

# **Ermittlung von Belastungsgrenzen an Bodensubstraten zur weitergehenden Mischwasserbehandlung in Retentionsbodenfiltern**

vom Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen der  
Technischen Universität Kaiserslautern zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation

Vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Renata Woźniak**

**Kaiserslautern 2008**

**(D 386)**

Dekan: Prof. Dr. G. Troeger-Weiß

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. K. Tobias

1. Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. T.G. Schmitt

2. Berichterstatter: Univ.Prof. DI Dr.nat.techn. Raimund Haberl

**Tag der mündlichen Prüfung: 16. Mai 2007**

# INHALT

1	Einleitung .....	1
1.1	Veranlassung.....	1
1.2	Zielsetzung .....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Kenntnisstand zur Abwasserbehandlung in Bodenfiltern .....	4
2.1	Themaabgrenzung und Begriffsdefinitionen.....	4
2.1.1	Weitergehende Mischwasserbehandlung.....	4
2.1.2	Einsatzgebiete der Bodenfilter .....	6
2.1.3	Konstruktion und Betrieb von RBF .....	7
2.2	Reinigungsprozesse in Retentionsbodenfiltern .....	9
2.2.1	Rückhalt von Feststoffen.....	9
2.2.2	Rückhalt von gelösten Stoffen.....	10
2.2.3	Biomasse und Bioaktivität .....	18
2.3	Zur Belastungsgrenze der Bodenfilter .....	23
2.3.1	Kolmation in Vertikalfiltern.....	23
2.3.2	Filtergeschwindigkeit.....	26
2.3.3	Stofflimitierung am Biofilm.....	27
3	Bodenphysikalische und – chemische Grundlagen .....	29
3.1	Eigenschaften der Filtersubstrate.....	29
3.1.1	Kornform und Kornoberfläche .....	30
3.1.2	Korngefüge und Porosität .....	30
3.2	Wasserhaushalt und –bewegung in Böden .....	32
3.2.1	Infiltration .....	33
3.2.2	Entwässerung .....	34
3.3	Zusammensetzung und Dynamik der Bodenluft.....	36
3.3.1	Sauerstoffhaushalt in Bodenfiltern.....	37
3.3.2	Sauerstoffeintragswege .....	37
3.4	Redoxverhältnisse in Böden und Wasser.....	43
3.4.1	Grundbegriffe.....	43
3.4.2	Redoxpotentiale in Böden und Abwasser.....	44
3.4.3	Einflussfaktoren auf das Redoxpotential .....	46
3.5	Zusammenfassung des Kenntnisstandes und Wissensdefizite .....	48
4	Material und Methoden der Laborversuche .....	51
4.1	Untersuchungsprogramm .....	51
4.2	Beschreibung des Versuchsstandes .....	52
4.3	Beschreibung der Substrate.....	54
4.4	Belastungs- und Betriebsbedingungen .....	56
4.5	Erfassung von Messdaten .....	60
4.5.1	Hydraulisches Verhalten .....	60
4.5.2	Stofftransport in der gelösten Phase .....	61
4.5.3	Stoffrückhalt.....	61
4.5.4	Online-Messdaten – Erfassung und Wartung der Messgeräte .....	62
4.6	Bodenuntersuchungen.....	66

4.6.1 Bestimmung der Biomasse .....	66
4.6.2 Weitere Parameter .....	67
4.7 Datenbilanzierung .....	68
5 Ergebnisse und Diskussion .....	70
5.1 Bodenphysikalische Eigenschaften und hydraulisches Verhalten .....	73
5.1.1 Porosität und Sättigungsgrad .....	73
5.1.2 Hydraulisches Verhalten .....	74
5.1.3 Tracerversuch .....	76
5.1.4 Zusammenfassung der bodenmechanischen und hydraulischen Eigenschaften .....	78
5.2 Reinigungsleistung bezüglich CSB und Ammonium .....	79
5.2.1 Einfahrphase .....	79
5.2.2 Variation des Beschickungsvolumen und der Zulaufkraft .....	82
5.2.3 Variation der Drosselabflussspende .....	93
5.2.4 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse .....	102
5.3 Milieubedingungen .....	104
5.3.1 Milieubedingungen im Standardbetrieb (Rheinsand) .....	104
5.3.2 Extreme Ereignisse .....	108
5.3.3 Einfluss der Drosselabflussspenden auf den Sauerstoffverbrauch .....	113
5.3.4 Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse .....	119
5.4 Gesamtbetrachtung der Beschickung .....	121
5.4.1 Vergleich der Substrate .....	121
5.4.2 Nitratbetrachtung .....	127
5.4.3 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse .....	132
5.5 Verteilung der Biomasse .....	133
6 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick .....	137
6.1 Luft- und Wassertransport .....	137
6.2 Prozessbeschreibung .....	138
6.2.1 Rückhalt organischer Verbindungen .....	139
6.2.2 Ammoniumrückhalt und Nitrifikation .....	139
6.2.3 Denitrifikation .....	140
6.3 Einfluss der Substrateigenschaften und der Drosselabflussspende auf die Bemessung der Retentionsbodenfilter .....	141
6.4 Steuerung des Filterbetriebes .....	141
6.5 Forschungsbedarf .....	142
7 Literatur .....	144