwerpunkts „Sickerwasserprognose“ .....</b>	<b>177</b>
<b>14</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>187</b>
14.1	Gesetzestexte, Normen und Arbeitsvorschriften .....	187
14.2	Wissenschaftliche Texte und Forschungsberichte .....	191
<b>15</b>	<b>Erläuterung der Abkürzungen und Formelzeichen.....</b>	<b>204</b>
15.1	Abkürzungen.....	204
15.2	Formelzeichen .....	205
15.2.1	Griechische Buchstaben .....	205
15.2.2	Kleinbuchstaben .....	206
15.2.3	Großbuchstaben .....	206