

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG DER ARBEIT	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Mögliche Lösungen	3
1.3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	5
2	GRUNDLAGEN UND STAND DER ERKENNTNISSE	7
2.1	Begriffsdefinition	7
2.2	Einsatzgebiete von Retentionsbodenfiltern	7
2.3	Der Bodenkörper als Reaktor zur Reinigung von verschmutztem Wasser	9
2.3.1	Geschichtliche Entwicklung	9
2.3.2	Wasserbewegung im Boden	11
2.3.3	Reinigungsmechanismen	12
2.3.3.1	Mechanischer Rückhalt partikulärer Stoffe	13
2.3.3.2	Rückhalt gelöster Stoffe	14
2.3.3.3	Um- und Abbau von Wasserinhaltsstoffen durch Stoffwechselprozesse	19
2.3.4	Bepflanzung	20
2.3.5	Betriebliche Einflussfaktoren	23
3	BODENFILTERANLAGEN IN DEUTSCHLAND	25
3.1	In Betrieb befindliche Anlagen	26
3.2	Ansätze zur Bemessung von Retentionsbodenfiltern	26
3.2.1	Bemessungsvorschlag der LfU Baden-Württemberg	26
3.2.2	Verschiedene Vorgehensweisen in Nordrhein-Westfalen	27
3.3	Baukosten von Bodenfilterbecken	28
4	BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	36
4.1	Das Einzugsgebiet des Retentionsbodenfilters Fulda Fellenweg	36
4.2	Beschreibung der Pilotanlage Fulda Fellenweg	39
4.2.1	Regenüberlauf	44
4.2.2	Siebanlage	45
4.2.3	Umlenkbauwerk	46
4.2.4	Bodenfilterbecken	47
4.2.5	Notüberlauf	49
4.2.6	Ablaufschacht	50
5	MATERIAL UND METHODEN	51
5.1	Messtechnik	51
5.2	Probenahme	53

5.3	Analytik	53
5.4	Bestimmung der Durchlässigkeit	55
5.5	Bestimmung des drainbaren Porenvolumens	59
6	BETRIEB DES BODENFILTERBECKENS FULDA	60
6.1	Drosselabfluss und Einstauhöhe in Filterschicht und Becken	60
6.2	Einstauereignisse und hydraulische Belastung	62
6.3	Stoffliche Belastung	63
6.3.1	Zulaufkonzentrationen	63
6.3.2	Frachtproportionale mittlere Zulaufkonzentrationen	66
6.3.3	Exemplarische Darstellung einzelner Ereignisse	69
6.3.4	Organischer Anteil der Feststofffracht	73
6.3.5	Feststoffflächenbelastung	74
7	REINIGUNGSLEISTUNG DES BODENFILTERS	76
7.1	Frachtbilanzen	76
7.2	Ergebnisse einzelner Mischproben partikulär gebundener Stoffe	80
8	DURCHLÄSSIGKEITSVERHALTEN DES FILTERS	82
8.1	Vorbemerkungen	82
8.2	Bestimmung der Durchlässigkeit an einzelnen Punkten	82
8.3	Bestimmung der Gesamtdurchlässigkeit	83
8.4	Zustand und Einfluss der Drainageleitung	84
8.5	Bestimmung des drainbaren Porenvolumens	85
9	DISKUSSION UND EINORDNUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	88
9.1	Zulaufbelastung	88
9.1.1	Vergleich mit Literaturwerten	88
9.1.2	Vergleich mit der Bodenfilteranlage Waldangelloch	91
9.1.3	Wirkung der vorgeschalteten Stufe	91
9.1.4	Organischer Anteil der eingetragenen Feststoffe	93
9.2	Reinigungsleistung und Prozessstabilität	95
9.3	Filterstabilität	97
9.4	Bemessung	99
9.4.1	Vergleich der Betriebsergebnisse Fulda mit den Bemessungsvorschlägen der LfU	99
9.4.2	Schlussfolgerungen für die Bemessung	100

9.5 Lebensdauer	102
10 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	104
11 LITERATUR	108
12 VERZEICHNIS DES ANHANGES	116

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Gefährdungspotenzial für Gewässer durch Mischwasserentlastungen	1
Abbildung 2:	Empfohlene Kornverteilungskurve von Sand für die Mischwasserreinigung (LFU, 1998)	18
Abbildung 3:	Spezifische Kosten von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem in Abhängigkeit vom Retentionsvolumen (Bezugsjahr 1995) (aus LFU, 1998)	30
Abbildung 4:	Spezifische Kosten für Bodenfilterbecken in Abhängigkeit vom Retentionsvolumen (Bezugsjahr 1997) (aus BORN, 1997)	31
Abbildung 5:	Volumenspezifische Bruttobaukosten von 19 Retentionsbodenfiltern im Mischsystem (Anlagen aus Baden-Württemberg, Hessen und NRW)	33
Abbildung 6:	Filterflächenspezifische Bruttobaukosten von 19 Retentionsbodenfiltern im Mischsystem (Anlagen aus Baden-Württemberg, Hessen und NRW)	34
Abbildung 7:	Durchschnittliche Anteile einzelner Kostengruppen an den gesamten Baukosten von Bodenfilterbecken	35
Abbildung 8:	Ausschnitt aus der topographischen Karte Blatt 5424 Fulda (HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT, 1993) mit Standort des Retentionsbodenfilters	38
Abbildung 9:	Einzugsgebiet des Retentionbodenfilters Fulda Fellenweg	38
Abbildung 10:	Systemdarstellung der Anlage Fulda Fellenweg	41
Abbildung 11:	Filteraufbau des Bodenfilters Fulda Fellenweg	48
Abbildung 12:	Darstellung des Drainsystems im Bodenfilterbecken	48
Abbildung 13:	Druck- und Energielinie bezogen auf die Drainrohrachse	57
Abbildung 14:	Ganglinien des Einstauereignisses vom 20.8.1995	68
Abbildung 15:	Ganglinien des Zuflusses, der CSB-Fracht und der CSB-Konzentration	70
Abbildung 16:	Normierte CSB-Fracht in Abhängigkeit vom normierten Abflussvolumen zum Erkennen eines Spülstoßes	71
Abbildung 17:	Zeitlicher Verlauf der normierten Frachten	72
Abbildung 18:	Einstauereignis mit mehrstündigen Zulaufunterbrechungen	73
Abbildung 19:	Mittlere Konzentrationen organischer und mineralischer Feststoffe eines Ereignisses im Zulauf zum Bodenfilterbecken	74
Abbildung 20:	Stickstoff im Ablauf der Bodenfilteranlage Fulda Fellenweg	81
Abbildung 21:	Zeitlicher Verlauf von Zufluss zum RBF, Wasserstand im Becken und Druckhöhe am Drainrohr	86
Abbildung 22:	Unterschreitungshäufigkeiten von CSB-Ablaufkonzentrationen	96

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Hauptwirkrichtung von Maßnahmen zur Verbesserung der Situation mischwasserbelasteter Gewässer	4
Tabelle 2:	Anforderungen an den Filteraufbau	14
Tabelle 3:	Bodenkennwerte von Retentionsbodenfiltern mit bindigem und sandigem Bodensubstrat vor Betriebsbeginn (BRUNNER et al., 1999)	16
Tabelle 4:	Redoxprozesse und ihre freie Reaktionsenthalpie (umgerechnet auf pH 7) (BAVEYE et al., 1998)	20
Tabelle 6:	Vorgaben für die Bemessung von Retentionsbodenfiltern im Misch- und Trennsystem (LFU, 1998)	27
Tabelle 7:	Anteile einzelner Kostengruppen am Gesamtbaupreis in Prozent (11 Bodenfilterbecken im Mischsystem)	35
Tabelle 8:	Jahresniederschlagshöhen umliegender Messstationen in mm (Quelle: Deutscher Wetterdienst)	39
Tabelle 9:	Kenndaten der Bodenfilteranlage Fulda Fellenweg	43
Tabelle 10:	Tatsächliche und für die Bemessung angesetzte spezifische Größen	44
Tabelle 11:	Bodenkennwerte des Retentionsbodenfilters Fellenweg im Vergleich zu anderen Anlagen (BRUNNER et al., 1999) bei Betriebsbeginn	49
Tabelle 12:	Messverfahren und Zweck der Messung an verschiedenen Messorten	52
Tabelle 13:	Analyseverfahren	54
Tabelle 14:	Drosselabfluss und Schaltwasserstände im Versuchszeitraum	61
Tabelle 15:	Einstauereignisse und Notentlastungen	62
Tabelle 16:	Statistische Auswertung der Messwerte im Zulauf zum Bodenfilterbecken (Datengrundlage: Mischproben)	64
Tabelle 17:	Mittleres CSB/BSB ₅ -Verhältnis im Zulauf zum RBF Fulda Fellenweg (aus Stichproben)	66
Tabelle 18:	Zulauffrachten und aus der Frachtbilanz errechnete mittlere Konzentrationen	67
Tabelle 19:	Vergleich mittlerer Zulaufkonzentrationen (1994-1998) errechnet aus Frachtbilanzen (MWFb) und aus Einzelproben (MWEP)	68
Tabelle 20:	Konzentrationen der Einzelproben und Vergleich mittlerer Zulaufkonzentrationen errechnet aus Einzelproben und aus Frachtbilanzen für das Einstauereignis am 20.8.1995	69
Tabelle 21:	Basisdaten zur Hochrechnung der Feststoffflächenbelastung in den fünf Betriebsjahren	75
Tabelle 22:	Übersicht über Frachten, Konzentrationen (Ermittlung aus Frachtbilanz), Wirkungsgrade der Anlage sowie die Anzahl der zu Grunde liegenden Ereignisse	77
Tabelle 23:	Statistische Auswertung der Messwerte im Ablauf des Bodenfilterbeckens (Datengrundlage: Mischproben)	79
Tabelle 24:	Durchlässigkeitsbeiwerte und Anteil der Verluste im Drainrohr	84

Tabelle 25:	Ermittlung des drainbaren Porenvolumens aus je einem Einstauereignis der Jahre 1995 bis 1998	87
Tabelle 26:	Konzentrationen belastungsrelevanter Parameter im entlasteten Mischwasser in Fulda Fellenweg im Vergleich zu Angaben in der Literatur (nach FISCHER, 1998). Angegeben sind Mittelwerte bzw. die Schwankungsbreite von Messreihen.	90
Tabelle 27:	Vergleich der Zulaufkonzentrationen der RBF Waldangelloch und Fellenweg	91
Tabelle 28:	Mittlere Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen des Bodenfilterbeckens Fulda Fellenweg (ermittelt aus Frachtbilanz)	96
Tabelle 29:	Drosselabfluss, eingetragene und emittierte AFS-Fracht der Einstauereignisse mit über 100 m ³ Volumen bei erhöhtem Drosselabfluss	99
Tabelle 30:	Vergleich der Bemessungsvorschläge der LfU Baden-Württemberg mit Betriebsergebnissen aus Fulda 1996 bis 1998	100