

**Rückhalt hygienerrelevanter Bakterien in
mischwasserbeschickten Retentionsbodenfiltern
- Konstruktive Hinweise**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für

Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Umweltwiss. Richard K. Orb

aus Mertingen

Tag der mündlichen

Prüfung: 23.05.2012

Hauptreferent: em. Prof. Dr.-Ing. E.h. Hermann H. Hahn, Ph.D.

Korreferentin: Prof. Dr. Ursula Obst

Karlsruhe 2012

Kurzfassung

Ziel der Arbeit ist, für den ingenieurpraktischen Bau und Betrieb von mischwasserbeschickten Retentionsbodenfiltern als eigenständiges Verfahren mit Hygieneanforderungen einen optimierten Lösungsansatz für einen hohen Bakterienrückhalt zu entwickeln.

Um die komplexen Vorgänge zu realisieren, erfolgten die Untersuchungen auf mehreren Versuchsebenen. Es sind Untersuchungen an Großanlagen und im Technikumsversuch durchgeführt worden. Der Technikumsversuch wurde mit Mischwasser beschickt, so dass während der Versuche realitätsnahe Bedingungen abgebildet wurden.

Die Ergebnisse belegen, dass Filtersande mit einer konfektionierten Filtermatrixzusammensetzung und intermittierender Betriebsweise sehr hohe log-Reduzierungen um 3 bis 5 der hygienerlevanten Bakterien *E. coli* und intestinale Enterokokken erzielen.

Mit den Untersuchungsergebnissen konnte gezeigt werden, dass der Schwerpunkt für einen hohen Rückhalt der hygienerlevanten Bakterien in Retentionsbodenfiltern auf der Hybrid-Lösung bestehend aus Betriebsbedingung und Rückhalte Mechanismen liegt. Die Kombination aus Betriebsbedingung und Rückhalte Mechanismen zeigt sich als eine effiziente und wirtschaftliche Lösung, da Retentionsbodenfilter im Unterschied zu Langsamsandfiltern betriebsbedingt nicht auf einen prioritären Mechanismus zur Abscheidung der Bakterien regelbar sind. Im praktischen Betrieb des Filters bildet sich durch die wechselnden hydraulischen, stofflichen und zeitlichen Belastungen kaum ein Gleichgewichtszustand in der Filtermatrix aus, so dass die Steuerung von einem einzelnen Rückhalte Mechanismus nicht sinnvoll ist. Vielmehr ist der Filter so zu modifizieren, dass die physikalisch-chemisch und/oder bio-chemisch bedingte Rückhaltung je nach wechselnden Systemzuständen verbessert wirksam werden kann. Hierbei wird die verbesserte Wirksamkeit durch die Betriebsbedingung mit den Systemparametern Filtergeschwindigkeit, Korndurchmesser und Filtertiefe in Bezug zu den betrachteten Bakteriengrößen erzeugt.

Mit diesen Zusammenhängen zeigten sich für optimierte, konsolidierte Filtersande intermittierender Betrieb und mehrwöchige Trockenphasen ohne wesentlichen Einfluss auf den sehr hohen Rückhalt der Bakterien.

Kurzfassung

Mineralogische Einflüsse der Filtersande auf einen verbesserten Bakterienrückhalt konnten fast nicht festgestellt werden. Kolmation spielte bei den Filtersanden mit hoher Rückhaltewirkung kaum eine Rolle.

VERZEICHNISSE

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	III
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungen und Symbole	X
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
2. Grundlagen und Kenntnisstand	10
2.1 Hygiene als Verfahrensziel mit Sandfiltration	11
2.1.1 Historie	11
2.1.2 Langsandsandfilter	12
2.1.3 Modifizierter Sandfilter - Retentionsbodenfilter	14
2.1.3.1 Aufbau und Betrieb	14
2.1.3.2 Einflüsse auf die Rückhaltung hygienerelevanter Bakterien.....	15
2.1.4 Zusammenfassung	17
2.1.5 Bewertung der Ablaufqualität	18
2.1.5.1 Bakteriologisch-hygienische Qualität des Filterablaufs	18
2.1.5.2 Filterdurchbruch hygienerelevanter Bakterien.....	18
2.1.5.3 NH ₄ -N-Durchbruch	19
2.2 Mikrobiologie.....	20
2.2.1 Biofilm	20
2.2.2 Änderung der Filterkornoberfläche im wässrigen Medium	21
2.2.3 Bakterien	22
2.2.4 Stabilität von Mikroorganismen in wässriger Phase	23
2.2.5 Zusammenfassung	24
2.3 Partikelabscheidung.....	25
2.3.1 Einführung	25
2.3.2 Makroskopisches Filterverhalten	27
2.3.3 Mikroskopische Behandlung der Bakterienabscheidung	30
2.3.3.1 Adhäsion von Bakterien.....	30
2.3.3.2 Filterkornoberfläche	31
2.3.3.3 Zelloberfläche.....	32
2.3.3.4 Medium Mischwasser	33
2.3.4 Zusammenfassung	37
2.4 Kolmation.....	37
2.4.1 Einführung	37
2.4.2 Mischwasser.....	38
2.4.3 Innere Kolmation	39
2.4.4 Zusammenfassung	40
2.5 Bodenkennwerte	40

VERZEICHNISSE

2.6 Ausgangsfragen und Zielsetzung der Arbeit.....	41
3. Material und Methode.....	44
3.1 Retentionsbodenfilter im großtechnischen System.....	44
3.1.1 Retentionsbodenfilter Monheim	44
3.1.1.1 Kenndaten Retentionsbodenfilter.....	45
3.1.1.2 Filtersand	45
3.1.1.3 Messtechnik und Probenahme	46
3.1.2 Retentionsbodenfilter Tagmersheim	46
3.1.2.1 Kenndaten Retentionsbodenfilter.....	47
3.1.2.2 Filtersand	47
3.2 Technikumsversuch	47
3.2.1 Beschreibung Versuchsstand	48
3.2.2 Filtermaterial.....	48
3.2.2.1 Einführung.....	48
3.2.2.2 Physikalische Kenngrößen	50
3.2.2.3 Mineralogische Zusammensetzung	52
3.2.3. Mischwasser.....	52
3.2.3.1 Reales Mischwasser Klärüberlauf RÜB Monheim.....	52
3.2.3.2 Beschickungswasser Technikumsversuch.....	54
3.2.4 Durchführung der Säulenversuche	56
3.2.5 Stoffeigenschaften.....	57
3.2.5.1 Filterporosität.....	57
3.2.5.2 Durchlässigkeit	57
3.3 Untersuchungsmethoden und Parameter.....	58
3.3.1 Statistische Methoden	59
3.3.2 Bakteriologisch-hygienische Untersuchungen	60
3.3.3 Molekularbiologische Untersuchungen	60
3.3.4 Chemisch-physikalische Untersuchungen	60
3.3.5 Transport von Bakterien	61
4. Ergebnisse	62
4.1 Rückhalt hygienerelevanter Bakterien in der Großanlage	62
4.1.1 RBF Monheim	62
4.1.2 RBF Tagmersheim	63
4.2 Technikumsversuch	64
4.2.1 Filtergeschwindigkeit	64
4.2.2 Korndurchmesser	71
4.2.2.1 Zusammensetzung der Filtermatrix	71
4.2.2.2 Porosität.....	75
4.2.2.3 Dispersion	76
4.2.2.4 NH ₄ -N-Durchbruch	78

VERZEICHNISSE

4.2.3	Filtertiefe	79
4.2.4	Adhäsion der Bakterien	81
4.2.4.1	Änderung Strömungsregime.....	81
4.2.4.2	Biofilmverteilung	83
4.2.4.3	Änderung der Filterwirksamkeit durch Bioadhäsion	85
4.2.4.4	Änderung der Filterwirksamkeit durch die Trockenphase.....	86
4.2.4.5	Einfluss der obersten Filterschicht	89
4.2.4.6	Einflüsse Mineralogie	91
4.2.5	Kolmation	92
4.2.5.1	Entwicklung hydraulische Leitfähigkeit.....	93
4.2.5.2	Änderung der KBE-Konzentration im Ablauf	94
5.	Diskussion.....	95
5.1	Optimierung Betriebsbedingung.....	95
5.1.1	Einflussgröße Filtergeschwindigkeit.....	95
5.1.2	Einflussgröße Korndurchmesser.....	97
5.1.3	Einflussgröße Filtertiefe	100
5.2	Filterwirksamkeit und Filterverhalten zur Verbesserung des Bakterienrückhalts	101
5.2.1	Änderung Strömungsregime.....	101
5.2.2	Bedeutung des Biofilms	102
5.2.2.1	Biofilmverteilung	102
5.2.2.2	Änderung der Filterkornoberfläche	103
5.2.3	Bedeutung der Betriebseigenschaften	106
5.2.3.1	Auswirkung Trockenphase	106
5.2.3.2	Auswirkung oberste Filterschicht	109
5.2.4	Mineralogische Stoffeigenschaften	111
5.2.5	Zusammenfassung der Fazite	112
5.3	Kolmation.....	113
6.	Folgerungen	116
	Anhänge.....	118
	Literaturverzeichnis	122
	Schriftenreihe SWW Karlsruhe	130