

# **Kostenwirksamkeitsbetrachtungen bei der Sanierung ckw-emittierender Altlasten - Ansätze für ein nutzungsorientiertes Grundwassermanagement auf regionaler Ebene**

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>Abstract</b> .....	II
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	IV
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	VIII
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	X
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	XII
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Gang der Untersuchung</b> .....	4
<b>3 Ökonomische und naturwissenschaftliche Grundlagen</b> .....	6
3.1 Einordnung der Problemstellung in die Umweltökonomie.....	6
3.2 Kostenwirksamkeitsanalysen als Instrument der Umweltökonomie.....	11
3.3 Der Zusammenhang zwischen Kosten und Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltqualität.....	14
<b>4 Fokussierung der Problemstellung</b> .....	19
4.1 Fokussierung auf der Wirksamkeitsseite.....	19
4.1.1 Grundlagen eines regionalen Grundwassermanagements.....	19
4.1.1.1 Ziele, Aufgaben und Rahmenbedingungen.....	19
4.1.1.2 Der regionale Bezug.....	22
4.1.2 Zur Festlegung von Grundwasserqualitätszielen.....	24
4.1.2.1 Nutzungs- und Schutzaspekte.....	24
4.1.2.2 Zur Operationalisierung von Qualitätszielen.....	26
4.1.3 Zur Priorisierung des Handlungsbedarfes.....	27
4.1.3.1 Die Aufstellung einer Stoffhierarchie für Emissionen ins Grund- wasser.....	27

4.1.3.2 Effekte bei Mehrfachkontaminationen.....	31
4.1.4 Verwendung und Verbreitung von CKW.....	32
4.2 Fokussierung auf der Kostenseite.....	36
4.2.1 Altlasten als CKW-Emittenten.....	36
4.2.2 Die Hauptprozesse bei der Erfassung, Bewertung und Sanierung.....	38
4.2.3 Verfahren zur technischen Sanierung von Altlasten.....	42
4.2.4 Prozeßschritte bei hydraulischen Sanierungen von CKW-Altlasten.....	43
4.3 Zusammenfassung der Fokussierung.....	45
<b>5 Kostenwirksamkeitsanalysen bei der hydraulischen Sanierung ckw-emittierender Altlasten.....</b>	<b>47</b>
5.1 Kostenwirksamkeitsanalysen bei einzelnen Sanierungsmaßnahmen.....	47
5.1.1 Der einzelfallbezogene Ansatz.....	47
5.1.2 Zur Festlegung einzelfallbezogener Grundwasserqualitätsziele.....	48
5.1.3 Zur Messung der Wirksamkeit.....	50
5.1.4 Zur Kostenmessung.....	51
5.1.5 Kostenwirksamkeit bei einzelnen Sanierungsmaßnahmen.....	52
5.2 Umweltbezogene Kostenwirksamkeitsanalysen auf regionaler Ebene.....	53
5.2.1 Der regionale Ansatz.....	53
5.2.2 Grundwasserqualitätsziele bei regionalen Kostenwirksamkeitsanalysen.....	54
5.2.3 Zur Messung der Wirksamkeit.....	56
5.2.4 Zur Kostenmessung.....	58
5.2.5 Zur Messung der regionalen Kostenwirksamkeit.....	58
<b>6 Fallstudie zur Analyse der Kostenwirksamkeit bei ckw-emittierenden Altlasten - Das Beispiel der Stadt Hannover.....</b>	<b>60</b>
6.1 Ziele und Vorgehensweise.....	60
6.2 Darstellung des Untersuchungsgebietes.....	61
6.3 Angaben zur CKW-Verschmutzung des Grundwassers in Hannover.....	62
6.4 Erfassung der ckw-emittierenden Altlasten in Hannover.....	65

6.5	Wirksamkeitsmessung - Zur Erfassung von Veränderungen der Grundwasserqualität im Untersuchungsgebiet.....	68
6.6	Kostenmessung - Zur Ermittlung der Sanierungskosten für ckw-emittierende Altlasten in Hannover.....	70
6.7	Zur Kostenwirksamkeit der Sanierung von CKW-Altlasten in Hannover.....	74
6.7.1	Exemplarische Berechnung der Kostenwirksamkeit hydraulischer Sanierungsmaßnahmen.....	74
6.7.2	Gesamtbetrachtung für Hannover (Regionalisierung).....	76
6.7.3	Konsequenzen für das Grundwassermanagement in Hannover.....	83
6.8	Abschätzung der Problemdimension für einen ländlichen Raum.....	84
<b>7</b>	<b>Ein modelltheoretischer Erklärungsansatz für den Zusammenhang zwischen Quellstärke und Sanierungskosten.....</b>	<b>85</b>
7.1	Wesentliche Einflußgrößen auf die Quellstärke.....	86
7.2	Abhängigkeiten der Kosten von hydraulischen Sanierungsmaßnahmen.....	91
7.2.1	Relevante Kostenstrukturen.....	91
7.2.2	Abhängigkeit der Investitionskosten von der Quellstärke.....	92
7.2.3	Abhängigkeit der Betriebskosten von der Quellstärke.....	98
7.2.4	Modellbetrachtung.....	101
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	111
<b>8</b>	<b>Diskussion möglicher Veränderungen der Rahmenbedingungen eines regionalen Grundwasserqualitätsmanagements.....</b>	<b>113</b>
8.1	Die Rahmenbedingungen in der Übersicht.....	113
8.2	Zur Bereitstellung zusätzlicher Finanzmittel für die Altlastensanierung.....	116
8.2.1	Zur Vorgehensweise.....	116
8.2.2	Abschätzung des Finanzbedarfes.....	117
8.2.2.1	Das Mengengerüst.....	117
8.2.2.2	Das Wertgerüst.....	120
8.2.2.3	Abschätzung des Mittelbedarfes.....	121
8.2.3	Zur Finanzierungszuständigkeit.....	123

8.2.4 Zur realen Lastenverteilung.....	126
8.2.5 Finanzierung von Altlastensanierungen über die öffentliche Hand.....	127
8.2.5.1 Instrumente der Mittelaufbringung.....	127
8.2.5.2 Instrumente des Mitteltransfers.....	129
8.2.5.3 Die derzeitig eingesetzten Instrumente der Sanierungsfinanzierung	131
8.2.5.3.1 Instrumente auf Bundesebene.....	131
8.2.5.3.2 Instrumente auf Länderebene.....	133
8.2.5.3.3 Instrumente auf kommunaler Ebene.....	139
8.2.5.4 Möglichkeiten zur Erweiterung des Finanzierungsvolumens durch die öffentliche Hand.....	140
8.2.5.5 Grenzen der Finanzierungsmöglichkeiten der öffentlichen Hand....	145
8.2.6 Finanzierung von Altlastensanierungen durch private Finanzierungsträger...	147
8.2.6.1 Instrumente zur Heranziehung privater Finanzierungsträger.....	147
8.2.6.2 Grenzen der Heranziehung privater Finanzierungsträger.....	148
8.3 Kostensenkungen durch Senkung der Grundwasserqualitätsziele.....	149
8.3.1 Stand der Diskussion.....	149
8.3.2 Interregionale Differenzierung von Grundwasserqualitätszielen.....	151
8.3.3 Intraregionale Differenzierung von Sanierungsgrenzwerten.....	153
8.3.4 Implikationen bei Einbeziehung der volkswirtschaftlichen Kosten.....	154
8.4 Kostensenkungspotentiale auf Verfahrensseite.....	157
8.4.1 Einflüsse des technischen Fortschritts.....	157
8.4.2 Kostensenkungen durch Know-how Fortschritte auf Verfahrensseite.....	158
8.4.2.1 Hydraulische Sanierungsverfahren.....	158
8.4.2.2 Generelle Tendenzen.....	159
8.4.3 Kostensenkungen durch Realisierung von Skalenerträgen.....	160
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>161</b>
<b>10 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>166</b>
<b>11 Anhang.....</b>	<b>172</b>
<b>12 Lebenslauf und Veröffentlichungen.....</b>	<b>183</b>
<b>13 Erklärung.....</b>	<b>185</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite	
Abb. 1:	Darstellung der gesamtwirtschaftlichen Kosten in Abhängigkeit von der Umweltqualität.....	10
Abb. 2:	Prinzipdarstellung von Veränderungen des Verschmutzungsgrades der Umwelt in Abhängigkeit von den Kosten umweltverbessernder Maßnahmen.....	16
Abb. 3:	Schematische Darstellung des Wasserkreislaufes.....	19
Abb. 4:	Stoffeinträge ins Grundwasser und Transportpfade.....	23
Abb. 5:	Strukturschema zur Einordnung leichtflüchtiger CKW in die Gruppe der organischen Halogenverbindungen.....	33
Abb. 6:	Strukturschema zur Abgrenzung des Altlastenbegriffes.....	37
Abb. 7:	Prozessschritte bei der Altlastenerfassung, -bewertung und -sanierung..	41
Abb. 8:	Teilprozesse einer hydraulischen Grundwassersanierung.....	44
Abb. 9:	Funktionsschema einer Stripp-Anlage mit Aktivkohleadsorption.....	45
Abb. 10:	Prinzipdarstellung zur Vorgehensweise bei der Fokussierung.....	46
Abb. 11:	Darstellung der CKW-Verschmutzung des Grundwassers im Stadtgebiet von Hannover.....	63
Abb. 12:	Kostenwirksamkeit hydraulischer Sanierungsmaßnahmen im Stadtgebiet von Hannover in Abhängigkeit von der Quellstärke.....	75
Abb. 13:	Überschreitungsfaktor $\bar{U}$ in Abhängigkeit von den Gesamtkosten der Grundwasser- und Bodenluftsanierung von ckw-emittierenden Altlasten in Hannover.....	77
Abb. 14:	Entwicklung der Gesamtquellstärke in Abhängigkeit von den Kosten hydraulischer Sanierungen von ckw-emittierenden Altlasten in Hannover	79
Abb. 15:	Entwicklung der Gesamtquellstärke in Abhängigkeit von den Kosten hydraulischer Sanierungen bei unterschiedlicher Priorisierung (Prinzipdarstellung).....	82
Abb. 16:	CKW als flüssige Phase in der ungesättigten Bodenzone.....	87
Abb. 17:	CKW als flüssige Phase im Grundwasserleiter.....	88
Abb. 18:	CKW gelöst im Grundwasserleiter.....	89
Abb. 19:	Modelldarstellung eines Abpumpvorgangs aus einem kontaminierten Bodenvolumen.....	102
Abb. 20:	Schematische Darstellung durchflußwirksamer/ -unwirksamer Hohlraumanteile im Boden.....	106
Abb. 21:	Prinzipdarstellung der Auswirkungen einer Veränderung der Rahmenbedingungen im Bereich des regionalen Grundwassermanagements.....	115

Abb. 22:	Zuständigkeiten für die Finanzierung von Altlastensanierungen.....	126
Abb. 23:	Zuständigkeiten und Finanzierungsinstrumente zur Altlastensanierung.	130
Abb. 24:	Auswirkung einer Lockerung des Qualitätsstandards für das Grundwasser auf die Maßnahmenkosten im Bereich der Altlastensanierung...	152
Abb. 25:	Auswirkung einer Senkung der Grundwasserqualitätsstandards auf die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Umweltverschmutzung.....	156

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1:	Grenzkonzentrationen ausgewählter Stoffe nach TVO..... 29
Tab. 2:	Datenübersicht über das Untersuchungsgebiet Stadt Hannover..... 62
Tab. 3:	Ranking der Schadstoffe mit den größten Anteilen an der Grundwasser- verschmutzung in Hannover nach ihrer relativen Gefährlichkeit..... 64
Tab. 4:	Branchenzuordnung von ckw-emittierenden Altlasten im Stadtgebiet von Hannover..... 66
Tab. 5:	Ranking der wichtigsten ckw-emittierenden Altlasten im Stadtgebiet von Hannover nach ihrer Quellstärke (Stand 1990)..... 67
Tab. 6:	Abschätzung der Sanierungskosten verschiedener Klassen von ckw- emittierenden Altlasten in Hannover..... 71
Tab. 7:	Sanierungskosten ckw-emittierender Altlasten in Hannover..... 73
Tab. 8:	Kostenwirksamkeiten und Quellstärken bei hydraulischen Sanierungs- maßnahmen im Stadtgebiet von Hannover..... 74
Tab. 9:	Quellstärken und Sanierungskosten ckw-emittierender Altlasten in Hannover..... 78
Tab. 10:	Entwicklung von Restquellstärke und kumulierten Sanierungskosten bei einer Priorisierung von Altlasten mit großer Quellstärke..... 80
Tab. 11:	Entwicklung von Restquellstärke und kumulierten Sanierungskosten bei einer Priorisierung von Altlasten mit geringer Quellstärke..... 81
Tab. 12:	Löslichkeit verschiedener CKW in Wasser..... 90
Tab. 13:	Investitionskosten von hydraulischen Sanierungsanlagen in Niedersachsen 93
Tab. 14:	Jährliche Betriebskosten hydraulischer Sanierungsmaßnahmen in Niedersachsen..... 100
Tab. 15:	Übersicht über Verdachtsflächen in der Bundesrepublik Deutschland.. 119
Tab. 16:	Altlastenfinanzierungsmodelle in den alten Bundesländern..... 133
Tab. 17:	Gebietseinstufungen für eine interregionale Differenzierung von Grundwasserqualitätszielen..... 151