

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Verzeichnis der Bilder	VII
Verzeichnis der Tabellen	XII
Verzeichnis der Anlagen	XIV
Legende für Fließbilder der Aufbereitungsverfahren	XV
1. BEDEUTUNG DER BAUSCHUTTENTSORGUNG FÜR DIE ABFALLWIRTSCHAFT DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND	 1
2. ENTSORGUNG VON BAUSCHUTT IM SPIEGEL DER GE SCHICHTE	 3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Altertum	5
2.3 Mittelalter	7
2.4 Beginn der industriellen Revolution (Neuzeit)	9
2.5 Bauschuttentsorgung im 20. Jahrhundert	10
2.5.1 Allgemeines	10
2.5.2 Trümmerbeseitigung und -entsorgung	12

2.5.2.1.	Grundlegendes	13
2.5.2.2	Menge und Zusammensetzung	14
2.5.3	Aufbereitung von Trümmerschutt	20
2.5.3.1	Allgemeines	20
2.5.3.2	Trockenaufbereitung von Trümmerschutt	22
2.5.3.3	Naßaufbereitung	26
2.5.3.4	Thermische Aufbereitung	30
2.5.4	Verwertung von aufbereitetem Trümmerschutt	32
2.5.5	Verwertung und Ablagerung	35
2.5.6	Trümmerräumung und -verwertung nach der ersten Aufbauphase	37
2.6	Bauschuttentsorgung heute	41
2.6.1	Bauschuttentsorgung bis zu den 80er Jahren	41
2.6.2	Gegenwärtige Entsorgung von Bauschutt	44
3.	STAND DER TECHNIK	49
3.1	Allgemeines	49
3.2	Aufbereitungstechniken	52
3.2.1	Trockenaufbereitung	57
3.2.2	Naßaufbereitung	60
3.3	Praxis der Verwertung	63
3.3.1	Allgemeines	63

3.3.2	Verwertung von aufbereitetem Bauschutt im Betonbau	66
3.3.3	Verwertung von aufbereitetem Bauschutt im Erd- und Straßenbau	69
3.3.4	Deponierung von Bauschutt	73
4.	EINFLÜSSE DER BAUSCHUTTENTSORGUNG AUF DIE UMWELT	77
4.1	Allgemeines	77
4.2	Entstehung von Bauschutt	79
4.3	Umweltbeeinträchtigungen durch die Aufbereitung von Bauschutt	80
4.4	Umwelteinflüsse durch Ablagerung von Bauschutt	85
4.5	Umweltbelastungen durch die Verwertung von aufbereitetem Bauschutt und sonstigen Nebenprodukten	88
5.	UNTERSUCHUNGEN ZUR WASSER- UND ABFALL- WIRTSCHAFTLICHEN RELEVANZ DER BAUSCHUTT- ENTSORGUNG	92
5.1	Allgemeines	92
5.2	Anforderungen und Grundlagen von Auslaugversuchen	93

5.3	Untersuchungsmethoden	96
5.3.1	Schüttelversuche	96
5.3.2	Perkolations- und Lysimeterversuche im Labormaßstab	98
5.3.3	Einflußfaktoren auf das Auslaugverhalten im Labormaßstab	101
5.3.3.1	Einflüsse durch den Eluenten	101
5.3.3.2	Einflüsse durch das Feststoff/Lösemittel-Verhältnis	103
5.3.4	Feldversuche mit Großlysimeter und Grundwasserüberwachung	104
6.	Eigene Untersuchungen zur Bauschutttaufbereitung und -verwertung	107
6.1	Zielsetzung und Vorgehensweise	107
6.2	Einflußnahme auf die Produktqualität durch die Aufbereitungsverfahren	111
6.2.1	Effizienz der Aufbereitungstechniken hinsichtlich wasserwirtschaftlicher Parameter	111
6.2.1.1	Wirkungsgrad der Trockenaufbereitung mit Windsichtung	112
6.2.1.2	Wirkungsgrad der Naßaufbereitung	115
6.2.2	Untersuchungsergebnisse von Reststoffen aus der Trocken- und Naßsichtung	119
6.2.2.1	Untersuchungsergebnisse der Reststoffe aus der Trockensichtung	120
6.2.2.2	Untersuchungsergebnisse der Reststoffe Schlamm und Washwasser aus der Naßsichtung	121

6.2.2.3	Bewertung der Reststoffe und ihrer Entsorgung	122
6.3	Auslaugeverhalten der aufbereiteten Bauschuttmaterialien	124
6.3.1	Vorbemerkung	124
6.3.2	Ergebnisse von Elutionsuntersuchungen	135
6.3.2.1	Physikalisch-chemische Beschaffenheit der Eluate	135
6.3.2.2	Kat- und Anionengehalte im Eluat	136
6.3.2.3	Organische Summenparameter	139
6.3.2.4	Stickstoffverbindungen	140
6.3.2.5	Schad- und Störstoffe	141
6.3.2.6	Schwermetalle	143
6.3.2.7	Vergleich der Endprodukte aus Bauschutt- aufbereitungsanlagen mit unterschiedlicher Ver- fahrenstechnik	147
6.3.3	Wasserwirtschaftliche Bewertung der Ergeb- nisse des Auslaugungsverhaltens von aufbe- reiteten Bauschuttmaterialien	150
6.3.3.1	Grundlagen zur Beurteilung	150
6.3.3.2	Abschätzung möglicher Auswirkungen auf das Grundwasser durch aufbereitete Produkte	152
6.3.3.3	Grenzwertbetrachtungen	154
6.4	Untersuchungen zur Korrosionswirkung	160
6.4.1	Einwirkungen auf Beton und Eisenwerkstoffe	160
6.4.2	Mögliche Einwirkungen auf metallische Werk- stoffe	161
6.4.2.1	Untersuchungsergebnisse zur Beurteilung von Metallkorrosion	161
6.4.2.2	Beurteilung der korrosiven Wirkung von Vor- absiebungsmaterial	162

6.4.3	Einwirkung auf Betonwerkstoffe	165
6.4.3.1	Untersuchung zur Beurteilung des Beton- angriffs	165
6.4.3.2	Beurteilung der betonangreifenden Wirkungen	165
6.4.4	Zusammenfassende Bewertung der korrosiven Einwirkungen durch aufbereitete Bauschutt- materialien	167
6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	167
7.	BEDINGUNGEN UND KONZEPTE EINER KÜNFTIGEN BAUSCHUTTENTSORGUNG	171
7.1	Ausgangssituation hinsichtlich Mengen und Zusammensetzung	171
7.2	Rechtliche Rahmenbedingungen einer künf- tigen Bauschuttentsorgung	177
7.3	Organisationsformen	181
7.4	Technische Konzepte	184
8.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	188
9.	LITERATURVERZEICHNIS	194
	Anhang	213

VERZEICHNIS DER BILDER

	Seite
Bild 1: Trümmersmassen und Fortschritt der Enttrümmerung von 1950 bis 1952 in 38 Städten der Bundesrepublik und Westberlin [22,23,49]	16
Bild 2: Zusammensetzung des Trümmerschutts in verschiedenen Städten nach [28,50]	17
Bild 3: Ziegelsteinbergung und Ziegelsplitterzeugung in den Jahren 1945 bis 1950 am Beispiel einer Großstadt nach [31]	19
Bild 4: Sulfatgehalt im Trümmerschutt in Abhängigkeit von der Korngröße und Herkunft nach [27]	20
Bild 5: Trockenaufbereitung von Trümmerschutt mit einer mobilen Anlage durch einen einstufigen Brechvorgang bei einem Durchsatz von 7-8 m ³ /h nach [28]	23
Bild 6: Trockenaufbereitung von Trümmerschutt durch einen zweistufigen Brechvorgang bei einem Durchsatz von 6 m ³ /h nach [28]	24
Bild 7: Trockenaufbereitung von Trümmerschutt durch eine zweistraßige Aufbereitung mit mehrstufigen Brechvorgängen für einen Durchsatz von 65 m ³ /h nach [35]	25
Bild 8: Naßaubbereitung von Trümmerschutt mit parallel betriebenen Brechern und zweistufiger Wäsche nach [28,38,39]	27
Bild 9: Naßaufbereitung von Trümmerschutt mit Wäsche der Teilfraktion 0-15 mm nach [25]	28

Bild 10:	Vorschlag einer Verfahrenstechnik zur Naßaufbereitung mit differenzierter Behandlung verschiedener Kornfraktionen nach [40]	29
Bild 11:	Zweistraßige Aufbereitungsanlage mit thermischer Behandlung der gipsreichen Teilfraktion 0-35 mm mit Detail der Sinterung nach [31,41]	30
Bild 12:	Verwertung und Unterbringung von Trümmerschutt am Beispiel der Stadt Essen nach [17]	35
Bild 13:	Ziegelsplitterzeugung in einigen ausgewählten Städten nach [23,50]	38
Bild 14:	Fortgang der Trümmerschuttbeseitigung in den Städten mit mehr als 1 Mio. m ³ Trümmerschutt nach [21,22,23,49,53]	40
Bild 15:	Aufkommen an Bodenaushub, Straßenaufbruch und Bauschutt in der Bundesrepublik Deutschland und Nordrhein Westfalen nach den Erhebungen des Statistischen Bundes- bzw. Landesamtes	45
Bild 16:	Bauschuttzusammensetzung differenziert nach verwertbaren und abzutrennenden Anteilen	50
Bild 17:	Angelieferte Rohbauschuttzusammensetzung zweier Aufbereitungsanlagen mit unterschiedlicher Verfahrenstechnik 1985-1988/89	51
Bild 18:	Gegenüberstellung von Bauschuttzusammensetzung und mineralischem Anteil von Baustellenmischabfällen	52
Bild 19:	Systematik der Bauschuttaufbereitung	53

Bild 20:	Verfahrensschema und Massenflußdiagramm einer Trockenaufbereitung mit zweistufigem Brechvorgang sowie Klassierung nach dem 1. Brechvorgang	58
Bild 21:	Verfahrensschema und Massenflußdiagramm einer Trockenaufbereitung mit Windsichtung	59
Bild 22:	Verfahrensschema und Massenflußdiagramm einer Naßaufbereitung mit Schwertwäsche	61
Bild 23:	Verfahrensschema und Massenflußdiagramm einer Naßaufbereitung mit einem Aquamator	62
Bild 24:	Körnungsbänder von Endprodukten aus einer Anlage mit Naßaufbereitung (oben) bzw. Trockenaufbereitung (unten)	65
Bild 25:	Systematik der Bauschuttentsorgung mit relevanten Umweltbeeinträchtigungen	78
Bild 26:	Mechanismen möglicher Grundwasserbeeinträchtigungen beim Einsatz von aufbereitetem Bauschutt im Erd- und Straßenbau	89
Bild 27:	Versuchseinrichtungen für Lysimeterversuche im Labormaßstab	109
Bild 28:	Bilanzierung der Eluierbarkeit von Calcium, Sulfaten sowie Chloriden bei einem Aufbereitungsverfahren mit Windsichtung	113
Bild 29:	Bilanzierung der Eluierbarkeit des CSB und der Gesamtphenole bei einem Aufbereitungsverfahren mit Windsichtung	114

Bild 30:	Bilanzierung der Eluierbarkeit von Calcium, Sulfaten sowie Chloriden bei einem Aufbereitungsverfahren mit Naßsichtung (Aquamator)	115
Bild 31:	Bilanzierung der Eluierbarkeit des CSB und der Gesamt-Phenole bei einem Aufbereitungsverfahren mit Naßsichtung (Aquamator)	116
Bild 32:	Bilanzierung der Eluierbarkeit von Calcium, Sulfaten sowie Chloriden bei einem Aufbereitungsverfahren mit Schwertwäsche	117
Bild 33:	Bilanzierung der Eluierbarkeit des CSB und der Gesamt-Phenole bei einem Aufbereitungsverfahren mit Schwertwäsche	118
Bild 34:	Abhängigkeiten der Eluatkonzentration von Calcium, Sulfat, Chlorid, CSB und Chrom für Schüttel- und Lysimeterversuche mit Vorabsiebungen sowie Endprodukten	127
Bild 35 :	Eluierbarkeit und Summe der Eluierbarkeit von Calcium, Sulfat, Chlorid und des CSB eines Endproduktes in Abhängigkeit vom Sickerwasseranfall	128
Bild 36:	Ausbeute an Calcium, Chlorid, Sulfat und CSB in Abhängigkeit unterschiedlicher Untersuchungsmethoden (Bezugsgröße DEV-S4-Schüttelversuche mit analysenfeinem Material)	129
Bild 37:	Gegenüberstellung der relativen Eluierbarkeiten mittels DEV-S4-Schüttel- und Lysimeterversuchen für die Parameter Calcium, Sulfate, Chloride, CSB und Gesamt-Phenole von Vorabsiebungen und Endprodukten (Bezugsgröße Maximalwert der Schüttelversuche 100%)	131
Bild 38:	Ausbeute an Schwermetallen in Abhängigkeit unterschiedlicher Untersuchungsmethoden (Bezugsgröße DEV-S4-Schüttelversuche mit analysenfeinem Material)	132

Bild 39:	Gegenüberstellung der relativen Eluierbarkeiten mit DEV-S4-Schüttel und Lysimeterversuchen für die Parameter Blei, Chrom und Kupfer von Vorabsiebungen und Endprodukten (Bezugsgröße Maximalwert der Schüttelversuche 100%)	134
Bild 40:	Vergleich der Eluierbarkeit von Calcium durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	137
Bild 41:	Vergleich der Eluierbarkeit von Chloriden durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	137
Bild 42:	Vergleich der Eluierbarkeit von Sulfaten durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	138
Bild 43:	Vergleich der Eluierbarkeit des CSB durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	140
Bild 44:	Vergleich der Eluierbarkeit der Gesamt-Phenole durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	142
Bild 45:	Vergleich der Eluierbarkeit von Chrom durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	144
Bild 46:	Vergleich der Eluierbarkeit von Blei durch Schüttel- und Lysimeterversuche für Vorabsiebungen und Endprodukte	146
Bild 47:	Anteilige Wohnungsabgänge von 1978 bis 1986 in Abhängigkeit vom Baualter	172
Bild 48:	Baustoffeinsatz im Hochbau 1949 bis 1987	174

VERZEICHNIS DER TABELLEN

	Seite
Tabelle 1: Zusammensetzung von aufbereitetem Bauschutt (Endprodukte)	64
Tabelle 2: Schalleistungen verschiedener Teilsysteme von Aufbereitungsanlagen nach [58,101,102,103]	81
Tabelle 3: Auslaugeraten von Reststoffen aus der Trocken- und Naßsichtung sowie Waschwasserkonzentrationen	119
Tabelle 4: Verhältniswerte der maximalen Konzentrationen von Schüttel- und Lysimeterversuchen für unterschiedliche Parameter und Produkte	125
Tabelle 5: Vergleich der Auslaugeraten von Vorabsiebungen aus Aufbereitungsanlagen mit unterschiedlicher Verfahrenstechnik	148
Tabelle 6: Vergleich der Auslaugeraten von Endprodukten aus Aufbereitungsanlagen mit unterschiedlicher Verfahrenstechnik	149
Tabelle 7: Eluierbarkeit von Vorabsiebungen mit Schwankungsbreiten sowie Vergleich mit ausgewählten Grenz- und Richtwerten	156
Tabelle 8: Eluierbarkeiten von aufbereitetem Bauschutt mit Schwankungsbreiten sowie Vergleich mit ausgewählten Grenz- und Richtwerten	157

Tabelle 9: Beurteilung von Vorabsiebungsmaterial hinsichtlich der Korrosionswahrscheinlichkeit	164
Tabelle 10: Beurteilung von Vorabsiebungen und Endprodukten hinsichtlich betonangreifender Wirkung	166

VERZEICHNIS DER ANLAGEN

- Anlagen 1.1 - 25.1 Häufigkeitsverteilung chemischer und chemisch-physikalischer Parameter im Eluat von Vorabsiebungen und Endprodukten
- Anlagen 1.2 - 25.2 Häufigkeitsverteilung chemischer und chemisch-physikalischer Parameter im Eluat von Endprodukten aus Bauschuttzubereitungsanlagen mit Naß- und Trockenaufbereitung
- Anlagen A1 - A3 Zusammenstellung von relevanten Grenzwerten
- Anlagen A4.1 - A11 Zusammenstellung der Analysenwerte von Elutionsversuchen mit Schüttel- bzw. Perkulations-/Lysimeterversuchen