



Verbundprojekt

Bewachsene Bodenfilter

**Mikrobiologische Untersuchungen
zur seuchenhygienischen Bewertung
naturnaher Abwasserbehandlungsanlagen**

AZ 14178-07

Bearbeiter:

Umweltbundesamt

Dr. Ulrich Hagendorf, Dipl.-Ing. Wolfram Bartocha
Dr. Irmgard Feuerpfeil, Dipl.-Biol. Klaus Diehl
Dipl.-Biol. Annette Hummel, Dr. Juan López-Pila
Dr. Regine Szewzyk

Technische Universität Berlin

Prof. Dr. Ulrich Szewzyk
Dipl.-Biol. Maria Alexandrino
Dr. Elisabeth Grohmann

Abschlussbericht

Februar 2002



Teilleistung Umweltbundesamt

- Untersuchungen durch klassische Kultivierungsmethoden –

Kurzreferat

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anhangverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1	Problem- und Zielstellung	15
2	Mikrobiologische Anforderungen im Wasserbereich	19
3	Mikrobiologische Befunde in Abwässern von Bewachsenen Bodenfiltern	23
3.1	Allgemeiner Überblick	23
3.2	Mikrobiologische Elimination in Bewachsenen Bodenfiltern	25
4	Durchgeführte Untersuchungen und Messprogramme	37
4.1	Überblick	37
4.2	Parameter und Nachweisverfahren	38
4.2.1	Mikrobiologische Parameter	38
4.2.1.1	Koloniezahl	38
4.2.1.2	E. coli/coliforme Bakterien	39
4.2.1.3	Enterokokken	39
4.2.1.4	Clostridien	40
4.2.1.5	Campylobacter/ Arcobacter	40
4.2.1.6	Coliphagen	41
4.2.1.7	Salmonellen	42
4.2.1.8	Yersinien	42
4.2.1.9	E. coli O 157	43
4.2.1.10	Cryptosporidien-Oozysten / Giardien-Zysten	44
4.2.2	Abwasserchemische Parameter	45
4.3	Untersuchte Anlagen	46
4.3.1	Anlage Wiedersberg	46
4.3.1.1	Anlagenaufbau	46
4.3.1.2	Abwassersituation	47



4.3.2	Anlage Ettenbüttel	48
4.3.2.1	Anlagenaufbau	48
4.3.2.2	Abwassersituation	50
4.3.3	Anlage See	51
4.3.3.1	Anlagenaufbau	51
4.3.3.2	Abwassersituation	53
4.4	Probenahmen	58
4.5	Auswertung von Standzeituntersuchungen und Intensivprobenahmen	59
5	Ergebnisse und Diskussion	65
5.1	Wiedersberg	66
5.1.1	Mikrobiologische Befunde	66
5.1.2	Mikrobiologische Elimination und Betriebsbedingungen	73
5.1.2.1	Vertikalfilter	73
5.1.2.2	Horizontalfilter	80
5.1.3	Sonstige Parameter	84
5.2	Ettenbüttel	87
5.2.1	Mikrobiologische Befunde	87
5.2.2	Mikrobiologische Elimination und Betriebsbedingungen	93
5.2.2.1	Vertikalfilter 1	93
5.2.2.2	Vertikalfilter 2	98
5.2.3	Sonstige Parameter	102
5.3	See	104
5.3.1	Mikrobiologische Befunde	104
5.3.2	Mikrobiologische Elimination und Betriebsbedingungen	112
5.3.3	Sonstige Parameter	115
6	Bewertung und Schlussfolgerungen	119
6.1	Probenahmen und Probenuntersuchung	121
6.2	Mikrobiologische Befunde und Eliminationen	122
6.3	Anlagenbetrieb	124
6.3.1	Variable Faktoren	124
6.3.2	Steuerbare Faktoren	125
6.4	Anforderungen	126
7	Literatur	127
7.1	Autoren	127
7.2	Rechtliche Regelungen, DIN- bzw. ISO/CEN-Bestimmungsverfahren, weitere Methoden	133



6 BEWERTUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel dieses Teilprojekts war es, mikrobiologische Untersuchungen zum Auftreten und Verbleib von Indikatororganismen und Krankheitserregern in Bewachsenen Bodenfiltern durchzuführen. Dabei waren im Abwasser die Konzentrationen von Mikroorganismen in den verschiedenen Bauteilen bzw. Stufen der Anlagen zu bestimmen und zu bewerten. Vor diesem Hintergrund war zu prüfen, inwieweit Bewachsene Bodenfilter in der Lage sind, im Abwasser auftretende Krankheitserreger (fakultativ pathogene Bakterien, Viren, Parasiten) ebenso wie die Indikatororganismen mit hoher Effizienz zu eliminieren.

Eine Literaturlauswertung diesbezüglicher mikrobiologischer Untersuchungen im internationalen Vergleich zeigte als momentanen Entwicklungsstand insbesondere den Betrieb von unterirdisch beschickten Bodenfiltern (Horizontalfilter). Ihre flächenbezogen höhere Leistungsfähigkeit beim Abbau von Stickstoffverbindungen sowie in der Reduktion von Indikatororganismen und pathogenen Mikroorganismen wird allgemein herausgestellt und als Vorteil anerkannt. Die in Deutschland in der Praxis bereits erfolgreich betriebene Verfahrenskombination aus Vertikal- und Horizontalfiltern wird erst vereinzelt angewendet. Es fehlen jedoch zusammenfassende, parameterbezogene Betrachtungen, um so auch die hygienische Leistungsfähigkeit Bewachsener Bodenfilter im Vergleich zu den Betriebsbedingungen zu diskutieren und die Auswirkungen auf die Ablaufwerte zu bewerten.

Eine Zusammenstellung aus der Literaturdurchsicht in Tab. 6.1 gibt verschiedene Hinweise, Aussagen und Empfehlungen für die Beurteilung der mikrobiologischen Eliminationsleistungen durch Bewachsene Bodenfilter in bezug auf die Probenahmen, mikrobiologischen Parameter, Messwerte, Vorklärung, Bodenfiltertyp, Betriebsführung und meteorologische Verhältnisse usw..

Insgesamt ist festzustellen, dass – sofern eine ausreichende Datenbasis vorliegt – für die Indikatororganismen bei hohen bis sehr hohen Konzentrationen Eliminationsleistungen von 1 – 2 Zehnerpotenzen für Vertikal- und Horizontalfilter nachgewiesen werden können. Eingeschränkte bis fehlende Erkenntnisse gibt es zu Krankheitserregern. Ebenso sind Erkenntnisse über Einflüsse in der Betriebsfüh-



rung als steuerbarer Faktor und den variabler meteorologischer Verhältnisse wie Niederschlag und Temperatur auf die mikrobiologische Elimination in Bewachsenen Bodenfiltern nur lückenhaft vorhanden.

Tab.: 6.1 Bewertung verschiedener Betriebsbedingungen in Bewachsenen Bodenfiltern auf die mikrobiologische Elimination

Bedingungen	Auswirkungen	
	positiv	negativ
Probenahme		
Stichproben		geringe Datendicht
Messkampagnien, Intensivprobenahmen	hohe Datendichte	
Mikrobiologische Parameter		
Indikatororganismen	hohe Datendichte	
Krankheitserreger	keine Angaben	keine Angaben
Konzentrationen	hohe bis sehr hohe	geringe
Bodenfilter		
Wurzelraumanlagen		Elimination < 1 Zehnerpotenz hydraulische Kurzschlüsse
Vertikalfilter	Elimination 1 – 2 Zehnerpotenzen	
Horizontalfilter	Elimination 1 – 2 Zehnerpotenzen	
Betriebsführung		
Fremd-, Mischabwasser		Verdünnung
Rückstau		hydraulische Kurzschlüsse
Rücklaufverhältnisse	keine Angaben	keine Angaben
Aufenthaltszeit, Abfluss	lang, unterirdisch	kurz, oberirdisch
Hydraulische Belastung	keine Angaben	keine Angaben
Kolmation	keine Angaben	keine Angaben
Meteorologische Verhältnisse		
Temperatur	keine Angaben	Eisbildung
Niederschlag		Verdünnung

Da sich die untersuchten Projektanlagen hinsichtlich des Anlagenbetriebes unterschieden (Standort, Vor- und Nachklärung, Bauform, Betriebsweise, hydraulische Verhältnisse und Belastung) und variable Einflüsse (Konzentration der Zulaufwerte, Niederschlag, Temperatur) auftraten, bot sich die Möglichkeit, die mikrobiologischen Konzentrationen und Eliminationen in Bezug zum Anlagenbetrieb zu bewerten und Schlussfolgerungen für künftige Anforderungen zu ziehen.



6.1 Probenahmen und Probenuntersuchung

1. Die mikrobiologische Untersuchung schloß neben Indikatororganismen erstmals auch gesundheitlich besonders relevante Krankheitserreger im Abwasser der Verbundanlagen Wiedersberg (1701 Einzeluntersuchungen) und Ettenbüttel (915 Einzeluntersuchungen) sowie der seit 1984 in Betrieb befindlichen Anlage See (982 Einzeluntersuchungen) ein.
2. Die Methoden zur bakteriologischen Diagnostik und zur quantitativen Erfassung der Mikroorganismen entsprachen den DIN- bzw. ISO/EU-Vorschriften und - sofern noch keine genormten Verfahren vorlagen - guter wissenschaftlicher Praxis.
3. Vielfältige in der Literatur erhobene Forderungen zu einem einheitlichen Studiendesign, das auch statistisch verwertbare Aussagen ermöglicht, wurden mit der untersuchten Probenanzahl weitgehend erfüllt. Die Parasitendauerformen wurden wegen des sehr hohen Probenvolumens (bis 500 l, wegen geringer Ablaufmengen nicht für alle Probenahmestellen zu realisieren) und arbeitstechnischen Aufwandes jedoch in geringerer Frequenz getestet.
4. Um mögliche Einflüsse durch Proben transport und –aufarbeitung auszuschließen, wurden Standzeituntersuchungen durchgeführt. Proben aus der Vorklä rung und den Abläufen von Vertikal- und Horizontalfilter der Anlage Wiedersberg wurden über insgesamt maximal 42 Stunden bei 4 °C gelagert und in zwei bzw. drei Parallelen mehrfach auf *E. coli* und Enterokokken untersucht. Auch nach der maximalen Standzeit von 42 Stunden lagen die Befunde noch in der gleichen Zehnerpotenz wie die in den direkt nach der Probenahme angesetzten Parallelen. Dies bestätigt auch, dass bei niedrigen Abwassertemperaturen nach mehr als 24 Stunden, ein nur sehr geringes Absterben der Mikroorganismen festzustellen ist.
5. Zur mikrobiologischen Aufnahme der tageszeitbedingten Konzentrationsunterschiede und derer im mehrtägigen Vergleich, wurden Intensivprobenahmen durchgeführt. Ein besonderer Zusammenhang zwischen der unterschiedlichen Konzentrationen in den Bodenfilterzu- und -abläufen zu bestimmten Tageszeiten oder Wochentagen wurde nicht gefunden. Durch un-



terschiedliche Verweilzeiten im Bodenfilter (Vertikalfilter 1,5 bis 2 Tage, Horizontalfilter 2 bis 4 Tage) konnte auch infolge eines unausgeprägten Tagesgangs kein zeitlicher Bezug zwischen Bodenfilterzu- und Bodenfilterabläufen, hergestellt werden. Dadurch war auch die Entnahme von korrespondierenden Proben nicht möglich.

6.2 Mikrobiologische Befunde und Eliminationen

6. In den Zuläufen der untersuchten Bodenfilter lagen die Konzentrationen der Indikatororganismen im Mittel, für ***E. coli*** zwischen $10^6/100$ ml und $10^7/100$ ml und für die **Enterokokken** zwischen $10^5/100$ ml und $10^6/100$ ml. Die Mittelwerte für die Krankheitserreger **Campylobacter/Arcobacter** entsprachen denen der Enterokokken, für ***Clostridium perfringens*** betragen sie $10^3/100$ ml bis $10^4/100$ ml.
7. Hohe Zulaufkonzentrationen von $10^5/100$ ml – $10^6/100$ ml im ersten Bodenfilter, führten für *E. coli*, coliforme Bakterien, **Enterokokken** und **Campylobacter/Arcobacter** bei konstanten, gleichmäßigen Betriebsverhältnissen zu hohen Eliminationsraten. Eliminationen konnten bei Zulaufkonzentrationen < 3 Zehnerpotenzen nicht mehr festgestellt werden.
8. Die Konzentrationen der Indikatororganismen und Krankheitserreger streuten in den einzelnen Probenahmestellen der beprobten Anlagen um 2 - 3 Zehnerpotenzen um die Mittelwerte. Die Schwankungen im Tagesgang betragen dagegen nur 1 - 2 Zehnerpotenzen.
9. Die Elimination für die untersuchten Parameter ***E. coli***, **coliforme Bakterien**, **Enterokokken** und **Campylobacter/Arcobacter** betrug im Mittel 1,5 bis 2,5 Zehnerpotenzen pro Bodenfilter, sie erreichte im Einzelfall auch bis zu 5 Zehnerpotenzen. Für Giardien-Zysten, Cryptosporidien-Oozysten und ***Clostridium perfringens*** wurden bezüglich der Keimelimination gleiche Tendenzen nachgewiesen (Tab. 6.2).



Tab. 6.2: Mittlere Eliminationsleistungen im Vertikal- und Horizontalfilter der Anlagen Wiedersberg, Ettenbüttel und See (Angaben in Zehnerpotenzen)

Parameter	Wiedersberg		Ettenbüttel		See
	VF	HF	VF1	VF 2	HF 1
<i>E.coli</i>	1,5	2	2	2	2
Enterokokken	2	0,5	1,5	1,5	2,5
Campylobacter/ Arcobacter	1,5	2,5	2	2,5	2
<i>Clostridium perfringens</i>	1,5	2	1,5	1,8	1,5
Cryptosporidien- Oozysten	1,5	0	1,7	1,7	1
Giardien-Zysten	3	0,5	2,5	2,5	1

10. Die Abwasserbelastung durch **Coliphagen** wurde im Mittel auf Werte von ca. 10^2 pfu/100 ml reduziert. Legt man das in der Literatur angegebene Verhältnis Virus: Coliphagen von 1 : 1000 zugrunde, ist anhand der Ergebnisse in den Abläufen der Bewachsenen Bodenfilter nicht mit dem Auftreten von enteralen Viren zu rechnen.
11. **Salmonellen** wurden lediglich sporadisch in den Abläufen der Vorklärung nachgewiesen. Es ist anzunehmen, dass aufgrund der kleinen Abwassereinzugsgebiete die Möglichkeit des Eintrags von Salmonellen durch erkrankte Personen oder Dauerausscheider wesentlich geringer ist als bei größeren Einzugsgebieten. Eine Belastung der entsprechenden Vorfluter (Oberflächengewässer, Badegewässer, Betriebswässer) mit Salmonellen ist aufgrund der Ablaufwerte der untersuchten bewachsenen Bodenfilter nicht zu erwarten.
12. **E. coli O 157** konnte weder in den Zuläufen noch in den Abläufen der Bewachsenen Bodenfilter nachgewiesen werden.
13. Als **Yersinien** wurden nichtpathogene, in der Umwelt ubiquitär verbreitete Spezies wie *Yersinia frederiksenii*, *Y. rodei*, *Y. intermedia* und *Y. mollaretii*



diagnostiziert. Pathogene Serovare wurden aus den Abläufen der untersuchten Bodenfilter nicht isoliert. Lediglich in den Anlagen See und Ettenbüttel konnten sporadisch, vor allem im vorgeklärten Abwasser, potentiell pathogene *Yersinia enterocolitica* der Biovare 1B und 2 nachgewiesen werden. Zusätzlich durchgeführte molekularbiologisch-biochemische Untersuchungen zur Ermittlung von Virulenzkriterien (Enterotoxigenen) verliefen allerdings negativ. Eine Belastung mit pathogenen Yersinia-Arten in den untersuchten Kläranlagenabläufen konnte demzufolge nicht nachgewiesen werden.

14. Die Untersuchung der Abwasserproben im Ablauf Vorklärung zeigte deutlich, dass die Konzentrationen an **Giardien-Zysten** generell größer sind als die Konzentrationen der **Cryptosporidien-Oozysten**. Das zeigte sich auch darin, dass die Cryptosporidien-Oozysten nicht in jeder Probe nachweisbar waren. Dies ist auch aus Untersuchungen von teilweise mit Abwasser belasteten Zuläufen zu Trinkwassertalsperren bekannt. Für die Parasitendauerformen wurden generell sehr gute Eliminationsraten durch die Bewachsenen Bodenfilter nachgewiesen. Hierbei wurden nur sporadisch in ca. 10 % der Proben positive Befunde erhoben. Damit werden die entsprechenden Vorfluter nur sehr gering mit Parasitendauerformen belastet.

6.3 Mikrobiologische Auswertungen zum Anlagenbetrieb

6.3.1 Variable Faktoren

15. Ein Zusammenhang zwischen den mikrobiologischen Ergebnissen (Anhang 2) und den abwasserchemischen bzw. chemisch-physikalischen Parametern (Anhang 3) konnte nicht nachgewiesen werden.
16. Bei starken **Niederschlagsereignissen** bzw. **Fremdwasserzuflüssen** wurde die Konzentration der Mikroorganismen stark verdünnt. Dies führt zu geringeren Eliminationswerten und damit Leistungseinbußen bei Bewachsenen Bodenfiltern (vgl. auch Pkt. 7).
17. Die **Abwassertemperaturen** beeinflussen im Vergleich Sommer-Winter-Betrieb die Eliminationsleistung um ca. 1 Zehnerpotenz, sofern nicht andere



Bedingungen (z.B. Mikroorganismenkonzentrationen, hydraulische Be(Über)lastung den Jahresgang überprägen.

6.3.2 Steuerbare Faktoren

18. **Mehrstufige Bodenfilter** führten insgesamt zu hohen Eliminationen (3 - 5 Zehnerpotenzen). Dagegen erreichen **einstufige Bodenfilter** mit 1,5 - 2,5 Zehnerpotenzen nur ca. 50 % der zuvor genannten Eliminationsraten.
19. Die **mittleren Eliminationsleistungen** für **Vertikal- und Horizontalfilter** liegen überwiegend bei 1,5 – 2 Zehnerpotenzen. Sie entsprechen den Ergebnissen bisheriger Untersuchungen. Geringere Elimination (0,5 – 1 Zehnerpotenzen) und höhere Elimination (2,5 Zehnerpotenzen) sind abhängig von der Höhe der Zulaufkonzentration. Unterschiede zur Eliminationsleistung zwischen Vertikal- und Horizontalfilter sind daher für die untersuchten Mikroorganismen nicht feststellbar.
20. Ein Einfluss der **Rückführung** von im Vertikalfilter behandeltem Abwasser in die Vorklärung (Verbesserung der Denitrifikation) auf die mikrobiologische Eliminationsleistung konnte nicht nachgewiesen werden.
21. Die **hydraulische Belastung** konnte die Elimination der Mikroorganismen nachweislich beeinflussen. Bei mittleren mikrobiologischen Konzentrationen von $10^5/100$ ml – $10^6/100$ ml in den Zuläufen nahmen die Eliminationswerte deutlich ab, wenn die durchschnittlichen Beschickungshöhen von 80 mm/d (Hauptreinigungsstufe) und 120 mm/Tag (Nachreinigung) mehrtägig deutlich überschritten wurden. Kurztägiger Intervallbetrieb mit hydraulischen Spitzen bis zu 250 mm/Tag beeinflusste dagegen das mikrobiologische Leistungsbild nicht. Bei sehr hohen Zulaufkonzentrationen ($> 10^7/100$ ml) wurden trotz hoher Beschickungsmengen (290 mm/Tag) auch hohe Eliminationswerte erreicht ($10^4/100$ ml).
22. **Im Regelbetrieb** werden bei mehrstufigen Anlagen die Anforderungen der Bewässerungswasser-, Beregnungswasser- und EU-Badegewässerrichtlinie eingehalten, einstufigen Anlagen gelingt dies nur teilweise.



23. **Störungen in der Betriebsführung** (Verstopfung, Einfrieren von Zulaufeinrichtungen) führen durch hydraulische Kurzschlüsse unter Umgehung der Bodenfiltration bis zum Zusammenbruch der Eliminationleistung.

6.4 Anforderungen

24. Für mikrobiologische Untersuchungen an **Anlagen im Routinebetrieb** bei relativ gleichmäßigen, sog. normalen Betriebsverhältnissen empfiehlt sich zur Feststellung der mikrobiologischen Belastung eine Mehrfachbeprobung an 1 bis 2 Tagen, die für ausgewählte Sommer- und Wintertage repräsentativ sind. Dabei sind im wesentlichen der Zulauf zur Anlage und die Abläufe der einzelnen Bodenfilter zu untersuchen, um die Gesamtanlage in Hinblick auf das mikrobiologische Eliminationspotential beurteilen zu können.
25. Untersuchungen an **Anlagen mit differenzierten Betriebsverhältnissen** (u.a. Forschungsanlagen, modellhafte Untersuchungen) erfordern einen wesentlich höheren, auf Messkampagnen ausgerichteten Probenahmerhythmus. Es wird empfohlen, Mehrfachbeprobungen innerhalb eines 14tägigen Untersuchungszyklus' vorzunehmen.
26. Auf Grund des ähnlichen Verhaltens der untersuchten Spezies im Hinblick auf die Elimination können **weitere mikrobiologische Untersuchungen** auf wenige Parameter (Indikatoren) ausgerichtet werden. Zur Leistungsbeurteilung verschiedener Stufen der Anlagen kann ein Einzelparameter herangezogen werden. Der Anlagenablauf ist mit den Parametern zu untersuchen, die für eine nutzungsorientierte bakteriologisch-hygienische Einstufung erforderlich sind. Zum seuchenhygienischen Unbedenklichkeitsnachweis besonders in Badegewässern oder Trinkwassereinzugsgebieten sollten zusätzlich die Anlagenabläufe auch auf Krankheitserreger untersucht werden.
27. Als **Überwachungsparameter** zur Beurteilung der mikrobiologischen Elimination der einzelnen Anlagenbauteile wird der Parameter ***E. coli*** vorgeschlagen. Dies ist aus arbeitstechnischen und finanziellen Erwägungen sinnvoll.