

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung und Methodik</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Strukturprofil Ruhrgebiet</b>	<b>11</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	11
3.2	Flächennutzung . . . . .	13
3.3	Aktive und ehemalige Bergbauaktivitäten im Ruhrgebiet	17
<b>4</b>	<b>Geologie und Hydrogeologie des Ruhrreviers</b>	<b>19</b>
4.1	Geologie des Ruhrreviers . . . . .	20
4.1.1	Stratigrafie . . . . .	20
4.1.2	Tektonik . . . . .	26
4.2	Hydrogeologie des Ruhrreviers . . . . .	30
4.2.1	Begriffsdefinitionen - Grubenwasser und Grundwasser . . . . .	30
4.2.2	Hydrogeologische Grundbegriffe . . . . .	31
4.3	Wässer im Ruhrrevier . . . . .	32
4.3.1	Wässer im Deckgebirge - Grundwasser . . . . .	33
4.3.2	Wässer im Steinkohlengebirge - Grubenwasser . . . . .	34
4.3.3	Bergmännische Wasserwirtschaft . . . . .	37
4.3.4	Trinkwasser . . . . .	40
4.4	Gesetzliche Rahmenbedingungen . . . . .	42

<b>5</b>	<b>Konkrete Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs</b>	<b>45</b>
5.1	Hebungen der Tagesoberfläche . . . . .	47
5.1.1	Bodenhebungen - Stand der Forschung . . . . .	47
5.1.1.1	Ursachen von Hebungen . . . . .	48
5.1.1.2	Prognoseverfahren und Hebungsmaße . . . . .	49
5.1.1.3	Zeitfaktor . . . . .	53
5.1.1.4	Auswirkungen auf die Tagesoberfläche . . . . .	54
5.1.2	Hebungen in verschiedenen Bergbaurevieren . . . . .	57
5.1.2.1	Südlimburger Revier . . . . .	57
5.1.2.2	Erkelenzer / Wassenberg Revier . . . . .	62
5.1.2.3	Ibbenbürener Revier . . . . .	68
5.1.2.4	Hebungen im Ruhrrevier . . . . .	70
5.2	Grubengas . . . . .	71
5.2.1	Entstehung und Migration von Grubengas . . . . .	71
5.2.2	Wirkung von Grubenwasser auf das Gasgefüge . . . . .	76
5.2.3	Interaktion von Grubengas mit der Umwelt . . . . .	77
5.2.3.1	Wasser und Grundwasser . . . . .	77
5.2.3.2	Luft . . . . .	80
5.2.3.3	Boden . . . . .	83
5.2.3.4	Bebauung . . . . .	84
5.3	Schächte . . . . .	86
5.3.1	Rechtliche Grundlagen . . . . .	86
5.3.2	Schachtklassifizierung . . . . .	87
5.3.3	Sicherung und Verwahrung . . . . .	88
5.3.4	Wechselwirkungen zwischen Grubenwasser und Schachtsäulen . . . . .	93
5.3.5	Beeinflussung von Schachtsäulen durch Gruben- wasser . . . . .	101
5.4	Tages- und oberflächennaher Altbergbau . . . . .	102
5.4.1	Entstehung von Tagesbrüchen und Senkungen . . . . .	102
5.4.2	Einflussparameter . . . . .	107
5.4.3	Wirkung von Grubenwasser . . . . .	107
5.4.4	Risikobewertung . . . . .	109

<b>6</b>	<b>Quantifizierung auswirkungsspezifischer Kosten</b>	<b>113</b>
6.1	Kostenbegriff . . . . .	115
6.2	Entscheidungsvariable Grubenwasserniveau $W$ . . . . .	117
6.3	Grubenwasserhaltungskosten . . . . .	117
6.3.1	Intervallbezogene Grubenwasserhaltungskosten . . . . .	119
6.3.1.1	Variable Grubenwasserhaltungskosten . . . . .	120
6.3.1.2	Sprungfixe Grubenwasserhaltungskosten . . . . .	122
6.3.1.3	Gesamtfunktion der Grubenwasserhaltungskosten . . . . .	127
6.3.2	Grubenwasserhaltungskosten als dauerhafte Kosten . . . . .	130
6.3.3	Grubenwasserhaltungskosten während des Grubenwasseranstiegs . . . . .	131
6.4	Hebungen der Tagesoberfläche . . . . .	135
6.4.1	Hebungsbedingte Bergschäden einer Störung . . . . .	136
6.4.1.1	Grundmodell der Hebungskosten einer Störung . . . . .	137
6.4.1.2	Anteil der von Bergschäden betroffenen Objekte $s$ . . . . .	141
6.4.1.3	Modellerweiterungen der Hebungskosten einer Störung . . . . .	144
6.4.1.4	Gesamtmodell der Hebungskosten einer Störung . . . . .	149
6.4.1.5	Hebungskosten bei Unsicherheit . . . . .	149
6.4.2	Hebungsbedingte Bergschäden einer Wasserhaltung . . . . .	150
6.4.2.1	Kostenberechnung durch Summation störungsspezifischer Kosten . . . . .	151
6.4.2.2	Allgemeine Kostenberechnung bei Unsicherheit . . . . .	152
6.4.3	Hebungsbedingte Bergschäden bei Betrachtung mehrerer Wasserhaltungen . . . . .	154
6.4.3.1	Kostenberechnung durch Summation störungsspezifischer Kosten . . . . .	155

6.4.3.2	Allgemeine Kostenberechnung bei Un- sicherheit . . . . .	156
6.4.4	Diskontierung der Hebungskosten . . . . .	179
6.5	Grubengas . . . . .	180
6.5.1	Kosten an bekannten Ausgasungsstellen . . . . .	181
6.5.1.1	Gebiets- und objektspezifische Kosten . . . . .	183
6.5.1.2	Diskontierung der Kosten . . . . .	185
6.5.2	Kosten an neuen Ausgasungsstellen . . . . .	186
6.5.2.1	Gebiets- und objektspezifische Kosten . . . . .	188
6.5.2.2	Diskontierung der Kosten . . . . .	190
6.5.3	Kosten in Abhängigkeit von der Ausgasungsdauer . . . . .	190
6.5.3.1	Maximale Ausgasungsdauer $T_{Amax}(W)$ . . . . .	191
6.5.3.2	Intervallbezogene Kosten $K_{GA, t_A}$ . . . . .	192
6.5.3.3	Diskontierung der Kosten . . . . .	193
6.5.4	Gesamtkostenfunktion Grubengas $K_G(W)$ . . . . .	194
6.6	Schächte . . . . .	194
6.7	Tages- und oberflächennaher Altbergbau . . . . .	196
6.8	Dynamische Diskontierung der Teilkostenfunktionen . . . . .	198
<b>7</b>	<b>Grubenwasserniveaubezogene Kostenoptimierung</b> . . . . .	<b>201</b>
7.1	Anwendbare Optimierungsmethoden . . . . .	202
7.2	Approximations- und Regressionsanalyse . . . . .	205
7.3	Gesamtkostenfunktion . . . . .	209
7.4	Nebenbedingungen . . . . .	209
7.4.1	Generelle Rahmenbedingungen . . . . .	209
7.4.2	Grundwasser . . . . .	210
7.4.3	Schutzbereiche und Nutzung der Grubenbaue . . . . .	210
7.4.4	Multiple Wasserhaltungszonen . . . . .	211
7.5	Univariate Optimierung . . . . .	212
7.6	Multivariate Optimierung . . . . .	213
7.7	Genauigkeit und Anwendung . . . . .	215
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>217</b>

---

<b>Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	<b>227</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>249</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>251</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>255</b>