

**”Bewertung der Leistungsfähigkeit von vier  
Retentionsbodenfiltern hinsichtlich der Rückhaltung  
hygienisch relevanter Mikroorganismen”**

**- Abschlussbericht –**

**November 2010**

Geschäftsführung:  
Dr.-Ing. Wolf Merkel, Klaus-Dieter Neumann  
Wissenschaftliches Direktorium:  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Gimbel (Sprecher), Prof. Dr. Hans-Curt Flemming  
Prof. Helmut Schulte, Prof. Dr. Torsten C. Schmidt



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 15508  
Sparkasse Mülheim an der Ruhr BLZ 362 500 00 Konto 300 031 250  
Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr BLZ 362 400 45 Konto 76 36 236  
Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

## Zusammenfassung

Die Kaltalsperre und der Obersee der Rurtalsperre Schwammenauel dienen der Trinkwasserversorgung von ca. 500.000 Menschen im Großraum Aachen. Zur Minimierung der abwasserbedingten mikrobiellen Belastung im Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperren wurde 1997 ein umfangreiches Hygienekonzept aufgestellt, das unter anderem eine Reinigung der Mischwasserabschläge durch insgesamt 18 nachgeschaltete Bodenfilterbecken beinhaltet. In der hier vorgestellten Untersuchung wurden zwischen 2006 und 2010 vier Retentionsbodenfilter auf ihre Rückhalteleistung insbesondere hinsichtlich mikrobiologisch relevanter Mikroorganismen untersucht. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die vier untersuchten Bodenfilter Heilkuhlbach, Witzerath, Rohren-Skihang sowie Konzen waren in der Lage, hygienisch relevante Mikroorganismen (*Escherichia coli*, coliforme Bakterien, Cryptosporidien, Giardien) effektiv zurückzuhalten.
- Es ließ sich über den gesamten Versuchszeitraum eine dauerhafte gute Rückhalteleistung von über 90 % für *E. coli* und coliforme Bakterien sowie sehr hohe Rückhalteleistungen für die Parasiten-Dauerformen (Cryptosporidien, Giardien) bis zur Nachweisgrenze des Verfahrens sicherstellen. Die Parasiten-Dauerformen waren nur sporadisch und in geringen einstelligen Konzentrationen im Ablauf nachweisbar.
- Die besten Rückhalteleistungen ohne zusätzliche Desinfektionsmaßnahmen bezüglich mikrobiologischer Parameter bot der Filter Witzerath mit bis zu 99,99 % Leistung.
- Untersuchungen bei länger andauernden Beschickungsereignissen von mehreren Tagen haben gezeigt, dass die Rückhalteleistungen von *E. coli* und coliformen Bakterien über den gesamten Beschickungszeitraum stabil auf sehr hohem Niveau sind. Kolmationserscheinungen wurden selbst bei einem 8 tägig andauernden Beschickungsereignis nicht festgestellt.
- Die zusätzliche Verwendung einer nachgeschalteten UV-Desinfektion, wie dies beim Bodenfilter Konzen erfolgte, gewährleistete eine sehr sichere und

hohe Verminderung der Konzentration an hygienisch relevanten Mikroorganismen. Die mittlere Rückhalteleistung erhöhte sich von 91,7 % nach Durchsickerung des Bodenfilters auf über 99,9 % nach Passage der UV-Anlage.

- Eine Sandsubstrat-abhängige Rückhalteleistung konnte für die untersuchten Bodenfilter nicht nachgewiesen werden.
- Eine Erhöhung der Drosselabflussspende auf das Dreifache (Bodenfilter Konzen) verminderte die Rückhalteleistung hygienisch relevanter Mikroorganismen nur geringfügig.
- Die Belastung des Bodenfilterzulaufes mit chemischen Emissionen ist als gering einzustufen. Die Filter waren Substrat-unabhängig in der Lage, die Emissionen effizient zurückzuhalten. Eine Erhöhung der Drosselabflussspende auf das Dreifache verminderte die Rückhalteleistung bei den chemischen Parametern. Die erzielten Ablaufkonzentrationen waren jedoch auch bei erhöhter Drosselabflussspende sehr gering.

Die Bodenfilter waren über den gesamten Versuchszeitraum dauerhaft in der Lage, hygienisch relevante Mikroorganismen zurückzuhalten. Die an den Mischwasserentlastungsanlagen in die Vorflut ausgetragene Fracht an hygienisch relevanten Mikroorganismen konnte dadurch deutlich reduziert werden.

Wir bedanken uns für den Auftrag und die sehr kooperative Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der WAG Nordeifel mbH. Für weitere Fragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH  
i.V.



Dr.-Ing. W. Merkel



Dr. G. Schaule

---

**Bearbeitung bei IWW:**

Wissenschaftlicher Direktor:

Prof. Dr. H.-C. Flemming

Projektleiter:

Dr. S. Grobe

Sachbearbeiter:

K. Petrowski, Dr. S. Grobe

**Ansprechpartner des Auftraggebers:**

Dipl. Ing. Walter Dautzenberg

Dipl. Geol. Paul Kirch

Dipl. Ing. Dirk Delsemmé

Geschäftsführung:

Dr.-Ing. Wolf Merkel, Klaus-Dieter Neumann

Wissenschaftliches Direktorium:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Gimbel (Sprecher), Prof. Dr. Hans-Curt Flemming

Prof. Helmut Schulte, Prof. Dr. Torsten C. Schmidt



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 15508

Sparkasse Mülheim an der Ruhr BLZ 362 500 00 Konto 300 031 250

Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr BLZ 362 400 45 Konto 76 36 236

Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Hintergrund</b>	<b>6</b>
1.1	Hintergrund	6
1.2	Gesetzliche Anforderungen	7
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>9</b>
2.1	Bodenfilter Heilkuhlbach	9
2.2	Bodenfilter Witzerath	12
2.3	Bodenfilter Konzen	15
2.4	Bodenfilter Rohren – Skihang	18
2.5	Versuchsprogramm	21
2.5.1	Probenahme und Probenaufbereitung	21
2.5.2	Mikrobiologische Bestimmungsmethoden	21
2.5.2.1	<i>Escherichia coli</i> und coliforme Bakterien	21
2.5.2.2	Salmonellen	22
2.5.2.3	Parasiten	23
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>24</b>
3.1	Beschickungen	24
3.2	Charakterisierung der Zuläufe	32
3.2.1	Mikrobiologische Parameter	32
3.2.2	Chemische Parameter	35
3.3	Charakterisierung der Bodenfilterabläufe	39
3.3.1	Mikrobiologische Parameter	39
3.3.1.1	Rückhalteleistung Bodenfilter Heilkuhlbach	39
3.3.1.2	Rückhalteleistung Bodenfilter Witzerath	45
3.3.1.3	Rückhalteleistung Bodenfilter Rohren-Skihang	47
3.3.1.4	Rückhalteleistung Bodenfilter Konzen	49
3.3.1.5	Rückhalteleistungen der Bodenfilter im Vergleich	59
3.3.2	Chemische Parameter	64
3.3.2.1	Rückhalteleistung Bodenfilter Heilkuhlbach	64
3.3.2.2	Rückhalteleistung Bodenfilter Witzerath	67
3.3.2.3	Rückhalteleistung Bodenfilter Rohren-Skihang	69
3.3.2.4	Rückhalteleistung Bodenfilter Konzen	72

3.3.2.5	Rückhalteleistungen der Bodenfilter im Vergleich	74
<b>4</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>77</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>82</b>
5.1	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Heilkuhlbach – Gesamtcoliforme/E. coli	82
5.2	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Heilkuhlbach – Salmonellen/Parasiten	83
5.3	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Witzerath – Gesamtcoliforme/E. coli	84
5.4	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Witzerath – Salmonellen/Parasiten	84
5.5	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Rohren – Gesamtcoliforme/E. coli	85
5.6	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Rohren – Salmonellen/Parasiten	85
5.7	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Konzen – Gesamtcoliforme/E. coli	86
5.8	Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Konzen – Salmonellen/Parasiten	88
5.9	Chemische Daten – Bodenfilter Heilkuhlbach	89
5.10	Chemische Daten – Bodenfilter Witzerath	89
5.11	Chemische Daten – Bodenfilter Rohren-Skihing	90
5.12	Chemische Daten – Bodenfilter Konzen	91

## **1 Einleitung und Hintergrund**

### **1.1 Hintergrund**

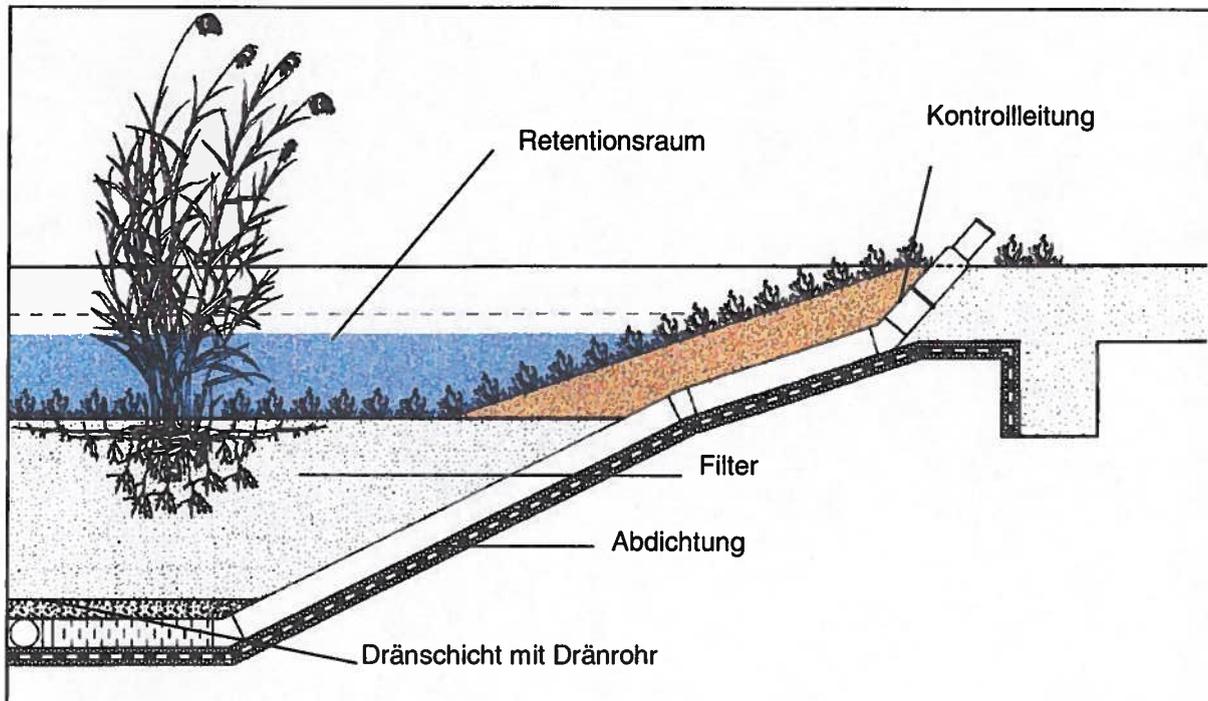
Die Kalltalsperre und der Obersee der Rurtalsperre Schwammenauel dienen der Trinkwasserversorgung von ca. 500.000 Menschen im Großraum Aachen. Zur Minimierung der abwasserbedingten mikrobiellen Belastung im Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperren wurde 1997 ein umfangreiches Hygienekonzept zwischen dem Wasserwerk des Kreises Aachen, dem Wasserverband Eifel-Rur, den Stadtwerken Aachen AG, der Stadt Monschau, der Gemeinde Simmerath und der Bezirksregierung Köln aufgestellt. Dieses Konzept beinhaltet eine teilweise Vergrößerung der vorhandenen Beckenvolumina der Mischwasserentlastungen sowie eine Reinigung der Mischwasserabschläge durch insgesamt 18 nachgeschaltete Bodenfilterbecken. Dadurch soll die Qualität der Zuflüsse zu den Gewässern und damit auch die Rohwasserqualität in den Trinkwassertalsperren verbessert werden.

Bodenfilter dienen der Behandlung stark verschmutzter Regenabwasserabflüsse aus Trennsystemen und von Straßen sowie von Entlastungsabflüssen aus Mischsystemen. Eine situationsgerechte Emissionsminderung kann dabei unterschiedliche Ziele verfolgen:

- Verringerung der Frachten partikulärer, partikulär gebundener und gelöster Stoffe
- Vermeidung akut schädigender Belastungen durch Sauerstoff zehrende und toxische Stoffe
- Verringerung der hydraulischen Gewässerbelastung
- Verringerung der Belastung mit pathogenen Mikroorganismen

Mischwasser enthält eine Vielzahl krankheitserregender Mikroorganismen, die, je nach Art und Anzahl, Menschen gesundheitlich gefährden können. Daher ist ein wichtiger Aspekt des Einsatzes von Retentionsbodenfiltern die Entfernung von hygienisch relevanten Mikroorganismen. Für die Leistungsfähigkeit von Bodenfiltern hinsichtlich der Elimination von Krankheitserregern und des biologischen Abbaus der Abwasserinhaltsstoffe sind Biofilme von herausragender Bedeutung. Da Mikroorganismen aufgrund antagonistischer Beziehungen in der Lage sind, pathogene Keime und Viren zu eliminieren, tragen sie zur Hygienisierung des Mischwassers bei. Die Mechanismen der Elimination bestehen dabei aus einer Kombination von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in den Filtern.

Abbildung 1 stellt die wesentlichen Bestandteile eines Retentionsbodenfilters mit vorgeschaltetem Regenüberlaufbecken dar, der zum Schutz vor Kolmation und Erosion mit Schilf bepflanzt wurde.



**Abbildung 1: Aufbau eines Retentionsbodenfilters (LFU [1998])**

Im Rahmen eines Pilotprojektes soll an insgesamt vier Bodenfilterbecken, deren Bau vom Land NRW durch eine Zuwendung gefördert wurde, die mikrobiologische Leistungsfähigkeit untersucht werden. Die Bodenfilterbecken sind mittlerweile 3,5 - 4 Jahre in Betrieb. Nachfolgend werden die dabei gewonnenen Untersuchungsergebnisse dargestellt.

## 1.2 Gesetzliche Anforderungen

In Deutschland werden bisher keine mikrobiologischen Grenzwerte am Kläranlagenablauf vor einer Gewässereinleitung gefordert. Das Infektionsschutzgesetz (IFSG [2000]) führt zwar in § 41 aus, „das Abwasser so beseitigt wird, dass Gefahren für die menschliche Gesundheit durch Krankheitserreger nicht entstehen“. Diese Anforderung spielt jedoch bislang in der Praxis der Abwasserreinigung und -einleitung keine Rolle (Dorau, W., in: Lozan und Kausch [1996]), da selbst in modernen mechanisch-biologischen Kläranlagen der Gehalt an pathogenen Krankheitserregern nur ungenügend (zu 90 bis 98 %) verringert wird, und somit bezüglich des § 41 des Infektionsschutzgesetzes ein Handlungsdefizit besteht.

Mit Verabschiedung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL [2000]) wurde erstmals ein Maßnahmenprogramm zum Schutz der Flussgebiete entwickelt. Danach werden langfristig bei Gewässereinleitungen auch an Kläranlagenabläufen höhere Anforderungen gestellt, wie sie für Trinkwasserschutzzonen und Fließgewässer zur Erreichung der Badegewässeranforderungen schon praktiziert werden. Die nach EG-Richtlinie „Qualität der Badegewässer“ (2006/7/EG) hygienisch relevanten Mikroorganismen, wie *Escherichia coli* und intestinale Enterokokken stellen Indikatorkeime für das Vorliegen von Verunreinigungen des betreffenden Wassers mit Warmblüterfäkalien dar. Die hygienisch-mikrobiologische Qualität von Trink- und auch Badewasser wird nach dem Prinzip der Untersuchung auf Fäkalindikatoren bestimmt.

Ein Nachweis von Darmparasiten wie z. B. *Giardia lamblia* und *Cryptosporidium parvum* wird nach der Badegewässerrichtlinie nicht gefordert, obwohl das Vorkommen von Salmonellen, Parasiten und Darmviren generell ein Infektionsrisiko darstellt. Für die Nutzung abwasserbelasteter Oberflächengewässer für den Badebetrieb gibt die Badegewässer-Richtlinie Qualitätskriterien für bakteriologische (Tabelle 1) und chemisch-physikalische Parameter an.

**Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an Badegewässer: Mikrobiologische Parameter der EU-Badegewässerrichtlinie 2006/7/EG vom 15.02.2006**

Parameter	ausgezeichnete Qualität	gute Qualität
<i>Escherichia coli</i> KBE/100 ml	500	1000
Intestinale Enterokokken KBE /100 ml	200	400

Beide in Tabelle 1 genannten Parameter stellen Indikatorbakterien für das Vorliegen von Verunreinigung dar, wobei die intestinalen Enterokokken als langlebiger und resistenter gegen Umweltfaktoren gelten als *E. coli*.

Die für die Nutzung gewässerbelasteter Oberflächengewässer für den Badebetrieb genannten Leit- und Grenzwerte werden ersetzt durch Werte, die eine „ausgezeichnete Qualität“ bzw. eine „gute Qualität“ angeben. Dabei soll die Einhaltung der „guten Qualität“ zwingend sein. Die neu definierten Werte für *E. coli* stellen aufgrund ihrer Verschärfung höhere Ansprüche an die Qualität des Badegewässers.

In der EG-Richtlinie „Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten“ (75/440/EWG) werden die in Tabelle 2

dargestellten mikrobiologischen Anforderungen genannt. Grenzwerte für diese Parameter existieren nicht. In den „Allgemeinen Güteanforderungen für Fließgewässer (AGA)“ des Landes Nordrhein-Westfalen wird ebenfalls auf die Anforderungen der 75/440/EWG verwiesen.

Diese Anforderungen sind jedoch eher als eine Festlegung der mindestens erforderlichen Aufbereitungstechnologie zu verstehen, als dass sie faktische Qualitätsparameter für das Gewässer festlegen. Aus diesem Grund wird die nachfolgende Bewertung der Gewässerqualität vor allem an den Parametern der Badegewässer-Richtlinie festgemacht.

**Tabelle 2: Mikrobiologische Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer zur Trinkwasseraufbereitung (Parameter 43 - 46 des Anhangs II der EG-Richtlinie 75/440/EWG)**

Parameter	Leitwert	Leitwert	Leitwert
	A1	A2	A3
Gesamtcoliforme Bakterien /100ml (37 °C)	50	5.000	50.000
Fäkalcoliforme Bakterien /100 ml	20	2.000	20.000
<i>Streptococcus faecalis</i> /100 ml	20	1.000	10.000
Salmonellen	1)	2)	-

A1: bei einfacher physikalischer Aufbereitung und Entkeimung; A2: bei normaler physikalischer und chemischer Aufbereitung und Entkeimung; A3: bei physikalisch und verfeinerter chemischer Aufbereitung, Oxidation, Adsorption und Entkeimung; 1) nicht nachweisbar in 5.000 ml; 2) nicht nachweisbar in 1.000 ml

Weitere verbindliche Vorschriften für eine bakteriologisch-hygienische Bewertung von Gewässern existieren nicht.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Bodenfilter Heilkuhlbach

Das vorhandene Regenüberlaufbecken Heilkuhlbach liegt in der Gemeinde Simmerath westlich der Ortslage Rollesbroich südlich des Heilkuhlbaches. Bei Starkregenereignissen entlastet das 365 m<sup>3</sup> große Regenüberlaufbecken in den Heilkuhlbach, der nach wenigen hundert Metern in die Stauwurzel der Kalltalsperre mündet. Zur Reinigung des durch Regenwasser verdünnten Schmutzwassers wurde im Jahre 2006 der Bodenfilter Heilkuhlbach mit einer Filterfläche von ca. 1700 m<sup>2</sup> in Betrieb genommen. Die Abbildungen 2 bis 4 dokumentieren den Zustand des Bodenfilters in

den Jahren 2007 und 2009. In den Tabellen 3 und 4 sind die technischen Daten und die Zusammensetzung des Filtersandes aufgeführt.



**Abbildung 2: Bodenfilter Heilkuhlbach – Stand Juli 2007**



**Abbildung 3: Bodenfilter Heilkuhlbach – Stand Januar 2007, Einstauereignis**



**Abbildung 4: Bodenfilter Heilkuhlbach – Stand August 2009**

**Tabelle 3: Technische Daten zum Bodenfilter Heilkuhlbach**

Bodenfilter	1709 m <sup>2</sup>
Einstauvolumen	2650 m <sup>3</sup>
Abfluss aus Filter	17 l/s
Drosselgeschwindigkeit	0,01 l/s*m <sup>2</sup>
Einstauhöhe	1,35 m
Folienabdichtung PEHD	2 mm
Drainageschicht (Kies)	0,30 m
Filterschicht	0,80 m

**Tabelle 4: Eigenschaften des eingesetzten Sandes**

	Sand
Feinkies, > 2	-
Grobsand, 0,6 – 2	19,4 %
Mittelsand, 0,2 – 0,6	59,7 %
Feinsand, 0,06 – 0,2	20,6 %
Ton und Schluff, < 0,06	0,3 %
Dolomitsand (Zumischung)	15,00 %
Herkunft	Sandgrube Bandemer Schmidtheim

## 2.2 Bodenfilter Witzerath

Der Ortsteil Witzerath entwässert im Mischsystem. Zur Entlastung der Gruppenkläranlage Simmerath ist am Ortsende von Witzerath ein Staukanal mit einem Volumen von 80 m<sup>3</sup> angeordnet, der den Mischwasserabfluss drosselt. Die Entlastungen finden rechnerisch an 18 Tagen je Jahr statt, so dass in diesen Zeiträumen durch Regenwasser verdünntes Schmutzwasser in den Fischbach eingeleitet wird. Der Fischbach entwässert über den Kallbach zur Kalltalsperre.

Zur Reinigung des über das Entlastungsbauwerk des Staukanals abgegebenen Mischwassers wurde ein nachgeschalteter Bodenfilter gebaut. Die Filterfläche beträgt ca. 320 m<sup>2</sup> (Tabelle 5, Tabelle 6). In Abbildung 5 bis 7 ist der Zustand des Retentionsbodenfilters in den Jahren 2006 und 2009 dokumentiert.



**Abbildung 5: Bodenfilter Witzerath – Stand Juli 2006**



**Abbildung 6: Bodenfilter Witzerath – Stand Juli 2009, Einstauereignis**



Abbildung 7: Bodenfilter Witzerath – Stand August 2009

Tabelle 5: Technische Daten zum Bodenfilter Witzerath

Bodenfilter	320 m <sup>2</sup>
Abfluss aus Filter	3,2 l/s
Drosselgeschwindigkeit	0,01 l/s*m <sup>2</sup>
Einstauvolumen	440 m <sup>3</sup>
Folienabdichtung PEHD	2 mm
Drainageschicht (Kies)	0,35 m
Filterschicht	1,00 m

**Tabelle 6: Eigenschaften des eingesetzten Sandes**

	<b>Sand</b>
Feinkies, > 2	0,5 %
Grobsand, 0,6 – 2	19,5 %
Mittelsand, 0,2 – 0,6	62,3 %
Feinsand, 0,06 – 0,2	17,1 %
Ton und Schluff, < 0,06	0,6 %
Dolomitsand (Zumischung)	17,8 %
Herkunft	Fa. Dohmen, Geilenkirchen

### 2.3 Bodenfilter Konzen

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Monschau-Konzen entwässert größtenteils im Mischsystem und umfasst derzeit eine Fläche von rund 122 ha. In Abbildung 8 - Abbildung 11 ist der Zustand des Retentionsbodenfilters in den Jahren 2007 bis 2009 dokumentiert. Im Netz wird ein Regenüberlaufbecken mit einem Volumen von 2.725 m<sup>3</sup> betrieben, das der Kläranlage direkt vorgeschaltet ist.

Dem Regenüberlaufbecken ist ein dreigeteilter Bodenfilter nachgeschaltet (Tabelle 7, Tabelle 8). Der Ablauf der Bodenfilter wird durch eine nachgeschaltete UV-Desinfektion weiter behandelt (Abbildung 10). Pro Jahr wird das Becken auf Basis einer 20-jährigen Regenreihe mit 260.000 m<sup>3</sup> Regenwasser beaufschlagt, wovon 38.000 m<sup>3</sup> in den Bodenfilter entlasten (Abbildung 9).



**Abbildung 8: Bodenfilter Konzen – Stand April 2007**



**Abbildung 9: Bodenfilter Konzen – Stand November 2008, Einstauereignis**



**Abbildung 10: Bodenfilter Konzen; UV-Anlage – Stand Juni 2008**



**Abbildung 11: Bodenfilter Konzen – Stand August 2009**

**Tabelle 7: Technische Daten zum Bodenfilter Konzen**

Bodenfilter	3100 m <sup>2</sup>
Abfluss aus Filter	90 l/s
Einstauvolumen	6966 m <sup>3</sup>
Drosselgeschwindigkeit	0,03 l/s*m <sup>2</sup>
Folienabdichtung	2 mm
Drainageschicht (Kies)	0,30 m
Filterschicht	1,00 m

**Tabelle 8: Eigenschaften des eingesetzten Sandes**

	Sand
Feinkies, > 2	2,6 %
Grobsand, 0,6 – 2	23,4 %
Mittelsand, 0,2 – 0,6	62,0 %
Feinsand, 0,06 – 0,2	11,4 %
Ton und Schluff, < 0,06	0,6 %
Dolomitsand (Zumischung)	11,9 %
Herkunft	Fa. Davids, Geilenkirchen

## 2.4 Bodenfilter Rohren – Skihang

Der Kanalstauraum Rohren – Skihang mit einem Volumen von 560 m<sup>3</sup> liegt nordwestlich der Ortslage Rohren am Fuß eines im Winter als Skiabfahrt genutzten Hanges. Ein Bodenfilter mit einer Fläche von ca. 1.150 m<sup>2</sup> wurde errichtet (Abbildung 12). In **Abbildung 13** und **Abbildung 14** sind die verschiedenen Vegetationsperioden abgebildet.

Die technischen Daten und die Zusammensetzung des Filtermaterials sind in den Tabellen 9 und 10 zusammengefasst.



**Abbildung 12: Bodenfilter Rohren – Skihang, Stand 2007**



**Abbildung 13: Bodenfilter Rohren–Skihang–Stand November 2007, Einstauereignis**



**Abbildung 14: Bodenfilter Rohren – Skihang – Stand August 2009**

**Tabelle 9: Technische Daten zum Bodenfilter Rohren - Skihang**

Bodenfilter	1146 m <sup>2</sup>
Abfluss aus Filter	11,5 l/s
Drosselgeschwindigkeit	0,01 l/s*m <sup>2</sup>
Einstauvolumen	2406 m <sup>3</sup>
Folienabdichtung	2,0 mm
Drainageschicht (Kies)	0,40 m
Filterschicht	0,90 m

**Tabelle 10: Eigenschaften des eingesetzten Sandes**

	<b>Sand</b>
Feinkies, > 2	0,3 %
Grobsand, 0,6 – 2	9,4 %
Mittelsand, 0,2 – 0,6	76,3 %
Feinsand, 0,06 – 0,2	13,6 %
Ton und Schluff, < 0,06	0,4 %
Dolomitsand (Zumischung)	14,2 %
Herkunft	Fa. Davids, Geilenkirchen

## 2.5 Versuchsprogramm

### 2.5.1 Probenahme und Probenaufbereitung

Die Zu- und Abläufe der einzelnen Bodenfilter wurden in der Regel im Beschickungsfall als Schöpfprobe beprobt. Die Probenahme zur Bestimmung mikrobiologischer Analyseparameter erfolgte dabei, falls nicht anders beschrieben, als Stichprobe. Als Probenahme-Gefäße wurden sterile 2L-Weithals-Standflaschen gewählt. Die Proben wurden verschlossen bei 4 °C aufbewahrt und innerhalb von weiteren 24 Stunden analysiert. Die Analyse der mikrobiologischen Parameter erfolgte durch das Hygiene-Institut Dr. Berg GmbH – Medizinal-Untersuchungsstelle Eschweiler. Durch das mikrobiologische Labor des Auftraggebers wurden parallel die Parameter *Escherichia coli* sowie coliforme Bakterien bestimmt. Die mikrobiologischen Analyseparameter in dem Zufluss bzw. den Abflüssen der Bodenfilter sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

**Tabelle 11: Mikrobiologische Analyseparameter im Zu- und Ablauf der Bodenfilter**

Parameter
Escherichia coli
coliforme Bakterien
Salmonella spec.
Cryptosporidien
Giardien

### 2.5.2 Mikrobiologische Bestimmungsmethoden

#### 2.5.2.1 *Escherichia coli* und coliforme Bakterien

##### Methode Hygiene-Institut Dr. Berg GmbH:

Die Quantifizierung der nach Badegewässerrichtlinie 76/160/EWG hygienisch relevanten Mikroorganismen erfolgte in allen Fällen nach dem MPN-Verfahren. Hier liegt dem angewandten Verfahren die Annahme zugrunde, dass die Organismenkonzentration im zu beprobenden Medium einer Poisson-Verteilung entspricht.

Den Ausgangspunkt der Untersuchung stellt ein definiertes Volumen einer Probe dar, die verdünnt oder unverdünnt einer Nährlösung zugegeben wird. Anschließend wird eine Veränderung des Mediums, welche für das jeweilige Medium spezifisch ist

und durch Wachstumsprozesse verursacht wird, beurteilt. Die Sicherheit der Methodik wird durch Mehrfachansätze und mehrere Verdünnungsstufen erhöht. Bei Badegewässern wird ein dreifacher Parallelansatz mit drei bzw. vier Verdünnungsstufen als ausreichend angesehen [Badegewässerrichtlinie 76/160/EW]. Aus der relativen Häufigkeit des Vorkommens von Medienveränderungen lässt sich dann ein Index bestimmen, der die wahrscheinlichste Keimdichte der Probe (MPN = Most Probable Number) wiedergibt [Cochran, 1950]. Die bestimmte Bakterienkonzentration, angegeben in MPN/100 ml, ist als Näherungswert zu betrachten.

Es wurden je nach voraussichtlicher mikrobieller Belastung der ursprünglichen Probe dezimale Verdünnungen der Probe in sterilem, vollentsalztem Wasser angelegt. Aus in der Regel verschiedenen Verdünnungsstufen wurde je 1 ml Probe in 9 ml sterile MUG-Laurylsulfat-Bouillon überführt. Es erfolgte eine Inkubation über 24 Stunden bei 36 °C. Sowohl gesamt- als auch fäkalcoliforme Keime wurden über die Gasbildung aus Laktose identifiziert. Die Fäkalcoliformen wurden über einen  $\beta$ -D-Glucuronidase-Nachweis durch Spaltung von 4-Methylumbelliferyl- $\beta$ -D-glucuronid mit Auftreten von Fluoreszenz bei 366 nm und einem positiven Indoltest von den Gesamtcoliformen abgegrenzt. Der Indoltest erfolgte durch vorsichtiges Eintropfen von mindestens drei Tropfen KOVAC's-Reagenz (Merck eurolab). Eine positive Reaktion wurde durch eine rosa bis intensiv kirschrote Färbung der Indolphase deutlich. Im negativen Fall verfärbte sich die Indolphase schwach bis stärker gelblich.

#### Methode mikrobiologisches Labor WAG

Verschiedene Volumina der Wasserproben wurden mit 10 ml Verdünnungswasser über 0,45  $\mu$ m Mischester-Filter von Schleicher und Schüll filtriert und auf DEV-Endo-Agar aufgelegt. Parallel erfolgte die Bebrütung der Proben bei 36 °C bzw. 44 °C. Alle Bakterienkolonien mit einem typischen Fuchsin-Glanz wurden bei 36 °C als coliforme Bakterien und bei 44 °C als *Escherichia coli* bewertet.

#### **2.5.2.2 Salmonellen**

Verschiedene Volumina der Wasserprobe (0,1 ml – 100 mL) wurden in Selenit-Bouillon pipettiert und für 24 h bei 36 °C inkubiert. Diese Ansätze wurden auf Rambach-Agar oder einem anderen handelsüblichen Selektivnährmedium ausgestrichen und für 24 h bei 36 °C inkubiert. Salmonellen haben aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurebildung aus Propylenglykol in Zusammenhang mit einem chromogenen Indikator für  $\beta$ -Galaktosidase einen rötlich-pinken Phänotyp [Rambach, 1990].

### 2.5.2.3 Parasiten

Der Nachweis von *Cryptosporidium sp.* und *Giardia lamblia* erfolgte in Anlehnung an die Methodenvorschrift "Isolation and Identification of Giardia Cysts, Cryptosporidium Oocysts and Free Living Pathogenic Amoebae in Water etc.", Her Majesty's Stationary Office (HMSO), London, 1989 (Anonymus, 1989). Ein Vitalitätstest wird im Rahmen dieses Verfahrens nicht durchgeführt. Die Ergebnisangabe erfolgte unter Berücksichtigung des untersuchten Volumens und wurde in *Cryptosporidium sp.* Oocysten bzw. *Giardia lamblia* Cysten pro 1 L angegeben. Das Nachweisverfahren wurde sowohl für den Zulauf als auch für den Ablauf der verschiedenen Bodenfilter eingesetzt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Beschickungen

Die Beschickung der Filter erfolgte nach Überstau der Regenüberlaufbecken bei entsprechenden Witterungsereignissen, wie z. B. Dauer- und Starkregen. Der Beprobungszeitraum umfasste die Jahre 2006 bis April 2010. Häufigkeit, Dauer und Volumen der Beschickung hingen vom meteorologischen Geschehen ab. Die Abflussvolumina sind in Tabelle 12 - 15 aufgelistet. Zusätzlich wurden während zwei Beschickungsereignissen in den Bodenfiltern Konzen und Heilkuhlbach (16.02. - 20.02.2009; 22.02. - 4.03.2010) über den gesamten Beschickungszeitraum verteilt Proben entnommen, um die Rückhalteleistung der Bodenfilter in Abhängigkeit von der Beschickungsdauer nachweisen zu können. In den Abbildungen 15 – 18 sind die Einstauhöhen der Filter Konzen bzw. Heilkuhlbach über den Beschickungszeitraum dargestellt. Insgesamt wurden in den Jahren 2006 bis 2010 an den verschiedenen Bodenfiltern zwischen 12 und 23 verschiedene Beschickungen beprobt.

**Tabelle 12: Abflussvolumina des Bodenfilters Heilkuhlbach**

Datum	Stand MID [m³]	Abflussvolumen Ereignis [m³]	Abflussvolumen Summe [m³]
27.07.2006	9.178		
04.08.2006	10.419	1.241	1.241
26.09.2006	10.734	315	1.556
07.11.2006	10.805	71	1.627
27.11.2006	11.001	196	1.823
05.01.2007	11.489	488	2.311
30.01.2007	19.533	8.044	10.355
14.03.2007	20.847	1.314	11.669
10.07.2007	21.652	805	12.474
27.08.2007	23.880	2.228	14.702
01.10.2007	27.723	3.843	18.545
14.11.2007	32.706	4.983	23.528
17.12.2007	40.762	8.056	31.584
29.01.2008	40.762	0	31.584
08.04.2008	46.268	5.506	37.090
09.06.2008	46.712	444	37.534
06.08.2008	48543	1.831	39.365
22.09.2008	48576	33	39.398
16.01.2009	48688	112	39.510
16.04.2009	57371	8.683	48.193
24.08.2009	57589	218	48.411
04.01.2010	57599	10	48.421
06.04.2010	66174	8.575	56.996

— RUEB Heilkullbach Level BFB [m]

NeuerGraph1

vom 16.02.2009 10:32:44  
bis 20.02.2009 10:32:43

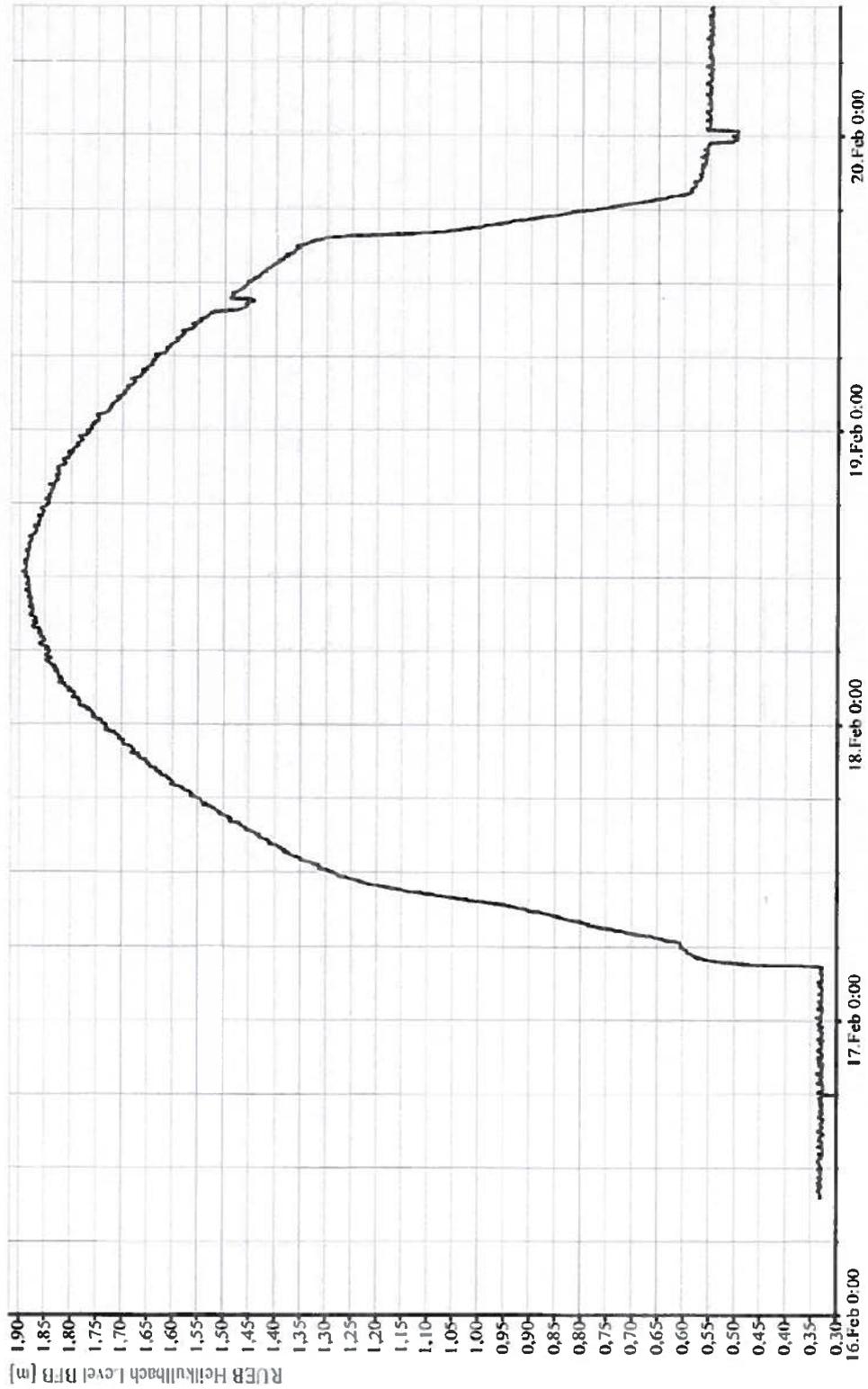


Abbildung 15: Beschickungshöhe des Bodenfilters Heilkullbach während des Beschickungsereignisses vom 16.02. – 20.02.2009

— RUEB Heilkullbach Level BFB [m]

NeuerGraph1

vom 22.02.2010 09:49:28  
bis 04.03.2010 09:49:27



Abbildung 16: Beschickungshöhe des Bodenfilter Heilkullbach während des Beschickungsereignisses vom 22.02. – 04.03.2010

Tabelle 13: Abflussvolumina des Bodenfilters Witzerath

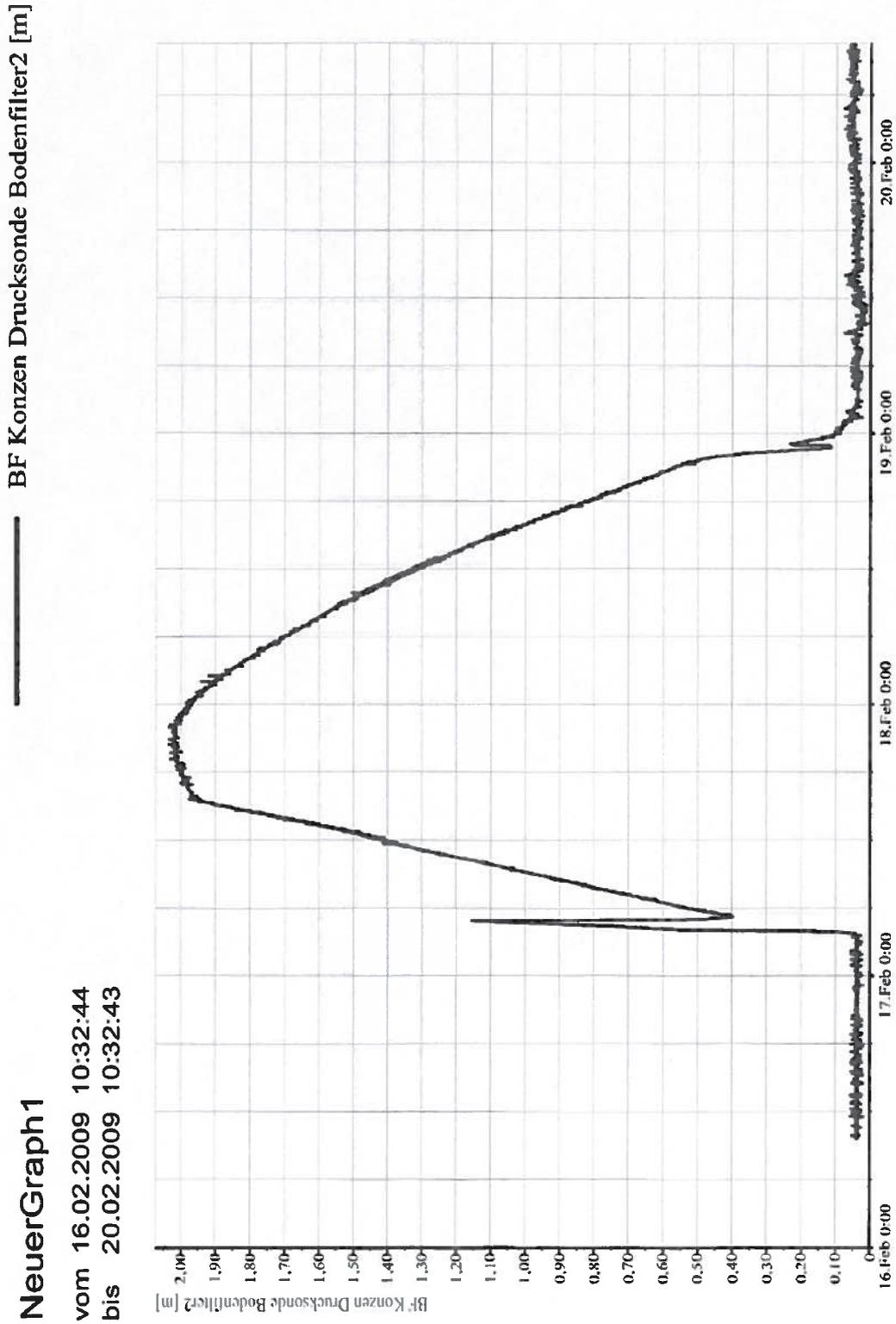
Datum	Stand MID [m³]	Abflussvolumen Ereignis [m³]	Abflussvolumen Summe [m³]
27.07.2006	388		
02.08.2006	462	74	74
04.08.2006	463	1	75
26.09.2006	710	247	321
08.11.2006	706	-4	318
05.01.2007	699	-7	311
14.03.2007	725	26	337
10.07.2007	964	239	575
23.10.2007	1.252	289	864
30.10.2007	1.345	93	957
17.12.2007	4.072	2.727	3.684
29.01.2008	4.205	133	3.817
03.03.2008	4.206	1	3.818
08.04.2008	4.206	0	3.818
09.06.2008	4.612	406	4.224
06.08.2008	5.845	1.233	5.457
22.09.2008	6.114	269	5.726
16.01.2009	6.187	73	5.799
16.04.2009	6.250	63	5.862
24.08.2009	7.161	911	6.773
04.01.2010	7.250	89	6.862
06.04.2010	7.357	107	6.969

**Tabelle 14: Abflussvolumina des Bodenfilters Rohren – Skihang**

Datum	Stand MID Schacht [m³]	Stand MID Hütte [m³]	Stand Notabschlag [m³]	Abflussvolumen Ereignis [m³]	Abflussvolumen Summe [m³]
29.09.2006	10.277				
31.01.2007	16.260	6489	3642	5.983	5.983
19.03.2007	17.270	7492	3642	1.010	6.993
13.07.2007	17.538	7760	3642	268	7.261
31.08.2007	18.444	8666	3642	906	8.167
01.10.2007	19.627	9849	3642	1.183	9.350
26.11.2007	23.151	13373	3642	3.524	12.874
17.12.2007	31.033	21255		7.882	20.756
10.01.2007	31.056	21278		23	20.779
31.03.2008	34.922	25144		3.866	24.645
06.06.2008	34.943	25165		21	24.666
06.08.2008	34.943	25165		0	24.666
06.10.2008	35.180	25402		237	24.903
15.01.2009		26540			
14.04.2009	36.770	26992		1.590	36.770
24.08.2009	37.011	27233		241	37.011
04.01.2010	37226	27448		215	37.226
09.04.2010		30284		2.836	0

**Tabelle 15: Abflussvolumina des Bodenfilters Konzen**

Datum	Stand MID Bodenfilter 1 [m³]	Abflussvolumen Ereignis Bodenfilter 1 [m³]	Stand MID Bodenfilter 2 [m³]	Abflussvolumen Ereignis Bodenfilter 2 [m³]	Stand MID Bodenfilter 3 [m³]	Abflussvolumen Ereignis Bodenfilter 3 [m³]	MID Summe Bodenfilter [m³]	Abflussvolumen Summe [m³]
15.12.2006	320		820		670		1.810	
14.03.2007	9.015	8.695	9.230	8.410	9.958	9.288	30.013	26.393
06.06.2007	44	-8.971	154	-9.076	136	-9.822	30.347	26.573
02.07.2007	261	217	197	43	201	65	30.672	26.898
31.08.2007	3.784	3.523	4.124	3.927	1.785	1.584	39.706	35.932
01.10.2007	9.955	6.171	10.432	6.308	8.438	6.653	58.838	55.064
19.11.2007	17.572	7.617	17.761	7.329	16.164	7.726	81.510	77.736
17.12.2007	30.217	12.645	29.766	12.005	29.435	13.271	119.431	115.657
29.01.2008	30.302	85	29.846	80	29.514	79	119.675	115.901
03.03.2008	31.175	873	30.600	754	30.600	1.086	122.388	118.614
08.04.2008	39.592	8.417	41.500	10.900	43.521	12.921	154.626	150.852
09.06.2008	39.847	255	41.744	244	43.811	290	155.415	151.641
06.08.2008	40.544	697	42.471	727	44.465	654	157.493	153.719
22.09.2008	40.668	124	42.621	150	44.579	114	157.881	154.107
15.01.2009	48.693	8.025	50.169	7.548	53.423	8.844	182.298	178.524
14.04.2009	63.639	14.946	64.663	14.494	70.452	17.029	228.767	224.993
24.08.2009	64797	1.158	65771	1.108	71448	996	232.029	228.255
04.01.2010	67411	2.614	68223	2.452	72458	1.010	238.105	234.331
09.04.2010	85630	18.219	86373	18.150	88064	15.606	284.005	286.306



**Abbildung 17: Beschickungshöhe des Bodenfilters Konzen während des Beschickungsereignisses vom 16.02. – 20.02.2009**

BF Konzen Drucksonde Bodenfilter1 [m]

NeuerGraph1

vom 22.02.2010 09:49:28  
bis 04.03.2010 09:49:27

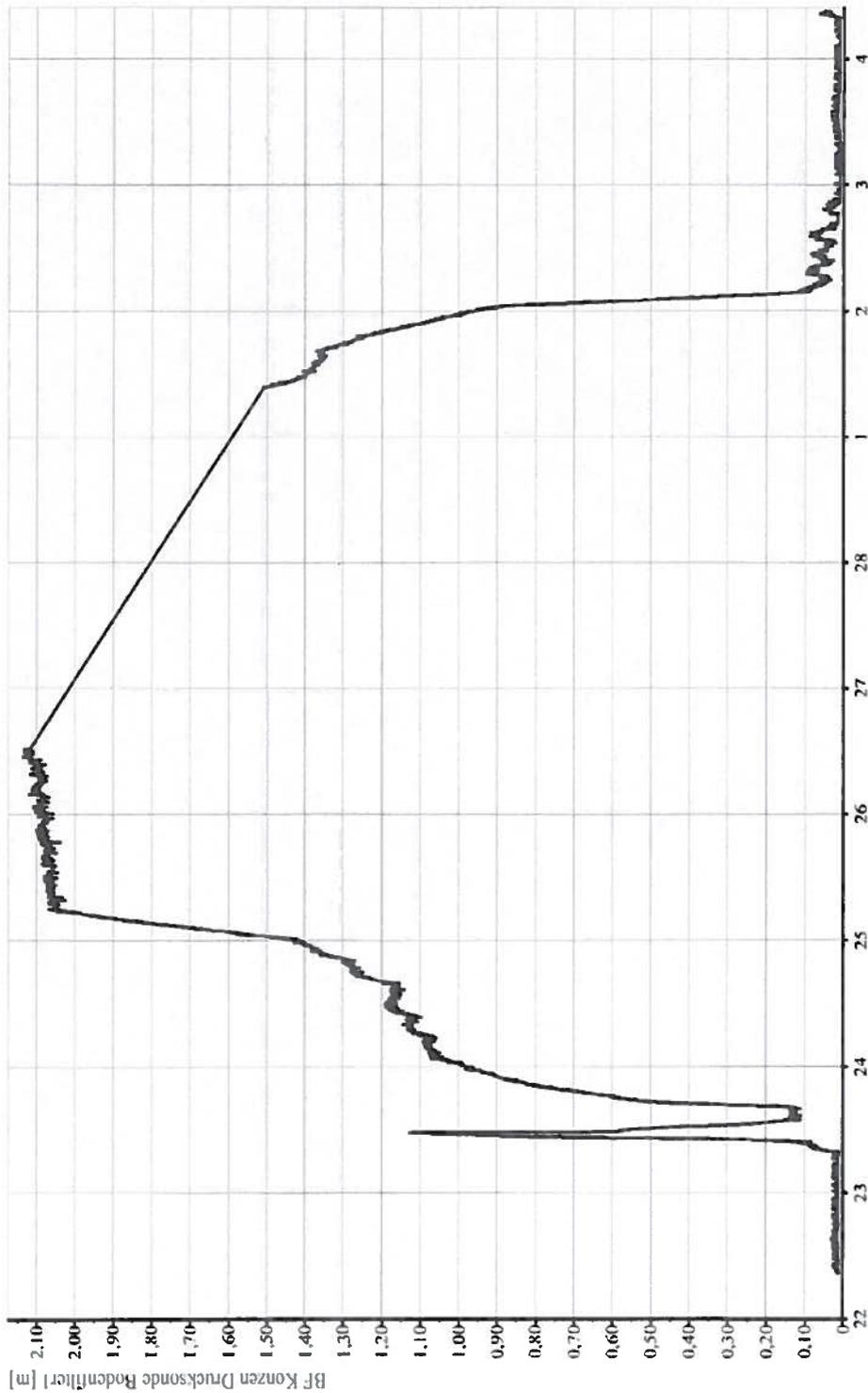


Abbildung 18: Beschickungshöhe des Bodenfilters Konzen während des Beschickungsereignisses vom 22.02. – 04.03.2010

## 3.2 Charakterisierung der Zuläufe

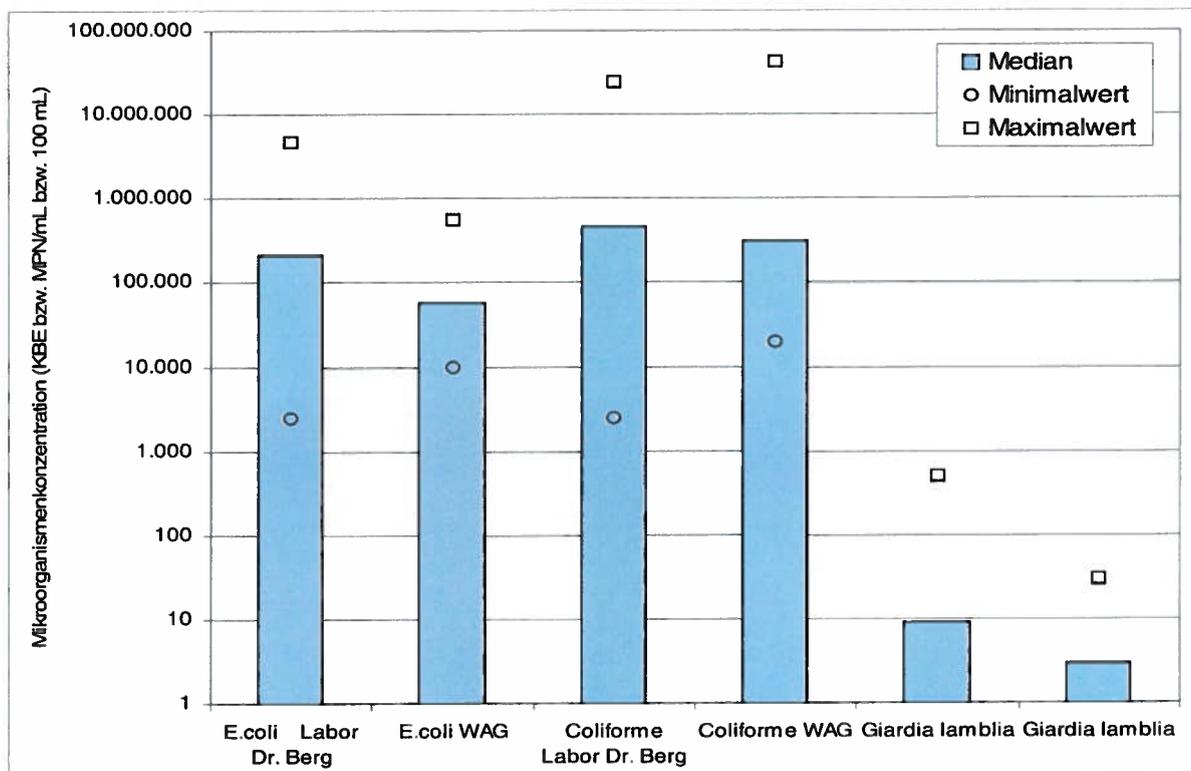
### 3.2.1 Mikrobiologische Parameter

Der Zulauf für die Bodenfilter wurde auf die Parameter *Escherichia coli*, coliforme Bakterien, *Salmonella spec.* sowie stichprobenartig auf Cysten von *Giardia lamblia* und Oocysten von *Cryptosporidium sp.* untersucht. In Tabelle 16 und Abbildung 19 sind die Ergebnisse aller Zulaufkonzentrationen als Mittel-, Median-, Maximal- und Minimalwert zusammengefasst. Die Einzelwerte der jeweiligen Untersuchungen sind dem Anhang zu entnehmen.

**Tabelle 16: Mikrobiologische Werte der Zuläufe der Bodenfilter**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
<i>E. coli</i> , Dr. Berg [MPN/100mL]	31	210.000	500.000	2.400	4.600.000
<i>E. coli</i> , WAG [KBE/100mL]	49	58.000	97.000	10.000	550.000
Coliforme, Dr. Berg [MPN/100mL]	31	460.000	1.900.000	2.400	24.000.000
Coliforme, WAG [KBE/100mL]	49	320.000	1.300.000	20.000	41.000.000
<i>Salmonella sp.</i> [MPN/100mL]	31	0	0	0	0
<i>Giardia lamblia</i> [Cysten/1L]	31	9	41	0	486
<i>Cryptosporidium sp.</i> [Oocysten./1L]	31	3	5	0	30

\*, MPN, most probable number



**Abbildung 19: Zusammenfassung der Mikroorganismenkonzentrationen aller Zulaufdaten**

Die Konzentration an *E. coli* lag im Median in Abhängigkeit von dem verwendeten Kulturverfahren zwischen 10.000 bis 100.000 *E. coli*/100 mL. Dabei lagen die Konzentrationen mit dem durch das MPN-Verfahren (Labor Dr. Berg) ermittelten Wert um ca. 70 % höher, als bei denen, die durch das Agarplattenverfahren erhalten wurden (Labor WAG).

Der Nachweis von **coliformen Bakterien** zeigte dagegen keine deutliche Abhängigkeit vom verwendeten Nachweisverfahren und lag im Median bei 1.000.000 coliformen Bakterien/100 mL. In Abhängigkeit vom Regenereignis traten sowohl bei dem Parameter *E. coli* als auch bei den coliformen Bakterien zum Teil deutlich geringere Werte um  $10^3$  Zellen/100 mL, als auch um bis zu zwei Zehnerpotenzen höhere Zulaufkonzentrationen bis zu  $10^7$  Zellen/100 mL auf (Abbildung 20). Dies lässt sich auf die in Abhängigkeit vom Abschlagereignis vorhandenen Verdünnungseffekte durch Regenwasser erklären.

**Salmonellen** waren in keiner der insgesamt 31 untersuchten Proben nachweisbar. Da die Durchseuchung der Bevölkerung mit Salmonellen rückläufig ist, sind nur geringe Konzentrationen an Salmonellen bzw. Konzentrationen unter der Nachweisgrenze detektierbar.

Die Konzentration der **Cysten** bzw. **Oocysten** im Zulauf der Retentionsbodenfilter variierte zwischen nicht nachweisbar und maximal 486 Cysten bzw. 30 Oocysten/L. In 36 % der untersuchten Proben lag die ermittelte Konzentration von *Giardia*-Cysten unter der Nachweisgrenze des Verfahrens. Im Falle der *Cryptosporidium*-Oocysten war dies nur in 23 % der untersuchten Proben nachweisbar.

Statistisch abgesicherte unterschiedliche Zulaufmediankonzentrationen der einzelnen mikrobiologischen Parameter waren von Bodenfilter zu Bodenfilter nicht eindeutig nachweisbar, so dass unabhängig vom beprobten Filter von ähnlichen mikrobiologischen Belastungen durch den Zulauf auszugehen ist.

Im Vergleich zu den Mischwasserzulaufdaten (Hiekel et al. [2002], Grobe et al. [2005]) aus der Literatur wurden für die Parameter *Escherichia coli* und coliforme Bakterien Werte in ähnlicher Größenordnung nachgewiesen. Die beschriebenen Salmonellenkonzentrationen im Zulauf von Retentionsbodenfiltern sind in der Regel ebenfalls niedrig bzw. unterhalb der Nachweisgrenze des jeweiligen Verfahrens angesiedelt. Die Konzentrationen der *Giardia lamblia*-Cysten wiesen im Vergleich zu Literaturwerten um den Faktor 2 niedrigere Werte auf. Die Konzentration an *Cryptosporidium* Oocysten entsprach dagegen den in der Literatur beschriebenen Wer-

ten. Es ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit von der Einwohnerdichte, dem Anfall und der Art der gewerblichen Abwässer sowie der Menge der Kanalablagerungen vor der Entlastung der Anteil von Mikroorganismen schwanken kann.

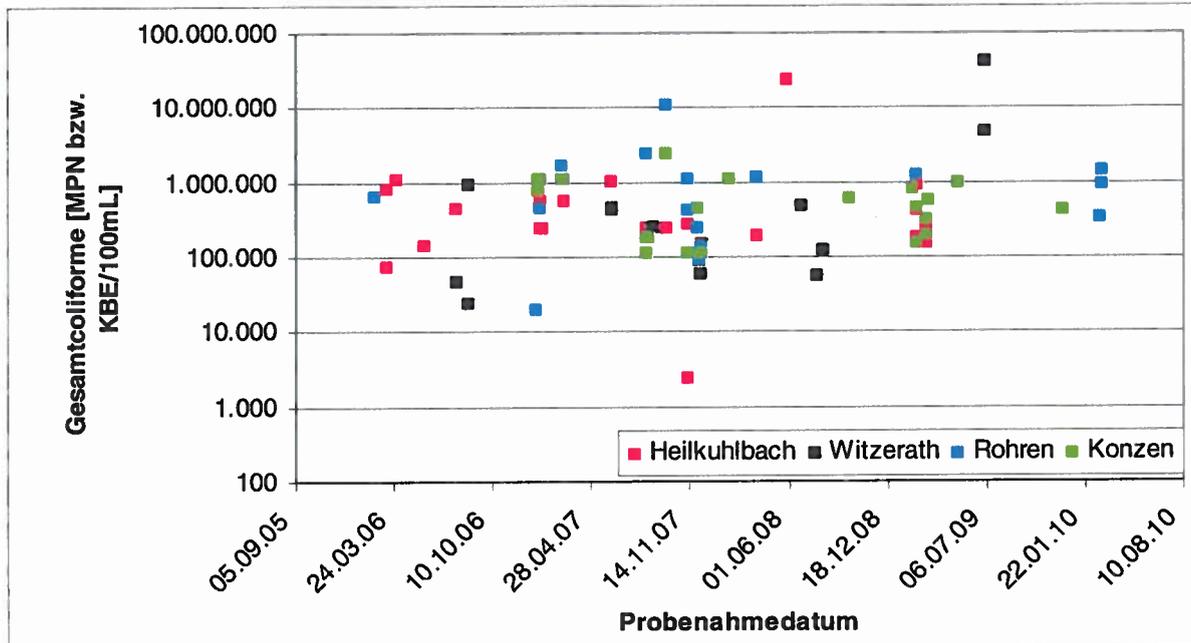


Abbildung 20: Konzentration von Gesamtcoliformen im Zulauf der RBF

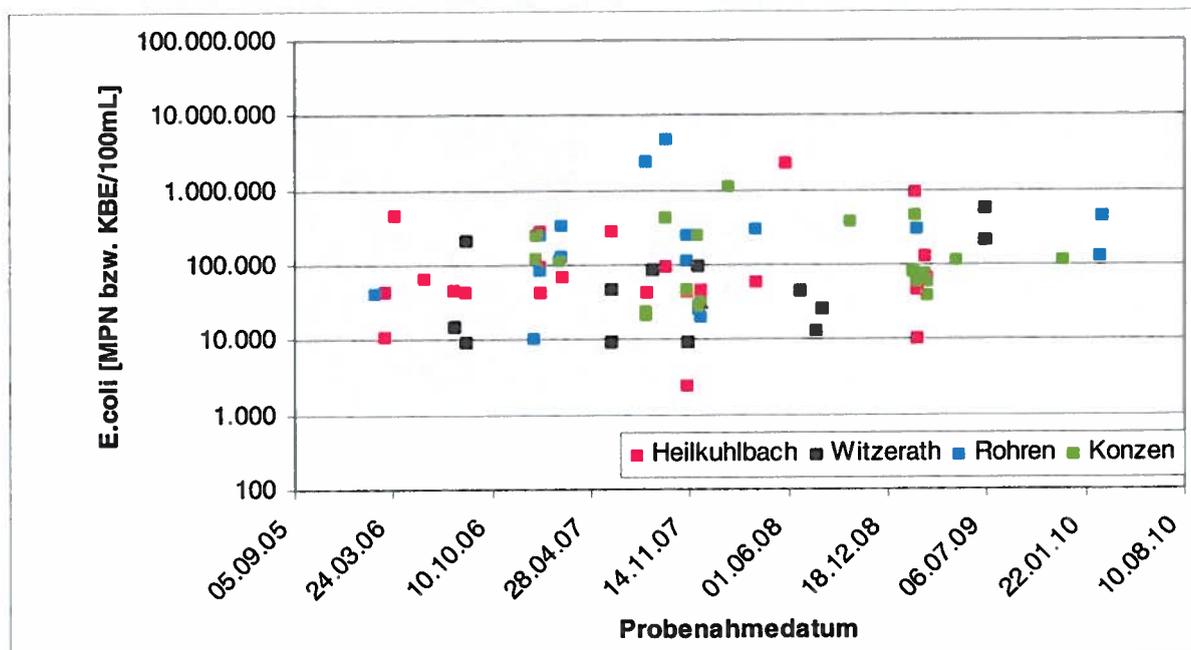


Abbildung 21: Konzentration von *E. coli* im Zulauf der RBF

Im Kapitel 3.3 wird Parameter-abhängig auf die Ablaufkonzentrationen sowie Rückhalteleistungen der einzelnen Retentionsbodenfilter eingegangen.

### 3.2.2 Chemische Parameter

Der Zulauf für die Bodenfilter wurde auf die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit, Gesamt-Phosphor, Nitrat, Nitrit, Ammonium sowie TOC und abfiltrierbare Stoffe untersucht. In Tabelle 17 und in den **Abbildung 22 bis 26** sind die Ergebnisse aller Zulaufkonzentrationen als Mittel-, Median-, Maximal- und Minimalwert zusammengefasst. Die Einzelwerte der jeweiligen Untersuchungen sind dem Anhang zu entnehmen.

**Tabelle 17: Chemisch-physikalische Werte der Zuläufe der Bodenfilter**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
pH-Wert	42	7,29	7,31	6,67	8,15
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	42	266,50	274,31	38,00	720,00
Gesamt-Phosphor [mg/L]	42	0,40	0,73	0,06	13,00
Nitrat [mg/L]	42	2,96	2,94	0,15	7,33
Nitrit [mg/L]	42	0,04	0,05	0,02	0,32
Ammonium [mg/L]	42	1,41	1,45	0,23	4,44
TOC [mg/L]	42	5,85	6,66	2,20	29,00
Abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	39	11,60	20,89	0,50	87,00

Die **pH-Werte** der Zuläufe der Retentionsbodenfilter lagen im Median bei 7,29, dies entspricht den in der Literatur beschriebenen Werten (Grobe et al., 2005). Die Leitfähigkeiten, die stark vom Verdünnungsfaktor durch Regenereignisse abhängig sind, lagen ebenfalls mit im Median 267  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in einer ähnlichen Größenordnung wie sie in Grobe et al. (2005) beschrieben wurden. Die Zuläufe der einzelnen Retentionsbodenfilter wiesen ähnliche pH-Werte und in der Regel auch **Leitfähigkeiten** auf. Eine Ausnahme bildete die letzte Probenahme am Bodenfilter Konzen, bei dem die Leitfähigkeit mit über 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  deutlich über dem Medianwert lag. Die im Zulauf gemessenen **Gesamtphosphor**-Konzentrationen lagen im Median bei 0,40 mg/L (Tabelle 17, Abbildung 23). Dieser Wert lag dabei im Vergleich zu Literaturwerten (1 – 4 mg/L) deutlich niedriger. Es wurden nur vereinzelt Werte ermittelt, die deutlich höher lagen. Dabei handelte es sich aber um Einzelereignisse. Am Bodenfilter Witzerrath wurde einmalig ein Wert von 13 mg/L nachgewiesen. Der Filter Rohren-Skihang wies bei drei Beschickungsereignissen Werte zwischen 0,75 – 1,0 mg/L auf. Im Zulauf wurden ebenfalls die **Ammonium**-Konzentrationen bestimmt. Diese lagen im

Median bei 1,4 mg/L (Tabelle 17, Abbildung 24). Die in der Literatur beschriebenen Werte liegen mit 7,4 bis 13,6 mg/L auch bei diesem Parameter deutlich höher. Die **Nitrat-** und **Nitritkonzentrationen** im Zulauf der Retentionsbodenfilter wiesen im Median Konzentrationen von 3 mg/L bzw. 0,04 mg/L auf und lagen dabei im Vergleich zu Literaturwerten, die im Median 10,1 mg/L angaben, deutlich darunter. Die Konzentration vom **gesamten organischen Kohlenstoff (TOC)** lag im Median bei annähernd 6 mg/L (Tabelle 17, Abbildung 25). Literaturwerte für den Parameter TOC für Retentionsbodenfilter-Zuläufe sind wenig publiziert. Die bei Grobe et al. (2005) beschriebenen Werte lagen mit im Median 47 mg/L um den Faktor 8 höher. Im Vergleich zu den in der Literatur beschriebenen Zulaufwerten in Mischsystemen lag die Konzentration der **abfiltrierbaren Stoffe** im Median mit 11,6 mg/L deutlich niedriger (Tabelle 17, Abbildung 26). Die in der Literatur beschriebenen Werte lagen im Median zwischen 40 und 237 mg/L. In 8 von 39 Proben wurden allerdings Werte im Rahmen der in der Literatur beschriebenen Höhe gefunden. Bodenfilter, die mit Zuläufen mit geringen AFS-Konzentrationen belastet werden, werden insgesamt einer geringeren Kolmationsgefahr ausgesetzt.

Insgesamt war die chemische Belastung der Zuläufe der Bodenfilter deutlich geringer, als dies für Mischwasserbeschickungen in der Literatur beschrieben wird. Deutliche Unterschiede in den Zulaufqualitäten der verschiedenen Bodenfilter konnten statistisch abgesichert nicht erhoben werden.

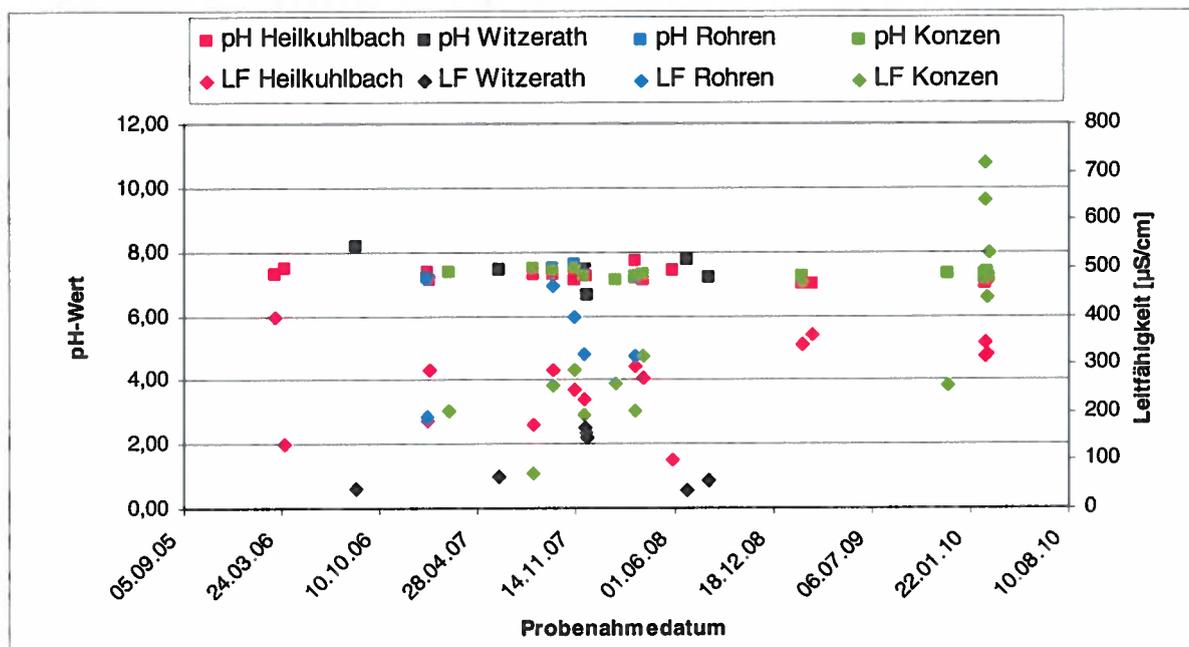


Abbildung 22: pH- und Leitfähigkeits-Werte im Zulauf der RBF



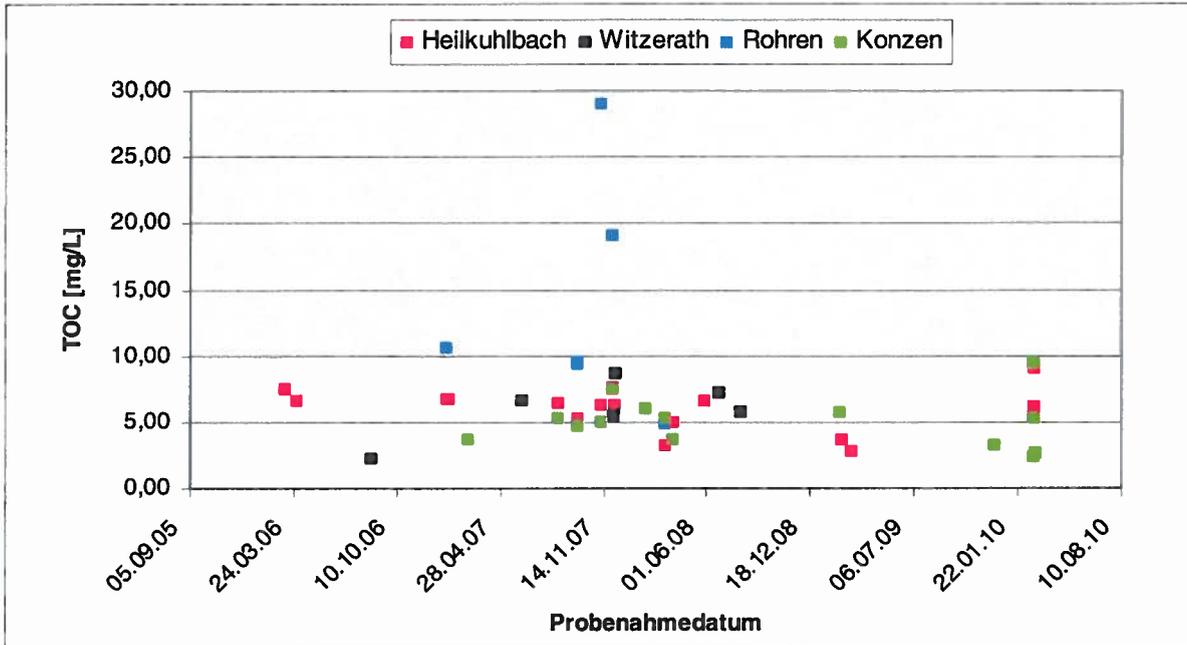


Abbildung 25: Konzentration von TOC im Zulauf der RBF

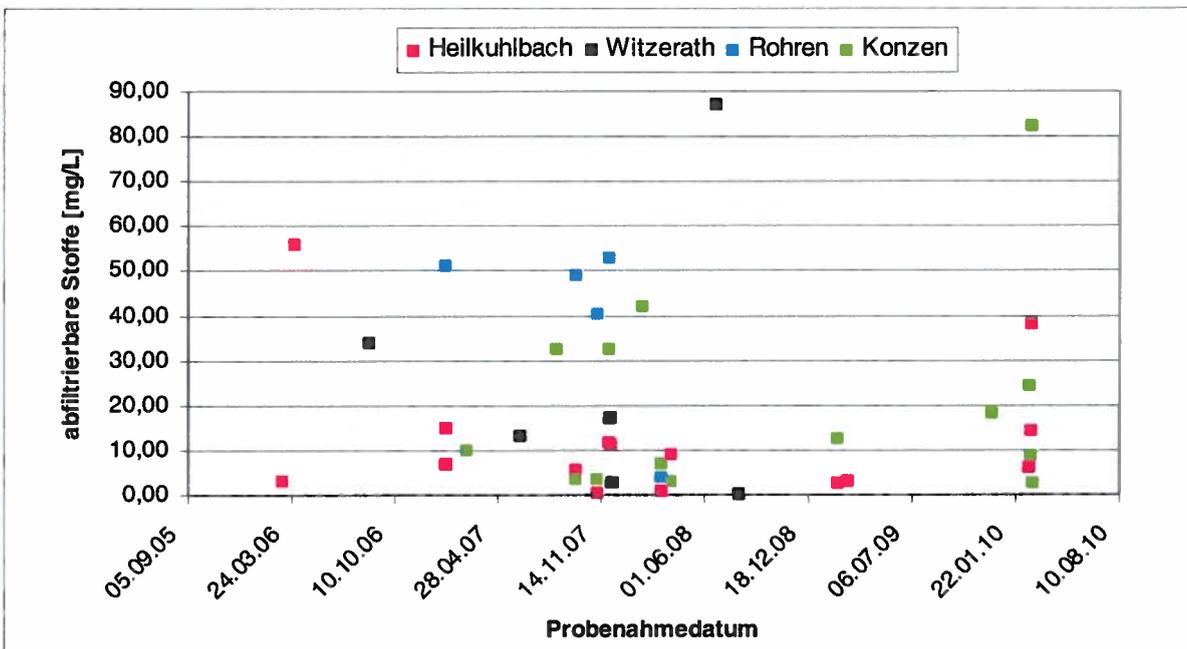


Abbildung 26: Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen im Zulauf der RBF

### 3.3 Charakterisierung der Bodenfilterabläufe

#### 3.3.1 Mikrobiologische Parameter

##### 3.3.1.1 Rückhalteleistung Bodenfilter Heilkuhlbach

Die Konzentration an *E. coli* und coliformen Bakterien sowie für Salmonellen und Giardia/Cryptosporidien wurden über den gesamten Versuchszeitraum im Zu- und im Ablauf bestimmt. Die Konzentrationen sind als Median, Mittel-, Minimal- und Maximalwert in Tabelle 18 zusammengefasst. Die Konzentration von *E. coli* im Ablauf des Bodenfilters betrug im Median etwa 2.000 bzw. 4.000 Bakterien/100 mL. Der Nachweis von Salmonellen, aber auch Giardia-Cysten sowie Cryptosporidien-Oocysten im Ablauf war entweder nicht möglich oder die Konzentrationen lagen im einstelligen Konzentrationsbereich. Die Rückhalteleistung des Bodenfilters betrug für *E. coli* zwischen 87,1 – 99,8 %, wobei ein Mittelwert von 95,5 % Rückhalteleistung erzielt wurde. Für coliforme Bakterien betrug die Rückhalteleistung zwischen 95,7 – 100 % (Mittelwert 96,2 %).

**Tabelle 18: Zusammenfassung aller mikrobiologischen Daten des Ablaufes des Retentionsbodenfilters Heilkuhlbach**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
<i>Escherichia coli</i> - Dr. Berg [MPN/100mL]	10	4.300	5.800	2.400	24.000
<i>Escherichia coli</i> - WAG [KBE/100mL]	14	1.800	2.900	300	9.000
Coliforme Bakterien - Dr. Berg [MPN/100mL]	10	6.950	250.000	2.400	2.400.000
Coliforme Bakterien - WAG [KBE/100mL]	14	7.300	9.200	1.800	29.000
<i>Salmonella</i> sp. [MPN/100mL]	11	0	0	0	0
<i>Giardia lamblia</i> [Cysten/1L]	11	0	0,36	0	4
<i>Cryptosporidium</i> sp. [Oocysten./1L]	11	0	0,18	0	2

\*, MPN, most probable number

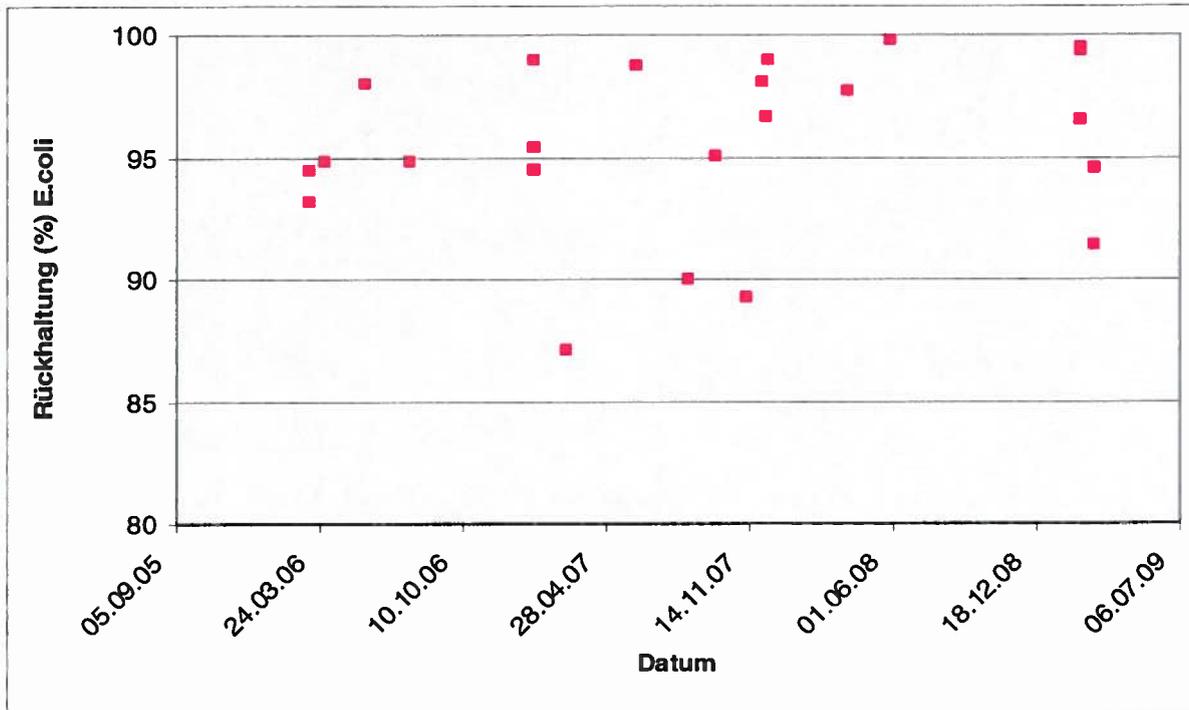


Abbildung 27: Rückhaltung von *Escherichia coli* des Retentionsbodenfilters Heilkuhlbach

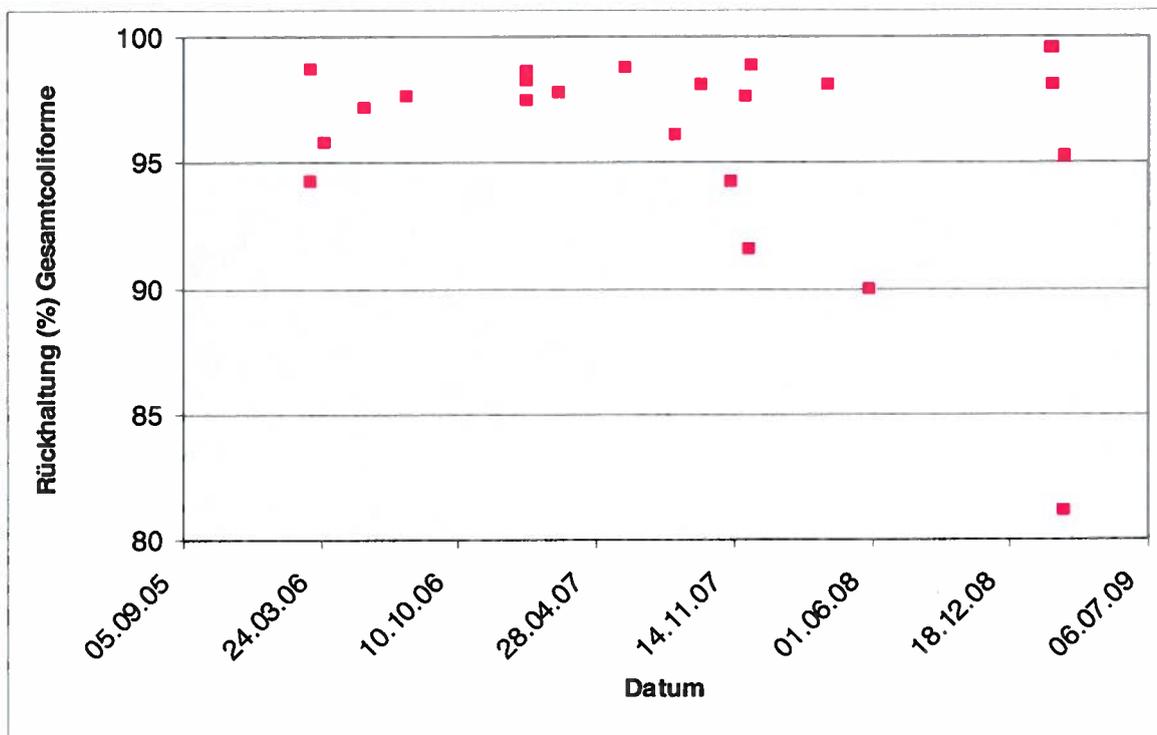


Abbildung 28: Rückhaltung von coliformen Bakterien des Retentionsbodenfilters Heilkuhlbach

Die Cryptosporidien sowie Giardien wurden hervorragend zurückgehalten, so dass nur in einer von 11 Ablaufproben überhaupt ein Nachweis erfolgen konnte. Die Rückhalteleistung betrug dabei im Mittel für Cryptosporidien 97,8 % und für Giardien 99,5 %.

### **3.3.1.1.1 Rückhalteleistung in Abhängigkeit von der Beschickungsdauer**

Zur feinstufigeren Charakterisierung und Einschätzung der Rückhalteleistung des Bodenfilters Heilkuhlbach wurden bei zwei verschiedenen, länger andauernden Beschickungsereignissen (17.02.-20.02.2009, 23.02.-01.03.2010) die Abläufe des Bodenfilters Heilkuhlbach in engem Abstand von Beginn bis Ende der Beschickung beprobt. Zur Charakterisierung der Proben wurden als mikrobiologische Parameter *E. coli* sowie coliforme Bakterien und zur Charakterisierung der Trübstofflast die Trübung stichprobenartig über den gesamten Beschickungszeitraum bestimmt. In Abbildung 29 sind die Ergebnisse bezüglich *E. coli*, coliforme Bakterien und Trübstofflast zusammengefasst.

Im Zulauf des Bodenfilters, der ca. 49 Stunden (Abbildung 29, A) beaufschlagt wurde, wurden *E. coli*-Konzentrationen nachgewiesen, die über den gesamten Versuchszeitraum zwischen 31.000 und 120.000 *E. coli*/100 mL lagen. Dabei wurde die höchste Konzentration von 120.000 *E. coli*/100 mL nach ca. 26 stündiger Beschickung nachgewiesen, danach erfolgte eine geringfügige Abnahme der Konzentration auf Werte um 40.000 – 60.000 *E. coli*/100 mL. Während des zweiten untersuchten Beschickungsereignisses wurden deutlich stärker schwankende *E. coli*-Zulaufkonzentrationen nachgewiesen, wobei auch hier ähnlich hohe Konzentrationen auftraten (Abbildung 29, B). Auch hier wurde zu Versuchsende, nach ca. 120 Beschickungsstunden, der geringste *E. coli*-Wert von 24.000 *E. coli*/100 mL nachgewiesen.

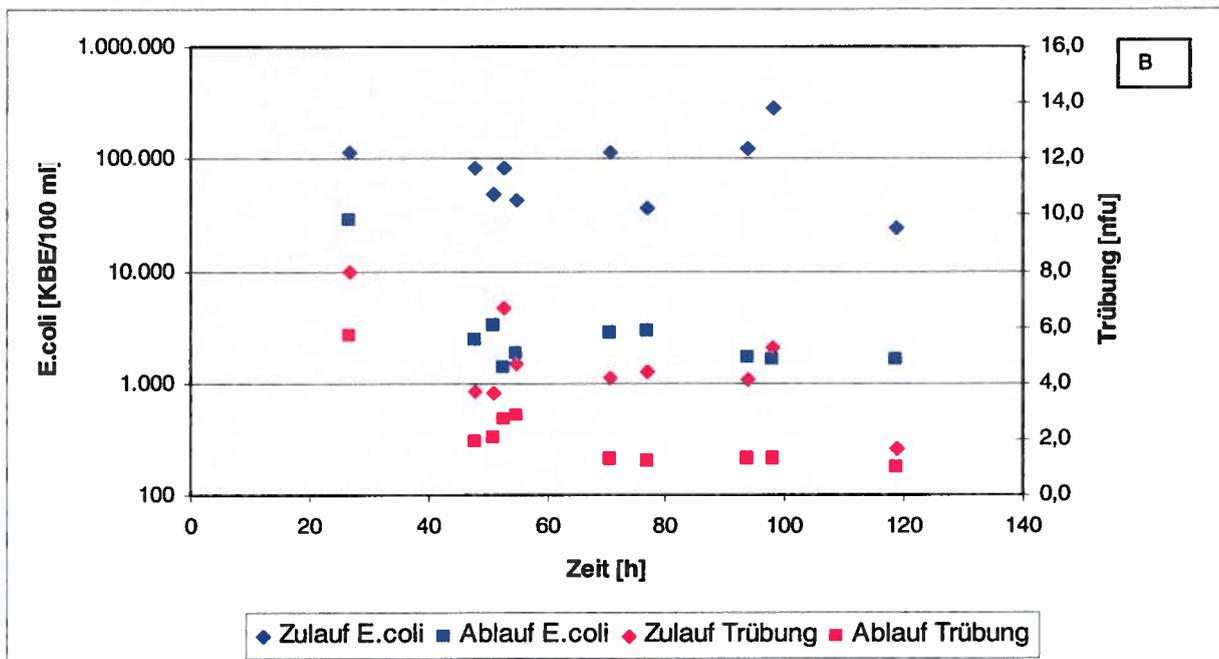
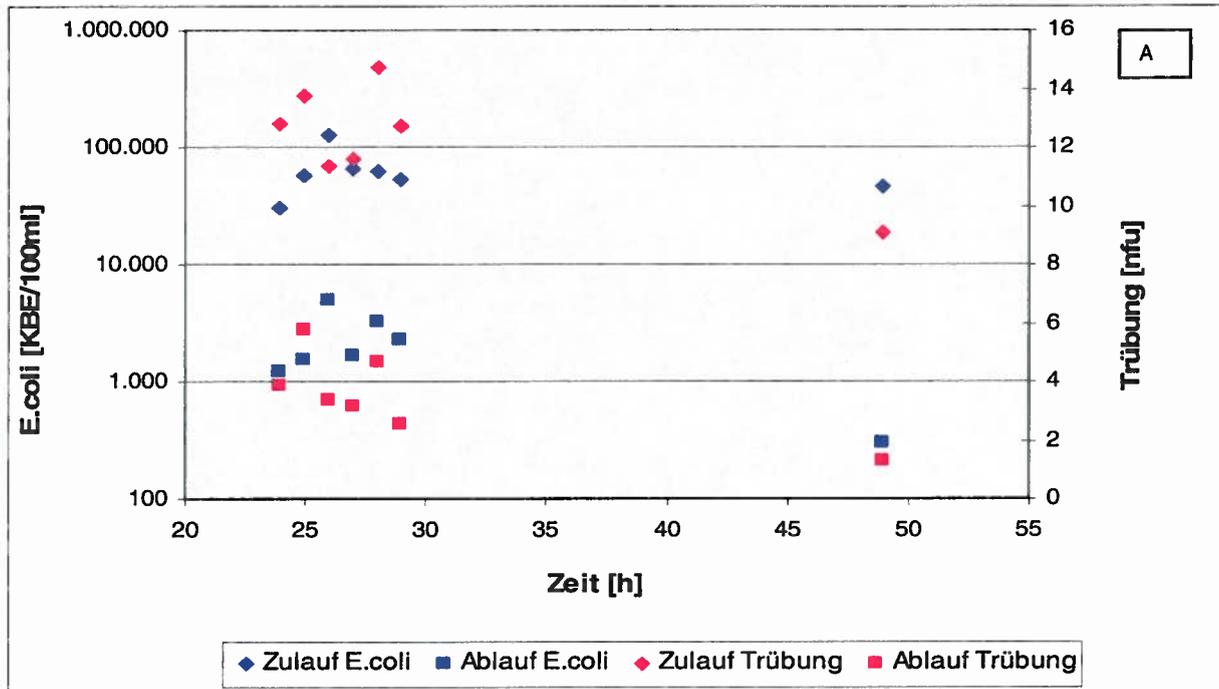
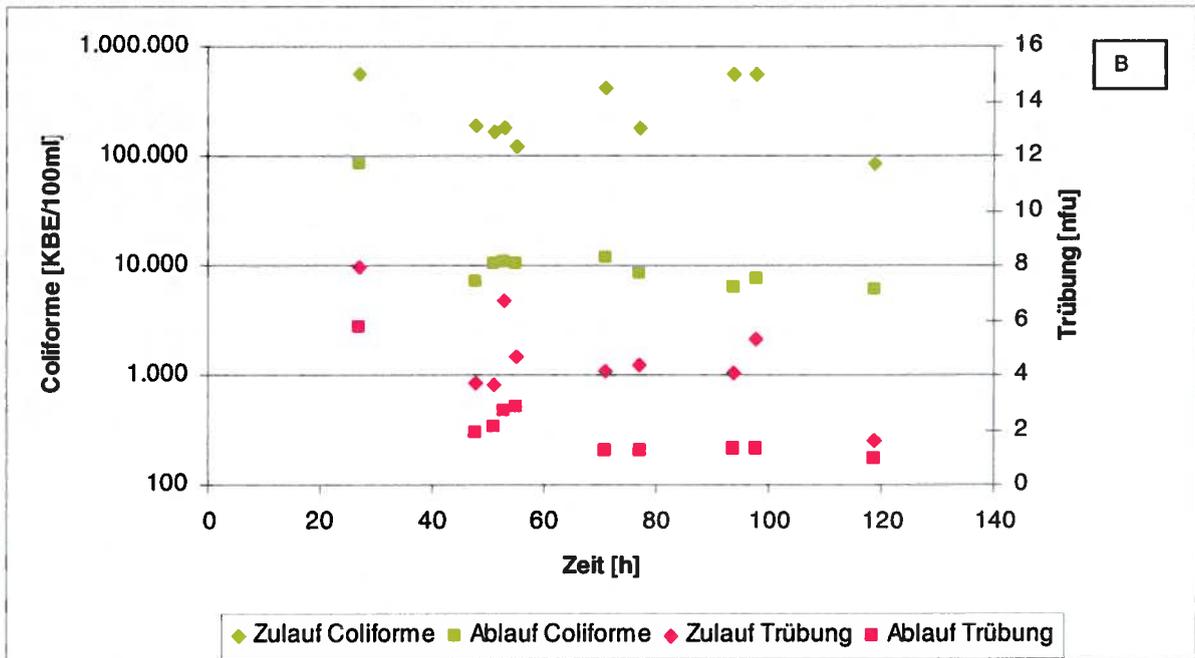
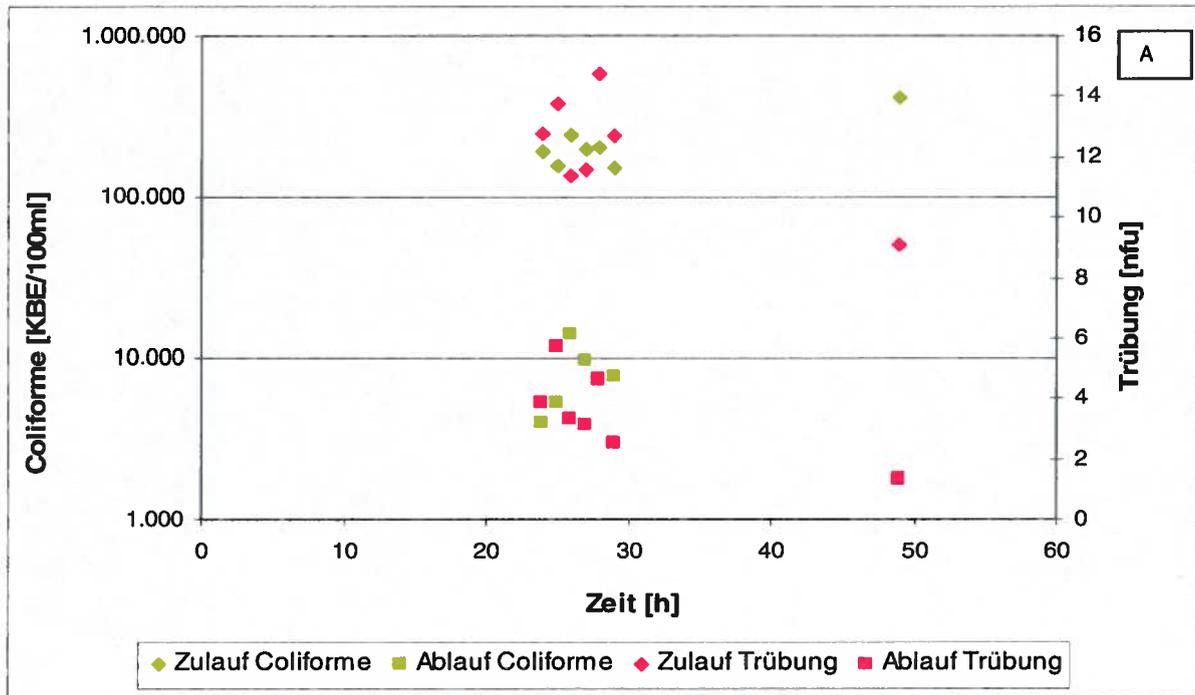


Abbildung 29: Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der bakteriellen Belastung (*E. coli*) sowie der Trübungsbelastung des Zu- und Ablaufes (A: 17.02. – 20.02.2009; B: 23.02. – 01.03.2010), Bodenfilter Heilkuhlbach

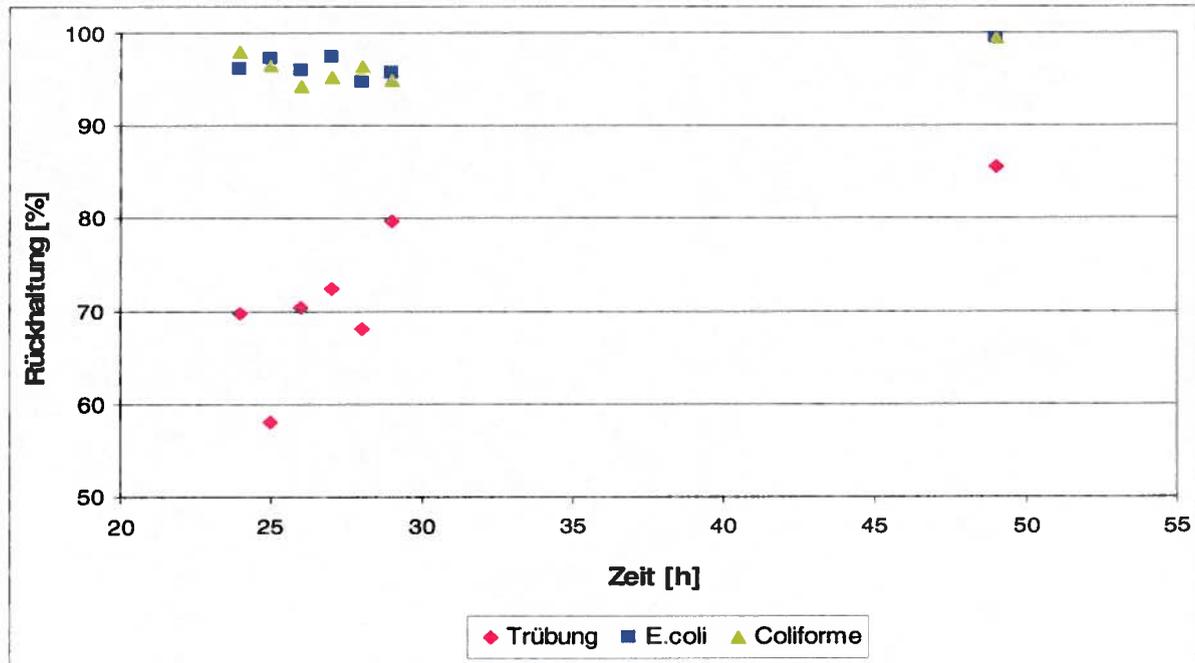
Der oben für *E. coli* beschriebene Konzentrationsverlauf konnte bei dem Parameter coliforme Bakterien nicht eindeutig nachgewiesen werden. Dort betrug die Konzentrationen im Zulauf während der ersten Beschickung fast durchweg stabil um 200.000 coliforme Bakterien/100 mL (Abbildung 30, A). Während der zweiten unter-

suchten Beschickung variierte die Coliformen-Konzentration stärker zwischen 100.000 und fast 1.000.000 coliforme Bakterien/100 mL (Abbildung 30, B).



**Abbildung 30: Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der bakteriellen Belastung sowie der Trübungsbelastung des Zu- und Ablaufes (A: 17.02. - 20.02.2009; B: 23.02. - 01.03.2010), Bodenfilter Heilkuhlbach**

Die Trübung des zulaufenden Mischwassers nahm bei beiden Beschickungen deutlich über den Beschickungszeitraum (Ereignis A: von 14 auf 9 nfu; Ereignis B: 8 auf 2 nfu) ab. Dies lässt sich auf den zunehmend einwirkenden Verdünnungsfaktor A des Regenereignisses zurückführen.



**Abbildung 31:** Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der Rückhaltung der bakteriellen sowie der Trübungsstofflast über den gesamten Beschickungszeitraum (A: 17.02. – 20.02.2009; B: 23.02. – 01.03.2010), Bodenfilter Heilkuhlbach

Die in den Kanälen befindlichen Ablagerungen werden in der Regel am Anfang eines Regenereignisses ausgespült.

Die Ergebnisse der Beprobungen des Bodenfilterablaufes zeigen, dass die Rückhaltung von *E. coli* und coliformen Bakterien sehr hoch ist und über den gesamten Beschickungszeitraum von 49 bzw. 120 Stunden leicht zu nimmt (Abbildung 31). Es wurden Rückhalteleistungen von 94,8 – 99,4 % für *E. coli* und 94,3 – 99,6 % für coliforme Bakterien für das Beschickungsereignis A sowie von 75,9 – 99,4 % für *E. coli* und 85,0 – 98,9 % für coliforme Bakterien für das Beschickungsereignis B ermittelt. Gegen Ende der Beschickung wurde jeweils der höchste Rückhaltewert erreicht. Auch wurde eine Zunahme der Rückhaltung der Trübstoffe, bedingt durch die sich ausbildende Sedimentationsschicht auf der Filteroberfläche und die im Zulauf abnehmende Trübung beobachtet (Abbildung 31).

### 3.3.1.2 Rückhalteleistung Bodenfilter Witzerath

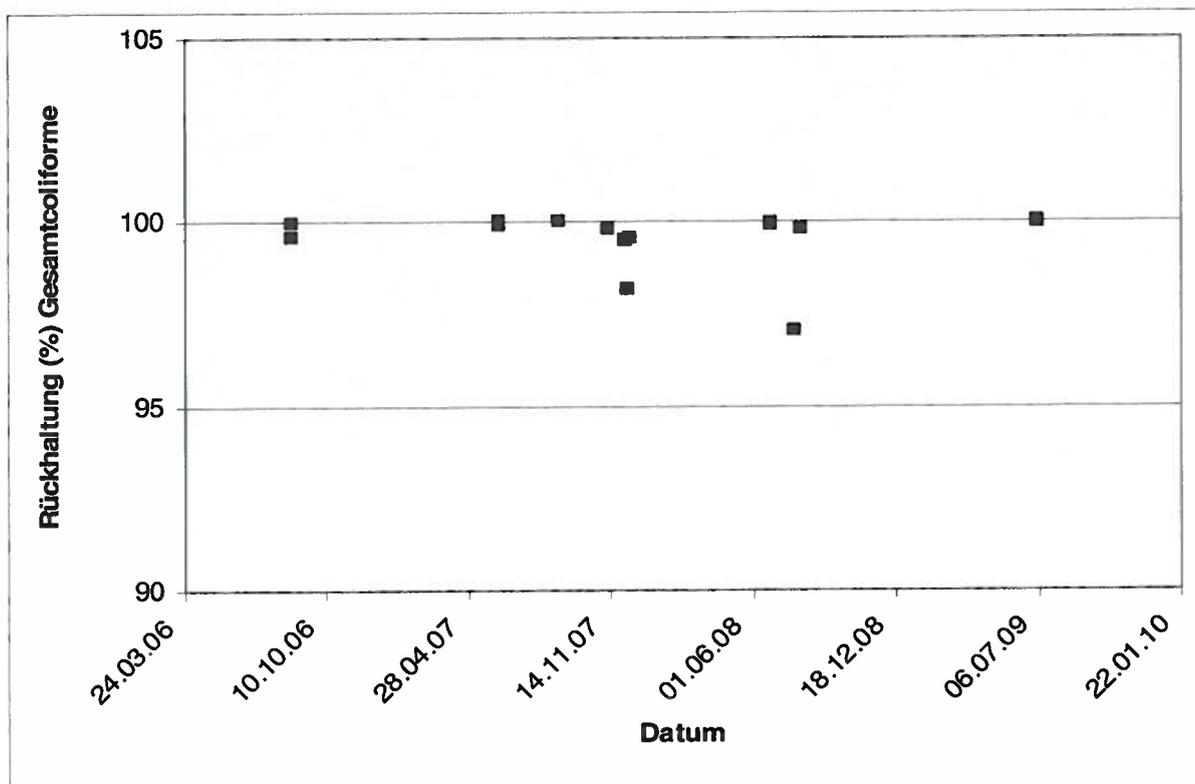
Die Konzentrationen an *E. coli* und coliformen Bakterien sowie für Salmonellen und Giardia/Cryptosporidien wurden über den gesamten Versuchszeitraum im Zu- und im Ablauf bestimmt. Die Konzentrationen sind als Median, Mittel-, Minimal- und Maximalwert in Tabelle 19 zusammengefasst. Die Konzentration von *E. coli* im Ablauf des Bodenfilters lag im Median unter 100 Bakterien/100 mL. Der Nachweis von Salmonellen, aber auch Giardia-Cysten sowie Cryptosporidien-Oocysten im Ablauf war nicht möglich. Die Qualitätsanforderungen an Badegewässer hinsichtlich des Gehaltes an *E. coli* von 500 KBE/100 mL (ausgezeichnete Qualität) wurde – bezogen auf das in der Richtlinie genannte Untersuchungsverfahren (siehe Werte Labor Dr. Berg) in fünf von sechs Fällen eingehalten, was auf eine hervorragende und nachhaltige Rückhalteleistung des Bodenfilters Witzerath zurückzuführen ist. Eine hygienische Beurteilung der Werte für coliforme Bakterien sowie Salmonellen und Parasiten ist mittels der oben genannten EU-Richtlinie nicht möglich, da diese Parameter nicht mit Beurteilungswerten aufgeführt sind.

Die Rückhalteleistung des Bodenfilters betrug für *E. coli* zwischen 97,4 und 100 %, wobei ein Mittelwert von 99,5 % Rückhalteleistung erzielt wurde. Für coliforme Bakterien betrug die Rückhalteleistung zwischen 97,0 und 99,9 % (Mittelwert 99,5 %). Die Cryptosporidien sowie Giardien wurden hervorragend zurückgehalten, so dass in keiner Ablaufprobe ein Nachweis erfolgen konnte. Die Rückhalteleistung betrug dadurch 100 % für Cryptosporidien und Giardien.

**Tabelle 19: Zusammenfassung aller mikrobiologischen Daten im Ablauf des Retentionsbodenfilters Witzerath**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
<i>Escherichia coli</i> - Dr. Berg [MPN/100mL]	6	64	470	30	2.400
<i>Escherichia coli</i> - WAG [KBE/100mL]	10	95	1.900	0	11.000
Coliforme Bakterien - Dr. Berg [MPN/100mL]	6	230	650	36	2.400
Coliforme Bakterien - WAG [KBE/100mL]	10	250	4.400	16	24.000
<i>Salmonella</i> sp. [MPN/100mL]	6	0	0	0	0
<i>Giardia lamblia</i> [Cysten/1L]	6	0	0	0	0
<i>Cryptosporidium</i> sp. [Oocysten./1L]	6	0	0	0	0

\*, MPN, most probable number


**Abbildung 32: Rückhaltung von coliformen Bakterien des Retentionsbodenfilters Witzerath**

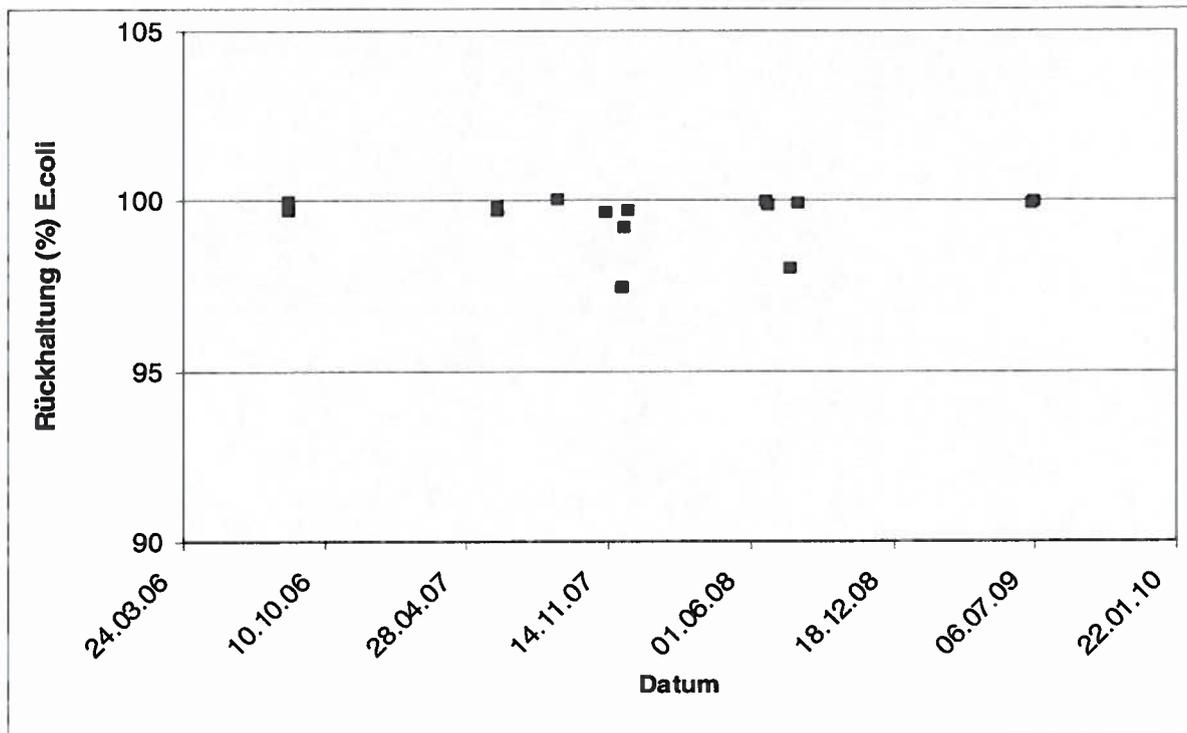


Abbildung 33: Rückhaltung von *Escherichia coli* des Retentionsbodenfilters Witze-rath

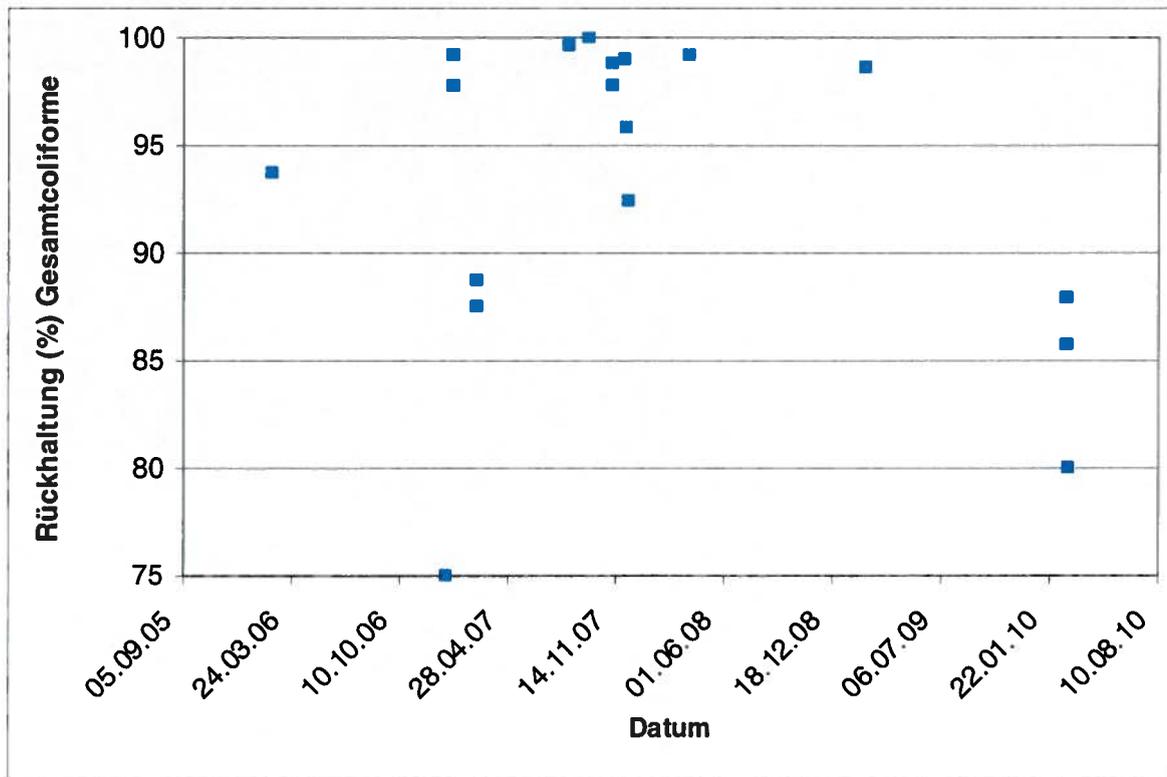
### 3.3.1.3 Rückhalteleistung Bodenfilter Rohren-Skihang

Die Konzentration an *E. coli* und coliformen Bakterien sowie für Salmonellen und Giardia/Cryptosporidien wurden über den gesamten Versuchszeitraum im Zu- und im Ablauf bestimmt. Die Konzentrationen sind als Median, Mittel-, Minimal- und Maximalwert in Tabelle 20 zusammengefasst. Die Konzentration von *E. coli* im Ablauf des Bodenfilters betrug im Median ca. 4.000 Bakterien/100 mL. Der Nachweis von Salmonellen, aber auch Giardia-Cysten sowie Cryptosporidien-Oocysten im Ablauf war nicht möglich. Die Rückhalteleistung des Bodenfilters betrug für *E. coli* zwischen 77,4 – 99,95 %, wobei ein Mittelwert von 92,7 % Rückhalteleistung erzielt wurde. Für coliforme Bakterien betrug die Rückhalteleistung zwischen 75,0 – 99,98 % (Mittelwert 93,2 %). Die Cryptosporidien sowie Giardien wurden hervorragend zurückgehalten, so dass in keiner von 5 Ablaufproben ein Nachweis erfolgen konnte. Die Rückhalteleistung betrug für Cryptosporidien und für Giardien 100 %.

**Tabelle 20 Zusammenfassung aller mikrobiologischen Daten im Ablauf des Retentionsbodenfilter Rohren-Skihang**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
<i>Escherichia coli</i> - Dr. Berg [MPN/100mL]	6	4.300	13.000	2.400	56.000
<i>Escherichia coli</i> - WAG [KBE/100mL]	12	3.800	11.000	880	42.000
Coliforme Bakterien - Dr. Berg [MPN/100mL]	6	9.300	55.000	2.400	280.000
Coliforme Bakterien - WAG [KBE/100mL]	12	14.000	50.000	3.600	210.000
<i>Salmonella</i> sp. [MPN/100mL]	5	0	0	0	0
<i>Giardia lamblia</i> [Cysten/1L]	5	0	0	0	0
<i>Cryptosporidium</i> sp. [Oocysten./1L]	5	0	0	0	0

\*, MPN, most probable number


**Abbildung 34: Rückhaltung von coliformen Bakterien des Retentionsbodenfilters Rohren-Skihang**

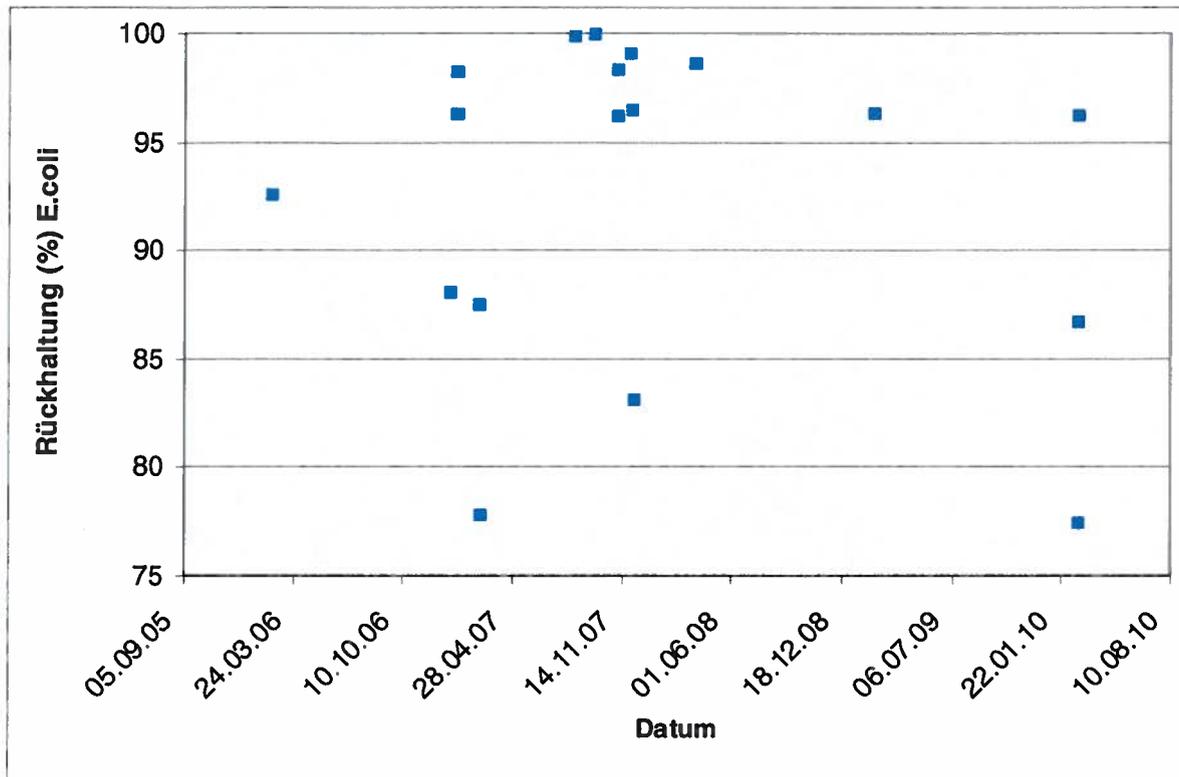


Abbildung 35: Rückhaltung von *Escherichia coli* des Retentionsbodenfilters Rohren-Skihang

### 3.3.1.4 Rückhalteleistung Bodenfilter Konzen

Die Konzentration an *E. coli* und coliformen Bakterien sowie für Salmonellen und Giardia/Cryptosporidien wurden über den gesamten Versuchszeitraum im Zu- und im Ablauf bestimmt. Die Konzentrationen sind als Median, Mittel-, Minimal- und Maximalwert in Tabelle 21: Zusammenfassung aller mikrobiologischen Daten im Ablauf des Retentionsbodenfilters Konzen – ohne UV zusammengefasst. Die Konzentration von *E. coli* im Ablauf der Bodenfilter betrug im Median ca. 8.000 – 9.000 Bakterien/100 mL, wobei die drei einzelnen Bodenfilter Konzen 1– 3 leicht unterschiedlich abschnitten. Bodenfilter 1 wies *E. coli*-Konzentrationen von 7.500 Bakterien/100 mL, Bodenfilter 2 11.000 Bakterien/100 mL sowie Bodenfilter 3 4.600 Bakterien/100 mL auf. Nach UV-Desinfektion wurden in der Regel ein- bis zweistellige Konzentrationen an *E. coli* nachgewiesen; Ausnahme bildete eine Beschickung, bei der bereits der UV-Anlage Wasser zugeführt wurde, das einen im Vergleich zu den anderen Beschickungen um den Faktor 10 bis 100 höhere *E. coli*-Konzentrationen aufwies. Der Nachweis von Salmonellen, aber auch Giardia-Cysten sowie Cryptosporidien-Oocysten im Ablauf war entweder nicht möglich oder die Konzentrationen lagen im einstelligen Konzentrationsbereich. Die Qualitätsanforderungen an Badegewässer

hinsichtlich des Gehaltes an *E. coli* von  $5 \times 10^2$  KBE/100 mL (ausgezeichnete Qualität) wurde nur im Ablauf erreicht, der mittels UV-Bestrahlung zusätzlich behandelt wurde. Hierbei konnte in 12 von 13 Proben der oben genannte Wert unterschritten werden. Die Bodenfilterabläufe vor UV-Desinfektion hielten den Wert für ausgezeichnete Qualität überhaupt nicht und den für gute Qualität von  $1 \times 10^3$  KBE/100 mL in drei von 21 Proben ein. Eine hygienische Beurteilung der Werte für coliforme Bakterien sowie Salmonellen und Parasiten ist mittels der oben genannten EU-Richtlinie nicht möglich, da diese nicht mit Beurteilungswerten aufgeführt sind. Die Rückhalteleistung des Bodenfilters Konzen betrug vor UV-Desinfektion für *E. coli* zwischen 47,8 – 99,0 % wobei ein Mittelwert von 91,8 % Rückhalteleistung erzielt wurde. Nach UV-Desinfektion erhöhte sich der Wert auf 99,4 % im Mittel. Für coliforme Bakterien betrug die Rückhalteleistung vor UV-Desinfektion zwischen 47,8 – 99,6 % (Mittelwert 91,5 %). Nach UV-Desinfektion erhöhte sich der Wert auf 99,6 % im Mittel.

Die Cryptosporidien sowie Giardien wurden hervorragend zurückgehalten, so dass nur in zwei bzw. fünf von 9 Beschickungen überhaupt ein Nachweis einstelliger Konzentrationswerte erfolgte. Die Rückhalteleistung ohne UV-Behandlung betrug dabei im Mittel für Cryptosporidien 96,7 % und für Giardien 96,2 %. Nach UV-Behandlung lagen die Werte unterhalb der Nachweisgrenze des Verfahrens.

**Tabelle 21: Zusammenfassung aller mikrobiologischen Daten im Ablauf des Retentionsbodenfilters Konzen – ohne UV**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
<i>Escherichia coli</i> - Dr. Berg [MPN/100mL]	24	9.300	27.000	930	240.000
<i>Escherichia coli</i> - WAG [KBE/100mL]	35	7.600	10.000	8.000	35.000
Coliforme Bakterien - Dr. Berg [MPN/100mL]	24	24.000	42.000	2.400	240.000
Coliforme Bakterien - WAG [KBE/100mL]	35	22.000	32.000	5.000	140.000
<i>Salmonella sp.</i> [MPN/100mL]	27	0	0	0	0
<i>Giardia lamblia</i> [Cysten/1L]	27	0,67	0	0	5
<i>Cryptosporidium sp.</i> [Oocysten./1L]	27	0,30	0	0	4

\*, MPN, most probable number

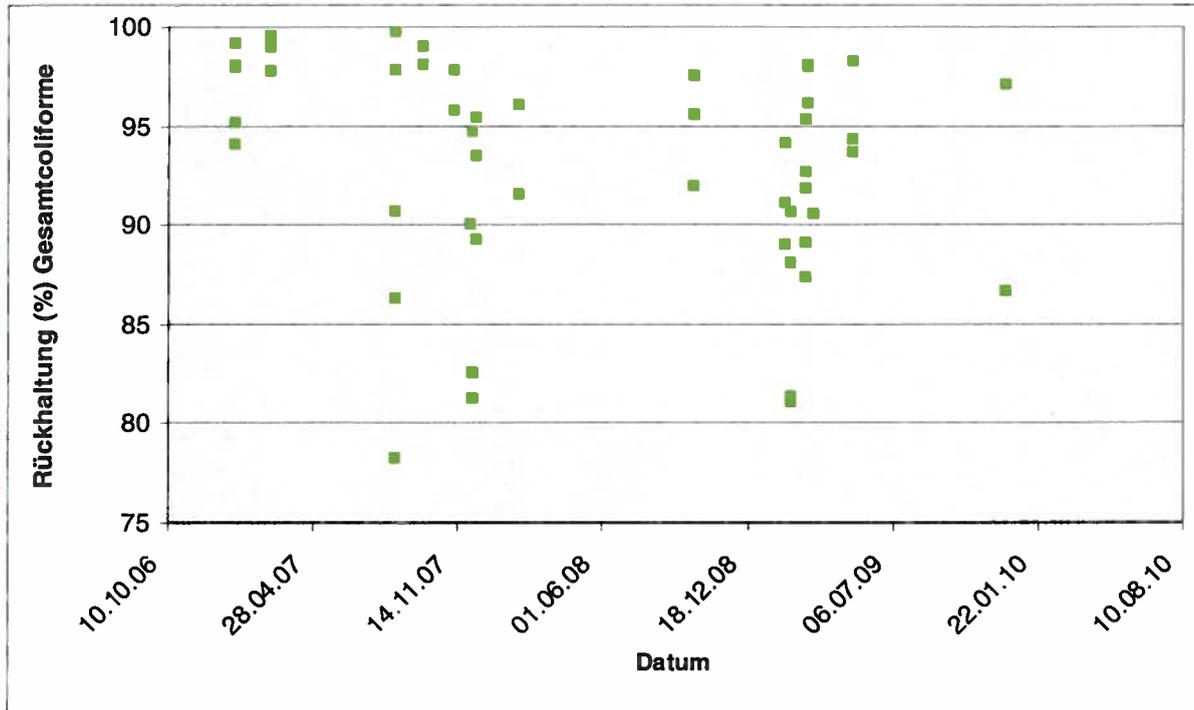


Abbildung 36: Rückhaltung von coliformen Bakterien des Retentionsbodenfilters Konzen

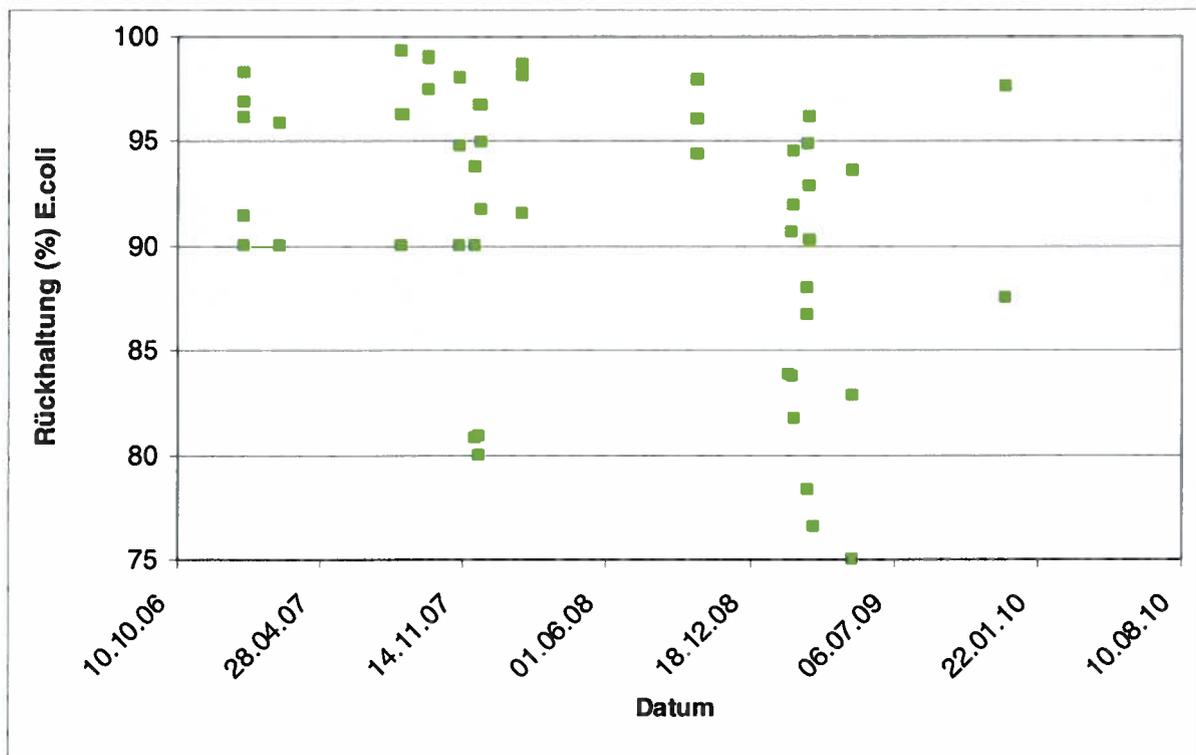
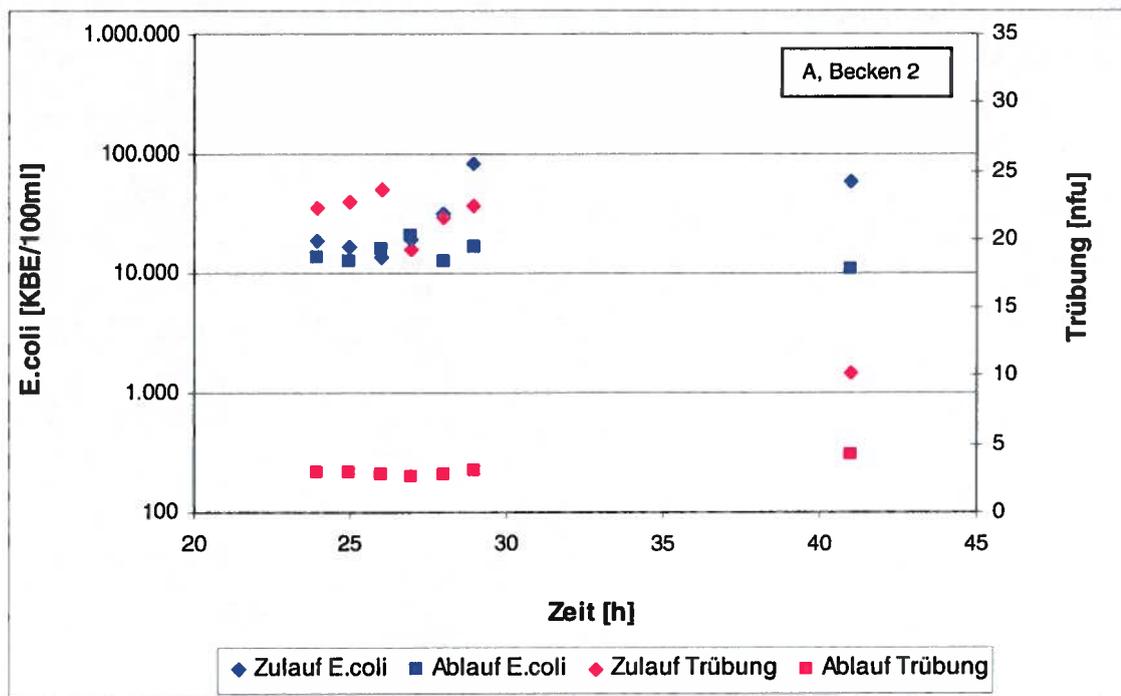
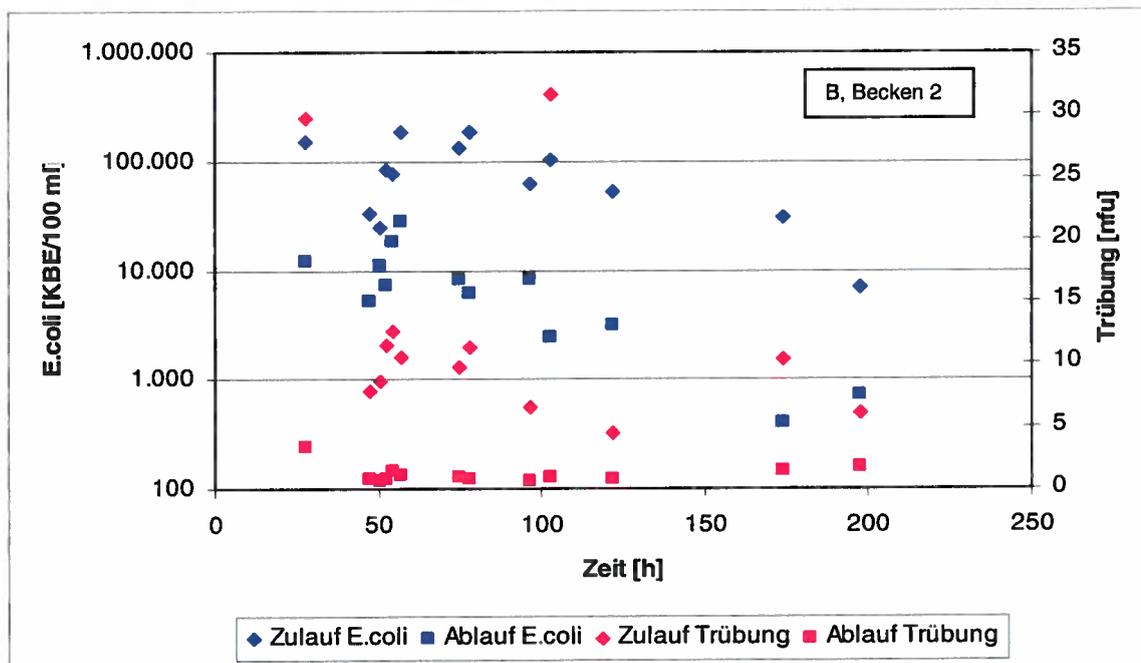
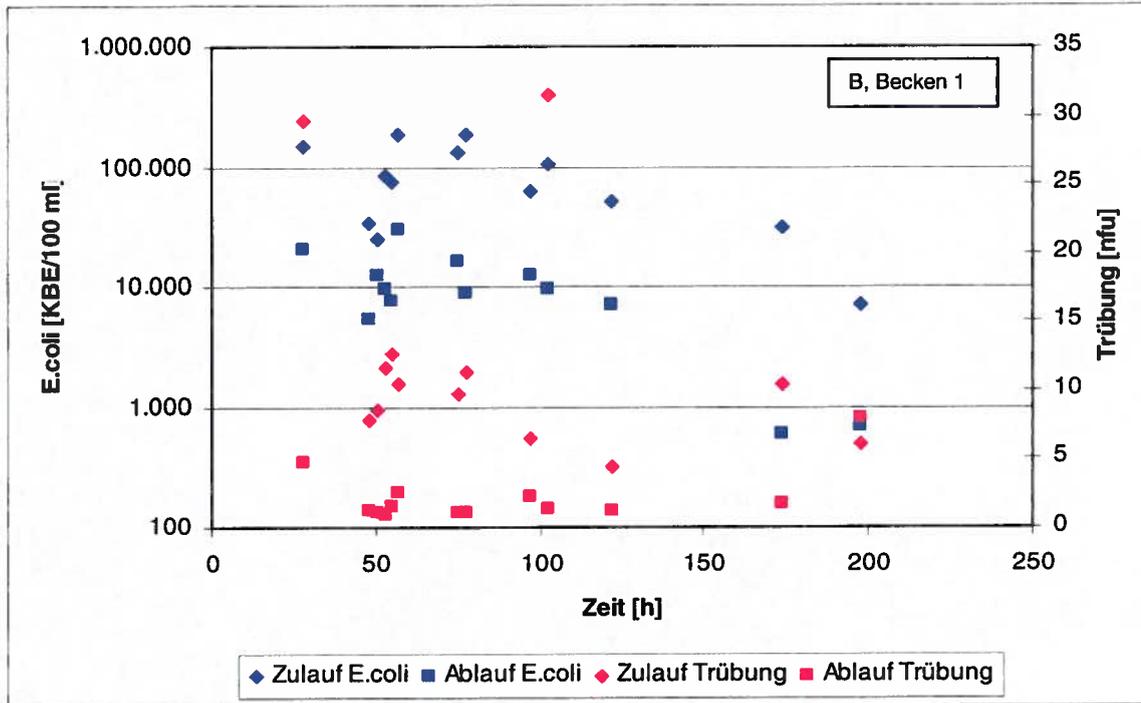


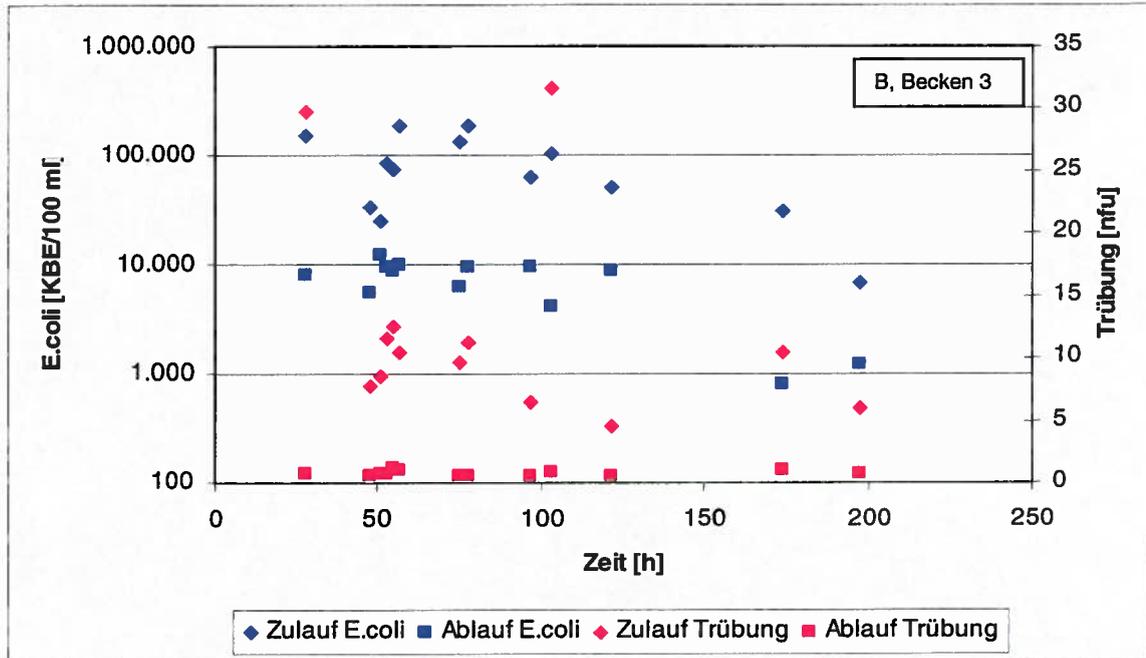
Abbildung 37: Rückhaltung von *Escherichia coli* des Retentionsbodenfilters Konzen

### 3.3.1.4.1 Rückhalteleistung in Abhängigkeit von der Beschickungsdauer

Zur feinstufigeren Charakterisierung und Einschätzung der Rückhalteleistung des aus 3 einzelnen Becken bestehenden Bodenfilters Konzen wurden bei zwei verschiedenen, länger andauernden Beschickungsereignissen (17.02.-19.02.2009, 23.02.-02.03.2010) die Abläufe des Bodenfilters in engem Abstand von Beginn bis Ende der Beschickung beprobt. Während der ersten Beschickung wurde dabei alleine der Bodenfilter 2 beprobt. In die Analyse der zweiten Beschickung wurden alle drei Bodenfilter mit einbezogen. Zur Charakterisierung der Proben wurden als mikrobiologische Parameter *E. coli* sowie coliforme Bakterien und zur Charakterisierung der Trübstofflast die Trübung stichprobenartig über den gesamten Beschickungszeitraum bestimmt. In Abbildung 38 sind die Ergebnisse bezüglich *E. coli*, coliforme Bakterien und Trübstofflast zusammengefasst.

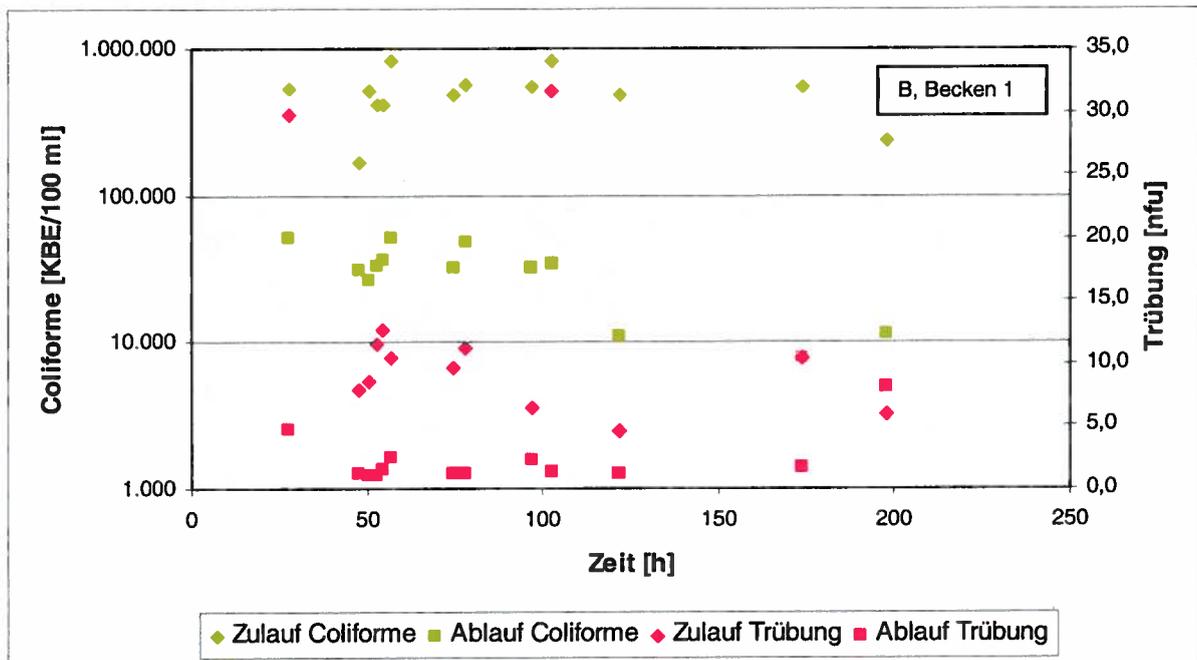
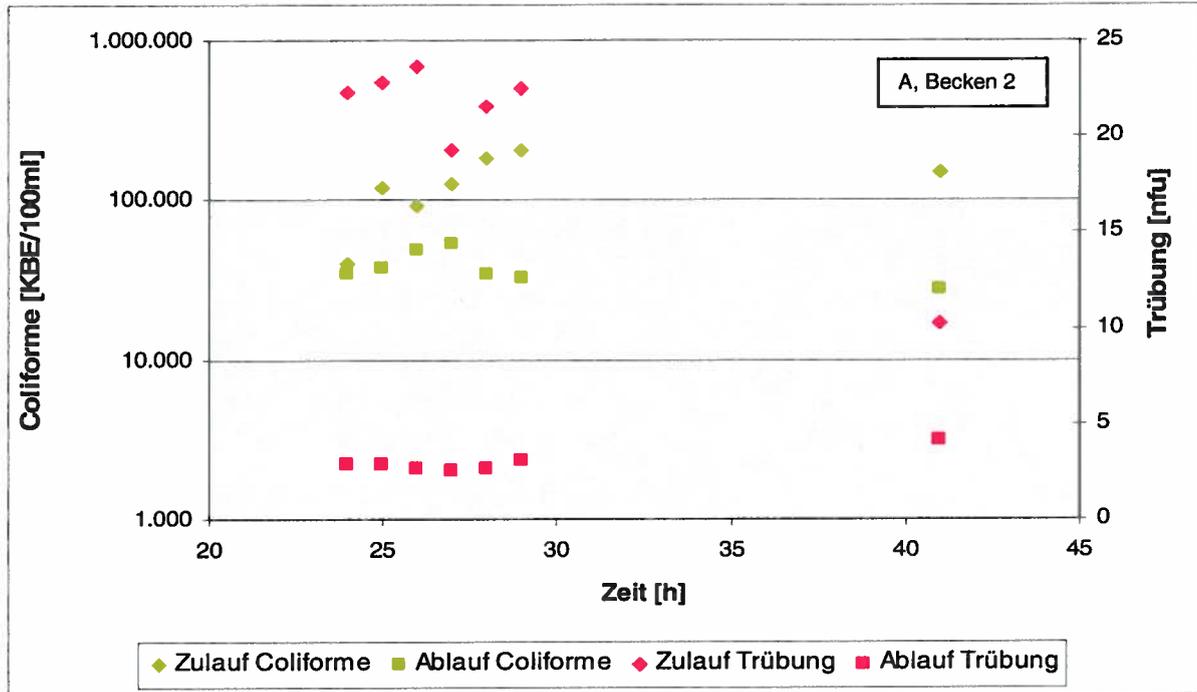


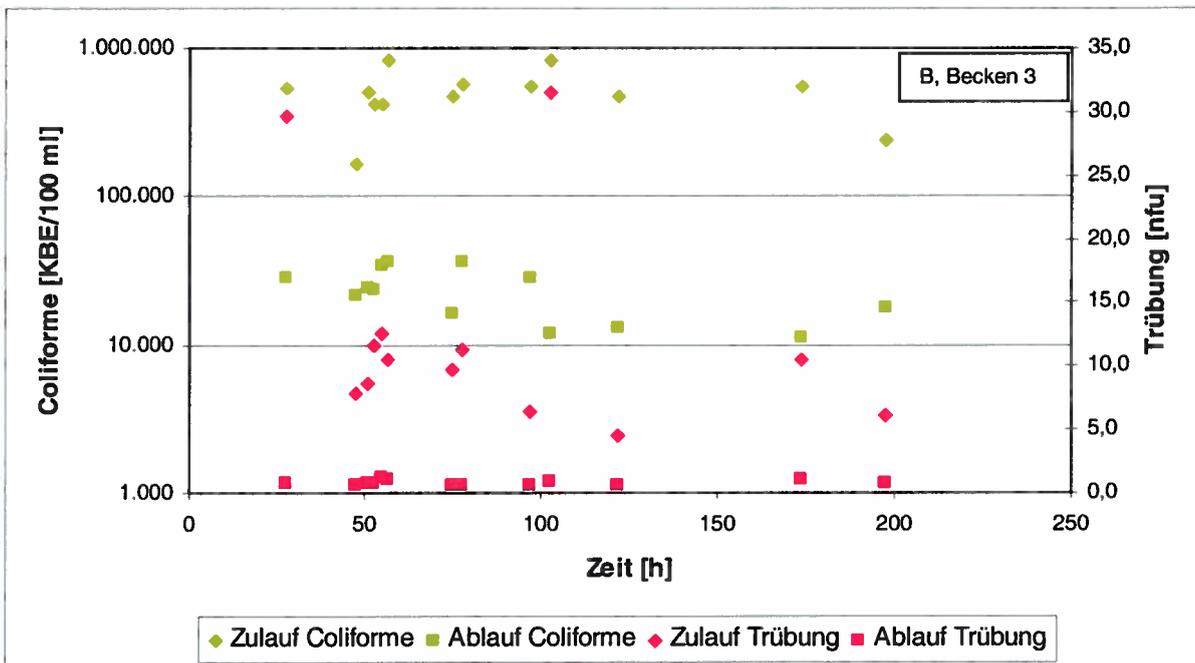
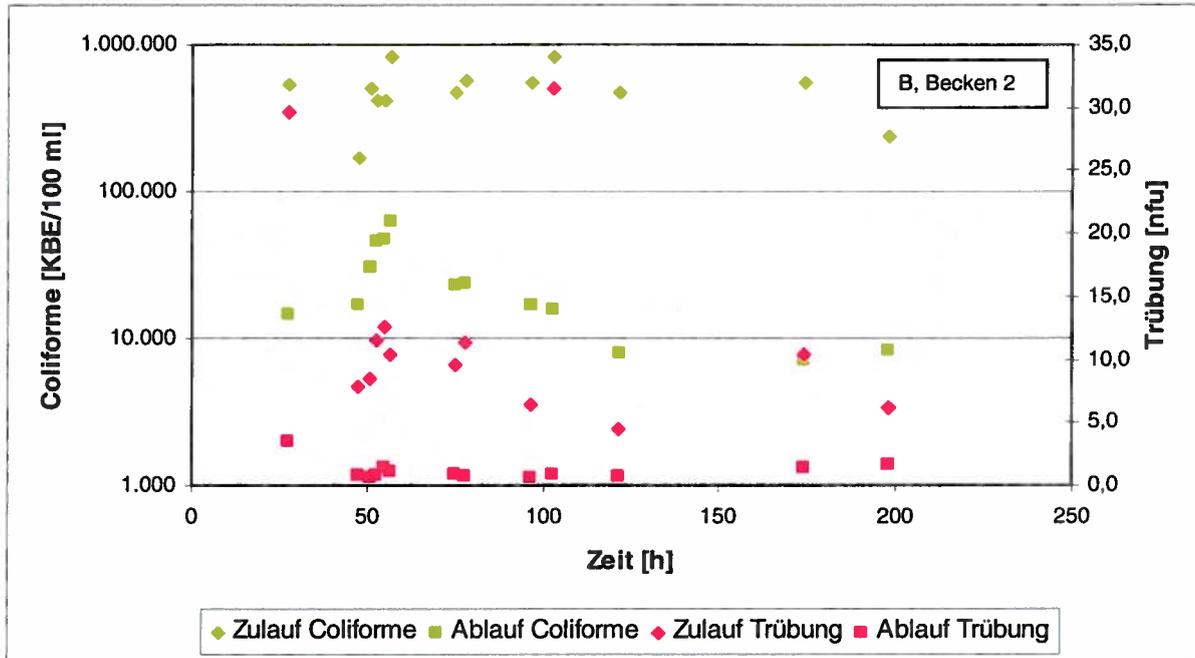




**Abbildung 38:** Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der bakteriellen Belastung (*E. coli*) sowie der Trübungsbelastung des Zu- und Ablaufes (A: 17.02. – 19.02.2009; B: 23.02. – 02.03.2010), Bodenfilter Konzen

Im Zulauf des Bodenfilters, der ca. 49 Stunden (Abbildung 38, A) beaufschlagt wurde, wurden *E. coli*-Konzentrationen nachgewiesen, die über den gesamten Versuchszeitraum zwischen 14.000 und 84.000 *E. coli*/100 mL lagen. Dabei wurde die höchste Konzentration nach ca. 29-stündiger Beschickung nachgewiesen, danach erfolgte eine geringfügige Abnahme der Konzentration. Während des zweiten sehr lang andauernden Beschickungsereignisses wurden deutlich stärker schwankende *E. coli*-Konzentrationen zwischen ca. 10.000 und 180.000 *E. coli*/100 mL nachgewiesen (Abbildung 38, B). Auch hier wurde zu Versuchsende, nach ca. 190 Beschickungsstunden, der geringste *E. coli*-Wert von 7.000 *E. coli*/100 mL nachgewiesen. Insgesamt nahm die *E. coli*-Konzentration etwa ab ca. 80 Beschickungsstunden kontinuierlich ab. Dies lässt sich aller Wahrscheinlichkeit nach auf einen verstärkten Verdünnungseffekt durch das Regenereignis und bereits abgeschlossener Spüleffekte im Kanalnetz erklären.





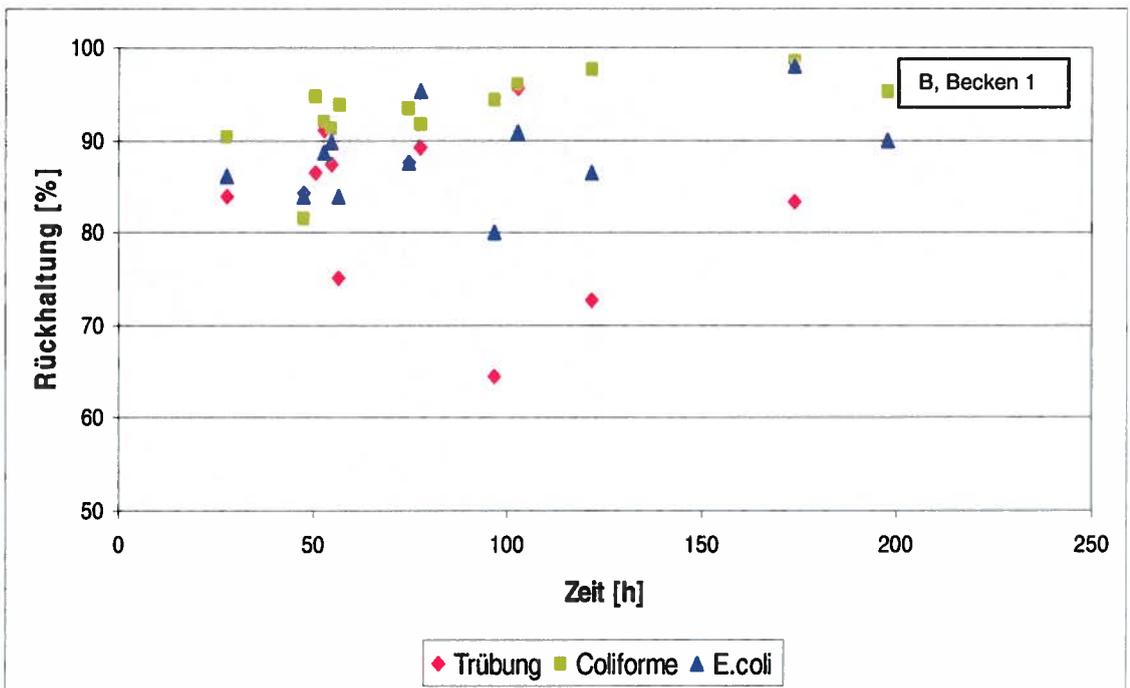
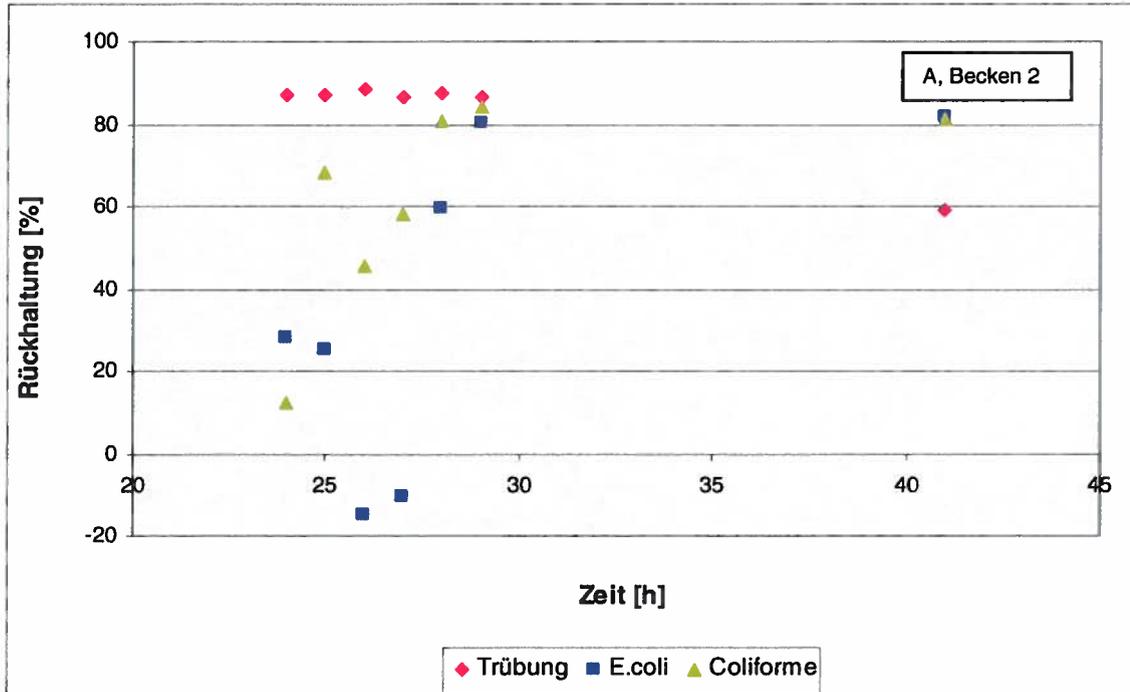
**Abbildung 39:** Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der bakteriellen Belastung (*coliforme Bakterien*) sowie der Trübungsbelastung des Zu- und Ablaufes (A: 17.02. – 19.02.2009; B: 23.02. – 02.03.2010), Bodenfilter Konzen

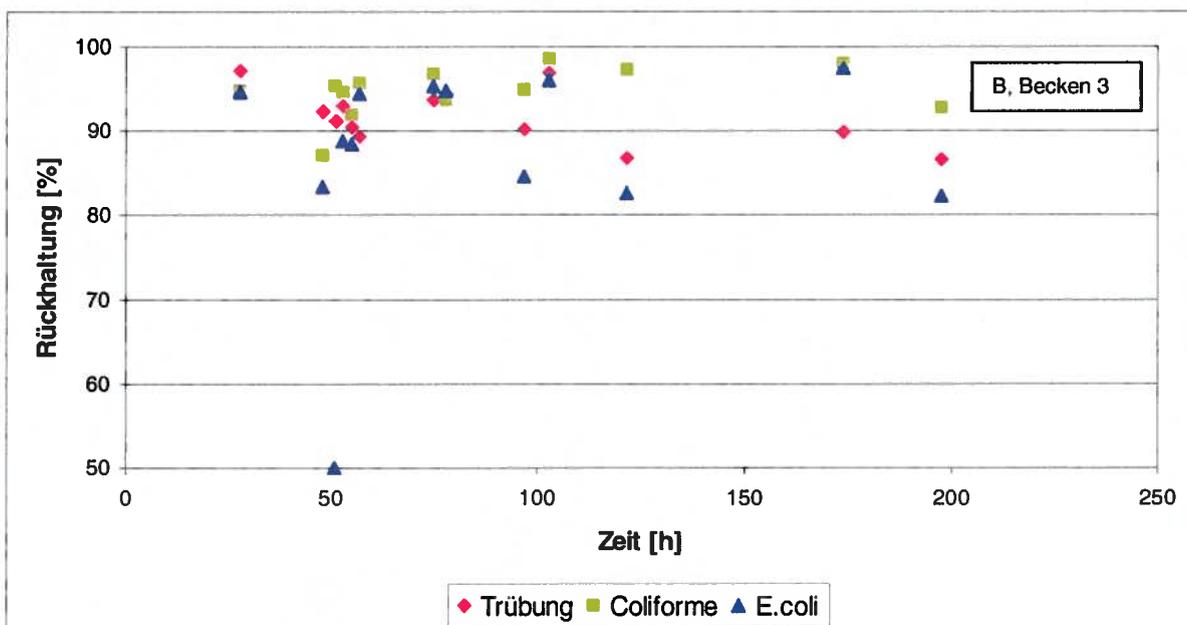
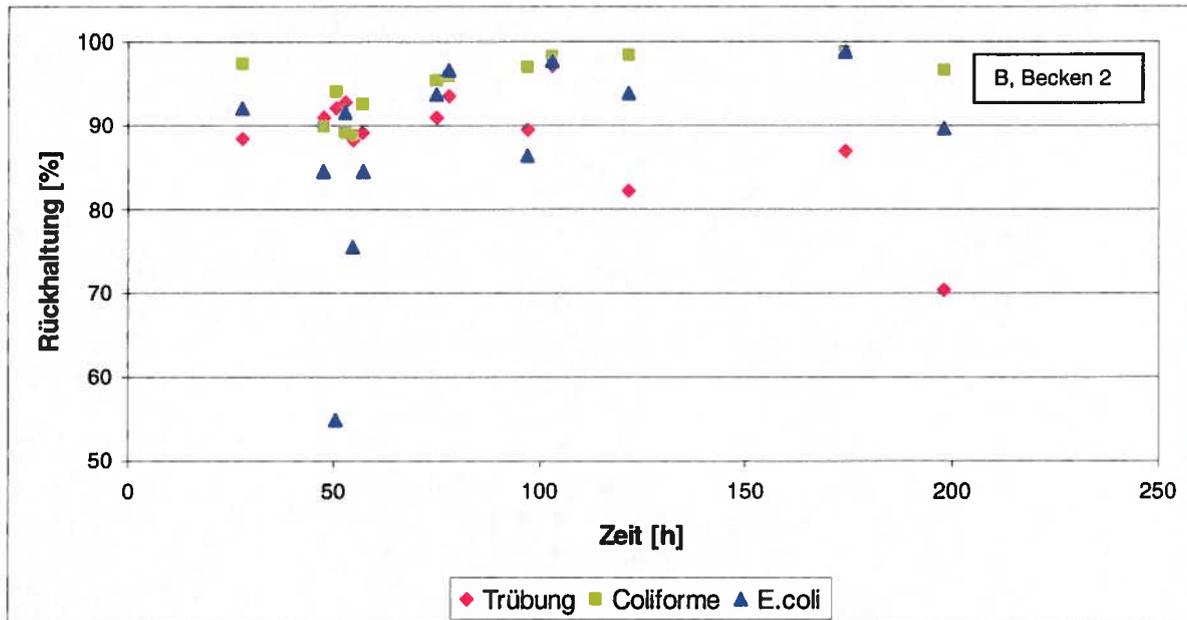
Der oben für *E. coli* beschriebene Konzentrationsverlauf konnte bei dem Parameter coliforme Bakterien nicht eindeutig nachgewiesen werden. Dort betragen die Konzentrationen im Zulauf während der ersten Beschickung fast durchweg stabil um

100.000 – 200.000 coliforme Bakterien/100 mL (Abbildung 39, A). Während der zweiten untersuchten Beschickung variierte die Coliformen-Konzentration stärker und lag mit Werten zwischen 100.000 und fast 1.000.000 coliforme Bakterien/100 mL (Abbildung 39, B) deutlich höher. Dagegen nahm die Trübung des zulaufenden Mischwassers bei der kürzeren Beschickung A erst nach mehr als 40 Stunden Beschickungszeit ab (Ereignis A: von 22,3 auf 10,2 nephelometric turbidity unit (ntu)). Das zweite deutlich längere Beschickungsereignis wies zwar generell eine tendenzielle Abnahme der Trübung auf (Ereignis B: 29,7 auf 6,1 ntu), hier wurden jedoch vereinzelt hohe Trübungswerte nach 103 bzw. 174 Stunden nachgewiesen.

Die Rückhaltung von *E. coli* und coliformen Bakterien war abhängig von der Beschickungsdauer des Filters (Abbildung 40). Während der Beschickung A lagen die Rückhalteleistungen in den ersten 25 Stunden bei maximal 28 %. Es wurde sogar zweimal ein Austrag von *E. coli* und dementsprechend negative Rückhalteleistungen nachgewiesen. Mit zunehmender Beschickungsdauer wurden jedoch dann ansteigende Rückhalteleistungen für *E. coli* detektiert, die maximal 81 % erreichten. Die Rückhaltung von coliformen Bakterien war durchgehend über den gesamten Beschickungszeitraum ansteigend. Es wurde eine maximale Rückhaltung von 84 % erreicht. Die Rückhaltung der Trübstoffe war über fast den gesamten Beschickungszeitraum mit 86 – 88 % gleich bleibend hoch. Eine Ausnahme bildete die letzte Beprobung nach 41 Beschickungsstunden, die eine verringerte Rückhaltung von 59 % aufwies. Die Ergebnisse der Beprobung des Bodenfilterablaufs beim Beschickungsereignis B, das mit ca. 200 Stunden außergewöhnlich lange andauerte, zeigen, dass die Rückhaltung von *E. coli* und coliformen Bakterien sehr hoch ist und unabhängig vom beprobten Becken leicht zunimmt. Es wurden Rückhalteleistungen zwischen 49,1 – 98,7 % für *E. coli* sowie 81,4 – 98,7 % für coliforme Bakterien ermittelt. Gegen Ende der Beschickung (174 Stunden Beschickungsdauer) wurde jeweils der höchste Rückhaltewert ermittelt. Eine Becken-abhängige Rückhalteleistung war für keinen der oben genannten Parameter nachweisbar. Eindeutig war eine leichte Abnahme der Rückhaltung der Trübstoffe über die gesamte Beschickungsdauer nachweisbar. Insbesondere Becken 1 zeigte dabei Rückhaltewerte (Mittel von 74,6 %), die stark streuten. Becken 2 sowie Becken 3 wiesen eine konstantere Rückhalteleistung von im Mittel 89 – 92 % auf, wobei eine leichte Abnahme der Leistung zum Ende der Beschickung zu beobachten war.

Selbst bei dem ca. 8 Tage andauernden Dauerbetrieb der 3 Bodenfilterbecken in Konzen, die mit einer Filtergeschwindigkeit von  $v = 0,03 \text{ l/s m}^2$  betrieben werden, konnten keine Anzeichen einer Kolmation festgestellt werden.





**Abbildung 40: Zeitabhängige Darstellung des Verlaufes der Rückhaltung der bakteriellen sowie der Trübungslast über den gesamten Beschickungszeitraum (A: 17.02. - 19.02.2009; B: 23.02. - 02.03.2010), Bodenfilter Konzen**

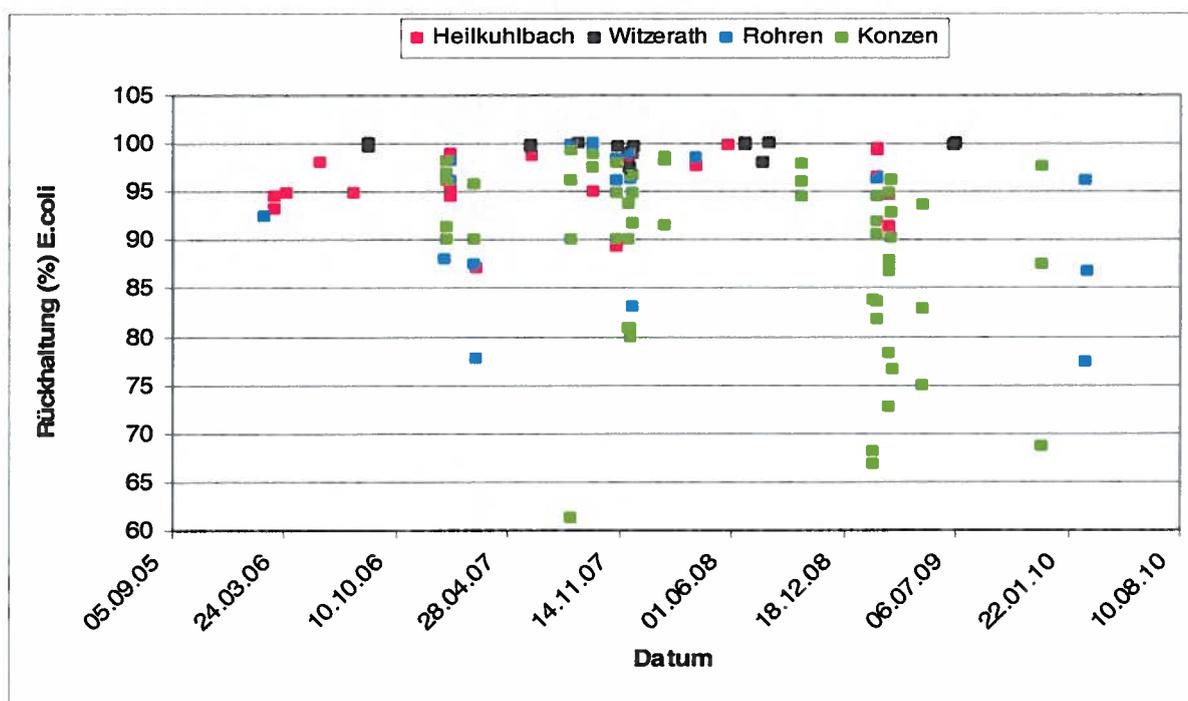
### 3.3.1.5 Rückhalteleistungen der Bodenfilter im Vergleich

Die Beurteilung der mikrobiologischen Qualität von Bodenfilterabläufen beruht auf dem Nachweis von Indikatororganismen. Die hier untersuchten coliformen Bakterien und *E. coli* sind Indikatoren, die eine potenzielle fäkale Verunreinigung anzeigen.

Salmonellen, Cryptosporidien sowie Giardien sind fakultativ bzw. obligat pathogene Bakterien, die Krankheiten auslösen können. Anhand der Indikatororganismen wurde die Rückhalteleistung der Bodenfilter vergleichend untereinander untersucht. Neben den teilweise unterschiedlichen Sandsubstraten unterschieden sich die Bodenfilter zusätzlich in ihrer Durchflussgeschwindigkeit. In Tabelle 22 und **Abbildung 41** ist die Rückhaltung des Parameters *E. coli* tabellarisch und graphisch aufgetragen. Der Parameter coliforme Bakterien ist zusammenfassend in Tabelle 23 und **Abbildung 42** dargestellt. Tabelle 24 enthält die Daten für die Parameter Cryptosporidien und Giardien.

**Tabelle 22: Rückhaltung *E. coli* durch die verschiedenen Bodenfilter**

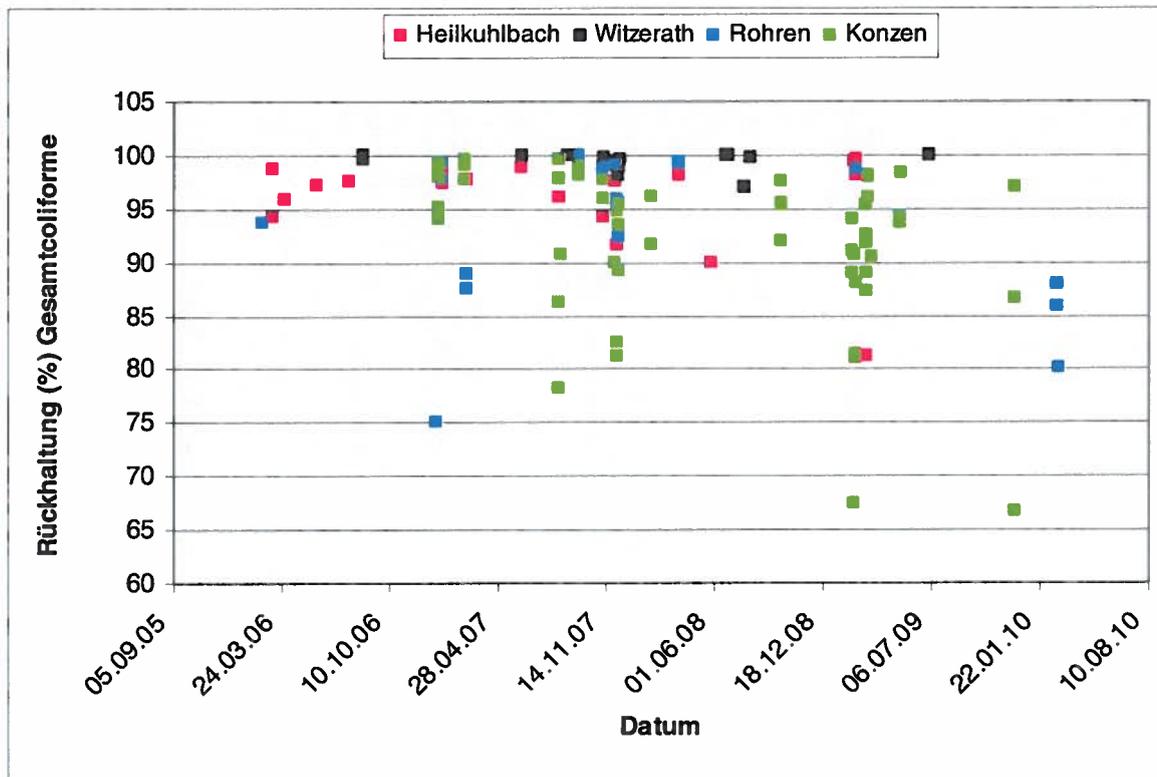
	Rückhaltung (%)				
	Heilkuhlbach	Witzerath	Rohren	Konzen	
Durchflussgeschwindigkeit (l/s*m <sup>2</sup> )	0,01	0,01	0,01	0,03	
Anzahl der Untersuchungen	24	16	18	60	13 (nach UV)
Median	95,2	99,8	96,2	91,8	99,97
Minimum	0	26,7	77,4	47,8	96,1
Maximum	99,8	100	99,95	99,0	100



**Abbildung 41: Rückhalteleistung der Bodenfilter im Vergleich – *Escherichia coli***

**Tabelle 23: Rückhaltung coliforme Bakterien durch die verschiedenen Bodenfilter**

	Rückhaltung (%)				
	Heilkuhlbach	Witzerath	Rohren	Konzen	
Durchflussgeschwindigkeit (l/s*m <sup>2</sup> )	0,01	0,01	0,01	0,03	
Anzahl der Untersuchungen	24	16	18	60	13 (nach UV)
Median	97,6	99,9	96,2	94,1	99,97
Minimum	0	47,8	75,0	47,8	97,8
Maximum	99,6	99,99	99,98	99,6	100


**Abbildung 42: Rückhalteleistung der Bodenfilter im Vergleich – coliforme Bakterien**

Die Bodenfilter waren in der Lage, bei den untersuchten Beschickungen aus dem ihnen zugeführten Mischwasser *E. coli* sowie coliforme Bakterien effizient zurückzuhalten. Dabei wurden Filterabhängig Bakterien-spezifische Rückhalteleistungen im Median von 91,8 bis 99,97 % nachgewiesen. In Einzelfällen wurden Rückhalteleistungen von 99,99 bis 100 % erreicht. Die besten Rückhalteleistungen ohne zusätzliche Desinfektionsmaßnahmen bot der Filter Witzerath, der sich deutlich von den Rückhalteleistungen der Filter Rohren und Heilkuhlbach unterschied. Die letzt ge-

nannten Filter wiesen bezogen auf die Median-Werte beide eine ähnlich hohe Leistung auf. Der Bodenfilter Rohren zeigte jedoch stärker schwankende Rückhaltewerte. Man erkennt an den Ergebnissen, dass die Durchflussgeschwindigkeit des Filtermaterials einen kleinen Einfluss auf die Rückhalteleistung der Parameter *E. coli* und coliforme Bakterien hat. Eine Erhöhung des Durchflusses um das Dreifache, verminderte die Rückhalteleistung hygienisch relevanter Mikroorganismen nur geringfügig, so dass der Bodenfilter Konzen ohne nachgeschaltete UV-Desinfektion etwas niedrigere Rückhaltewerte aufwies.

In Bezug auf den Parameter Salmonellen kann festgestellt werden, dass die Belastung des Zulaufes so gering war, dass die Untersuchungsergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Weder in den Zulauf- noch in den Ablaufproben wurden Salmonellen nachgewiesen. Eine Rückhalteleistung der Filter in Bezug auf diesen Parameter konnte daher nicht berechnet werden. Die nicht detektierbare Belastungen im Zulauf stimmt mit Literaturangaben (Hiekel et al. [2002], Grobe et al. [2005]) überein. In der neueren Literatur wird zudem berichtet, dass die Durchseuchung der Bevölkerung mit Salmonellen stark rückläufig ist und somit ein Eintrag in das häusliche Abwasser abnimmt. Die Konzentration der ebenfalls hygienisch relevanten Giardien-Zysten lag fast durchweg höher, als die der Cryptosporidien-Oocysten. Für die Parasitendauerformen wurden fast durchgehend sehr hohe Rückhalteleistungen bis zur Nachweisgrenze des Verfahrens detektiert. Eine Filter-abhängige Leistung konnte hier nicht beobachtet werden.

Die Bodenfilter waren dauerhaft in der Lage, hygienisch relevante Mikroorganismen zurückzuhalten, so dass eine deutlich verringerte Konzentration in den Abläufen detektiert werden konnte. Die an den Mischwasserentlastungsanlagen in der Vorflut ausgetragene Fracht an hygienisch relevanten Mikroorganismen konnte dadurch deutlich reduziert werden.

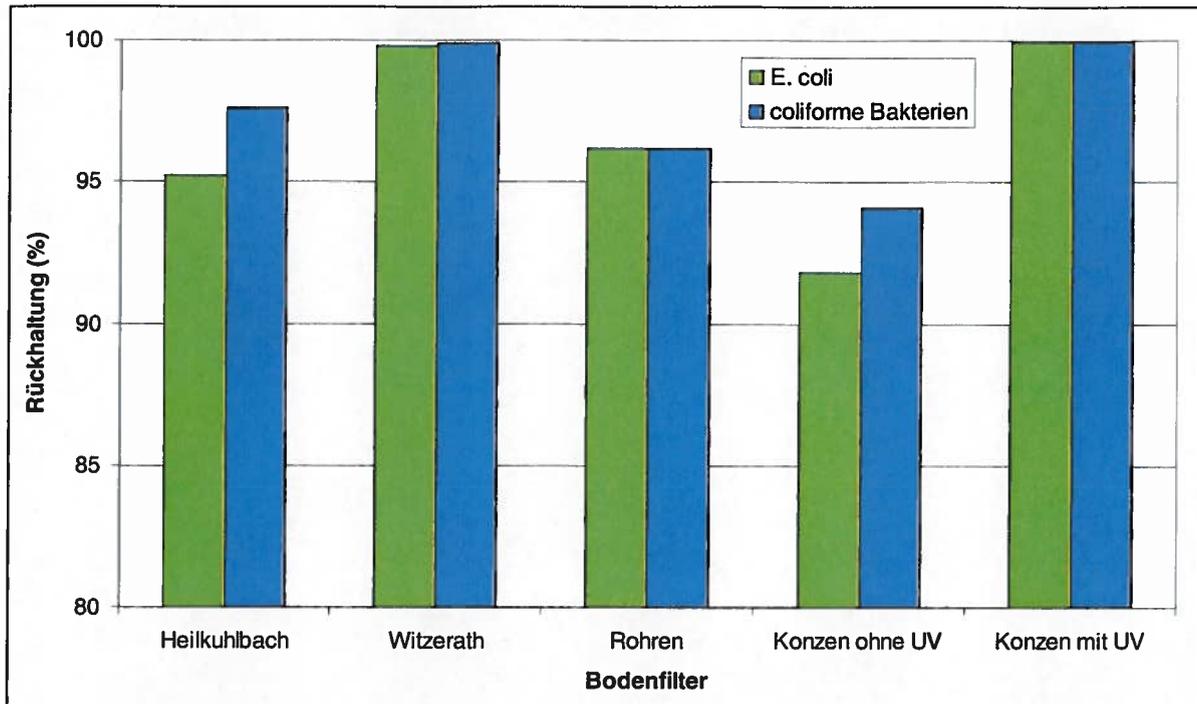


Abbildung 43: Rückhalteleistung der Bodenfilter im Vergleich – coliforme Bakterien/ E. coli

Tabelle 24: Rückhaltung der Cryptosporidien sowie Giardien durch die verschiedenen Bodenfilter

	<i>Cryptosporidium sp.</i>	<i>Giardia lamblia</i>
	Rückhaltung (%)	
<b>Bodenfilter Heilkuhlbach (n=9)</b>		
Median	100	100
Minimum	86,7	95,7
Maximum	100	100
<b>Bodenfilter Witzerath (n=2)</b>		
Median	100	100
Minimum	100	100
Maximum	100	100
<b>Bodenfilter Rohren-Skihang (n=5)</b>		
Median	100	100
Minimum	100	100
Maximum	100	100
<b>Bodenfilter Konzen ohne UV (n=27) und mit UV (n=7)</b>		
Median	100/100	100/100
Minimum	87,0/100	77,8/100
Maximum	100/100	100/100

### 3.3.2 Chemische Parameter

Zur Charakterisierung der Zu- und Abläufe der Bodenfilter wurden der pH-Wert, die Leitfähigkeit, der Gesamt-Phosphor-Gehalt, sowie die Stickstoffparameter Nitrat, Nitrit und Ammonium bestimmt. Ebenfalls wurden der TOC sowie die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf zur weiteren Charakterisierung der Rückhalteleistung der Filter herangezogen.

Der **pH-Wert** ist ein Indikator für die Pufferkapazität des Filters und bestimmt sehr stark das mikrobielle Geschehen im Filter. Bei pH-Werten im sauren Bereich werden die bei der bakteriellen Nitrifikation gebildeten H<sup>+</sup>-Ionen nicht mehr neutralisiert. Dies führt zu einer Versauerung des Filters, was zu einer Hemmung des mikrobiellen Nitrifikationsprozesses und zu einer Freisetzung von adsorbierten Schwermetallen führt. Die **elektrische Leitfähigkeit** dient als ein Indikator für die Ionenkonkurrenz im Filter. Hohe Leitfähigkeiten weisen auf eine erhöhte Ionenkonkurrenz um die Sorptionsplätze der Substrate zwischen Ammonium- und Calciumionen hin.

Der **Gesamt-Phosphor-Gehalt** wurde bestimmt, um Aussagen über die P-Sorption erhalten zu können. Die Rückhaltung von Phosphor ist ein Adsorptions-basierter endlicher Prozess und stark abhängig von dem verwendeten Substrat. Die P-Sorption ist im Gegensatz zur Ammonium-Adsorption nicht reversibel, so dass im Laufe der Betriebsdauer eine Sättigung der Sorptionskapazität erfolgt. Der **TOC** sowie die Konzentration der **abfiltrierbaren Stoffe** wurden bestimmt, um die im Ablauf verbliebenen Trübstoffe bzw. die organische Last bestimmen zu können.

#### 3.3.2.1 Rückhalteleistung Bodenfilter Heilkulbach

In Tabelle 25 und in Abbildung 44 sind die ermittelten chemischen Parameter mit ihren Werten zusammengefasst.

##### pH-Wert und Leitfähigkeit

Bei den untersuchten Beschickungen wurden im Zu- als auch im Ablauf des Bodenfilters der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Der Bodenfilter Heilkulbach wies pH-Werte auf, die zwischen 7,03 und 7,78 schwankten. In 11 von 16 Untersuchungen erfolgte durch die Bodenpassage eine leichte Anhebung des pH-Wertes, die jedoch alle geringfügig ausfielen und im neutralen pH-Wert-Bereich lagen. Dies weist darauf hin, dass eine genügende Carbonatversorgung und damit Pufferleistung zur

Verfügung stand. Im Gegensatz zum Bodenfilter Witzerath lagen die Leitfähigkeiten des Ablaufes in allen Fällen ähnlich hoch wie die im Zulauf. Deutliche Veränderungen wurden nicht detektiert.

### Gesamt-Phosphor

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurde bei den untersuchten Beschickungsereignissen die Konzentration des Gesamt-Phosphor-Gehaltes bestimmt, um Aussagen zur Sorptionskapazität treffen zu können. Der Bodenfilter Heilkuhlbach hielt 42 % – 95 % der im Zulauf befindlichen Phosphor-Mengen zurück. Eine zeitliche Verschlechterung der Sorption wurde nicht nachgewiesen.

### Ammonium, Nitrit, Nitrat

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurden die Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration bestimmt. Das im Zulauf befindliche Ammonium wurde durch den Bodenfilter Heilkuhlbach um bis zu 98 % reduziert, so dass Ablaufkonzentrationen im Mittel von 0,05 mg/L detektiert wurden. Insgesamt lag die Rückhalteleistung über den gesamten beprobten Versuchszeitraum hoch, wobei die Zulaufkonzentrationen mit im Mittel 1,4 mg/L als niedrig zu bewerten sind. Das an die Bodenmatrix adsorbierte Ammonium wird nachfolgend bei der Belüftung des Filters durch den mikrobiologischen Prozess der Nitrifikation über Nitrit in Nitrat überführt. Daher sind im Ablauf des Bodenfilters Nitrit-Konzentrationen im Mittel von bis zu 0,06 mg/L nachweisbar. Dies weist daraufhin, dass der Nitrifikationsprozess nicht zu 100 % durchgeführt werden konnte. Das Wachstum und der Stoffwechsel der autotrophen nitrifizierenden Bakterien verläuft nur im pH-Bereich zwischen 7 und 8 optimal. Eine genaue Betrachtung des pH-Wertes direkt am Substrat erfolgte nicht, so dass ein unter Umständen suboptimaler kleinräumig vorhandener ungünstiger pH-Wert eine 100 % Umsetzung des Nitrit erschwert haben könnte. Die im Ablauf gemessenen Nitrat-Konzentrationen lagen im Mittel bei 3,9 mg/L, wobei in einigen Fällen Konzentrationen deutlich über dem Zulauf-Niveau erreicht wurden. Dies lässt sich mit der Ausschwemmung von Nitrat, dass während der Regenerationsphase des Filters gebildet wurde, erklären. Das Nitrat verfügt über nur geringe Sorptionseigenschaften an das Bodenfiltersubstrat und geht im laufenden Betrieb in die wässrige Phase über.

### TOC

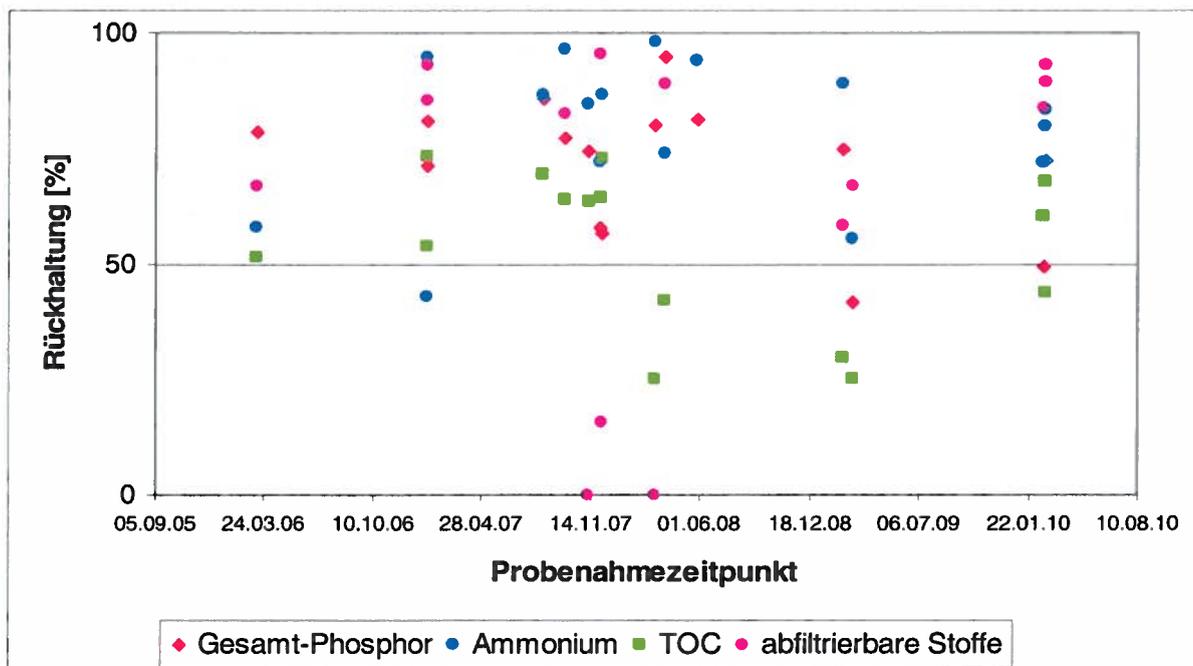
Die TOC-Konzentrationen im Ablauf des Bodenfilters Heilkuhlbach lagen im Mittel bei 2,8 mg/L. Es wurden Rückhalteleistungen im Mittel von bis zu 50 % erreicht.

### Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Die Abläufe des Bodenfilters Heilkuhlbach waren mit im Mittel 1,8 mg/L AFS nur noch mit sehr geringen partikulären Anteilen belastet. Die Rückhaltung des AFS war mit bis zu 96 % hoch.

**Tabelle 25: Zusammenfassung chemische Daten, Retentionsbodenfilter Heilkuhlbach**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
pH-Wert	16	7,48	7,48	7,03	7,78
Leitfähigkeit [µS/cm]	16	312	313	192	423
Gesamt-Phosphor [mg/L]	16	0,09	0,10	0,02	0,19
Nitrat [mg/L]	16	3,97	3,93	0,50	10,20
Nitrit [mg/L]	16	0,06	0,06	0,00	0,11
Ammonium [mg/L]	16	0,19	0,27	0,05	0,98
TOC [mg/L]	16	2,50	2,83	1,70	7,40
Abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	14	1,00	1,76	0,50	9,60



**Abbildung 44: Rückhaltung ausgewählter chemischer Parameter des Retentionsbodenfilters Heilkuhlbach**

### 3.3.2.2 Rückhalteleistung Bodenfilter Witzerath

In Tabelle 26 und Abbildung 45 sind die ermittelten chemischen Parameter mit ihren Werten zusammengefasst.

#### pH-Wert und Leitfähigkeit

Bei den untersuchten Beschickungen wurden im Zu- als auch im Ablauf des Bodenfilters der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Der Bodenfilter Witzerath wies pH-Werte auf, die zwischen 7,04 und 8,12 schwankten. In vier von sechs Untersuchungen erfolgte durch die Bodenpassage eine leichte Anhebung des pH-Wertes, die jedoch mit einer Ausnahme (pH-Wert 8,12) im neutralen pH-Wert-Bereich lagen. Dies weist daraufhin, dass eine genügende Carbonatversorgung und damit Pufferleistung zur Verfügung stand. Im Falle des hier beschriebenen Bodenfilters fiel auf, dass in vier von sechs Proben die Leitfähigkeit im Ablauf im Vergleich zum Zulauf um bis zu 10fach höher lag, wobei die Zulaufwerte mit zweistelligen Werten gering war. Geringe Leitfähigkeiten im Zulauf scheinen zu einer verstärkten Desorption von Ionen aus der Bodenmatrix führen. Einen Einfluss auf die Elimination von Ammonium ließ sich nicht nachweisen. In zwei Fällen lagen die Leitfähigkeiten im Zu- und Ablauf ähnlich hoch.

#### Gesamt-Phosphor

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurde bei den untersuchten Beschickungsereignissen die Konzentration des Gesamt-Phosphor-Gehaltes bestimmt, um Aussagen zur Sorptionskapazität treffen zu können. Der Bodenfilter Witzerath hielt 83 % – 93 % der im Zulauf befindlichen Phosphor-Mengen zurück. In einem Untersuchungsfall wurde eine sehr geringe Rückhaltung von nur 8 % nachgewiesen. Eine zeitliche Verschlechterung der Sorption konnte nicht nachgewiesen, wobei die Anzahl der Untersuchungen hier als zu gering zu bewerten sind, um eine statistisch absicherbare Aussage durchzuführen.

#### Ammonium, Nitrit, Nitrat

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurden die Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration bestimmt. Das im Zulauf befindliche Ammonium wurde durch den Bodenfilter Witzerath um bis zu 98 % reduziert, so dass Ablaufkonzentrationen im Mittel von 0,03 mg/L detektiert wurden. Insgesamt lag die Rückhalteleistung über den gesamten beprobten Versuchszeitraum hoch, wobei die Zulaufkonzentrationen mit im Mittel

0,5 mg/L als sehr niedrig zu bewerten sind. Das an die Bodenmatrix adsorbierte Ammonium wurde nachfolgend bei der Belüftung des Filters durch den mikrobiologischen Prozess der Nitrifikation über Nitrit in Nitrat überführt. Daher sind im Ablauf des Bodenfilters Nitrit-Konzentrationen im Mittel von bis zu 0,02 mg/L nachweisbar. Die im Ablauf gemessenen Nitrat-Konzentrationen lagen im Mittel bei sehr geringen 0,9 mg/L, wobei in keinem Fall Konzentrationen deutlich über dem Zulauf-Niveau erreicht wurden. Eine Ausschwemmung von Nitrat nach der erfolgten Regenerationsphase war nicht erkennbar.

### TOC

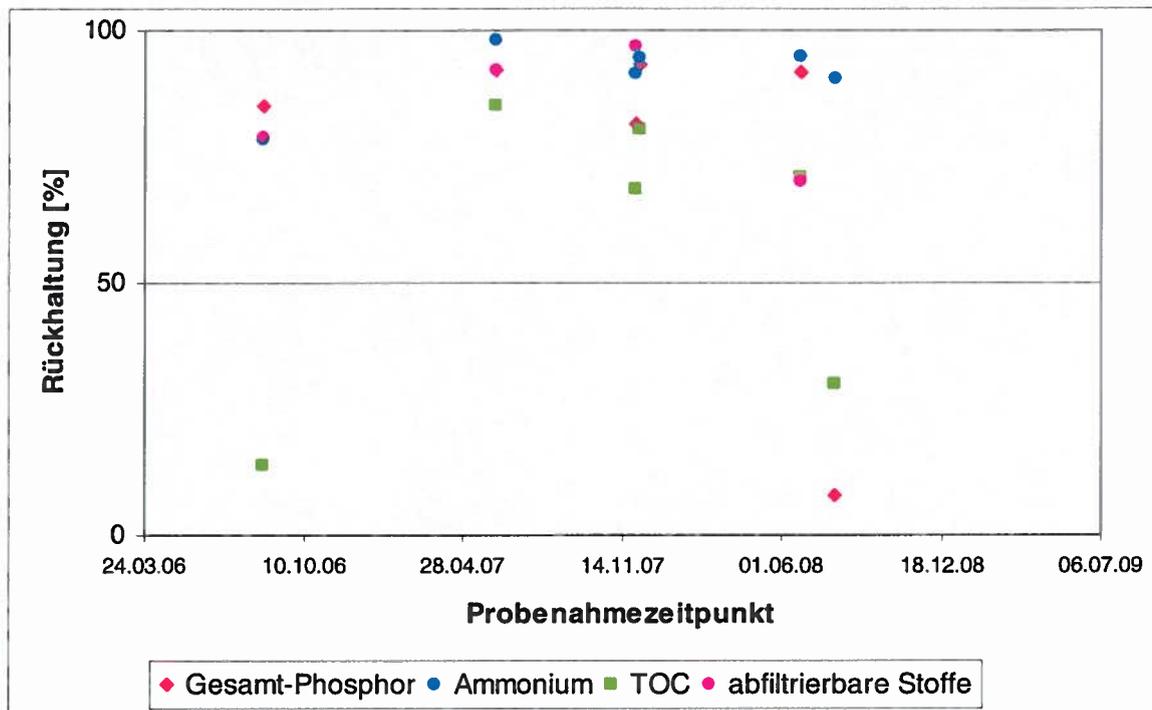
Die TOC-Konzentrationen im Ablauf des Bodenfilters Witzerath lagen im Mittel bei 2,1 mg/L. Es wurden Rückhalteleistungen im Mittel von bis zu 58 % erreicht.

### Abfiltrierbare Stoffe

Die Abläufe des Bodenfilters Witzerath waren mit im Mittel 6,4 mg/L AFS mit höheren partikulären Anteilen belastet, als der Ablauf des Bodenfilter Heilkuhlbach. Trotzdem war die Rückhaltung des AFS mit bis zu 97 % hoch.

**Tabelle 26: Zusammenfassung chemische Daten, Retentionsbodenfilter Witzerath**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
pH-Wert	7	7,52	7,56	7,04	8,12
Leitfähigkeit [µS/cm]	7	331	320	135	663
Gesamt-Phosphor [mg/L]	7	0,05	0,21	0,02	1,00
Nitrat [mg/L]	7	0,50	0,92	0,01	2,30
Nitrit [mg/L]	7	0,01	0,02	0,01	0,05
Ammonium [mg/L]	7	0,03	0,03	0,01	0,05
TOC [mg/L]	7	1,90	2,11	1,00	4,00
Abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	6	1,90	6,40	0,50	26,00



**Abbildung 45: Rückhaltung ausgewählter chemischer Parameter des Retentionsbodenfilters Witzerath**

### 3.3.2.3 Rückhalteleistung Bodenfilter Rohren-Skihang

In Tabelle 27 und Abbildung 46 sind die ermittelten chemischen Parameter mit ihren Werten zusammengefasst.

#### pH-Wert und Leitfähigkeit

Bei den untersuchten Beschickungen wurden sowohl im Zu- als auch im Ablauf des Bodenfilters der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Der Bodenfilter Rohren wies pH-Werte auf, die zwischen 7,40 und 7,90 schwankten und dementsprechend ähnlich ausfielen, wie bei den anderen untersuchten Bodenfiltern. In allen fünf Untersuchungen erfolgte durch die Bodenpassage eine sehr leichte Anhebung des pH-Wertes. Dies weist daraufhin, dass eine genügende Carbonatversorgung und damit Pufferleistung zur Verfügung stand. Im Gegensatz zum Bodenfilter Witzerath lagen die Leitfähigkeiten des Ablaufes in allen Fällen ähnlich hoch, wie die im Zulauf. Deutliche Veränderungen wurden nicht detektiert.

### Gesamt-Phosphor

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurde bei den untersuchten Beschickungsereignissen die Konzentration des Gesamt-Phosphor-Gehaltes bestimmt, um Aussagen zur Sorptionskapazität treffen zu können. Der Bodenfilter Rohren-Skihang hielt 56 % – 92 % der im Zulauf befindlichen Phosphor-Mengen zurück. Eine zeitliche Verschlechterung der Sorption konnte nicht nachgewiesen, wobei die Anzahl der Untersuchungen hier als zu gering zu bewerten sind, um eine statistisch absicherbare Aussage durchzuführen.

### Ammonium, Nitrit, Nitrat

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurden die Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration bestimmt. Das im Zulauf befindliche Ammonium wurde durch den Bodenfilter Rohren-Skihang bis zu 99 % reduziert, so dass Ablaufkonzentrationen im Mittel von 0,24 mg/L detektiert wurden. Insgesamt lag die Rückhalteleistung über den gesamten beprobten Versuchszeitraum hoch, wobei die Zulaufkonzentrationen mit im Mittel 2,4 mg/L als niedrig zu bewerten sind. Die durch eine unvollständige Nitrifikation entstehenden Nitrite wurden im Ablauf des Bodenfilters in mittleren Konzentrationen von 0,02 mg/L nachgewiesen. Die im Ablauf gemessenen Nitrat-Konzentrationen lagen im Mittel bei 2,3 mg/L, wobei in einer von fünf Proben eine Konzentration über dem Zulauf-Niveau erreicht wurde. Dies lässt sich auf die Ausschwemmung von Nitrat, das während der Regenerationsphase des Filters gebildet wurde, erklären.

### TOC

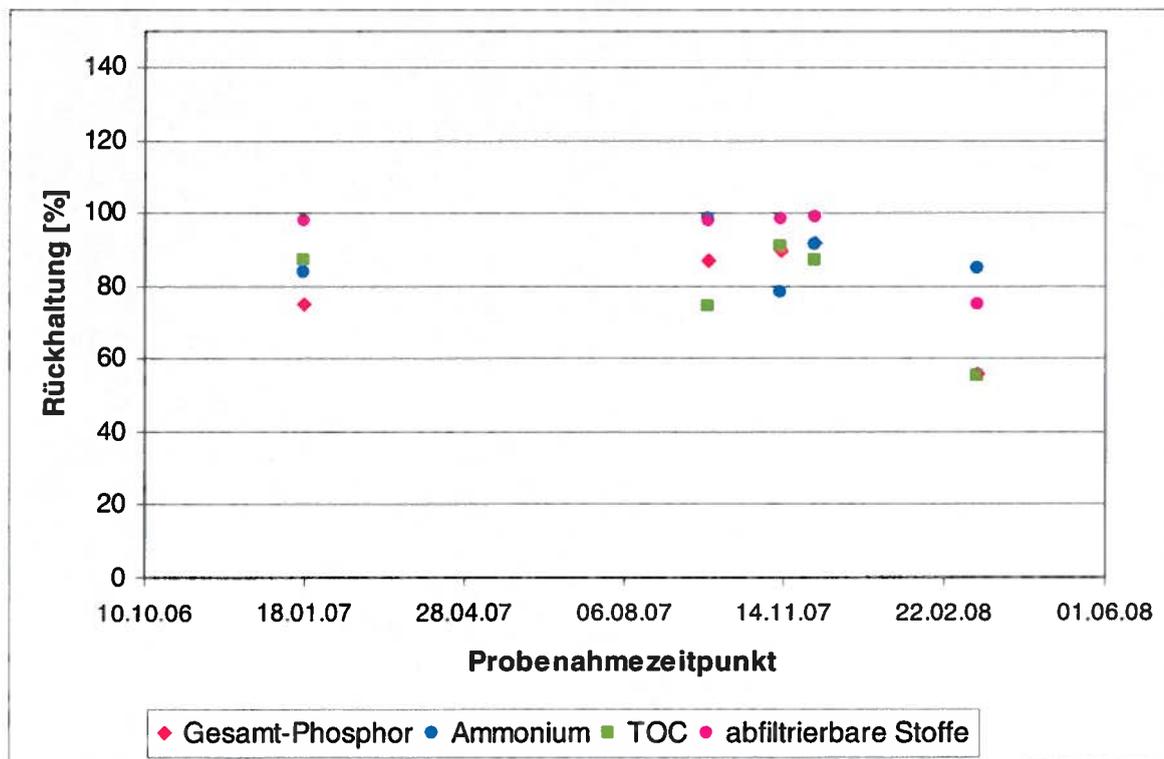
Die TOC-Konzentrationen im Ablauf des Bodenfilters Rohren-Skihang lagen im Mittel bei 2,2 mg/L. Es wurden Rückhalteleistungen im Mittel von bis zu 79 % erreicht.

### Abfiltrierbare Stoffe

Die Abläufe des Bodenfilters Rohren-Skihang waren mit im Mittel 0,5 mg/L AFS mit sehr geringen partikulären Anteilen belastet. Die Rückhaltung des AFS lag bei Werten bis zu 99 %.

**Tabelle 27: Zusammenfassung chemische Daten, Retentionsbodenfilter Rohren-Skihang**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
pH-Wert	5	7,73	7,70	7,40	7,90
Leitfähigkeit [µS/cm]	5	232	263	200	345
Gesamt-Phosphor [mg/L]	5	0,08	0,11	0,08	0,23
Nitrat [mg/L]	5	2,70	2,32	0,40	3,90
Nitrit [mg/L]	5	0,01	0,02	0,00	0,07
Ammonium [mg/L]	5	0,16	0,24	0,06	0,60
TOC [mg/L]	5	2,40	2,24	1,40	2,70
Abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	5	1,00	0,80	0,50	1,00


**Abbildung 46: Rückhaltung ausgewählter chemischer Parameter des Retentionsbodenfilters Rohren-Skihang**

### 3.3.2.4 Rückhalteleistung Bodenfilter Konzen

In Tabelle 28 und Abbildung 47 sind die ermittelten chemischen Parameter mit ihren Werten zusammengefasst.

#### pH-Wert und Leitfähigkeit

Bei den untersuchten Beschickungen wurden sowohl im Zu- als auch im Ablauf des Bodenfilters der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Der Bodenfilter Konzen wies pH-Werte im Ablauf auf, die zwischen 6,96 und 9,80 schwankten und dementsprechend im Mittel mit einem pH-Wert von 8,22 deutlich höher ausfielen, als bei den anderen untersuchten Bodenfiltern. Der deutlich erhöhte pH-Wert ist aller Wahrscheinlichkeit auf die mit Kalkgestein gefüllten Gabionen zurückzuführen, die durch den Wasserkontakt den pH-Wert erhöhen. Mit zunehmender Betriebsdauer nahm dieser Effekt leicht ab, wobei bis zum Ende der Untersuchung noch maximale pH-Werte über 8,0 ermittelt wurden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den 3 Becken wurde nicht nachgewiesen.

#### Gesamt-Phosphor

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurde bei den untersuchten Beschickungsereignissen die Konzentration des Gesamt-Phosphor-Gehaltes bestimmt, um Aussagen zur Sorptionskapazität treffen zu können. Der Bodenfilter Konzen hielt 41 % – 87 % der im Zulauf befindlichen Phosphor-Mengen zurück. Eine zeitliche Verschlechterung der Sorption konnte nicht nachgewiesen.

#### Ammonium, Nitrit, Nitrat

Im Zu- und Ablauf des Bodenfilters wurden die Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration bestimmt. Das im Zulauf befindliche Ammonium wurde durch den Bodenfilter Konzen Becken-unabhängig bis zu 93 % reduziert, so dass Ablaufkonzentrationen im Mittel von 0,86 mg/L detektiert wurden. Insgesamt lag die Rückhalteleistung über den gesamten beprobten Versuchszeitraum mit im Mittel 48 % deutlich niedriger, als bei den anderen beprobten Bodenfiltern. Da der Nitrifikationsprozess sehr stark pH-Wert-abhängig ist und hier durchaus schon bereits in der Wasserphase deutlich alkalische pH-Werte bestimmt werden konnten, ist davon auszugehen, dass hier der mikrobiologische Prozess teilgehemmt wurde und damit die Ammonium-Rückhaltung bzw. Nitrifikation suboptimal verlief.

Die durch eine unvollständige Nitrifikation entstehenden Nitrite wurden im Ablauf des Bodenfilters in mittleren Konzentrationen von 0,07 mg/L nachgewiesen. Die im Ablauf gemessenen Nitrat-Konzentrationen lagen im Mittel bei 3,0 mg/L, wobei in 18 von 30 untersuchten Proben eine Konzentration über dem Zulauf-Niveau erreicht wurde. Dies lässt sich auf die Ausschwemmung von Nitrat, dass während der Regenerationsphase des Filters gebildet wurde, erklären.

### TOC

Die TOC-Konzentrationen im Ablauf des Bodenfilters Konzen lagen Becken-unabhängig im Mittel bei 3,1 mg/L. Es wurden Rückhalteleistungen im Mittel von bis zu 72 % erreicht. Allerdings wurden bei diesem Bodenfilter bei drei von 13 Beschickungen negative Rückhalteleistungen und somit ein Austrag organisch gebundenen Kohlenstoffs festgestellt.

### Abfiltrierbare Stoffe

Die Konzentration der abfiltrierbaren Stoffe in den Abläufe des Bodenfilters Konzen lag Becken-unabhängig mit im Mittel 11 mg/L AFS im Vergleich zu den Bodenfiltern Heilkuhlbach und Rohren-Skihing deutlich höher. Die Rückhaltung der AFS lag jedoch immer noch bei Werten bis zu 99 %, wobei bei einer Beschickung negative Rückhalteleistung und somit ein Austrag partikulärer Stoffe aus dem Filter beobachtet werden konnte.

**Tabelle 28: Zusammenfassung chemische Daten, Retentionsbodenfilter Konzen – ohne UV**

Parameter	Anzahl Untersuchungen	Median	Mittelwert	Minimalwert	Maximalwert
pH-Wert	30	7,97	8,22	6,96	9,80
Leitfähigkeit [µS/cm]	29	397,00	417,69	163,00	730,00
Gesamt-Phosphor [mg/L]	30	0,18	0,20	0,02	1,54
Nitrat [mg/L]	30	2,70	2,98	1,50	4,80
Nitrit [mg/L]	30	0,06	0,07	0,02	0,38
Ammonium [mg/L]	30	0,74	0,86	0,11	2,47
TOC [mg/L]	30	2,70	3,12	1,90	9,50
Abfiltrierbare Stoffe [mg/L]	30	1,25	11,10	0,50	112,00

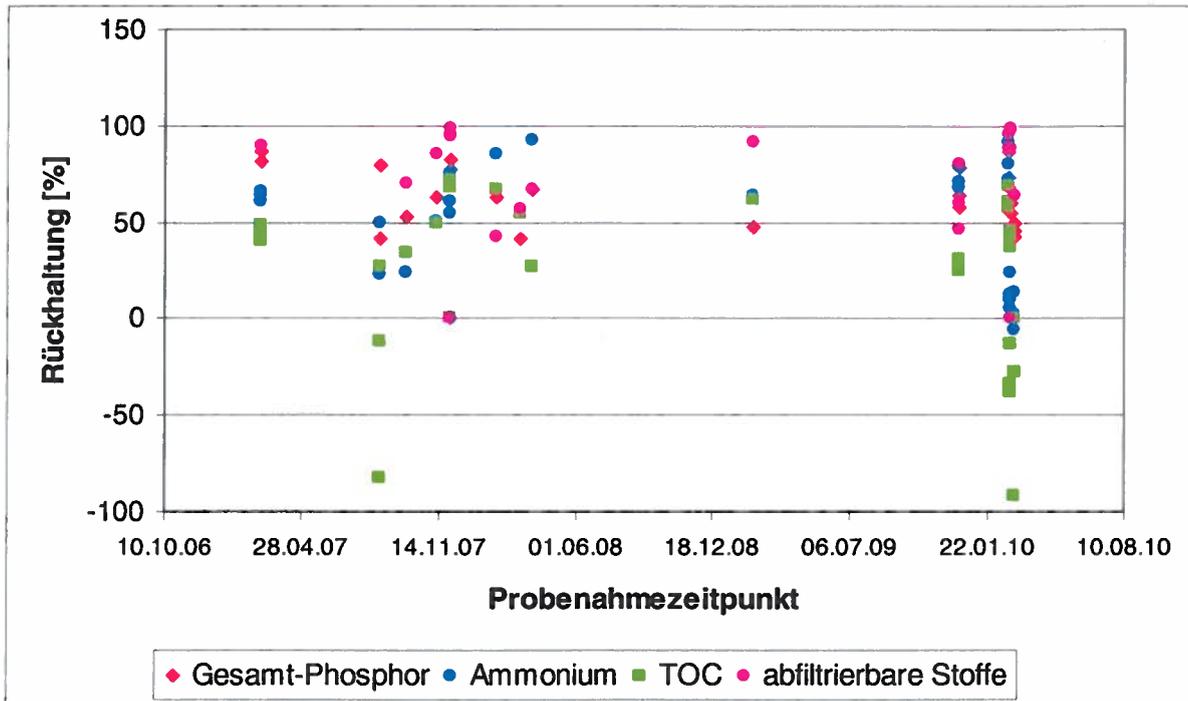


Abbildung 47: Rückhaltung ausgewählter chemischer Parameter des Retentionsbodenfilters Konzen

### 3.3.2.5 Rückhalteleistungen der Bodenfilter im Vergleich

Zur Beurteilung der Gewässerbelastung sind sowohl akute und verzögerte Wirkungen als auch Langzeitwirkungen aus der Mischwasserentlastung entscheidend. Die wichtigsten akuten Belastungen sind hydraulische Einflüsse, Sauerstoff-Defizite und Ammonium-Toxizität. Anhand der Parameter Phosphor, Ammonium, TOC und abfiltrierbare Stoffe wurde die Rückhalteleistung der Bodenfilter vergleichend untersucht. Neben den teilweise unterschiedlichen Sandsubstraten unterschieden sich die Bodenfilter zusätzlich in ihrer Durchflussgeschwindigkeit. In Tabelle 29 sind die Rückhaltungen der oben genannten Parameter tabellarisch zusammengefasst.

Die Bodenfilter waren in der Lage bei den untersuchten Beschickungen aus dem ihnen zugeführten Mischwasser sowohl Phosphor, Ammonium, TOC als auch partikuläre Stoffe effizient zurückzuhalten.

Insgesamt ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Belastung der Bodenfilter im Zulauf mit den oben genannten Parametern als gering zu bewerten ist. Bei der Rückhaltung wurden Filter-abhängig beim Phosphor Leistungen im Median von 63 bis 86 %, beim Ammonium im Median von 55 bis 93 %, beim TOC im Median von 39 bis 87 % und bei den partikulären Lasten im Median von 83 bis 98 % nachgewiesen. Die Elimination von Ammonium und Phosphor erfolgt hauptsächlich durch abiotische Adsorption am Filtersubstrat. Die Adsorptionsprozesse sind dabei stark abhängig

von der Aufenthaltsdauer des Wassers im Filter. Mit zunehmender Durchflussgeschwindigkeit verringert sich diese und vermindert dadurch auch die Adsorptionsleistung. Daher sind die Rückhalteleistungen des Filter Konzen bezogen auf diese Parameter 24 – 38 % niedriger als bei den anderen Bodenfilter mit dreifach geringerer Durchflussgeschwindigkeit. Wie beim Ammonium/Phosphor wird auch beim TOC während der Durchsickerung des Filters primär von Adsorptionsprozessen ausgegangen. Erst in der Regenerationsphase findet in der Regel eine Mineralisierung und anschließend ein aerober Kohlenstoffabbau statt. Auch bei diesem Parameter schnitt der Bodenfilter Konzen um 48 % schlechter ab als die drei anderen Filter. Dagegen wird die Rückhaltung partikulärer Anteile im Zulauf durch Adsorptionsprozessen an Sandkörper und zusätzlich durch die Filterwirkung einer gut ausgebildeten Schmutzdecke mitbestimmt. Hier scheinen sich die unterschiedlichen Filtergeschwindigkeiten weniger stark auszuwirken, da Bodenfilter-unabhängig ähnlich hohe Rückhalteleistungen nachgewiesen werden konnten. Ebenfalls scheinen die Sandsubstrate per se keinen großen Einfluss bezüglich der Rückhalteleistung der genannten Parameter zu zeigen.

**Tabelle 29: Zusammenstellung der Rückhalteleistungen für Phosphor, Ammonium, TOC und abfiltrierbare Stoffe**

	Rückhaltung (%)			
	Heilkuhlbach	Witzerath	Rohren	Konzen
Durchflussgeschwindigkeit (l/s*m <sup>2</sup> )	0,01	0,01	0,01	0,03
<b>Parameter</b>	<b>Phosphor gesamt</b>			
Anzahl der Untersuchungen	16	6	5	29
Median	74,75	88,30	86,84	63,16
Minimum	41,67	7,96	55,77	41,03
Maximum	94,74	93,33	91,75	86,67
<b>Parameter</b>	<b>Ammonium</b>			
Anzahl der Untersuchungen	16	6	5	30
Median	84,17	92,92	84,80	54,78
Minimum	43,02	78,26	78,49	-5,56
Maximum	97,80	98,04	98,65	92,47
<b>Parameter</b>	<b>TOC</b>			
Anzahl der Untersuchungen	16	6	5	30
Median	57,09	69,68	86,79	38,68
Minimum	-12,12	13,64	55,10	-92,31
Maximum	73,13	84,85	90,69	71,62
<b>Parameter</b>	<b>abfiltrierbare Stoffe</b>			
Anzahl der Untersuchungen	14	4	5	26
Median	83,31	85,62	98,04	88,40
Minimum	0,00	70,11	75,00	0,00
Maximum	95,69	97,02	99,05	98,78

#### 4 Literaturverzeichnis

- Acea M. J. und Alexander M (1988).; Growth and survival of bacteria introduced into carbon-amended soil; *Soil Biol. Biochem.*, 20 (5), S. 703-709.
- Acea M. J.; Moore C. R. und Alexander M. (1988); Survival and growth of bacteria introduced into soil; *Soil Biol. Biochem.*, 20 (4), S. 509-515.
- Ausland G.; Stevik T. K.; Hanssen J. K.; Kohler J. C. und Jenssen P. D. (2002); Intermittent filtration of wastewater-removal of fecal coliforms and fecal streptococci; *Wat. Res.*, 36, S. 3507-3516.
- Bahgat, M., Gewedar, A., Zayed, A. (1999); Sand-filters used for wastewater treatment: build up and distribution of microorganisms. *Wat. Res.* 33, S. 1949 - 1955.
- BCE: Handlungskonzept zur Minimierung der abwasserbedingten mikrobiellen Belastungen von Obersee und Kalltalsperre; *Hygiene Konzept*, 1996
- Bitton, G., Harvey, R. W. (1992); Transport of pathogens through soils and aquifers. In: *Environmental Microbiology*. Mitchell, R. (ed.), Wiley-Liss, New York, S. 103 -124
- Bomo A.-M.; Stevik T. K.; Hovi I. und Hanssen J. F. (2004); Waste management. Bacterial removal and protozoan grazing in biological sand filters; *J. Environ Qual.*, 33, S. 1041-1047.
- Bukhari Z., Glen W. G. und Clancy J. L. (1999); Effects of pH on a fluorogenic vital dyes assay (4',6'-Diamidino-2-phenyl-indole and Propidium iodide) for *Cryptosporidium* sp. Oocysts; *Wat. Res.* 33, S. 3037 - 3039
- Calvo-Bado, L.A., Morgan, J.A.W., Sergeant, M., Pettitt, T.R., Whipps, J.M. (2003a). Molecular characterization of *Legionella* populations present within slow sand filters used for fungal plant pathogen suppression in horticultural crops. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 533-541.
- Calvo-Bado, L.A., Pettitt, T.R., Parsons, N., Petch, G.M., Morgan, J.A.W., Whipps, J.M. (2003b). Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 2116-2125.
- De Zutter L. und van Hoof J. (1980); Bacteriological contamination in wastewater from slaughterhouse; *Zbl. Bakt. Hyg., I, Abt. Orig. B.* 171, S. 269 - 279
- DeRegnier D. P., Cole L., Schupp D. G. und Erlandsen S. L. (1989); Viability of *Giardia* cysts suspended in lake, river and tap water; *Appl. Environ. Microbiol.* 55, S. 1223 - 1229
- Dorau W. (1996); Fragen zur Abwasserhygiene – Lösungsmöglichkeiten mit der Bio-Membran-Technik; *Wasser und Boden* 51, S. 6 - 10
- DVGW (1991); Erläuterungen des DVGW-Fachausschusses „Mikrobiologie des Trinkwassers“ zur Untersuchung auf Fäkalstreptokokken und ihre Bedeutung für die hygienische Beurteilung von Trinkwasser; *Öffentl. Gesundh.-Wes.* 53, S. 29 – 31
- EG-Richtlinie 75/440/EWG (1975); Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften über die Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässern für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten vom 16. Juni 1975.

- EG-Richtlinie 76/160/EWG (1975); Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften über die Qualität der Badegewässer vom 8. Dezember 1975.
- EG-Richtlinie 76/160/EWG (2006); Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften über die Qualität der Badegewässer vom 15. Februar 2006
- Gold A. J.; Lamb B. E.; Loomies G. W.; Boyd J. R.; Cabelli V. J. und McKiel C. G. (1992); Wastewater renovation in buried and recirculating sand filters; J. Environ. Qual., 21, S. 720-725.
- Grobe; S., Henrichs, M., Uhl, M., Merkel, W. (2005): Weitergehende Mischwasserbehandlung mit Bodenfiltern Untersuchungen zum Filteraufbau und Filterbetrieb zur Verbesserung der Reinigungsleistung insbesondere hinsichtlich hygienisch relevanter Mikroorganismen. Abschlussbericht zum Untersuchungsauftrags des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Munlv) des Landes NRW.
- Grotehusmann D.; Schütte M.; Schied L. und Kasting U. (1999); Hygienische Untersuchungen; In: Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH (Hrsg.), Wissenschaftliche Leitung und Betreuung der Bodenfilteranlage Neuweiler / Alsdorf, S. 70-82.
- Hagendorf U. (2003); Untersuchungen an bewachsenen Bodenfiltern (Pflanzenkläranlagen) im Langzeitbetrieb; KA-Abwasser, Abfall, 50 (8), S. 1036-1043.
- Hagendorf U. und Diehl K. (2001); Keimelimination in Bewachsenen Bodenfiltern; Wasser & Boden, 53 (3), S. 16-18.
- Hagendorf U.; Diehl K.; Feuerpfeil I.; Hummel A.; Lopéz-Pila J. und Szewzyk R. (2003); Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen und seuchenhygienische Bewertung; In: Umweltbundesamt (Hrsg.), Bewachsene Bodenfilter als Verfahren der Biotechnologie; S. 117 - 146
- Hagendorf U.; Diehl K.; Feuerpfeil I.; Hummel A.; Lopéz-Pila J. und Szewzyk R. (2004); Mikrobiologische Untersuchungen zur seuchenhygienischen Bewertung naturnaher Abwasserbehandlungsanlagen; KA-Abwasser, Abfall, 51 (5), S. 500-510.
- Hahn M. W. und Höfle M. G. (2001); Mini Review. Grazing of protozoa and its effect on populations of aquatic bacteria; FEMS Microbiology Ecology, 35, S. 113-121.
- Hansen H. (2005); Bakterielle Diversität von Biofilmen in Langsamsandfiltern; Dissertation, Universität Duisburg-Essen
- Hiekel S., Merkel W. und Overath H. (2002); Bewertung der Einleitung von Kläranlagenabläufen in kleine Fließgewässer nach der EG-Badegewässer-Richtlinie; GWF Wasser, Abwasser, 143 (11), S. 784 - 790
- Hijnen, W.A:M., Schijven, J.F., Bonné, P., Visser, A., Medema, G.J. (2004). Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. Wat. Science Technol. 50, 147-154.
- Infektionsschutzgesetz (2000); Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten des Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG) vom 20.07.2000 – BGBl. I, S. 1045 – 1077

- Jenkins M., Anguish L., Bowman D., Walker M. und Ghiorse W. (1997); Assessment of a dye permeability assay for determination of inactivation rates of *Cryptosporidium parvum* oocysts; *Appl. Environ. Microbiol.* 63 (10), S. 3844 - 3850
- Jurkevitch et al. (2003); In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Abstracts. International Workshop. Wastewater hygienisation in constructed wetlands, ponds and related systems , Leipzig:, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, S. 1-45.
- Kayser R., Boll R. und Müller H. E. (1987); Quantitative Untersuchungen zur Elimination von Salmonellen durch biologische Abwasserbehandlung; *Zbl. Bakt. Hyg. B* 184, S. 195 - 205
- Leon-Morales C. F.; Leis A. P.; Strathmann M. und Flemming H.-C. (2004); Interactions between laponite and microbial biofilms in porous media: implications for colloid transport and biofilm stability; *Wat. Res.*, 38, S. 3614-3626.
- LFU (1998): Handbuch Wasser 4 Nr.10, 1998, Baden-Württemberg
- LFU (2002): Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. In: Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg [Hrsg.]: Handbuch Wasser Nr. 4. Bd. 2. überarbeitete Auflage. Karlsruhe
- Logan A. J.; Stevik T. K.; Siegrist R. L. und Ronn R. M. (2001); Transport and fate of *cryptosporidium parvum* oocysts in intermittent sand filters; *Wat. Res.*, 35 (18), S. 4359-4369.
- MUNLV (1999): *Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. ISBN 3-9808617-4-0.
- MUNLV (2003); Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb; Ministerium für Umwelt und Naturschutz; Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen
- MUNLV (2004); Retentionsbodenfilter in Nordrhein-Westfalen, Dokumentation zum Stand der Technik; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen
- Pagon S, Sonnabend W. Und Krech U. (1973); Epidemiologische Zusammenhänge zwischen menschlichen und tierischen Salmonella-Ausscheidern und deren Umwelt im schweizerischen Bodenseeraum; *Zbl. Bakt. Hyg. I, Abt. Orig. B* 158, S. 395 – 411
- Parry J. D. (2004), Protozoan Grazing of Freshwater Biofilms; *Advanced in Appl. Microbiol.* 54, S. 167 - 196
- Preuß G. und Schwarz D. (1995); Elimination von Mikroorganismen und Parasiten bei der Langsamsandfiltration; In: Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserchemie und Wassertechnologie GmbH (Hrsg.), Anforderungen an die Aufbereitung von Oberflächenwasser zu Trinkwasser aus mikrobiologischer Sicht, Mülheim an der Ruhr., Eigenverlag, Band 14, S. 65-89.
- Robertson L. J., Campell A. T. und Smith H. V. (1992); Survival of *Cryptosporidium parvum* Oocysts under various environmental pressures; *Appl. Environ. Microbiol.* 58, S. 3494 - 3500

- Schomburg I. und Müller H. E. (1987); Vergleichende Untersuchung zur Kinetik hygienisch relevanter Mikroorganismen im Belebtschlamm; Zbl. Bakt. Hyg. B 184, S. 183 – 194
- Schwarz M. (2004); Mikrobielle Kolmation von abwasserdurchsickerten Bodenkörpern: Nucleinsäuren zum Nachweis der Biomasse und Bioaktivität; Dissertation, Universität Fridericiana zu Karlsruhe
- Schwarz M.; Fuchs S. und Hahn H. H. (2003); Mikrobielle Kolmation und Dekolmation in Bodenfiltern; Wasser und Abfall, 10, S. 20-23.
- Steinmann C. und Melzer A. (2001); Hydrophysikalische und biologische Untersuchungen des Substrates verschiedener Pflanzenkläranlagen; KA-Abwasser, Abfall, 48 (4), S. 506-509.
- Stevik T. K.; Ausland G.; Jenssen P. D. und Siegrist R. (1999); Removal of E. coli during intermittent filtration of wastewater effluent as affected by dosing rate and media type; Wat. Res., 33 (9), S. 2088-2098.
- Stottmeister U.; Wießner A.; Kuschik P.; Kappelmeyer U.; Kästner M.; Bederski O.; Müller R. A. und Moormann H. (2003); Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment; Biotechnology advances, 22, S. 93-117.
- Tediashvili G. und Chanishvili F. (2003); In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Abstracts. International Workshop. Wastewater hygienisation in constructed wetlands, ponds and related systems , Leipzig; UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, S. 1-45.
- Van Buuren, J. C. L., Abusam, A., Zeeman, G., Lettinga, G. (1999); Primary effluent filtration in small-scale installations. Wat. Sci. Tech. 39 (5), S. 195 - 202
- Van Buuren, J. C. L., Willers, H., Luyten, L., van Menen, M. (1996); The pathogen removal from UASB-effluent by intermittent slow sand filtration. In: Anaerobic Treatment a Grown-up Technology, Conference Papers, Aquatech 86, S. 707 - 709
- Van Cuyk, S., Siegrist, R., Logan, A., Masson, S., Fischer, E., Figueroa, L. (2001); Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems. Wat. Res. 35, S. 953 - 964
- Wand et al. (2003); In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Abstracts. International Workshop. Wastewater hygienisation in constructed wetlands, ponds and related systems , Leipzig; UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, S. 1-45.
- Weber-Shirk M. L. und Dick R. I. (1997); Biological mechanisms in slow sand filter; Journal AWWA, 89, S. 72-83.
- Weber-Shirk M. L. und Dick R. I. (1997); Physical-chemical mechanisms in slow sand filter; Journal AWWA, 89, S. 87-100.
- Weber-Shirk, M.L., Dick, R.I. (1999); Bacterivory by a chrysophyte in slow sand filters. Wat. Res. 33, S. 631 - 638.
- WHO (1984), Guidelines for drinking water quality, Vol. 2: Health criteria and other supporting information, Geneva
- Willman, B. P., Petersen, G. W., Fritton, D. D. (1981); Renovation of septic tank effluent in sand-clay mixtures. J. Environ. Qual. 10, 439-444

Winfield M. D. und Groisman E. A. (2003); Minireview. Role of nonhost environments in the lifestyles of salmonella and escherichia coli; Appl. Environ. Microbiol., 69 (7), S. 3687-3694.

WRRL (2000); Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 327/1 vom 22. Dezember 2000

## 5 Anhang

### 5.1 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Heilkuhbach – Gesamtcolliforme/E. coli



Untersuchung Labor WAG, E-coli + Ges.-colliforme nach Methode Endo  
 Untersuchung Labor Berg, E-coli + Ges.-colliforme nach Methode MPN in NMUG-L-S-Bouillon

Datum	Ges.colif., vor [MPN/100mL]	Ges.colif., nach [MPN/100mL]	Rückhaltung [%]	E.coli, vor [MPN/100mL]	E.coli, nach [MPN/100mL]	Rückhaltung [%]	Datum	Ges.colif., vor [KBE/100mL]	Ges.colif., nach [KBE/100mL]	Rückhaltung [%]	E.coli, vor [KBE/100mL]	E.coli, nach [KBE/100mL]	Rückhaltung [%]
10.03.2006	75.000	4.300	94,27	43.000	2.400	94,42	10.03.2006	840.000	11.000	98,69	11.000	750	93,18
31.03.2006	1.100.000	46.000	95,82	460.000	24.000	94,78	28.05.2006	142.000	4.000	97,18	65.000	1.300	98,00
28.07.2006	460.000	11.000	97,61	46.000	2.400	94,78	18.01.2007	580.000	8.200	98,59	280.000	2.800	99,00
22.08.2006	930.000	-	-	43.000	-	-	19.01.2007	250.000	6.400	97,44	42.000	2.300	94,52
18.01.2007	240.000	4.300	98,21	93.000	4.300	95,38	05.03.2007	560.000	12.400	97,79	70.000	9.000	87,14
22.08.2007	240.000	9.300	96,13	43.000	4.300	90,00	11.06.2007	1.020.000	12.400	98,78	280.000	3.600	98,71
28.09.2007	240.000	4.600	98,08	93.000	4.600	95,05	12.11.2007	280.000	16.000	94,29	42.000	4.500	89,29
11.11.2007	2.400	2.400	0,00	2.400	2.400	0,00	07.12.2007	59.500	5.000	91,60	25.000	840	96,64
03.12.2007	460.000	11.000	97,61	240.000	4.600	98,08	11.12.2007	152.000	1.800	98,82	45.200	460	98,98
29.05.2008	24.000.000	2.400.000	90,00	2.300.000	4.300	99,81	31.03.2008	190.000	3.600	98,11	57.600	1.340	97,67
17.02.2009	930.000	4.600	99,51	930.000	4.600	99,51	18.02.2009	420.000	1.800	99,57	46.000	300	99,35
							19.02.2009	180.000	3.400	98,11	10.000	350	96,50
							09.03.2009	280.000	13.200	95,29	130.000	7.000	94,62
							10.03.2009	154.000	29.000	81,17	65.000	5.600	91,38

## 5.2 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Heilkuhlbach – Salmonellen/Parasiten



Datum	Salm., vor [MPN/100ml]	Salm., nach [MPN/100ml]	Rückhaltung [%]	Crypt., vor [Crypt./1L]	Crypt., nach [Crypt./1L]	Rückhaltung [%]	Giardien, vor [Giardien/1L]	Giardien, nach [Giardien/1L]	Rückhaltung [%]
10.03.2006	0	0	-	0	0	-	2	0	100,00
31.03.2006	0	0	-	0	0	-	0	0	-
28.07.2006	0	0	-	0	0	-	0	0	-
22.08.2006	0	0	-	0	0	-	7	0	100,00
18.01.2007	0	0	-	0	0	-	4	0	100,00
22.08.2007	0	0	-	6	0	100,00	201	0	100,00
28.09.2007	0	0	-	3	0	100,00	7	0	100,00
11.11.2007	0	0	-	3	0	100,00	5	0	100,00
03.12.2007	0	0	-	6	0	100,00	24	0	100,00
29.05.2008	0	0	-	5	0	100,00	27	0	100,00
17.02.2009	0	0	-	15	2	86,67	93	4	95,70

### 5.3 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Witzerrath – Gesamcoliforme/E. coli



Untersuchung Labor WAG, E-coli + Ges.-coliforme nach Methode Endo

Untersuchung Labor Berg, E-coli + Ges.-coliforme nach Methode MPN in NMUG-LS-Bouillon

Datum	Ges.colif., vor [MPN/100 ml]	Ges.colif., nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	E-coli, vor [MPN/100 ml]	E-coli, nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	Datum	Ges.colif., vor [KBE/100 ml]	Ges.colif., nach [KBE/100 ml]	Rückhaltung [%]	E-coli, vor [KBE/100 ml]	E-coli, nach [KBE/100 ml]	Rückhaltung [%]
22.08.2006	930.000	230	99,98	210.000	91	99,96	28.07.2006	46.000	24.000	47,83	15.000	11.000	26,67
22.08.2006	23.000	91	99,60	9.100	30	99,67	10.06.2007	420.000	400	99,90	46.000	100	99,78
10.06.2007	460.000	36	99,99	9.300	30	99,68	03.09.2007	250.000	16	99,99	85.000	0	100,00
11.11.2007	110.000	230	99,79	9.300	36	99,61	07.12.2007	57.600	1.050	98,18	26.640	220	99,17
03.12.2007	460.000	2.400	99,48	93.000	2.400	97,42	11.12.2007	140.000	640	99,54	30.800	90	99,71
03.07.2009	4.600.000	930	99,98	210.000	230	99,89	25.06.2008	480.000	200	99,96	42.000	20	99,95
							26.06.2008	480.000	310	99,94	42.000	64	99,85
							28.07.2008	56.000	1.650	97,05	12.900	260	97,98
							08.08.2008	122.000	250	99,80	25.600	18	99,93
							04.07.2009	41.200.000	3.200	99,99	550.000	100	99,98

### 5.4 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Witzerrath – Salmonellen/Parasiten



Datum	Salm., vor [MPN/100 ml]	Salm., nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	Crypt., vor [Crypt./1L]	Crypt., nach [Crypt./1L]	Rückhaltung [%]	Giardien, vor [Giardien/1L]	Giardien, nach [Giardien/1L]	Rückhaltung [%]
22.08.2006	0	0	-	0	0	-	0	0	-
22.08.2006	0	0	-	0	0	-	0	0	-
10.06.2007	0	0	-	0	0	-	0	0	-
11.11.2007	0	0	-	4	0	100,00	12	0	100,00
03.12.2007	0	0	-	24	0	100,00	39	0	100,00
03.07.2009	0	0	-	0	0	-	0	0	-

### 5.5 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Rohren – Gesamtcoliforme/E. coli



Untersuchung Labor WAG, E-coli + Ges.-coliforme nach Methode Endo  
 Untersuchung Labor Berg, E-coli + Ges.-coliforme nach Methode MPN in NIMUG-LS-Bouillon

Datum	Ges.colif., vor [MPN/100 ml]	Ges.colif., nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	E-coli, vor [MPN/100 ml]	E-coli, nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	Datum	Ges.colif., vor [KBE/100 ml]	Ges.colif., nach [KBE/100 ml]	Rückhaltung [%]	E-coli, vor [KBE/100 ml]	E-coli, nach [KBE/100 ml]	Rückhaltung [%]
18.01.2007	1.100.000	9.300	99,15	240.000	4.300	98,21	17.02.2006	650.000	41.000	93,69	40.000	3.000	92,50
22.08.2007	2.400.000	9.300	99,61	2.400.000	4.300	99,82	08.01.2007	20.000	5.000	75,00	10.000	1.200	88,00
28.09.2007	11.000.000	2.400	99,98	4.600.000	2.400	99,95	18.01.2007	450.000	10.200	97,73	85.000	3.200	96,24
11.11.2007	1.100.000	24.000	97,82	240.000	9.300	96,13	02.03.2007	1.680.000	210.000	87,50	336.000	42.000	87,50
03.12.2007	240.000	2.400	99,00	240.000	2.400	99,00	05.03.2007	1.120.000	126.000	88,75	126.000	28.000	77,78
27.02.2010	1.400.000	280.000	80,00	420.000	56.000	86,67	12.11.2007	420.000	5.000	98,81	112.000	1.900	98,30
							07.12.2007	86.400	3.600	95,83	24.400	880	96,39
							11.12.2007	138.000	10.500	92,39	19.800	3.360	83,03
							31.03.2008	1.150.000	9.400	99,18	288.000	4.300	98,51
							18.02.2009	1.260.000	17.800	98,59	288.000	10.700	96,28
							25.02.2010	340.000	48.400	85,76	124.000	4.800	96,13
							26.02.2010	920.000	112.000	87,83	124.000	28.000	77,42

### 5.6 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Rohren – Salmonellen/Parasiten



Datum	Salm., vor [MPN/100 ml]	Salm., nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	Crypt., vor [Crypt./1L]	Crypt., nach [Crypt./1L]	Rückhaltung [%]	Giardien, vor [Giardien/1L]	Giardien, nach [Giardien/1L]	Rückhaltung [%]
18.01.2007	0	0	-	0	0	-	4	0	100,00
22.08.2007	0	0	-	18	0	100,00	486	0	100,00
28.09.2007	0	0	-	2	0	100,00	4	0	100,00
11.11.2007	0	0	-	1	0	100,00	2	0	100,00
03.12.2007	0	0	-	3	0	100,00	11	0	100,00

## 5.7 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Konzen – Gesamcoliforme/E. coli

### Leistungsfähigkeit von Retentionsbodenfiltern

Untersuchung Labor WAG, E.-coli + Ges.-colliforme nach Methode Erndo

Untersuchung Labor Berg, E.-coli + Ges.-colliforme nach Methode MPN in NMUG-LS-Bouillon

Nr.	[MPN/100 ml]		[%]		Becken	Nr.	[KBE/100 ml]		[%]		E.-coli, nach	Rückhaltung	[%]
	Ges.colif., vor	E.coli, vor	Ges.colif., nach	E.coli, nach			Ges.colif., vor	E.coli, vor	Ges.colif., nach	E.coli, nach			
1	1.100.000	21.000	98,09	240.000	1	12.01.07	760.000	37.000	95,13	120.000	10.400	91,33	
2	1.100.000	9.300	99,15	240.000	2	12.01.07	760.000	45.000	94,08	120.000	12.000	90,00	
3	1.100.000	9.300	99,15	240.000	3	12.01.07	760.000	15.000	98,03	120.000	3.800	96,83	
1	01.03.07	1.100.000	99,58	4.600	1,2,3	22.08.07	180.000	24.800	86,22	21.000	800	96,19	
2	01.03.07	1.100.000	97,82	110.000	UV	22.08.07	180.000	588	99,68	21.000	164	99,22	
3	01.03.07	1.100.000	99,00	4.600	1,2,3	23.08.07	180.000	16.800	90,67	21.000	800	96,19	
1	22.08.07	110.000	97,82	24.000	UV	23.08.07	-	0	-	-	0	-	
2	22.08.07	110.000	78,18	24.000	1	07.12.07	115.200	21.600	81,25	28.800	5.760	80,00	
3	22.08.07	110.000	97,82	24.000	2	07.12.07	115.200	20.140	82,52	28.800	5.500	80,90	
UV	22.08.07	-	-	2.400	3	07.12.07	115.200	6.100	94,70	28.800	980	96,67	
1	28.09.07	2.400.000	98,08	46.000	UV	07.12.07	-	24	-	-	8	-	
2	28.09.07	2.400.000	99,00	430.000	1	11.12.07	110.000	7.200	93,45	31.600	1.600	94,94	
3	28.09.07	2.400.000	99,00	430.000	2	11.12.07	110.000	11.800	89,27	31.600	2.800	91,77	
UV	28.09.07	-	-	430	3	11.12.07	110.000	5.000	95,45	31.600	1.050	96,68	
1	11.11.07	110.000	97,82	46.000	UV	11.12.07	-	84	-	-	31	-	
2	11.11.07	110.000	97,82	46.000	1	06.10.08	610.000	27.000	95,57	377.000	15.000	96,02	
3	11.11.07	110.000	95,82	46.000	2	06.10.08	610.000	49.000	91,97	377.000	21.000	94,43	
UV	11.11.07	-	-	<30	3	06.10.08	610.000	15.000	97,54	377.000	8.000	97,88	
1	03.12.07	460.000	90,00	240.000	UV	06.10.08	-	44	-	-	6	-	
2	03.12.07	460.000	90,00	240.000	1	10.02.09	830.000	91.000	89,04	79.000	26.200	66,84	
3	03.12.07	460.000	90,00	240.000	2	10.02.09	830.000	74.000	91,08	79.000	25.200	68,10	
UV	03.12.07	-	-	<30	3	10.02.09	830.000	49.000	94,10	79.000	12.800	83,80	
1	06.02.08	1.100.000	91,55	1.100.000	1	18.02.09	150.000	28.500	81,00	58.000	3.200	94,48	
2	06.02.08	1.100.000	91,55	1.100.000	2	18.02.09	150.000	28.000	81,33	58.000	10.600	81,72	
3	06.02.08	1.100.000	96,09	1.100.000	3	18.02.09	150.000	17.800	88,13	58.000	4.700	91,90	
UV	06.02.08	-	-	210	UV	18.02.09	-	92	-	-	52	-	
1	17.02.09	460.000	47,83	460.000	1	09.03.09	190.000	14.000	92,63	75.000	10.000	86,67	
2	17.02.09	460.000	90,65	460.000	2	09.03.09	190.000	24.000	87,37	75.000	20.400	72,80	
3	17.02.09	460.000	67,39	460.000	3	19.03.09	190.000	18.000	90,53	75.000	17.600	76,53	
UV	17.02.09	-	-	230	1	10.03.09	320.000	35.000	89,06	58.000	12.600	78,28	
					2	10.03.09	320.000	26.000	91,88	58.000	7.000	87,93	
					3	10.03.09	320.000	15.000	95,31	58.000	3.000	94,83	
					1	13.03.09	570.000	22.000	96,14	39.000	3.800	90,26	
					2	13.03.09	570.000	11.000	98,07	39.000	2.800	92,82	
					3	13.03.09	570.000	11.600	97,96	39.000	1.500	96,15	
					1	11.05.09	980.000	62.000	93,67	112.000	19.200	82,86	
					2	11.05.09	980.000	56.000	94,29	112.000	28.000	75,00	
					3	11.05.09	980.000	16.800	98,29	112.000	7.200	93,57	
					UV	11.05.09	-	300	-	-	50	-	
					1	10.12.09	420.000	56.000	86,67	112.000	14.000	87,50	
					2	10.12.09	420.000	140.000	66,67	112.000	35.000	68,75	
					3	10.12.09	420.000	12.400	97,05	112.000	2.700	97,59	

### 5.8 Mikrobiologische Daten – Bodenfilter Konzen – Salmonellen/Parasiten



Becken Nr.	Datum	Salin.,vor [MPN/100 ml]	Salin.,nach [MPN/100 ml]	Rückhaltung [%]	Crypt.,vor [Crypt./1L]	Crypt.,nach [Crypt./1L]	Rückhaltung [%]	Giardien,vor [Giardien/1L]	Giardien,nach [Giardien/1L]	Rückhaltung [%]
1	12.01.07	0	0	-	0	0	-	0	0	-
2	12.01.07	0	0	-	0	0	-	0	2	-
3	12.01.07	0	0	-	0	0	-	0	0	-
1	01.03.07	0	0	-	2	0	100,00	11	0	100,00
2	01.03.07	0	0	-	2	0	100,00	11	0	100,00
3	01.03.07	0	0	-	2	0	100,00	11	0	100,00
1	22.08.07	0	0	-	0	0	-	9	2	77,78
2	22.08.07	0	0	-	0	0	-	9	0	100,00
3	22.08.07	0	0	-	0	0	-	9	0	100,00
UV	22.08.07	-	0	-	-	0	-	-	0	-
1	28.09.07	0	0	-	6	0	100,00	13	0	100,00
2	28.09.07	0	0	-	6	0	100,00	13	0	100,00
3	28.09.07	0	0	-	6	0	100,00	13	1	92,31
UV	28.09.07	-	-	-	-	0	-	-	0	-
1	11.11.07	0	0	-	9	0	100,00	28	0	100,00
2	11.11.07	0	0	-	9	0	100,00	28	0	100,00
3	11.11.07	0	0	-	9	0	100,00	28	0	100,00
UV	11.11.07	0	0	-	-	0	-	-	0	-
1	03.12.07	0	0	-	5	0	100,00	23	0	100,00
2	03.12.07	0	0	-	5	0	100,00	23	0	100,00
3	03.12.07	0	0	-	5	0	100,00	23	0	100,00
UV	03.12.07	-	0	-	-	0	-	-	-	-
1	06.02.08	0	0	-	30	1	96,67	236	0	100,00
2	06.02.08	0	0	-	30	4	86,67	236	5	97,88
3	06.02.08	0	0	-	30	1	96,67	236	1	99,58
UV	06.02.08	-	0	-	-	0	-	-	0	-
1	17.02.09	0	0	-	3	0	100,00	23	0	100,00
2	17.12.09	0	0	-	3	0	100,00	23	0	100,00
3	17.12.09	0	0	-	3	0	100,00	23	0	100,00
UV	17.12.09	-	0	-	-	0	-	-	0	-
1	11.12.09	0	0	-	4	0	100,00	12	0	100,00
2	11.12.09	0	0	-	4	0	100,00	12	3	75,00
3	11.12.09	0	0	-	4	2	50,00	12	4	66,67
UV	11.12.09	0	0	-	-	0	-	-	0	-

### 5.9

### Chemische Daten – Bodenfilter Heilkuhlbach



Datum	PH.vor	PH.nach	Leitf.vor	Leitf.nach	P.vor	P.nach	Rückhaltung	NO3-N.vor	NO3-N.nach	Rückhaltung	NO2-N.vor	NO2-N.nach	Rückhaltung	NH4-N.vor	NH4-N.nach	Rückhaltung	TOC.vor	TOC.nach	Rückhaltung	AFS.vor	AFS.nach	Rückhaltung	
	[ ]	[ ]	[µS/cm]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	
10.03.06	7,30	7,58	397	381	0,37	0,08	79,38	5,10	5,50	-7,84	0,03	0,02	33,33	1,16	0,49	57,76	7,40	3,60	51,35	3	1	66,67	
31.03.06	7,47	-	132	-	0,42	-	-	1,20	-	-	0,03	-	-	1,39	-	-	6,60	-	-	55,7	-	-	-
18.01.07	7,40	7,20	183	423	0,38	0,11	71,05	2,20	10,20	-363,64	0,04	0,11	-175,00	1,72	0,98	43,02	6,70	3,10	53,73	14,7	1	93,20	
20.01.07	7,12	7,45	290	297	0,37	0,07	81,08	7,33	5,56	24,15	0,06	0,06	3,13	1,55	0,08	94,84	6,70	1,80	73,13	6,9	1	85,51	
22.08.07	7,33	7,33	175	270	0,45	0,06	85,78	1,50	0,50	66,67	0,03	0,01	66,67	0,96	0,13	86,46	6,50	2,00	69,23	-	-	-	
28.09.07	7,31	7,03	289	192	0,31	0,07	77,42	4,30	1,70	60,47	0,03	0,06	-100,00	1,42	0,05	96,48	5,30	1,90	64,15	5,8	1	82,76	
12.11.07	7,10	7,50	248	282	0,51	0,13	74,51	4,70	4,60	2,13	0,04	0,09	-125,00	1,38	0,21	84,78	6,30	2,30	63,49	0,5	0,5	0,00	
03.12.07	7,43	7,37	227	256	0,45	0,19	57,78	3,50	3,10	11,43	0,04	0,09	-125,00	1,29	0,36	72,09	7,60	2,70	64,47	11,6	0,5	95,69	
07.12.07	7,23	7,41	157	236	0,37	0,16	56,76	2,40	3,20	-33,33	0,03	0,08	-165,67	1,19	0,16	86,55	6,30	1,70	73,02	11,4	9,6	15,79	
14.03.08	7,76	7,68	295	269	0,37	0,07	80,00	0,15	2,08	-1.286,67	0,05	0,00	100,00	2,73	0,06	97,80	3,20	2,40	25,00	1	1	0,00	
31.03.08	7,10	7,64	274	326	0,38	0,02	94,74	4,70	4,80	-2,13	0,03	0,08	-165,67	1,82	0,47	74,18	5,00	2,90	42,00	9	1	88,89	
29.05.08	7,45	7,31	102	239	0,48	0,09	81,25	1,50	1,40	6,67	0,09	0,01	88,89	1,46	0,09	93,84	6,60	7,40	-12,12	-	-	-	
18.02.09	7,03	7,32	340	402	0,28	0,07	75,00	4,30	3,94	8,37	0,02	0,05	-150,00	1,02	0,11	89,22	3,70	2,60	29,73	2,4	1	58,33	
09.03.09	7,00	7,72	363	366	0,24	0,14	41,67	3,90	4,00	-2,56	0,02	0,06	-200,00	0,90	0,40	55,56	2,80	2,10	25,00	3	1	66,67	
23.02.10	7,02	7,56	347	355	0,37	0,19	49,46	3,90	3,40	12,82	0,03	0,05	-66,67	1,21	0,34	71,90	9,10	3,60	50,44	6,2	1	83,87	
24.02.10	7,04	7,79	315	357	0,29	0,08	72,41	4,56	4,27	6,36	0,02	0,06	-200,00	0,73	0,12	83,56	5,65	3,17	43,89	38	4	89,47	
26.02.10	7,15	7,34	320	384	0,51	0,14	72,55	4,60	4,70	-2,17	0,02	0,08	-300,00	1,57	0,32	79,62	6,20	2,00	67,74	14,4	1	93,06	

### 5.10

### Chemische Daten – Bodenfilter Witzerath



Datum	PH.vor	PH.nach	Leitf.vor	Leitf.nach	P.vor	P.nach	Rückhaltung	NO3-N.vor	NO3-N.nach	Rückhaltung	NO2-N.vor	NO2-N.nach	Rückhaltung	NH4-N.vor	NH4-N.nach	Rückhaltung	TOC.vor	TOC.nach	Rückhaltung	AFS.vor	AFS.nach	Rückhaltung	
	[ ]	[ ]	[µS/cm]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	
22.08.06	8,15	7,81	42	331	0,33	0,05	84,85	0,19	0,02	89,47	0,02	0,01	50,00	0,23	0,05	78,26	2,20	1,90	13,64	33,7	7,1	78,93	
11.06.07	7,44	7,68	64	334	13,00	1,00	92,31	0,81	0,01	98,77	0,04	0,01	75,00	0,51	0,01	98,04	6,60	1,00	84,85	13	1	92,31	
03.12.07	7,45	8,12	168	150	0,27	0,05	81,48	3,90	1,70	56,41	0,02	0,05	-150,00	0,34	0,03	91,18	5,40	1,70	68,52	16,8	0,5	97,02	
07.12.07	6,67	7,04	147	135	0,45	0,03	93,33	3,00	2,30	23,33	0,02	0,03	-50,00	0,75	0,04	94,67	8,60	1,70	80,23	2,6	2,8	-7,69	
25.06.08	7,76	7,46	38	348	0,97	0,08	91,75	0,51	0,50	1,96	0,03	0,01	66,67	0,57	0,03	94,74	7,20	2,10	70,83	87	26	70,11	
08.08.08	7,16	7,52	58	278	0,26	0,24	7,69	0,60	0,10	83,33	0,03	0,01	66,67	0,32	0,03	90,63	5,70	4,00	29,82	-	-	-	
18.02.09	-	7,28	-	663	-	0,02	-	-	1,80	-	-	0,01	-	-	0,02	-	2,40	-	-	-	-	-	-

## 5.11 Chemische Daten – Bodenfilter Rohren-Skihgang



Datum	PH.vor	PH.nach	Leitf.vor	Leitf.nach	P.vor	P.nach	Rückhaltung	NO <sub>3</sub> -N.vor	NO <sub>3</sub> -N.nach	Rückhaltung	NO <sub>2</sub> -N.vor	NO <sub>2</sub> -N.nach	Rückhaltung	NH <sub>4</sub> -N.vor	NH <sub>4</sub> -N.nach	Rückhaltung	TOC.vor	TOC.nach	Rückhaltung	AFS.vor	AFS.nach	Rückhaltung
	[-]	[-]	[µS/cm]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]
18.01.07	7,20	7,40	191	232	0,32	0,08	75,00	1,90	0,40	78,95	0,04	0,01	75,00	0,56	0,09	83,93	10,60	1,40	86,79	51	1	98,04
28.09.07	7,51	7,73	464	200	0,76	0,10	86,84	4,00	1,20	70,00	0,13	0,01	92,31	4,44	0,06	98,65	9,40	2,40	74,47	48,7	1	97,95
12.11.07	7,60	7,70	399	345	0,77	0,08	89,61	4,40	3,40	22,73	0,16	0,07	56,25	2,79	0,60	78,49	29,00	2,70	90,69	40,2	0,5	98,76
03.12.07	7,34	7,77	321	317	0,97	0,08	91,75	3,70	3,90	-5,41	0,32	0,02	93,75	1,91	0,16	91,62	19,00	2,50	86,84	52,6	0,5	99,05
14.03.08	7,18	7,90	318	225	0,52	0,23	55,77	3,20	2,70	15,63	0,05	0,00	92,31	2,04	0,31	84,80	4,90	2,20	55,10	4	1	75,00

5.12

Chemische Daten – Bodenfilter Konzen



Datum	Becken	PH.vor	PH.nach	Leitf.vor	Leitf.nach	P.vor	P.nach	Rückhaltung	NO3-N.vor	NO3-N.nach	Rückhaltung	NO2-N.vor	NO2-N.nach	Rückhaltung	NH4-N.vor	NH4-N.nach	Rückhaltung	TOC.vor	TOC.nach	Rückhaltung	AFS.vor	AFS.nach	Rückhaltung
	Nr.	[-]	[-]	[µS/cm]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]
01.03.07	1	7,39	9,80	205	244	0,44	0,06	86,36	2,54	2,63	-3,54	0,03	0,06	-100,00	2,30	0,78	66,09	3,70	2,10	43,24	10	1	90,00
01.03.07	2	7,39	9,54	205	246	0,44	0,08	81,82	2,54	2,70	-6,30	0,03	0,07	-133,33	2,30	0,84	63,48	3,70	2,20	40,54	10	1	90,00
01.03.07	3	7,39	9,38	205	252	0,44	0,06	86,36	2,54	2,80	-10,24	0,03	0,11	-266,67	2,30	0,90	60,87	3,70	1,90	48,65	10	1	90,00
22.08.07	1	7,47	7,16	71	487	0,39	0,08	78,97	0,70	3,80	-442,86	0,03	0,04	-33,33	1,24	0,62	50,00	5,20	9,50	-82,69	32,4	65,6	-102,47
22.08.07	2	7,47	6,96	71	397	0,39	0,23	41,03	0,70	3,20	-357,14	0,03	0,02	33,33	1,24	0,63	49,19	5,20	5,80	-11,54	32,4	112	-245,68
22.08.07	3	7,47	7,95	71	435	0,39	1,54	-294,87	0,70	2,00	-185,71	0,03	0,02	33,33	1,24	0,95	23,39	5,20	3,80	26,92	32,4	74,2	-129,01
28.09.07	1,2,3	7,41	9,57	254	163	0,21	0,10	52,38	3,00	1,50	50,00	0,03	0,11	-266,67	0,54	0,41	24,07	4,70	3,10	34,04	3,3	1	69,70
12.11.07	1,2,3	7,50	8,50	287	287	0,30	0,11	63,33	4,20	3,40	19,05	0,07	0,15	-114,29	0,98	0,48	51,02	5,00	2,50	50,00	3,4	0,5	85,29
03.12.07	1	7,26	8,81	196	223	0,58	0,13	77,59	2,50	2,40	4,00	0,10	0,09	10,00	1,64	0,65	60,37	7,40	2,40	67,57	32,4	1,5	95,37
03.12.07	2	7,26	8,81	196	222	0,58	0,10	82,76	2,50	2,20	12,00	0,10	0,06	40,00	1,64	0,40	75,61	7,40	2,10	71,62	32,5	0,5	98,46
03.12.07	3	7,26	8,98	196	221	0,58	0,13	77,59	2,50	2,30	8,00	0,10	0,10	0,00	1,64	0,74	54,88	7,40	2,10	71,62	32,6	1,9	94,17
03.12.07	UV	-	9,00	-	220	-	0,12	-	-	2,30	-	0,08	-	-	-	0,62	-	-	2,00	-	-	0,8	-
06.02.08	1,2,3	7,12	7,47	259	227	0,57	0,21	63,16	2,10	2,70	-28,57	0,06	0,05	16,67	1,96	0,28	85,71	6,00	2,00	66,67	42	24	42,86
14.03.08	1,2,3	7,27	8,03	205	296	0,36	0,21	41,67	2,10	3,10	-47,62	0,02	0,04	-100,00	1,92	0,87	54,69	5,30	2,40	54,72	7	3	57,14
31.03.08	1,2,3	7,30	8,78	318	388	0,06	0,02	66,67	2,92	4,44	-52,05	0,04	0,09	-125,00	1,46	0,11	92,47	3,70	2,70	27,03	3	1	66,67
17.02.09	1,2,3	7,25	7,55	473	453	0,40	0,21	47,50	1,80	1,70	5,56	0,04	0,02	50,00	1,44	0,52	63,89	5,70	2,20	61,40	12,6	1	92,06
11.12.09	1	7,28	7,90	257	262	0,45	0,19	57,78	2,40	2,50	-4,17	0,05	0,07	-40,00	1,76	0,56	68,18	3,20	2,40	25,00	18	9,6	46,67
11.12.09	2	7,28	7,66	257	253	0,45	0,16	64,44	2,40	2,40	0,00	0,05	0,03	40,00	1,76	0,36	79,55	3,20	2,20	31,25	18	7,2	60,00
11.12.09	3	7,28	7,72	257	252	0,45	0,10	77,78	2,40	2,40	0,00	0,05	0,02	60,00	1,76	0,50	71,59	3,20	2,20	31,25	18	3,6	80,00
23.02.10	1	7,14	8,24	640	528	0,60	0,16	73,33	2,30	2,70	-17,39	0,07	0,04	42,86	2,64	0,53	79,92	9,30	3,60	61,29	24,2	2,8	88,43
23.02.10	2	7,14	8,18	640	528	0,60	0,19	68,33	2,30	2,50	-8,70	0,07	0,04	42,86	2,64	0,74	71,97	9,30	3,90	58,06	24,2	1	95,87
23.02.10	3	7,14	7,90	640	453	0,60	0,08	86,67	2,30	2,40	-4,35	0,07	0,03	57,14	2,64	0,23	91,29	9,30	2,90	68,82	24,2	1	95,87
24.02.10	1	7,28	7,88	720	729	0,42	0,19	54,76	3,70	3,60	2,70	0,04	0,06	-50,00	1,62	1,23	24,07	5,30	3,20	39,62	82	1	98,78
24.02.10	2	7,28	7,88	720	727	0,42	0,19	54,76	3,70	3,40	8,11	0,04	0,05	-25,00	1,62	1,41	12,96	5,30	3,30	37,74	82	2	97,56
24.02.10	3	7,28	7,93	720	720	0,42	0,19	54,76	3,70	3,40	8,11	0,04	0,05	-25,00	1,62	1,47	9,26	5,30	3,90	45,28	82	2	97,56
26.02.10	1	7,39	7,66	439	612	0,36	0,20	44,44	2,90	3,90	-34,48	0,03	0,06	-100,00	1,08	0,94	12,96	2,40	3,30	-37,50	8,6	11,4	-32,56
26.02.10	2	7,39	7,67	439	614	0,36	0,19	47,22	2,90	4,00	-37,93	0,03	0,05	-66,67	1,08	0,96	11,11	2,40	2,70	-12,50	8,6	8,6	0,00
26.02.10	3	7,39	7,98	439	623	0,36	0,20	44,44	2,90	3,60	-24,14	0,03	0,02	33,33	1,08	1,02	5,56	2,40	3,20	-33,33	8,6	1	88,37
02.03.10	1	7,19	8,69	533	599	0,40	0,23	42,50	4,30	4,80	-11,63	0,06	0,07	-16,67	2,34	2,28	2,56	2,60	5,00	-92,31	2,8	1	64,29
02.03.10	2	7,19	8,19	533	593	0,40	0,20	50,00	4,30	4,50	-4,65	0,06	0,09	-50,00	2,34	2,03	13,25	2,60	2,60	0,00	2,8	1	64,29
02.03.10	3	7,19	7,96	533	597	0,40	0,22	45,00	4,30	2,30	46,51	0,06	0,06	-533,33	2,34	2,47	-5,56	2,60	3,30	-26,92	2,8	1	64,29