

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	12
2 Überblick über das Untersuchungsgebiet	14
2.1 Geographie	14
2.2 Industriegeschichte	15
2.3 Geologie	17
2.3.1 Karbon	21
2.3.2 Kreide	22
2.3.3 Tertiär	24
2.3.4 Quartär	25
2.4 Hydrogeologie	28
3 Kokereitechnik und Schadstoffquellen	32
3.1 Kokereiprozeß	32
3.2 Produkte/ Rückstände	36
3.2.1 Ausgangsstoff Steinkohle	36
3.2.2 Stoffüberblick	38
3.2.3 Massenbilanz der Nebenprodukte (Fallbeispiel)	40
3.2.4 Rohteer	44
3.2.5 Rohbenzol	49
3.2.6 Ammonium / Ammoniakhaltige Verbindungen	50
3.2.7 Sonstige Produkte	52
3.3 Ursachen und Quellen der Untergrundverunreinigungen	53
4 Kokereispezifische Schadstoffe	59
4.1 Chemisch-physikalische Eigenschaften	66
4.1.1 Aromatische Kohlenwasserstoffe	66
4.1.2 Ammonium	70
4.2 Toxikologische Eigenschaften	72
5 Schadstoffausbreitung im nicht wassergesättigten Boden	77
6 Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasser	82
6.1 Grundwasserdynamik	83
6.2 Diffusion und Dispersion	86
6.3 Verhalten nichtwäßriger Phasen	89
6.4 Lösungsverhalten der Teeröle	94
6.5 Transport durch Kolloide	102
7 Schadstoffsinken	105
7.1 Volatilität	105
7.2 Sorption	108
7.3 Mikrobieller Abbau	115
7.3.1 Mikrobieller Abbau von monoaromatischen Kohlenwasserstoffen (BTX)	118
7.3.2 Mikrobieller Abbau von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)	122
7.3.3 Mikrobieller Abbau von Ammonium	124
7.3.4 Einschätzung des Abbaupotentials	125
7.3.5 Hydrogeochemische Veränderungen	128
8 Untersuchungsmethoden	132
8.1 Auswertung unveröffentlichter Gutachten	132
8.2 Grundwassermeßreihen	134
8.3 Probenahmetechnik	140
8.3.1 Vorbemerkungen	140
8.3.2 Langzeitprobenahmeversuche	142
8.3.3 Untersuchung der Grundwassermeßstellen	146
8.4 Chemisch-petrographische Untersuchungen an den Sedimenten der Grundwasserleiter	146
9 Fallbeispiele	152
9.1 Standort MA	155
9.1.1 Standortgeschichte	157
9.1.2 Geologie/Hydrogeologie	158
9.1.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone / Bodenluft	160
9.1.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	161

9.2 Standort HA	181
9.2.1 Standortgeschichte	183
9.2.2 Geologie/Hydrogeologie	184
9.2.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	186
9.2.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	187
9.3 Standort GS	192
9.3.1 Standortgeschichte	194
9.3.2 Geologie/Hydrogeologie	195
9.3.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/ Bodenluft	197
9.3.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	197
9.4 Standort TH	210
9.4.1 Standortgeschichte	212
9.4.2 Geologie/Hydrogeologie	213
9.4.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	215
9.4.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	217
9.5 Standort WE	237
9.5.1 Standortgeschichte	239
9.5.2 Geologie/Hydrogeologie	240
9.5.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	242
9.5.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	243
9.6 Standort AV	246
9.6.1 Standortgeschichte	248
9.6.2 Geologie / Hydrogeologie	249
9.6.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	251
9.6.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	251
9.7 Standort AL	252
9.7.1 Standortgeschichte	253
9.7.2 Geologie / Hydrogeologie	254
9.7.3 Verunreinigungssituation	256
9.8 Standort HO	257
9.8.1 Standortgeschichte	259
9.8.2 Geologie / Hydrogeologie	260
9.8.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	263
9.8.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	264
9.9 Standort GR	266
9.9.1 Standortgeschichte	267
9.9.2 Geologie/Hydrogeologie	268
9.9.3 Verunreinigungssituation ungesättigte Zone/Bodenluft	270
9.9.4 Verunreinigungssituation Grundwasser	271
9.10 Weitere Standorte	272
9.10.1 Standort GN	272
9.10.2 Standort GB	277
10 Ergebnisse	282
10.1 Grundwassergefährdende Produkte der Kokereien im Ruhrgebiet	282
10.2 Verhalten kokereispezifischer Schadstoffe im Grundwasser des Ruhrgebietes	286
10.3 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	292
10.4 Schlußfolgerungen	295
11 Literaturverzeichnis	297
12 Unveröffentlichte Gutachten und Berichte	313

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Geologie des Rheinisch-Westfälischen Industriegebietes (SCHMIDT 1986)	17
Abb. 2:	Nord-Süd-Schnitt durch das Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet (HAHNE & SCHMIDT 1982)	18
Abb. 3:	Schematischer Ablauf der Gasaufbereitung zur Ferngasgewinnung in einer typischen Großkokerei des Ruhrgebietes (RUHRKOHLE-VERKAUF GMBH 1987)	33
Abb. 4:	Ausschnitt aus der molekularen Kohlestruktur (FRANCK & STADELHOFFER 1987)	37
Abb. 5:	Primäraufbereitung von Steinkohlen-Teer und Rohbenzol (BLÜMER & COLLIN 1983)	47
Abb. 6:	Schematische Darstellung von Schadstoffeintrags- und -transportmechanismen im Grundwasser (SCHÜTH 1994)	82
Abb. 7:	Relative Durchlässigkeit von Öl und Wasser (VAN DAM 1967).	91
Abb. 8:	Restsättigungen und funikularer Zustand (MESCHEDE 1992)	92
Abb. 9:	Schematische Darstellung zur Schadstofffreisetzung im Grundwasser (Q: Grundwasservolumenstrom; A: durchströmte Fläche senkrecht zur Fließrichtung; A _k : Kontaktfläche zwischen Kontamination und Grundwasser; C ₀ : Schadstoffkonzentration an der Kontaktfläche; C: Schadstoffkonzentration im Abstrom; F: Schadstofffreisetzungsrate; k: Stoffübergangskoeffizient).	100
Abb. 10:	Bei Fließstrecken unterhalb von X _S findet die Schadstofffreisetzung unter maximal möglicher Rate F _{max} statt („worst case“-Szenario; Ungleichgewicht). Bei Fließstrecken > X _S wird die maximal mögliche Konzentration im Grundwasser erreicht (C _{max} bzw. C ₀ steht dann für die Gleichgewichtskonzentration bei der Desorption bzw. für die Löslichkeit der Schadstoffe bei Anwesenheit von residualer Phase).	101
Abb. 11:	Lage der Kokereistandorte (Fallbeispiele) im Untersuchungsgebiet	154
Abb. 12:	Lageplan Standort MA mit Grundwassergleichen	156
Abb. 13:	Standort MA, 1. GW-Stockwerk, Vor-Ort-Parameter	164
Abb. 14:	Standort MA, 1. GW-Stockwerk, Anionen	165
Abb. 15:	Standort MA, 1. GW-Stockwerk, Kationen	166
Abb. 16:	Standort MA, 1. GW-Stockwerk, Aromaten	167
Abb. 17:	Standort MA, 2. GW-Stockwerk, Vor-Ort-Parameter	169
Abb. 18:	Standort MA, 2. GW-Stockwerk, Anionen	170
Abb. 19:	Standort MA, 2. GW-Stockwerk, Kationen	171
Abb. 20:	Standort MA, 2. GW-Stockwerk, Aromaten	172
Abb. 21:	Petrographische Untersuchungen Bohrung MA2	175
Abb. 22:	Chemische Untersuchungen Bohrung MA2	176
Abb. 23:	Auswertung Langzeitprobenahmeversuch, Standort MA, Meßstelle P 13/I	179
Abb. 24:	Lageplan Standort HA mit Grundwassergleichen	182
Abb. 25:	Petrographische Untersuchungen Bohrung HA 2	189
Abb. 26:	Chemische Untersuchungen Bohrung HA 2	190
Abb. 27:	Lageplan Standort GS mit Grundwassergleichen	193
Abb. 28:	Standort GS, Vor-Ort-Parameter (Grundwasser)	201
Abb. 29:	Standort GS, Anionen (Grundwasser)	202
Abb. 30:	Standort GS, Kationen (Grundwasser)	203
Abb. 31:	Standort GS, Aromaten (Grundwasser)	204
Abb. 32:	Petrographische Untersuchungen Bohrung GS 1	207
Abb. 33:	Chemische Untersuchungen Bohrung GS 1	208
Abb. 34:	Lageplan Standort TH mit Grundwassergleichen	211
Abb. 35:	Standort TH, Vor-Ort-Parameter (Grundwasser)	220
Abb. 36:	Standort TH, Anionen (Grundwasser)	221
Abb. 37:	Standort TH, Kationen (Grundwasser)	222
Abb. 38:	Standort TH, Aromaten (Grundwasser)	223
Abb. 39:	Lageplan Standort TH, rH-Werte Isoliniendarstellung	226
Abb. 40:	Petrographische Untersuchungen Bohrung TH 2	230
Abb. 41:	Chemische Untersuchungen Bohrung TH 2	231
Abb. 42:	Auswertung Langzeitprobenahmeversuch, Standort TH, Meßstelle B45	236
Abb. 43:	Lageplan Standort WE mit Grundwassergleichen	238
Abb. 44:	Lageplan Standort WE, rH-Werte Isoliendarstellung	245
Abb. 45:	Lageplan Standort AV mit Grundwassergleichen	247
Abb. 46:	Lageplan Standort HO mit Grundwassergleichen	258

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Erdgeschichtlicher Überblick (GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1985, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1995)	20
Tab. 2:	Ausbildung der petrographischen Einheiten aus der Kreide im Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirk (GEIERSBACH 1975, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1995)	23
Tab. 3:	Ausbildung der petrographischen Einheiten im Tertiär des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirkes (GEIERSBACH 1975, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1985, GEOLOGISCHES LANDES-AMT NRW 1995)	24
Tab. 4:	Flußablagerungen am Niederrhein und in Westfalen (Geologisches Landesamt NRW 1995)	26
Tab. 5:	Ausbildung der petrographischen Einheiten im Quartär des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirkes (SCHREINER 1992, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1995)	27
Tab. 6:	Hydrogeologische Eigenschaften der wichtigsten petrographischen Einheiten im Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirk (GEIERSBACH 1975, HAHNE & SCHMIDT 1982, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1985, COLDEWEY 1991, GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW 1995)	29
Tab. 7:	Durchschnittliche Menge und Zusammensetzung der Kohlenwertstoffe bei der Hochtemperaturverkokung auf Steinkohlenbasis, Verkokungstemperatur 1.200 °C (BARTHOLOME et al. 1977)	38
Tab. 8:	Gesamt- und Durchschnittsmengen der auf der alten Kokerei Alma angefallenen Produkte, Hilfs- und Reststoffe, gerundet (RODEGRO 1997)	42
Tab. 9:	Kohlenwertstoff-Behandlungsverfahren der Zentralkokerei Alma (RODEGRO 1997)	43
Tab. 10:	Gesamt- und Durchschnittsmengen der auf der Zentralkokerei Alma angefallenen Produkte, Hilfs- und Reststoffe (gerundet), RODEGRO (1997)	44
Tab. 11:	Inhaltsstoffe des Steinkohlen-Teers (= Rohteer) (FRANCK & STADELHOFER 1987)	45
Tab. 12:	Kenndaten eines Kokerei-Teers des Ruhrgebietes (FRANCK & STADELHOFER 1987)	46
Tab. 13:	Kennwerte des Rohbenzols (FRANCK & STADELHOFER 1987, KOCH 1995)	50
Tab. 14:	Ammoniak-Konzentrationen im Betriebswasser (indirektes Verfahren) verschiedener Bereiche der Ammoniakwäsche (TREFNY 1952)	51
Tab. 15:	Durchschnittliche Zusammensetzung von Ammoniakwasser im Kokereiprozeß (UMBACH 1942, BRÜCKNER 1955b, BISCHOFBERGER 1971)	51
Tab. 16:	Übersicht über gaswerkspezifische Stoffe und ihren Umschlagsort (LAUER 1989)	55
Tab. 17:	Potentielle Kontaminationsquellen in den Betriebsanlagen zur Nebenproduktgewinnung von Kokereien (WEBER 1989)	56
Tab. 18:	Wichtigste nachweisbare Einzelsubstanzen im Steinkohlen-Teer (FRANCK & STADELHOFER 1987)	60
Tab. 19:	Organische Substanzen im Grundwasserabstrom von zwei Kohlegaswerken in NW Wyoming USA (STUERMER et al. 1982)	61
Tab. 20:	Mindestuntersuchungsprogramm Grundwasser auf Kokereistandorten gemäß Rundverfügung des Landesoberbergamtes NRW (CZECH 1994)	62
Tab. 21:	Kategorien der kokereispezifischen Schadstoffe	63
Tab. 22:	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe gemäß der Liste der US-amerikanischen Environmental Protection Agency (EPA)	63
Tab. 23:	Seltene Elemente in Kohlen (ALLHORN et al. 1983)	66
Tab. 24:	Chemisch-physikalische Eigenschaften aromatischer Kohlenwasserstoffe (MEANS et al. 1980, ROTH 1982, VERSCHUEREN 1983, VOGL et al. 1987, WEAST et al. 1987-88, HARMSEN et al. 1988, ISNARD & LAMBERT 1989, RIPPEN 1990, PYKA 1994, KOCH 1995, SPECTRUM LABORATORIES 1998 - 99).	68
Tab. 25:	Toxikologische Eigenschaften ausgewählter aromatischer Kohlenwasserstoffe (zusammengestellt aus: ACGIH 1986, KOCH 1988, RIPPEN 1990, KOCH 1995, SPECTRUM LABORATORIES 1998 - 99)	74
Tab. 26:	Residualsättigung (Feld- und Labordaten) in der ungesättigten Zone (COHEN et al. 1993)	79
Tab. 27:	Kluftbildungen - Ursachen und resultierende Klufftypen (KOLDITZ 1997)	85
Tab. 28:	Molekulare Diffusionskoeffizienten (D_M) einiger ausgewählter Stoffe (LUCKNER & SCHESTAKOW 1986)	86
Tab. 29:	Hydrodynamische Dispersion in verschiedenen Skalenbereichen (KOLDITZ 1997)	87
Tab. 30:	Berechnete Gleichgewichtskonzentration C_w im Wasser bei Lösung aus einem Steinkohlenteer und dem daraus resultierenden Teer/Wasser-Verteilungskoeffizient K_{TW} ($K_{TW} = C_T/C_w$) (PYKA 1994)	99

Tab. 31:	Labor- und theoretische Studien zum Sorptionsverhalten von Schadstoffen im Boden, Sediment und Grundwasserleiter	112
Tab. 32:	Charakterisierung des Grundwassers mittels rH-Wert (HÖLTING 1996)	115
Tab. 33:	Stoffprozesse bei abnehmendem Redoxpotential im Grundwasser (HÖLTING 1996)	116
Tab. 34:	Freiwerdende Reaktionsenthalpien von mikrobiologisch katalysierten Reaktionen bezogen auf einen pH-Wert = 7 / Moläquivalent (SIGG & STUMM 1989)	117
Tab. 35:	Spezifischer Sauerstoffbedarf zum Abbau von je 1 g verschiedener organischer Verbindungen (LUCKNER & SCHESTAKOW 1986)	117
Tab. 36:	Abbaukoeffizienten von BTEX im Feldversuch (BORDEN et al. 1997)	127
Tab. 37:	Mögliche BTEX-Abbaureaktionen für verschiedene Elektronenakzeptoren bzw. Methan-Fermentation bei vollständiger Mineralisierung bzw. Methan-Bildung am Beispiel des Benzols (WISOTZKY & ECKERT 1997 b)	129
Tab. 38:	Benötigte Oxidationsmittel-Menge zum vollständigen Abbau von 1 mg Benzol (entsprechend den Gesamtreaktionen der Tabelle 37) (WISOTZKY & ECKERT 1997 a)	130
Tab. 39:	Überschlägig abgebaute Benzolmenge durch verschiedene Oxidationsmittel und deren prozentuale Anteil an der Gesamtsumme (WISOTZKY & ECKERT 1997 b)	131
Tab. 40:	Aufbau der Datenbank zur Erfassung von Grundwasserdaten auf den Kokereistandorten im	133
Tab. 41:	Untersuchungsparameter Grundwassermeßreihe (Paket 1)	136
Tab. 42:	Untersuchungsparameter Grundwassermeßreihe (Paket 2)	137
Tab. 43:	Untersuchungsparameter Grundwassermeßreihe (Paket 3)	138
Tab. 44:	Untersuchungsparameter Teerölphase (Standort TH, Meßstelle B 43)	139
Tab. 45:	Chemische Untersuchungsparameter der Langzeitprobenahmeversuche	145
Tab. 46:	Probenahmeverfahren bei der Untersuchung von Bohrkernen	147
Tab. 47:	Untersuchungsmethoden für die chemischen Analysen an Sedimentproben	148
Tab. 48:	Untersuchungsmethoden für die petrographischen Untersuchungen an Sedimentproben	150
Tab. 49:	Übersicht über die dokumentierten Fallbeispiele ehemaliger Kokereien im Ruhrgebiet	153
Tab. 50:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort MA	158
Tab. 51:	Hydrogeologische Übersicht, Standort MA	159
Tab. 52:	Charakterisierung der Lösungsgehalte repräsentativer Grundwassermeßstellen	168
Tab. 53:	Verteilung der Fe- und Mn-Bindungsformen in ausgewählten Bodenproben	178
Tab. 54:	Geologischer Überblick Deckgebirge, Standort HA	184
Tab. 55:	Hydrogeologischer Überblick, Standort HA	185
Tab. 56:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort GS	195
Tab. 57:	Hydrogeologische Übersicht, Standort GS	196
Tab. 58:	Ergebnisse Stichtagsmessung, Vor-Ort-Parameter, Standort GS (07./08.12.1998)	199
Tab. 59:	Lage, Kontaminationsgrad und Redoxpotential ausgewählter Grundwassermeßstellen (Standort GS)	199
Tab. 60:	Grundwasserverunreinigung und Redox-Reaktions-sensible Parameter (Messung Okt./Nov. 1998, Standort GS)	205
Tab. 61:	Verteilung der Mn-Bindungsformen in einer Sedimentprobe aus dem Emscher-Mergel-Verwitterungshorizont direkt unter einer Teeröl-Kontamination (GS3; 9,85 m)	210
Tab. 62:	Geologischer Überblick Deckgebirge, Standort TH	213
Tab. 63:	Hydrogeologischer Überblick, Standort TH	214
Tab. 64:	Grundwasserverunreinigung und Redox-Reaktions-sensible Parameter (Messung Okt./Nov. 1998, Standort TH, südliches Profil)	224
Tab. 65:	Grundwasserverunreinigung und Redox-Reaktions-sensible Parameter (Messung Okt./Nov. 1998, Standort TH, nördliches Profil)	225
Tab. 66:	Physikalische Eigenschaften und chemische Zusammensetzung einer Teerölphase aus der Grundwassermeßstelle B43, Standort TH, Probenahme 07.07.1997	227
Tab. 67:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort WE	240
Tab. 68:	Hydrogeologische Übersicht, Standort WE	241
Tab. 69:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort AV	249
Tab. 70:	Hydrogeologische Übersicht, Standort AV	250
Tab. 71:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort AL	254
Tab. 72:	Hydrogeologische Übersicht, Standort AL	255
Tab. 73:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort HO	260
Tab. 74:	Hydrogeologische Übersicht, Standort HO	262
Tab. 75:	Geologische Übersicht Deckgebirge, Standort GR	268
Tab. 76:	Hydrogeologische Übersicht, Standort GR	269
Tab. 77:	Grundwasser-Gefährdung durch ölige Kokereiprodukte in Abhängigkeit von deren Dichte und Viskosität	284

Fotoverzeichnis

- Foto 1: Filterstrecke im Kapillarbereich der Grundwassermeßstelle B33, Standort TH, Teufe 6,5 m;
schwarz: Teeröl, blau: Filterrohr, orange: Verockerung 233
- Foto 2: Teeröltropfen im Wurzelgeflecht der Filterstrecke der Grundwassermeßstelle B45, 70 cm
über der Grundwasseroberfläche (05.05.1998) 234
- Foto 3: Aufnahme direkt unter der Grundwasseroberfläche (Meßstelle B45, Standort TH), Beläge am
Filterrohr schwarz: Sulfide, orange: oxidisch, Verockerung (05.05.1998) 235

Anhangsverzeichnis

Anh. 1:	Tabellarische Zusammenstellung der Untersuchungsparameter Grundwasser, Vor-Ort-Parameter, Standorte WE, TH und GS	322
Anh. 2:	Tabellarische Zusammenstellung chemisch-physikalischer Grundwasser-Untersuchungsergebnisse ausgewählter Grundwassermeßstellen, Standorte GS, TH und MA	328
Anh. 3:	Langzeitprobenahmeversuche, Tabellarische Darstellung der Meßergebnisse, Standorte TH und MA	384
Anh. 4:	Bohrprofilardarstellung; petrographische und chemische Untersuchungen der Bohrungen: MA1, MA3, HA1, HA3, GS2, GS3, TH1 und TH3	388
Anh. 5:	Fotodokumentation Bohrkernaufnahme (Auswahl): Bohrung GS1	404
Anh. 6:	Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse chemisch-physikalischen und petrographischen Bodenuntersuchung	407
Anh. 7:	Auswertung der röntgendiffraktrometrischen Untersuchungen	431
Anh. 8:	Ergebnisbericht sequentielle Extraktion von Bodenproben	434