

Abschlussbericht

zum Forschungsvorhaben:

Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem

Vergabe-Nr. 08/058.2

Einzelauftrag 11.2

für das



**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Aachen, den

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(Geschäftsführer ARGE Retentionsbodenfilter)

Projektpartner

Partner	Bearbeiter
 <p>TUTTAHS & MEYER INGENIEURGESELLSCHAFT für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH</p> <p>Universitätsstraße 74 44789 Bochum Tel.: (02 34) 3 33 05-40 Fax.: (02 34) 3 33 05-11 Email: s.koenen@tum-bochum.de</p>	<p>Dipl.-Ing. Stefan Koenen Dipl.-Ing. Ulrich Stappert</p>
 <p>Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 80 25207 Fax: 0241 80 22285 Email: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de</p>	<p>Dipl.-Ing. Katharina Tondera</p>
 <p>Erftverband Körperschaft öffentlichen Rechts Am Erftverband 6 50126 Bergheim Tel.: 02271/880 Fax: 02271/1299 Email: info@erftverband www.erftverband.de</p>	<p>Dipl.-Ing. Heinrich Dahmen Dipl.-Ing Horst Baxpehler Dipl.-Ing. Reinhold Kiesewski</p>

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Veranlassung.....	3
2 Stand des Wissens.....	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Reinigungsprozesse im Retentionsbodenfilter	7
2.2.1 Zurückzuhaltende Stoffe.....	7
2.2.2 Rückhalt- und Eliminationsmechanismen im Retentionsbodenfilter.....	7
3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	13
3.1 Geographische Lage	13
3.2 Entwässerungssituation im Verbandsgebiet.....	14
3.3 Regenwasserbehandlung	14
4 Auswahl geeigneter Retentionsbodenfilteranlagen.....	17
4.1 Vorauswahl	17
4.2 Kurze Beschreibung der Anlagen	21
4.2.1 RBF Glehn (Bendstraße).....	21
4.2.2 RBF Vanikum	23
4.2.3 RBF Nettlesheim	25
4.2.4 RBF Gill	26
4.2.5 RBF Kenten	28
4.2.6 RBF Glessen	30
4.2.7 RBF Kaster	31
4.3 Vorhandene Betriebsdaten	33
4.3.1 Vorgehen	33
4.3.2 Messdaten-Management des Erftverbandes.....	34
4.3.3 Ergebnisse der Datenauswertungen	35
4.4 Filterauslastung	39
4.5 Filterauswahl.....	40

5	Bilanzierung einzelner Ereignisse	42
6	Analyseverfahren und Probenahmekonzeption	46
6.1	Auswahl der beprobten Parameter	46
6.2	Probenahmekonzeption und Messtechnik-Nachrüstung	48
6.2.1	Art der Probenahme für die Laboranalyse.....	48
6.2.2	Online-Sonden zur Nitrat- und Ammoniummessung	50
6.3	Beschreibung der Laboranalyse	52
6.3.1	Parameter: Pharmaka und Korrosionsschutzmittel	52
6.3.2	Parameter: Röntgenkontrastmittel.....	53
6.3.3	Parameter: Phosphororganische Verbindungen	54
6.3.4	Parameter: EDC (Bisphenol A).....	55
6.3.5	Parameter: Komplexbildner	56
6.3.6	Pflanzenschutzmittel.....	57
6.3.7	Mikrobiologische Parameter	57
7	Intensivbeprobung der ausgewählten Anlagen	58
7.1	Niederschlagsereignisse während der Projektlaufzeit	58
7.2	Retentionsbodenfilter Vanikum.....	58
7.3	Retentionsbodenfilter Glehn	59
7.4	Retentionsbodenfilter Kenten	60
7.5	Ermittlung der Reinigungsleistung	64
7.5.1	Sauerstoffzehrende Verbindungen und abfiltrierbare Stoffe	65
7.5.2	Phosphor	69
7.5.3	Schwermetalle	70
7.5.4	Spurenstoffe	76
7.5.5	Mikrobiologische Parameter	78
7.5.6	Pflanzenschutzmittel.....	80
7.6	Stickstoffrückhalt.....	81
7.6.1	Retentionsbodenfilter Vanikum.....	81
7.6.2	Retentionsbodenfilter Glehn	82

7.6.3	Retentionsbodenfilter Kanten	83
8	Weitere Ergebnisse	88
8.1	Messtechnische Ausrüstung.....	88
8.1.1	Eingesetzte Messtechnik.....	88
8.1.2	Erfasste und ermittelte Daten	88
8.1.3	Problembereiche	89
8.1.4	Wartungsaufwand.....	93
8.1.5	Fehlende Informationen über Betriebszustände.....	93
8.2	Dokumentation Betrieb	94
8.3	Betrieb	94
8.4	Zusammenfassende Empfehlungen	97
9	Ausblick und Empfehlungen	99
	Literatur	101
	Anhang.....	105

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1: Schematischer Aufbau eines Retentionsbodenfilters im Querschnitt (nach: MUNLV, 2003).....	5
Abbildung 4.1: Standorte der vorausgewählten RBF im Erftverbandsgebiet	20
Abbildung 4.2: RBF Glehn, Bendstraße (Aufnahme TUTTAHS & MEYER 2011)	21
Abbildung 4.3: Fließschema RBF Glehn (Quelle: Erftverband)	22
Abbildung 4.4: RBF Vanikum (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	23
Abbildung 4.5: Fließschema RBF Vanikum (Quelle: Erftverband)	24
Abbildung 4.6: RBF Nettlesheim (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	25
Abbildung 4.7: Fließschema RBF Nettlesheim (Quelle: Erftverband).....	26
Abbildung 4.8: RBF Gill (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	27
Abbildung 4.9: Fließschema RBF Gill (Quelle: Erftverband).....	27
Abbildung 4.10: RBF Kenten (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	28
Abbildung 4.11: Fließschema RBF Kenten (Quelle: Erftverband).....	29
Abbildung 4.12: RBF Glessen (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	30
Abbildung 4.13: Fließschema RBF Glessen (Quelle: Erftverband).....	31
Abbildung 4.14: RBF Kaster (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)	32
Abbildung 4.15: Fließschema RBF Kaster (Quelle Erftverband).....	33
Abbildung 4.16: Beispiel für nicht plausible Daten in Nettlesheim	35
Abbildung 4.17: Beispiel für nicht plausible Daten in Vanikum	36
Abbildung 4.18: Beispiel für nicht plausible Daten in Glehn.....	37
Abbildung 4.19: RBF Glehn, Regenereignis 16.8.2010	37
Abbildung 4.20: RBF Kenten, Regenereignis 15./16.8.2010	38
Abbildung 4.21: RBF Vanikum, Regenereignis 15./16.8.2010.....	38
Abbildung 5.1: RÜB/RBF Kenten, Beschickungsereignis 12.-14.2011	42
Abbildung 5.2: SK/RBF Vanikum, Regenereignis 15.-16.08.2010.....	43
Abbildung 5.3: SK/RBF Glehn, Regenereignis 26.-27.05.2010	44
Abbildung 6.1: Aufteilung der Proben im Probenehmer.....	50
Abbildung 6.2: Edelstahlbehälter für AN-ISE-Sonde.....	51
Abbildung 7.1: Filterbeschickungen RBF Kenten während der Projektlaufzeit.....	61

Abbildung 7.2: Analyseergebnisse CSB-Konzentrationen RBF Kenten	65
Abbildung 7.3: Analyseergebnisse TOC-Konzentrationen RBF Kenten	66
Abbildung 7.4: Analyseergebnisse DOC-Konzentrationen Kenten	67
Abbildung 7.5: Analyseergebnisse AFS-Konzentrationen Kenten	68
Abbildung 7.6: Zusammenhang zwischen Trockenzeit (Anzahl der Tage ohne Beschickungsereignis) und Rückhaltevermögen.....	68
Abbildung 7.7: Analyseergebnisse Konzentration Gesamtphosphor, RBF Kenten	69
Abbildung 7.8: Analyseergebnisse Konzentration ortho-Phosphat, RBF Kenten	70
Abbildung 7.9: Analyseergebnisse Konzentration Fe (gesamt), RBF Kenten.....	72
Abbildung 7.10: Analyseergebnisse Konzentration Fe (gelöst), RBF Kenten.....	73
Abbildung 7.11: Analyseergebnisse Konzentration Pb (gesamt), RBF Kenten	73
Abbildung 7.12: Analyseergebnisse Konzentration Cu (gesamt), RBF Kenten	74
Abbildung 7.13: Analyseergebnisse Konzentration Cu (gelöst) RBF Kenten	74
Abbildung 7.14: Analyseergebnisse Konzentration Zn (gesamt), RBF Kenten.....	75
Abbildung 7.15: Analyseergebnisse Konzentration Zn (gelöst), RBF Kenten.....	75
Abbildung 7.16: Verhältnis der Spurenstoffkonzentration im Zu- und Ablauf.....	77
Abbildung 7.17: Rückhalt der mikrobiologischen Parameter im RBF Kenten	79
Abbildung 7.18: Zusammenhang von Rückhalt von Mikroorganismen und Trocken- phase seit der letzten Beschickung, RBF Kenten	80
Abbildung 7.19: RBF Kenten: Konzentrationen der untersuchten Pflanzenschutz- mittel, n=8.....	81
Abbildung 7.20: Verockerte Sonde RBF Vanikum, 23.11.2011	82
Abbildung 7.21: Auswertung der Ammonium-Nitrat-Sonden, RBF Glehn.....	83
Abbildung 7.22: Auswertung der Ammonium-Nitratsonden, 12.-13.10.2011	85
Abbildung 7.23: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden mit Höhenstands- messung (Wasserstand im Retentionsraum des RBFs), Ereignis vom 20.06.2012.....	86
Abbildung 7.24: Rückhalt von Ammonium, RBF Kenten.....	87
Abbildung 8.1: Ungünstige Anordnung der Messsonde unmittelbar vor der Schwelle	89
Abbildung 8.2: Mögliche Störung der Höhenstandsmessung durch Schilf	90
Abbildung 8.3: Ungünstige Schwellenausbildung (vollkommener Überfall fraglich)	92

Abbildung 8.4: Überfallschwelle mit Siebrechen	93
Abbildung 8.5: Tierbau im RBF Kenten, Aufnahme 29.03.2012 (ISA)	95

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1: Systematische Einordnung von Retentionsbodenfiltern bei Einsatz im Mischsystem (ATV A 166, 1999)	6
Tabelle 4.1: Vorauswahl RBF (Daten aus Erhebungsbögen des Erftverbandes; Baujahr 2005)	18
Tabelle 4.2: Übersicht der Beschickungshäufigkeiten der RBF und Datenlücken der Datensätze	39
Tabelle 4.3: Bewertungsmatrix zur Auswahl der zu untersuchenden RBF	41
Tabelle 6.1: Parameter der Intensivbeprobung der RBF	46
Tabelle 6.2: Spurenstoffe: Leitsubstanzen in NRW (nach: PINNEKAMP et al., 2011)	47
Tabelle 6.3: Beprobte Pflanzenschutzmittel, Keime/Bakterien	48
Tabelle 6.4: Befüllmodi des Probenehmers für die beprobten Anlagen	49
Tabelle 7.1: Beschickungsereignisse RBF Vanikum während der Projektlaufzeit	59
Tabelle 7.2: Beschickungsereignisse RBF Glehn während der Projektlaufzeit	60
Tabelle 7.3: Beprobte und ausgewertete Beschickungsereignisse RBF Kenten während der Projektlaufzeit	63
Tabelle 7.4: Ergebnisse der Blindwerttests SM für Edelstahlbehälter im Vergleich zu den Analyseergebnissen	70
Tabelle 7.5: Konzentrationsbereiche der analysierten Spurenstoffe im Zulauf (n=8)	77
Tabelle 7.6: Konzentration der mikrobiologischen Parameter im Zulauf des RBF Kenten	79
Tabelle 7.7: Ereignisse RBF Kenten mit ausgewerteten Nitrat-Ammonium-Kurven	84
Tabelle 7.8: Mittelwerte der im Labor analysierten Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen (Ereignis 12.-13.10.2011), RBF Kenten	85
Tabelle 7.9: Mittelwerte der im Labor analysierten Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen (Ereignis 20.06.2012), RBF Kenten	86

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BF	Bodenfilter
BG	Bestimmungsgrenze
BWT	Blindwerttest
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf [mg/l]
DB	Durchlaufbecken
DN	Diameter Normal (Nennweite)
DOC	Dissolved Organic Carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
E.Coli	Escherichia coli
EDC	Endocrine Disrupting Chemicals (Endokrin wirksame Substanzen)
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
FA	Filteranlage
FB	Fangbecken
GC	Gaschromatographie
GKW	Großklärwerk
HMUELV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie)
HS	Hauptschluss
KA	Kläranlage
KSR	Kanalstauraum
KÜ	Klärüberlauf
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
MCPA	2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure
MF	Mechanischer Filter
MID	Magnetisch-induktive Durchlaufmessung
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MS	Massenspektrometrie

MTBE	Methyl-tert-butylether
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Nges	Gesamtstickstoff
Norg	Organischer Stickstoff
ortho-P	Orthophosphat
PDTA	Propylendiamintetraessigsäure
PEHD	Polyethylen, hohe Dichte
PFOA	Perfluoroctansäure
PFOS	Perfluoroctansulfonsäure
Pges	Gesamtphosphor
PW	Pumpwerk
RAS	Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil: Entwässerung
RBF	Retentionsbodenfilter
RRA	Regenrückhalteanlage
RRB	Regenrückhaltebecken
RRK	Regenrückhaltekanal
RRL	Regenrückhaltelamelle
RRSB	Regenrückstaubecken
RÜB	Regenüberlaufbecken
SK	Stauraumkanal
SKK	Stauraumkanal als Kaskade
SKO	Stauraumkanal mit oben liegender Entlastung
SKU	Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung
T CPP	Tris(2-chlorisopropyl)phosphat
TOC	Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
VB	Verbundbecken
VS	Verteilerschacht
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Zusammenfassung

Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) sind ein wichtiger Baustein der weitergehenden Behandlung von entlastetem Mischwasser vor Einleitung in ein Gewässer. 2010 gab es in Nordrhein-Westfalen 105 RBF zur Behandlung von entlastetem Mischwasser mit einem Rückhaltevolumen von 326.727 m³ (MKULNV, 2010). Weitere Anlagen befinden sich in Bau und Planung. Diese Anlagen gewinnen vor dem Hintergrund der Zielsetzungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie zusätzlich an Bedeutung, da sie als kosteneffiziente Maßnahmen in entsprechende Maßnahmenprogramme integriert werden (KOENZEN/PROAQUA GmbH, 2007).

Ein Merkmal beim Betrieb der Anlagen ist die unregelmäßige Zulaufbeschickung. Je nach Wetterlage und Entwicklungsstand im Einzugsgebiet können sich sehr lange Einstauphasen, aber auch sehr lange Trockenphasen im Retentionsbodenfilter ergeben.

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass zahlreiche Anlagen aufgrund ungünstiger Betriebsverhältnisse die erwarteten Reinigungsleistungen nicht immer in vollem Umfang erreichen. Häufig liegt dies in der Bewertung der Randbedingungen während der Planungsphase und der Prognose der erwarteten Betriebszustände begründet. Handlungsoptionen zur Anpassung des Betriebes an die vorliegenden Randbedingungen sind aufgrund der starren Auslegung der Anlagen oft nicht vorgesehen.

Im Rahmen des Vorhabens sollte an drei großtechnischen Anlagen im Mischsystem untersucht werden, ob die Betriebs- und Belastungszustände einen Einfluss auf die Reinigungsleistung des Filters haben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollten Hinweise für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Retentionsbodenfiltern entwickelt werden.

Die Untersuchungen fielen in eine lang anhaltende Trockenperiode, was die Probenahmen erschwerte. Die zu Projektbeginn angenommene Aufteilung der Anlagen in schwach, optimal und stark belastet erwies sich in der Praxis als nicht zutreffend. Zudem war es wegen der geringen Probendichte nicht möglich festzustellen, welche Rahmenbedingungen sich günstig auf den Rückhalt auswirken. Bei zwei Anlagen konnte aufgrund von betrieblichen und technischen Problemen keine ausreichende Probenanzahl für eine Auswertung gewonnen werden.

Anhand der dritten Anlage in Kenten (Bergheim) mit einer Filterfläche von 2.200 m² und einem Retentionsvolumen von 4.200 m³ konnte auch nach mehreren Betriebsjahren die Reinigungsleistung hinsichtlich AFS und Stickstoffparametern belegt werden. Bei sieben beprobten Ereignissen wurde für AFS ein konzentrationsbezogener Wirkungsgrad von stets mehr als 90% erreicht, für sauerstoffzehrende Parameter wie CSB konnte anhand von acht Ereignissen eine durchschnittliche Eliminationsleistung von 80% ermittelt werden.

Im Hinblick auf Spurenstoffe geben die Untersuchungen erste Anhaltspunkte, dass bestimmte Stoffe in nennenswertem Maß zurückgehalten werden. Insbesondere für Metoprolol, Diclofenac und Bisphenol A konnte bei zehn untersuchten Ereignissen ein Rückhalte-Wirkungsgrad zwischen 60 und 75% ermittelt werden. Es müssen jedoch weitere Untersuchungen zur Verlässlichkeit des Rückhalts folgen.

Für die untersuchten und nachgewiesenen Keime ergab sich bei sieben untersuchten Ereignissen ein durchschnittlicher Rückhalt für E.coli von 1,07 Log-Stufen und für Enterokokken von 1,31 Log-Stufen. Für Coliphagen lag der Rückhalt mit im Durchschnitt 0,64 Log-Stufen etwas niedriger.

An den drei untersuchten Anlagen stellte sich heraus, dass die bislang vorgeschriebenen messtechnischen Einrichtungen nur eingeschränkt zur Bilanzierung von Beschickungsereignissen geeignet sind. Insbesondere bei der Überfallschwellenmessung stellen große Überfallhöhen, lange Überfallsschwellen oder beidseitig überströmte Schwellen ein Problem dar. Außerdem ist es in der Regel nicht möglich, den Wasserstand im Substrat anzugeben. Dies führt dazu, dass ein dauerhafter Teileinstau unerkannt bleiben kann.

Hinsichtlich der Dokumentation des Anlagenbetriebs ergibt sich Optimierungspotential. Eine Umfrage unter den Mitarbeitern des Betriebs zur Wartung ergab Hinweise darauf, dass der Umgang mit langen Trockenphasen der Filter derzeit keine einheitliche Handlungsweise nach sich zieht. Häufig wird diesem mit einem Teileinstau begegnet, der jedoch bezüglich Rücklösungen von Schwermetallen negative Folgen für den Filter haben kann und derzeit noch ohne klare Vorgaben hinsichtlich Höhe und Dauer vorgenommen wird.

Aus der einjährigen Untersuchungsphase ergeben sich u.a. folgende Empfehlungen:

- Zu Beginn der Planung eines Retentionsbodenfilters sollte festgelegt werden, welche messtechnischen Ziele verfolgt werden. Das Nachrüsten von Messtechnik im Betrieb hat in der Regel nicht optimale Lösungen zur Folge, die oft verhältnismäßig hohe Kosten verursachen.
- Die Dokumentation des Betriebs sollte im Sinne von Betreibern und Überwachungsbehörden vereinheitlicht und damit eine Auswertung der Betriebsdaten vereinfacht werden.
- Damit die Handhabung von Trockenphasen nicht zu filterschädigenden Maßnahmen wie z.B. einem dauerhaften Teileinstau führen, sollten Betriebsmitarbeiter für die Funktionsweise des Filters insbesondere hinsichtlich der Stickstoffparameter und der Rücklösung von Schwermetallen sensibilisiert werden.

1 Veranlassung

Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) sind ein wichtiger Baustein der weitergehenden Behandlung von entlastetem Mischwasser vor Einleitung in ein Gewässer. 2010 gab es in Nordrhein-Westfalen 105 RBF zur Behandlung von entlastetem Mischwasser mit einem Rückhaltevolumen von 326.727 m³ (MKULNV, 2010). Weitere Anlagen befinden sich in Bau und in Planung. Zum Erreichen einer optimalen Reinigungsleistung sind klar definierte Randbedingungen zu schaffen, die u. a. im Handbuch Retentionsbodenfilter (MUNLV, 2003) und im DWA-Merkblatt M 178 (DWA, 2005) beschrieben werden.

Retentionsbodenfilteranlagen im Mischsystem stellen eine zusätzliche Behandlungsstufe zur weitergehenden Niederschlagswasserbehandlung hinter Entlastungsbauwerken der Regenwasserbehandlung dar. Diese Anlagen gewinnen vor dem Hintergrund der Zielsetzungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie zusätzlich an Bedeutung, da sie als kosteneffiziente Maßnahmen in entsprechende Maßnahmenprogramme integriert werden (KOENZEN/PROAQUA GmbH, 2007).

Ein Merkmal beim Betrieb der Anlagen ist die unregelmäßige Zulaufbeschickung. Je nach Wetterlage und Entwicklungsstand im Einzugsgebiet können sich sehr lange Einstauphasen, aber auch sehr lange Trockenphasen im Retentionsbodenfilter ergeben.

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass zahlreiche Anlagen aufgrund ungünstiger Betriebsverhältnisse die erwarteten Reinigungsleistungen nicht immer in vollem Umfang erreichen. Häufig liegt dies in der Bewertung der Randbedingungen während der Planungsphase und der Prognose der erwarteten Betriebszustände begründet. Handlungsoptionen zur Anpassung des Betriebes an die vorliegenden Randbedingungen sind aufgrund der starren Auslegung der Anlagen oft nicht vorgesehen.

Im Rahmen des Vorhabens soll an drei großtechnischen Anlagen im Mischsystem untersucht werden, ob die Betriebs- und Belastungszustände einen Einfluss auf die Reinigungsleistung des Filters haben. Anlagen im Trennsystem wurden wegen der anderen Betriebsweise und damit fehlenden Vergleichbarkeit nicht betrachtet, jedoch in einem parallelen Forschungsprojekt (GROTEHUSMANN et al., 2013).

Der Erftverband betreibt 22 Retentionsbodenfilteranlagen, die alle mit einer messtechnischen quantitativen Überwachung hinsichtlich Einstau-, Entlastungs- und Ablaufverhalten ausgerüstet sind. Im Zuge des Projektes werden das vorhandene Betriebsdatenmaterial der Anlagen des Erftverbandes ausgewertet und für die Belastungszustände gering belastet (Trockenfallen), optimal ausgelastet (Bemessungsansatz) und stark belastet (lange Einstauphasen) werden je eine repräsentative Anlagen ausgewählt, die intensiv beprobt wird. Aus den gewonnenen Ergebnissen sollen die Auswirkungen der verschiedenen Betriebszustände auf das

Reinigungsverhalten ermittelt werden. Dabei sind Fragen nach Spülstößen und Konzentrationsspitzen im Ablauf und der damit verbundenen Gewässerbelastung zu beantworten. Außerdem soll geklärt werden, inwieweit der Einsatz von Retentionsbodenfilteranlagen an die Einhaltung von Reinigungsanforderungen gekoppelt werden kann.

Über die Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern in Bezug auf Spurenstoffe ist derzeit wenig bekannt. Im Zuge der analytischen Überwachung von Bodenfilteranlagen soll ein erstes Untersuchungsprogramm als Grundlagendatensammlung unter Einbeziehung ausgewählter Stoffgruppen gefahren werden. Gleichzeitig wird die Abhängigkeit der Reinigungsprozesse im Bereich Spurenstoffe von unterschiedlichen Betriebszuständen ermittelt.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen können Hinweise für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Retentionsbodenfiltern entwickelt werden.

2 Stand des Wissens

2.1 Allgemeines

Laut ATV-DVWK-M 178 (DWA, 2005) ist ein Retentionsbodenfilter ein Bauwerk zur weitergehenden Regenwasserbehandlung, bestehend aus einem Regenbecken und einem nachgeschalteten Filterbecken, die dazu geeignet sind, Gewässerbelastungen durch Niederschlagsereignisse zu verringern. Der schematische Aufbau eines Retentionsbodenfilters kann Abbildung 2.1 entnommen werden.

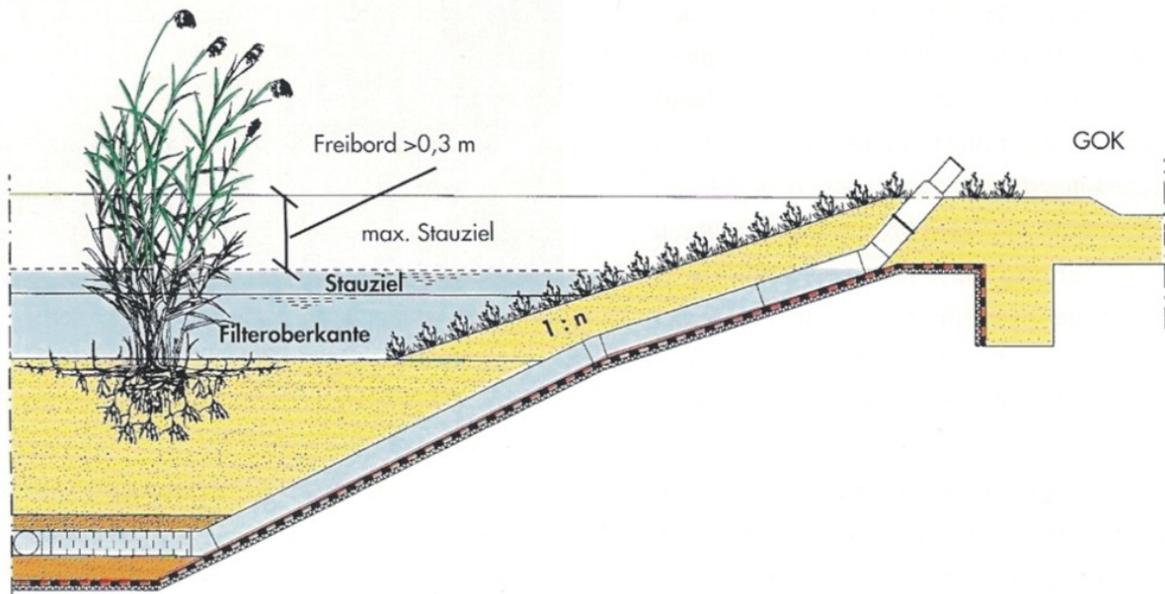


Abbildung 2.1: Schematischer Aufbau eines Retentionsbodenfilters im Querschnitt (nach: MUNLV, 2003)

In Nordrhein-Westfalen werden durch das Retentionsbodenfilter-Handbuch (MUNLV, 2003) und bundesweit durch das ATV-DVWK-M 178 (DWA, 2005) Empfehlungen und Hinweise zur Planung und Konstruktion von Retentionsbodenfiltern gegeben. Für Retentionsbodenfilter, die zur Einleitung von Niederschlagswasser aus Straßenentwässerungen konzipiert sind, kann zusätzlich das Regelwerk „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung“ (RAS-Ew, 2005) herangezogen werden. Die Unterschiede zwischen ATV-DVWK-M 178 (2005) und RAS-Ew (2005) werden in GROTEHUSMANN und KASTING (2009) aufgezeigt.

FUCHS (2003) bezeichnet Retentionsbodenfilter als „Unterlastsysteme mit hohem Puffervermögen“. Dieses Puffervermögen ist zum Einen notwendig, um Spitzenlasten bei Mischwasserentlastungen aufzufangen. Zum Anderen wird die großzügige Dimensionierung benötigt, da die Nitrifikationsprozesse überwiegend in den Trockenzeiten stattfinden.

Retentionsbodenfilter sind eine Form der Bodenfilter, die in vielfacher Weise eingesetzt werden. Während beim Retentionsbodenfilter eine Drainageschicht eingezogen ist, dienen andere Bodenfilter dazu, das gereinigte Abwasser zu versickern, teilweise zur Grundwasseranreicherung. Der Bewuchs und die Bodenpassage entsprechen dabei häufig denen von Retentionsbodenfiltern, weshalb auf Verfahrensbeschreibungen und Untersuchungsergebnisse dieser Filter zurückgegriffen werden kann. Im Mischsystem werden Retentionsbodenfilter den Filteranlagen zugeordnet, wie Tabelle 2.1 entnommen werden kann.

Tabelle 2.1: Systematische Einordnung von Retentionsbodenfiltern bei Einsatz im Mischsystem (ATV A 166, 1999)

Mischsystem										
Regenüberlaufbecken			Stauraumkanäle			Filteranlagen		Regenrückhalteanlagen		
RÜB			SK			FA		RRA		
Fangbecken	Durchlaufbecken	Verbundbecken	Stauraumkanäle mit oben liegender Entlastung	Stauraumkanäle mit unten liegender Entlastung	Stauraumkanäle als Kaskade	Mechanische Filter	Bodenfilter	Regenrückhaltebecken	Regenrückhaltekanäle	Regenrückstaubecken
FB	DB	VB	SKO	SKU	SKK	MF	BF	RRB	RRK	RRSB

Im internationalen Kontext können Retentionsbodenfilter den „Constructed Wetlands“ zugeordnet werden, die im deutschsprachigen Raum in der Regel als Pflanzenkläranlagen bezeichnet werden. Entsprechend den Kategorien für Constructed Wetlands können Retentionsbodenfilter im Mischsystem als „Reed Planted Vertical SubSurface Flow Constructed Wetlands for Enhanced Combined Sewer Overflow Treatment“ (MEYER, 2011) bezeichnet werden. Dass die Nähe der Retentionsbodenfilter zu den Pflanzenkläranlagen für Schmutzwasser unter bestimmten Voraussetzungen gegeben ist, zeigen die Erfahrungen von DRESCHER und HASSELBACH (2010).

2.2 Reinigungsprozesse im Retentionsbodenfilter

2.2.1 Zurückzuhaltende Stoffe

Im Mischwasser können verschiedene Stoffgruppen identifiziert werden, die sowohl in partikulär gebundener als auch in gelöster Form vorliegen können. Zu den partikulär gebundenen Stoffen gehören die abfiltrierbaren Stoffe (AFS). Teile der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphatverbindungen liegen in dieser Form vor. Die gelösten Stoffe im Regenwasser treten gebietsabhängig in unterschiedlichen Konzentrationen auf. Hier sind unter anderem marine und vulkanische Aerosole, terrestrische Stäube, biologische und anthropogene Emissionen sowie natürliche Spurengase vorzufinden. Diese enthalten unter anderem Natrium, Chlorid, Calcium, Kalium, Magnesium, Sulfate, Aluminium, Kohlenstoffdioxid und -trioxid, Silicium, Methan, Ammoniak, Oxalat, Malonat, Citrat, Acetylen, Stickoxide, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid und Rußpartikel. Dazu können zusätzliche Schwermetalle aus Straßenabflüssen wie Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Vanadium und Zink sowie Weichmacher, Benzole und Benzothiazole, Mineralölkohlenwasserstoffe, Kraftstoffbestandteile (z.B. MTBE) und Polyaromatische Kohlenwasserstoffe, Pestizid- und Insektizidrückstände kommen. Diese stammen aus Gebäuden, dem Verkehr, verzinkten Produkten aus Außenanlagen und der Landwirtschaft. (HILLENBRANDT et al., 2005; GROTEHUSMANN und KASTING, 2009; SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL, 2010)

2.2.2 Rückhalt- und Eliminationsmechanismen im Retentionsbodenfilter

Der Stoffrückhalt und die Reinigung des Abwassers finden überwiegend auf und im Filtersand statt (UHL und SCHMITT, 2007; WALDHOFF, 2008; WOZNIAK, 2008). Jedoch gibt es auch deutliche Hinweise darauf, dass gerade bei längerem Einstau auch Prozesse im Retentionsraum zu einem Stoffabbau führen können (UHL und SCHMITT, 2007; WOZNIAK, 2008).

Über den Einfluss des Bewuchses auf die Reinigungsleistung herrschte besonders in den ersten Jahren der Forschung zu Rückhalteversuchen auf vergleichbar bepflanzten Constructed Wetlands Uneinigkeit (GUMBRICHT, 1993). Nach heutigem Kenntnisstand dienen die Pflanzen dazu, die Aufnahmefähigkeit des Bodens zu erhalten und Kolmation zu verhindern. Für die Behandlung von Mischwasser hat sich in den vergangenen Jahren die Bepflanzung des Retentionsraumes mit Schilf (*Phragmites australis*) und die der Böschungen mit Rasen etabliert. (MUNLV, 2003)

Die Etablierung von Schilfgras erfolgt im ersten Betriebsjahr im Teileinstau. In NRW werden überwiegend die nach dem Bodenfilterhandbuch (MUNLV, 2003)

vorgeschlagenen Filtersubstrate mit Carbonatzuschlag verwendet. Carbonatgestein, das dem Filtersand beigemischt ist, bietet ebenso wie eine zusätzliche fünf Zentimeter dicke Auflageschicht aus Carbonatbrechstein Sorptionskapazität für Schwermetalle, Phosphate und potentiell auch für weitere Stoffe wie Spurenstoffe, für die dies jedoch bislang nicht untersucht wurde.

Sorption und Filtration wurden nach den bisherigen Untersuchungen als maßgebliche Mechanismen für den Rückhalt von Stoffen im und auf dem Filterbett identifiziert.

MUNLV (2003) beschreibt mit Sorption alle Reaktionen gelöster Stoffe mit der Oberfläche der festen Phase des Filtersubstrats. Generell findet bei der Sorption ein Austausch von Kationen und Anionen statt, die je nach entstandenem Bindungstyp unterschiedlich stark ausfallen können (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2010).

Es wird unterschieden zwischen der Sorptionskapazität der bereits im Boden vorhandenen organischen und mineralischen Stoffe (abiotische Sorption) und der von mikrobiellen Strukturen, die sich im Laufe der Zeit im Retentionsbodenfilter ausbilden (biotische Sorption). Die Summe der austauschbaren Kationen wird als Austauschkapazität und damit als Maß für die Sorptionsfähigkeit des Bodens bezeichnet.

Für Pflanzenkläranlagen wurde festgestellt, dass ein Großteil der biochemischen Prozesse von dem Biofilm ausgeht, der sich auf Pflanzenbestandteilen oberirdisch wie unterirdisch sowie auf anderen festen Oberflächen des Bauwerks bildet (BRIX, 1997). Diese Prozesse werden in MUNLV (2003) als biotische Sorption beschrieben. In der Mischwasserbehandlung ist vor allem die Sorption von Ammonium entscheidend, bei der Behandlung von Niederschlagswasser die von Schwermetallen und Phosphaten. Während die Sorption von Ammonium begrenzt regenerativ ist, ist die Sorption von Schwermetallen und Phosphaten vermutlich zeitlich begrenzt. Hierzu gibt es für Retentionsbodenfilter erste Erkenntnisse. (HMUELV, 2011)

Der Rückhalt und Abbau von organischen Schadstoffen sowie der Rückhalt von Schwermetallen mittels fixierter Biofilme wurde ebenfalls für Medien mit hohen Schadstoffkonzentrationen und einer permanenten Durchströmung nachgewiesen (MARTIENSSEN, 2001). Im Retentionsbodenfilter herrschen jedoch wegen des Trockenfallens andere Umgebungsbedingungen als in den meisten Abwasserbehandlungsanlagen. Zudem sind organische Schadstoffe und Schwermetalle im kommunalen Mischwasser weitaus geringer konzentriert als in dem von MARTIENSSEN (2001) untersuchten kontaminierten Grundwasser.

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Umgebungs- sowie Wassertemperatur und der Reinigungsleistung konnte bislang nicht nachgewiesen werden. Der Rückhalt von Ammonium scheint jedoch relativ unempfindlich gegenüber Temperaturschwankungen zu sein. (FUCHS, 2003; DITTMER, 2006; WOZNIAK, 2008)

Rückhalt und Abbau von Stickstoffverbindungen und organischer Substanz

Der Abbau von Stickstoffverbindungen und organischer Substanz erfolgt in verschiedenen Prozessen, die teilweise parallel verlaufen. Während der Einstauphase werden die Stickstoffverbindungen durch Anlagerung an die Bodenmatrix adsorbiert. Andere Ionen (z.B. Na, K, Mg, Ca) gehen in Lösung (MUNLV, 2003). Nach Entleerung der Filterschicht und Zuführung von Sauerstoff erfolgen eine Nitrifikation der NH_4 -Verbindungen und ein Freiwerden der vorher belegten Bindungsplätze. Das Nitrat geht als Anion in Bodenlösung (MUNLV, 2003). Die bei der Nitrifikation entstehenden biogenen Säuren (H^+ -Ionen) müssen durch das Filtersubstrat neutralisiert werden, um ein Absinken des pH-Wertes und eine Hemmung der Nitrifikation zu vermeiden. Dieses wird durch die Verwendung von carbonathaltigen Filtersubstraten erreicht, wobei der Carbonatanteil mit der Zeit aufgebraucht wird und somit die Neutralisationskapazität des Substrates zeitlich begrenzt ist (BRUNNER UND ROTH, 2004).

Dauert die Trockenphase länger an – Dittmer (2006) hat eine Phase von mehr als fünf Tagen in Laborversuchen als entscheidend ermittelt -, tragen Mikroorganismen durch die Ammonifikation von organischen N-Verbindungen, die in den Filter eingetragen werden, zur Entstehung von Ammonium bei. Dieses wird in der Folge ebenfalls nitrifiziert und schlägt sich bei Neubeschickung des Filters in einem deutlichen Nitratstoß nieder (DITTMER, 2006). Bei fehlendem Puffervermögen des Filtermaterials kann es zu einer Senkung des pH-Wertes im Boden kommen, was zu einer Behinderung der Nitrifikation und einer Remobilisierung von Schwermetallen führen kann (MUNLV, 2003).

WOZNIAK (2008) vermutet, dass Nitrifikationsprozesse bereits während der Filtrationsphase einsetzen. Dies hängt jedoch maßgeblich vom Grad der Belüftung des Filtermaterials und der Dauer des Filtereinstaus ab.

Die Kohlenstoffverbindungen werden demnach ebenfalls unter aeroben Bedingungen bereits während der Betriebsphase umgewandelt. Der Abbau sinkt jedoch mit dem gelösten Sauerstoff im Überstandswasser und im Filter („Filterdurchbruch“). Diese Rückhalte- und Abbauvorgänge, mittels CSB bestimmt, sind noch nicht vollständig geklärt. (DITTMER, 2006; WOZNIAK, 2008)

In den Trockenphasen werden die organischen Verbindungen aufoxidiert, Stickstoff in Form von Ammonium freigesetzt und zu Nitrat aufoxidiert. Auch hier spielt der pH-Wert eine zentrale Rolle. Für die Mineralisierung sind jedoch ausreichend lange Trockenphasen notwendig, so dass es in Zeiten häufiger Beschickung zu einer Anreicherung von organischem Material im Filter kommt. (DITTMER, 2006)

Der Abbau von Ammonium und Nitrat durch Pflanzen spielt dagegen keine Rolle. Da Retentionsbodenfilter nicht bewirtschaftet werden, werden die durch die Pflanzen aufgenommenen Bestandteile nach ihrem Absterben wieder an den Filter zurückgegeben.

Doch selbst bei bewirtschafteten und stark bewachsenen Pflanzenkläranlagen ist der Effekt des Stickstoffabbaus vernachlässigbar gegenüber der eingetragenen Stickstoffmenge (BRIX, 1997).

Im Fall von Ammonium hängt die Sorptionskapazität von der Filtersituation, unter anderem der Dauer der Trockenphase im Vorfeld des Ereignisses ab, da es nach einigen Wochen Trockenheit zur Abnahme der aktiven Biomasse und zu Veränderungen der Milieubedingungen im Inneren kommt (SCHWARZ, 2004; WOZNIAK et al., 2006). DITTMER (2006) beschreibt einen weitgehenden Rückhalt durch Sorption während der Beschickungsphase, die in der ersten Phase eines Ereignisses zunächst zu einer Ablaufkonzentration kleiner 0,1 mg/l führt. Ist der Filter soweit beladen, dass die Sorptionskapazität nahezu erschöpft ist, führt dies zu einem kontinuierlichen Anstieg der Ablaufkonzentration kontinuierlich und schließlich in einer letzten Phase zu einem Filterdurchbruch, in der DITTMER (2006) die Zulaufkonzentration gleich der Ablaufkonzentration bilanzierte. Die beiden letzten Phasen konnten jedoch in dieser Ausprägung nur für Zulaufkonzentrationen von maximal 5 mg/l beobachtet werden (DITTMER, 2006).

Rückhalt und Entfernung von Schwermetallen

MUNLV (2003) beschreibt eine Anlagerung der Schwermetalle im Filter mit in der Regel abnehmender Konzentration bei zunehmender Filtertiefe. Die Ablagerung findet demnach überwiegend im Sediment statt. Prognosen zur Gesamtaufnahmekapazität fehlen jedoch derzeit.

Wie FUCHS (2003) berichtet, kommt es bei dauerhaft eingestauten Anlagen nach einiger Zeit zu massiven Eisen- und Phosphormobilisierungen. Dies trete auch dann auf, wenn das Filtermaterial ursprünglich kaum Eisen enthalten habe. FUCHS (2003) begründete dies mit dem Redoxpotential des Filters.

Phosphatrückhalt

Die Anreicherung von Phosphat im Bodenfilter wird häufig im gleichen Kontext behandelt wie die Anreicherung von Schwermetallen und Carbonat (MUNLV, 2003), da Phosphate nicht abgebaut werden können, sondern „als schwerlösliche Salze weitgehend im Boden gebunden werden“ (MUDRACK und KUNST, 1991). BRUNNER und ROTH (2004) führen jedoch an, dass nach einigen Betriebsjahren eine Rücklösung in die flüssige Phase erfolgt. Die dazu führenden Randbedingungen sind jedoch bislang nicht bestimmt worden. HMUELV (2011) führt als Mittel zur langfristigen Fixierung von Phosphorverbindungen die Melioration des Filtersandes auf, was als Beimischung von eisenhaltigen Zuschlagsstoffen beschrieben wird. Ein effektiver Rückhalt von 50% des eingetragenen Phosphors ist demnach für meliorierte Filter bis zu 15 Jahre möglich, für nicht meliorierte

Filter jedoch nur für 4,8 Jahre. Diese Daten wurden anhand von zwei großtechnischen Anlagen ermittelt.

Zu einem geringen Prozentsatz nimmt auch der Schilfbewuchs Phosphate auf, jedoch verbleibt dieser Anteil auf dem Filter, da abgestorbene Pflanzenbestandteile im Retentionsbodenfilter nicht abgetragen werden (GUMBRICHT, 1991; BRIX, 1997).

Rückhalt und Entfernung von Spurenstoffen und Pflanzenschutzmitteln

Die Untersuchungen insbesondere zum Abbau von Spurenstoffen in der Abwasserreinigung haben sich in den vergangenen Jahren vor allem auf die Verbesserung der Reinigungsleistung von Kläranlagen konzentriert (TERNES et al., 2003; HUBER et al., 2005; JOSS et al., 2006; PINNEKAMP et al., 2010). Jedoch werden in erheblichem Maße auch mischwasserspezifische Frachten durch Mischwasserentlastungen in die Gewässer eingetragen, z.B. Biozide in Fassadendämmungen, die durch Niederschlagswasser ausgewaschen werden (GASPERI et al., 2005; BURKHARDT et al., 2007; WELKER, 2007).

An Retentionsbodenfiltern hat es bislang nur wenige Untersuchungen zum Rückhalt von Spurenstoffen gegeben. Erste Ergebnisse zum Rückhalt von einigen Medikamenten und Pflanzenschutzmitteln wurden im Projekt „Überprüfung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der chemisch-physikalischen und hygienisch-mikrobiologischen Belastungen von Fließgewässern am Beispiel der SWIST (SWIST IV, unveröffentlicht) gewonnen. Beispielhaft für Ibuprofen und Diclofenac mit einer Bestimmungsgrenze von 100 ng/l wurde ermittelt, dass sich für Diclofenac die Anzahl der Positivbefunde von 68% auf 9% reduziert. Die Maximalkonzentrationen reduzierten sich um 65% im Vergleich von Zulauf und Ablauf. Für Ibuprofen wurde ein Rückgang der Positivbefunde von 92% auf 17% festgestellt, die Maximalkonzentrationen reduzierten sich um 65% im Vergleich von Zulauf und Ablauf. Für Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde die halbe Bestimmungsgrenze angesetzt. Es wurden 33 Ereignisse mit 343 Einzelproben untersucht. (MERTENS et al., 2012) Die Bestimmungsgrenze, die im Rahmen dieses Projekts erreicht werden konnte, liegt mit 5 ng/l deutlich niedriger als bei den Untersuchungen von MERTENS et al. (2012).

Rückhalt und Entfernung von Keimen, Bakterien und Parasiten

Im kommunalen Abwasser können eine Vielzahl von Keimen, Bakterien und Parasiten nachgewiesen werden. Die Belastung von Niederschlagswasser dagegen hängt stark vom Einzugsgebiet mit entsprechender Landnutzung aus Landwirtschaft sowie der Jahreszeit ab (NOBLE et al., 2000; STRUCK et al., 2006; KISTEMANN et al., 2011).

Retentionsbodenfilter im Mischsystem sind daher unterschiedlich stark belastet, je nach Einzugsgebiet und Verhältnis von Schmutzwasser zu Niederschlagswasser. Da das

gefilterte Mischwasser in Gewässer eingeleitet wird, die unterschiedlichen Nutzungen unterliegen, ergeben sich unterschiedliche Gefährdungspotentiale.

Bei Untersuchungen von HAGENDORF et al. (2002) wurden mit kommunalem Mischwasser beschickte Retentionsbodenfilter auf den Rückhalt von mikrobiologischen Parametern untersucht.

ORB (2012) hat den Rückhalt von E.coli in Bezug auf die Filterschicht in Säulenversuchen bestimmt. Demnach findet der größte Rückhalt zwischen 9 und 43 cm Filtertiefe statt. Außerdem verschlechtert sich der Rückhalt bei Drosselgeschwindigkeiten $> 0,03 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$.

Für großtechnische Anlagen im Mischsystem liegen in Nordrhein-Westfalen weiterhin Untersuchungen der Hygieneparameter durch das Projekt „Bewertung der Leistungsfähigkeit von vier Retentionsbodenfiltern hinsichtlich der Rückhaltung hygienisch relevanter Mikroorganismen“ (IWW, 2010) vor. Dabei wurden auf vier gering belasteten Retentionsbodenfiltern, die zu Beginn der Untersuchungen 3,5 bis 4 Jahre in Betrieb waren, Rückhalteraten von im Mittel 91,8 bis 99,5% für den Parameter E.coli bestimmt. Der Rückhalt stieg insbesondere bei langen Einstauereignissen von mehr als 48 Stunden an. Der Einsatz einer UV-Lampe im Ablauf eines der Filter führte dazu, dass der Wirkungsgrad von im Mittel 91,8% auf 99,6% gesteigert werden konnte.

3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

3.1 Geographische Lage

Das Einzugsgebiet der Erft liegt hauptsächlich im Bundesland Nordrhein-Westfalen. Ein kleiner Teil des Einzugsgebietes der Swist (ca. 30 km²) liegt im Bundesland Rheinland-Pfalz. In Nordrhein-Westfalen erstreckt sich das Einzugsgebiet über die Regierungsbezirke Köln und Düsseldorf. Das Gebiet berührt insgesamt fünf Kreise (Kreis Euskirchen, Rhein-Sieg-Kreis, Kreis Düren, Rhein-Erft-Kreis und Rhein-Kreis Neuss) mit 39 Gemeinden.

Das Einzugsgebiet der Erft umfasst eine Fläche von 1828 km². Die stationierte Länge beträgt 106,6 km. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt ca. 650 mm. Die Hauptniederschlagszeit ist der Sommer. Am trockensten sind die Wintermonate.

Die Erft entspringt auf einer Höhe von 520 m NN südlich von Bad Münstereifel in der Osteifel im Kreis Euskirchen. Der Quellbach ist der Kuhbach. Die Erft durchfließt zunächst auf einer Länge von 20 km den Gebirgsfuß der Nordeifel. Ab der Ortslage Euskirchen fließt sie durch die Niederrheinische Bucht in nördlicher Richtung. Sie mündet im Niederrheinischen Tiefland bei Neuss bei ca. 26 m NN in den Rhein.

Im Erfteinzugsgebiet befinden sich insgesamt 47 Fließgewässer (ca. 650 km Fließlänge), welche selbst ein Einzugsgebiet von mehr als 10 km² besitzen, davon sind vier Nebengewässer auf ganzer Länge sowie drei Teilabschnitte größerer Gewässer künstlichen Ursprungs (insgesamt ca. 54,4 km Fließlänge). Die wichtigsten Nebenflüsse der Erft sind von Südosten zufließend die Swist, der Gillbach und die Norf. Von Südwesten fließen der Veybach, der Rotbach und der Neffelbach in die Erft.

In ihrem Mittellauf verzweigt sich die Erft zweimal. Bei Brüggen zweigt die Kleine Erft nach Westen ab. Sie kreuzt auf der Höhe von Kerpen die Erft mit einem Aquädukt und fließt nach ca. 19 km in Bergheim zurück in die Erft. Zwischen Sindorf und Horrem zweigt die Große Erft ebenfalls nach Westen ab. Im Gegensatz zum parallel fließenden Hauptlauf der Erft hat sie keinen geradlinigen Verlauf. Nach 7,3 km mündet sie wieder in die Erft.

Am Wehr in Neuss-Selikum zweigt die Obererft ab, die im Stadtgebiet Neuss weitere Verzweigungen hat und dort auch den Nordkanal aufnimmt und dann in den Neusser Hafen, den so genannten Erftkanal mündet. Der Hauptlauf der Erft mündet bei Neuss-Gnadental in den Rhein und schützt auf einer Strecke von ca. 1500 Metern das seitliche Gebiet durch Rückstaudeiche vor Rheinhochwasser.

Am Unterlauf der Erft ist der Abfluss seit etwa Mitte der 50er Jahre durch Einleitung von Sumpfungswasser aus dem Braunkohlentagebau stark beeinflusst.

3.2 Entwässerungssituation im Verbandsgebiet

Das Verbandsgebiet des Erftverbands mit einer Fläche von 1.900 km² entspricht dem Einzugsgebiet der 106,6 km langen Erft mit ihren zahlreichen Nebengewässern. Im Erfteinzugsgebiet liegt die Umsetzung dieser Aufgaben in den Händen des Erftverbands. Bei einer Ausbaugröße seiner Abwasserreinigungsanlagen von ca. 1,1 Mio. Einwohnerwerten reinigt der Erftverband das Abwasser von ungefähr 770.000 Einwohnern sowie zahlreichen gewerblichen Unternehmen im Einzugsgebiet der Erft. Dazu betreibt er derzeit 42 leistungsstarke Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 100 bis 132.000 Einwohnerwerten sowie eine Vielzahl von Regenwasserbehandlungsanlagen, Pumpwerken und Verbindungskanälen. Im Verbandsgebiet sind etwa 600 Regenbecken registriert, von denen 330 mit einem Gesamtrückhaltevolumen von rd. 400.000 m³ durch den Erftverband bewirtschaftet werden.

Der Erftverband betreibt zurzeit 570 km Freispiegelkanäle und 66 km Druckleitungen. Diese teilen sich auf in die Teilbereiche:

Mischwasserkanäle: 235 km

Schmutzwasserkanäle: 66 km

Regenwasserkanäle: 89 km

Verbindungssammler: 180 km

Zur Erfüllung seiner Aufgabe hat der Erftverband ein gemeindeübergreifendes Abwasserbeseitigungskonzept, das den Bau von wirtschaftlichen, betriebssicheren und leistungsfähigen Kläranlagen sicherstellt. Es wird fortgeschrieben und an aktuelle Belange angepasst.

3.3 Regenwasserbehandlung

Ziel der Niederschlagswasserbehandlung ist es, die Entlastungsbauwerke einschließlich des Kanalnetzes so zu planen und zu betreiben, dass unter der Wahrung der Wirtschaftlichkeit ein optimaler Schutz der Gewässer erreicht wird. Dies erfordert, dass entlastete Schmutzfrachten, Entlastungshäufigkeiten, -dauern und -konzentrationen entsprechend der gewässerbiologischen Leistungsfähigkeit minimiert werden.

Für jede Einleitung ist eine wasserwirtschaftliche Erlaubnis erforderlich. Die Verlängerung dieser Einleiterlaubnis wird von Gewässerverträglichkeitsnachweisen abhängig gemacht. Entscheidend für diesen Nachweis sind Qualität und Menge des einzuleitenden Niederschlagswassers, sowie Qualität und Abflussverhältnisse des betroffenen Gewässers. Der Erftverband erarbeitet für das gesamte Verbandsgebiet gewässerabschnittsbezogene Nachweise - sukzessive von der Quelle bis zur Mündung.

Die gewässerbezogene Betrachtungsweise der Niederschlagswasserbehandlung beinhaltet sowohl die verbandlichen als auch die kommunalen und gewerblichen Einleitungen. Auf Basis von Erfahrungen wird nicht der sogenannte „vereinfachte Nachweis“ sondern ein „detaillierter Nachweis“ angestrebt. Hierdurch lassen sich nach bisherigen Erkenntnissen Investitionen in erheblichem Maße einsparen.

Retentionsbodenfilter zur Regenwasserbehandlung

Die konsequente Umsetzung der ab 1988 neu formulierten Reinigungsanforderungen für kommunale Kläranlagen, insbesondere an die Nährstoffelimination, hat im Erftverbandsgebiet dazu geführt, dass nunmehr fast alle Kläranlagen saniert oder ausgebaut sind und überdurchschnittliche Reinigungsleistungen erbringen.

Dies ist im Erfteinzugsgebiet auch erforderlich um das Ziel - die Gewässergüteklasse II (mäßig belastet) - zu erreichen. Erschwerend für die hiesige Region ist die Vielzahl von empfindlichen Gewässern mit geringer Eigenwasserführung, so dass die Überwachungswerte für Kläranlagen zum Teil erheblich schärfer formuliert sind als durch die Mindestanforderungen vorgegeben. Dabei setzte der Verband nicht nur konventionelle Verfahrenstechnik ein, sondern stattete die Kläranlagen zum Teil mit innovativer Technik z.B. Membranfiltration aus, um unter Beachtung einer wirtschaftlichen Ausbaukonzeption sicherzustellen, dass die Qualität bei den meisten Gewässern des Verbandsgebietes durch sehr weitgehende Verminderung der stofflichen Belastung aus Kläranlagenabläufen verbessert wurde. Dies hat für die Erft besondere Bedeutung, da mittelfristig mit einem Rückgang der Sumpfwassereinleitungen aus den nach Norden wandernden Braunkohlentagebauen zu rechnen ist und sich das Mischungsverhältnis von eingeleitetem gereinigtem Abwasser zur natürlichen Wasserführung ungünstig verändern wird. Obwohl im Erfteinzugsgebiet an vielen Stellen abwassertechnische Sonderbauwerke bereits nach verschärften Anforderungen bemessen sind, ist in Zukunft mit erhöhten Anforderungen zu rechnen. Dies betrifft sowohl die hydraulische Belastung, die durch den Bau von nachgeschalteten Regenrückhaltebecken vermindert werden kann, als auch die stoffliche Belastung, die z.B. durch noch großzügiger dimensionierte Regenüberlaufbecken zu reduzieren sind.

Da aus Misch- und Regenwassereinleitungen, die nur wenige Stunden im Jahr grob gereinigtes Niederschlagswasser in die Gewässer abgeben, nahezu dieselbe Schmutzfracht eingeleitet wird, wie aus allen kommunalen Kläranlagen zusammen, ist es notwendig die Niederschlagswasserreinigung und -ableitung zu verbessern, um eine gute biologische und chemische Gewässerqualität zu erreichen.

Eine zukunftsweisende Technik ist der Bau von Retentionsbodenfiltern, bei denen das aus einem Regenüberlaufbecken abgeschlagene, grob mechanisch gereinigte Niederschlagswasser durch eine Bodenpassage gereinigt bzw. filtriert wird, bevor es in

das Gewässer eingeleitet wird. Untersuchungen an bestehenden Bodenfilteranlagen haben gezeigt, dass die stoffliche Belastung durch diese Bodenpassage erheblich reduziert wird. Gleichzeitig können diese Filterbecken im Aufstaubetrieb gefahren werden, so dass sich zusätzlich - "bei richtiger Bemessung" - auch eine Rückhaltewirkung (Retention) einstellt. Dadurch wird auch die hydraulische Belastung des Gewässers verbessert. Die Retentionsbodenfilter stellen eine sinnvolle Ergänzungsmaßnahme im Zuge der Reinigung von Niederschlagswasser dar. Sie werden in Zukunft noch erheblich an Bedeutung gewinnen, da die Wasserbehörden seit geraumer Zeit bei jedem Antrag auf Verlängerung von Einleiterlaubnissen einen Nachweis der Gewässerverträglichkeit fordern. Dies bedeutet in der Regel eine Reduzierung der Gewässerbelastung durch Drosslung der Einleitmenge oder Maßnahmen in und am Gewässer, die das Selbstreinigungsvermögen und damit den ökologischen Zustand des Gewässers verbessern.

Da das Mischungsverhältnis von Abwassereinleitung zu natürlicher Wasserführung an der Erft und in den Nebenläufen wegen der geringen Eigenwasserführung ohnehin ungünstig ist, macht es Sinn, alternativ zum Bau von immer größeren Regenüberlaufbecken und Regenrückhaltebecken technologisch auf die immissionsorientierte Denkweise der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu reagieren. Dies ist durch den Bau von Bodenfilteranlagen bzw. Retentionsbodenfilteranlagen möglich.

Im Hinblick auf die konkrete Aufgabenstellung, Einleiterlaubnisse von vorhandenen Misch- und Regenwassereinläufen zu verlängern bzw. weiterhin erlaubnisfähig zu gestalten, hat der Erftverband verschiedene Einleitstellen mit akutem Handlungsbedarf in Bezug auf Gewässerverträglichkeit herausgearbeitet. An diesen Standorten wird der Erftverband Bodenfilteranlagen und Retentionsbodenfilter errichten, um die Einleitbedingungen in qualitativer und mengenmäßiger Hinsicht zu verbessern. Mit der Anwendung dieser Technologie kann in Zukunft den fast unlösbar erscheinenden Einleitanforderungen im Erfteinzugsgebiet begegnet werden. Durch die qualitative Verbesserung des Ablaufes aus Bodenfilteranlagen können die Randbedingungen zum Mischungsverhältnis Eigenwasserführung der Gewässer zur Abwassereinleitung eingehalten, der hydraulische Stress im Gewässer verhindert und Hochwasserwellen abgeflacht werden.

Zudem steht mit dem Konzept "Bodenfilteranlagen" eine naturnähere Bauweise zur Verfügung, bei der weitgehend auf Beton verzichtet werden kann. Die obligatorische Bepflanzung mit Schilf integriert dieses technische Bauwerk besser in die Landschaft, auch wenn sie in erster Linie den Zweck verfolgt, eine Verstopfung der Filteranlage zu vermeiden.

Derzeit (Ende 2012) betreibt der Verband 22 Retentionsbodenfilterbecken.

4 Auswahl geeigneter Retentionsbodenfilteranlagen

4.1 Vorauswahl

Der Erftverband betreibt derzeit (Ende 2012) 22 Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) im Verbandsgebiet. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen drei Anlagen mit unterschiedlichen Belastungsgraden in Bezug auf die Beschickungshäufigkeit einer intensiven Untersuchung unterzogen werden. Ziel ist es, eine gering belastete Anlage (mit entsprechend langen Trockenzeiten), eine mittel belastete Anlage (mit Belastungen nahe der Bemessungsansätze) und eine stark belastete Anlage (mit entsprechend langen Eintauphasen und geringen Trockenzeiten) auszuwählen, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Betriebszustände auf das Reinigungsverhalten ermitteln zu können.

Im ersten Schritt wird eine Vorauswahl getroffen. Bei den ausgewählten Anlagen erfolgen eine intensivere Auseinandersetzung mit den vorliegenden Betriebsdaten sowie eine Anlagenbegehung. Auf Basis der dabei gewonnenen Ergebnisse werden dann die im Rahmen des Vorhabens weiterbetrachteten Anlagen ausgewählt.

Bei der Vorauswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt, die bei der Endauswahl intensiver geprüft wurden:

- Retentionsbodenfilter nach Mischwasserbehandlungsanlagen,
- Auslegung nach Handbuch „Retentionsbodenfilter (MUNLV 2004)“,
- Auslastungsgrad,
- Randbedingungen für Probenahme,
- Messtechnische Anlagenüberwachung,
- räumliche Konzentration der Standorte,
- betriebliche Randbedingungen (Betriebsgebäude, Nähe zur Kläranlage).

Auf dieser Basis wurden folgende Anlagen ausgewählt:

Tabelle 4.1: Vorauswahl RBF (Daten aus Erhebungsbögen des Erftverbandes; Baujahr 2005)

Name	Standort	RBF			Retentionslamelle RRL		Stapelhöhe (Entwurf)	Auslastung ¹
		Oberfläche	Volumen	Drossel- abfluss	Volumen [m³]	Drossel [l/s]		
RBF Glehn	Korschenbroich	2.000 m²	3.300 m³	60 l/s	-	-	40,0 m/a	mittel
RBF Vanikum	Rommerskirchen	650 m²	790 m³	16 l/s	555	40	30,0 m/a	gering
RBF Nettlesheim	Rommerskirchen	950 m²	1.170 m³	20 l/s	710	55	27,0 m/a	gering
RBF Gill	Rommerskirchen	500 m²	1.100 m³	10 l/s	-	-	52,0 m/a	gering
RBF Kenten	Bergheim	2.208 m²	4.194 m³	60 l/s	-	-	42,5 m/a	stark
RBF Glessen	Bergheim	1.940m²	3.450 m³	10 l/s	-	-	16,0 m/a	gering
RBF Kaster	Bedburg	1.465 m²	2.630 m³	44 l/s	-	-	31,9 m/a	stark

¹ Einschätzung des Betriebspersonals

Die Standorte befinden sich alle im nördlichen Bereich des Verbandsgebietes des Erftverbandes (Abbildung 4.1), was die spätere Transportlogistik im Bereich des Probenahme-Managements erleichtert.

Alle Anlagen sind mit quantitativer Messtechnik (Höhenstände, Durchflussmessung im Ablauf) im Zu- und Ablauf ausgestattet.

Für alle vorausgewählten Anlagen liegen umfassende Anlagendokumentationen vor:

- Entwurfs- und Genehmigungsunterlagen,
- Bauwerkszeichnungen,
- Betriebsanleitungen,
- Beschreibung der einzelnen Betriebsstellen,
- Messwerte in 15-Minuten-Zeitschritten des für den Betrieb relevanten Anlagenmonitorings.

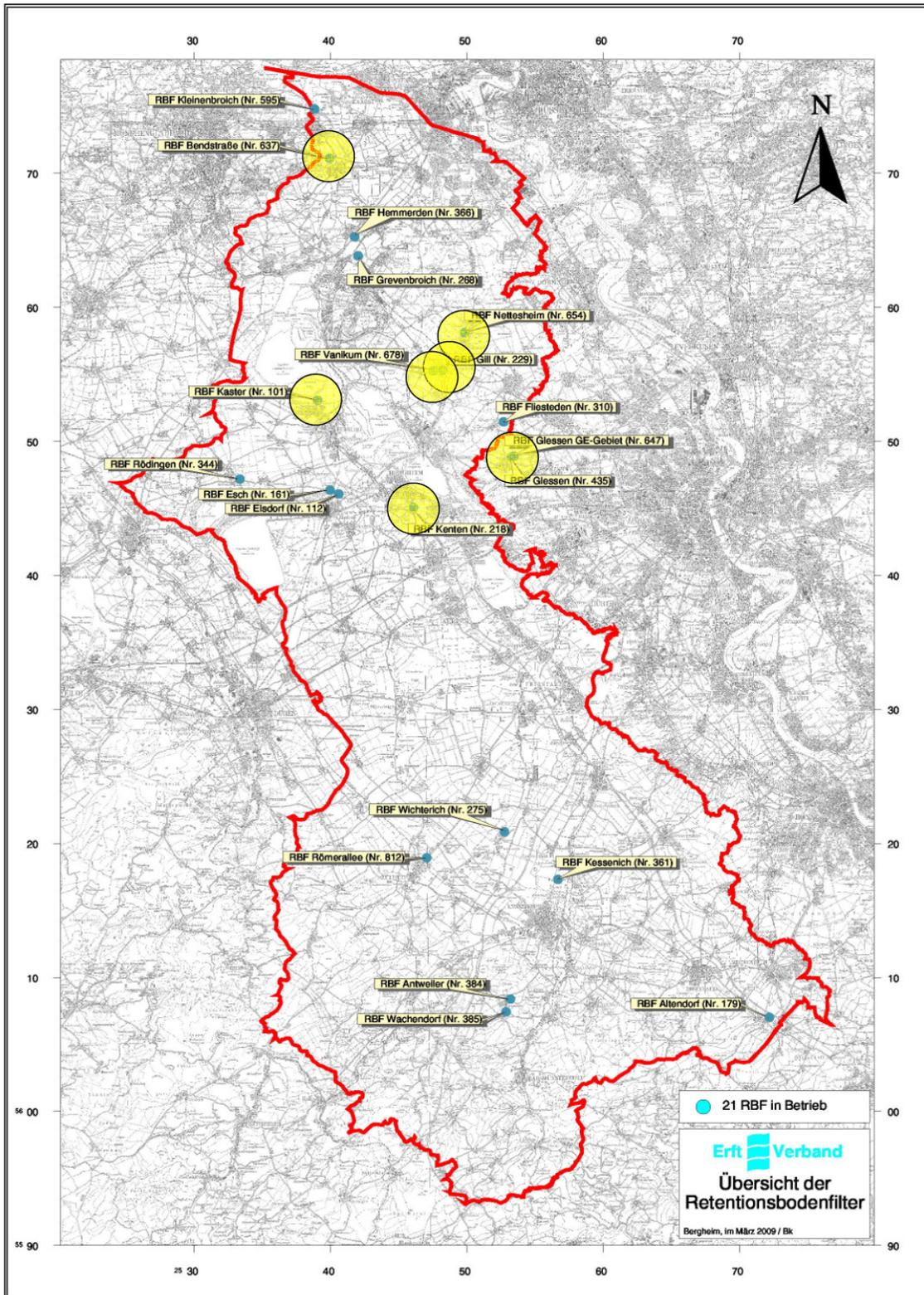


Abbildung 4.1: Standorte der vorausgewählten RBF im Ertfverbandsgebiet

4.2 Kurze Beschreibung der Anlagen

4.2.1 RBF Glehn (Bendstraße)

Der Standort des Retentionsbodenfilters befindet sich in Glehn, einem Stadtteil von Korschenbroich, in unmittelbarer Nachbarschaft zum Klärwerk Glehn an der B 230. Der Bodenfilter ist einer Regenwasserbehandlungsanlage, bestehend aus einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung, nachgeschaltet. Sowohl der Drosselabfluss als auch die Notentlastung werden in den Jüchener Bach eingeleitet.



Abbildung 4.2: RBF Glehn, Bendstraße (Aufnahme TUTTAHS & MEYER 2011)

Die Entlastung des Stauraumkanals wird bis zu 900 l/s über Pumpen in den Bodenfilter gehoben. Darüber hinauslaufende Wassermengen werden direkt in ein Regenrückhaltebecken und von dort gedrosselt in den Jüchener Bach geleitet. Der Filterbeckenüberlauf befindet sich in der Zuleitung zum Bodenfilter und entlastet direkt in den Jüchener Bach. Der Ablauf aus dem Bodenfilter erfolgt im Freigefälle und wird über einen MID-gesteuerten Schieber begrenzt.

Neben der elektrotechnischen Überwachung der Pumpen und Schieber (Stromaufnahme, Frequenz) werden am RBF Glehn folgende Daten erfasst:

- Durchfluss Drossel, Stauraumkanal [l/s]
- Durchfluss Drossel, Bodenfilter [l/s]
- Füllstand Vorschacht Drossel, Bodenfilter [m]
- Füllstand Stauraumkanal [m]
- Füllstand Vorschacht Drossel, Stauraumkanal [m]
- Niveau Filterüberlauf [m]
- Niveau Notüberlauf RRB [m]
- Füllstand Regenwetterpumpwerk [m]

4.2.2 RBF Vanikum

Vanikum ist ein Ortsteil der Gemeinde Rommerskirchen. Die Ortslage bildet im Wesentlichen das Einzugsgebiet der gleichnamigen Retentionsfilteranlage. Der Bodenfilter ist einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung nachgeschaltet. Der Ablauf aus der Anlage wird in den Todtenbach eingeleitet.



Abbildung 4.4: RBF Vanikum (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

Die Entlastungsschwelle des Stauraumkanals der Vorstufe ist mit einem Siebrechen zum Grobstoffrückhalt ausgerüstet. Oberhalb des Retentionsbodenfiltervolumens weist der RBF Vanikum eine zusätzliche Regenrückhaltelamelle (RRL) mit einem zusätzlichen

4.2.3 RBF Nettlesheim

Das Einzugsgebiet des RBF Nettlesheim umfasst aus dem Nahbereich die Ortsteile Nettlesheim und Butzheim der Gemeinde Rommerskirchen. Darüber hinaus werden im Regenwetterfall etwa drei Viertel der Drosselwassermenge des RÜB aus dem gedrosselten Mischwasserabfluss der Ortslagen Rommerskirchen, Vanikum und Sinsteden über das RÜB weiter geleitet. Die Vorstufe des Bodenfilters bildet die Mischwasserbehandlungsanlage Martinusstraße, ein Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung. Der RBF entlastet in das Gewässer Gillbach.



Abbildung 4.6: RBF Nettlesheim (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

Die Anlage entspricht vom Aufbau dem Retentionsbodenfilter Vanikum. Siebrechen an der Staukanalentlastung, zusätzliche Rückhaltelamelle, Filterablaufdrosselung über MID-geregelte Pumpen, alle wesentlichen Anlagenkomponenten sind analog zum RBF Vanikum gestaltet. Dementsprechend ist auch eine kleine Betriebshütte vorhanden.

Gleiches gilt für die erfassten Betriebsdaten:

- Durchfluss Drosselbauwerk, Bodenfilter [l/s]
- Füllstand Drosselbauwerk, Bodenfilter [m]
- Durchfluss Drosselbauwerk, Staukanal [l/s]
- Niveau Filterüberlauf [m]
- Füllstand Staukanal (Entlastungsschwelle) [m]

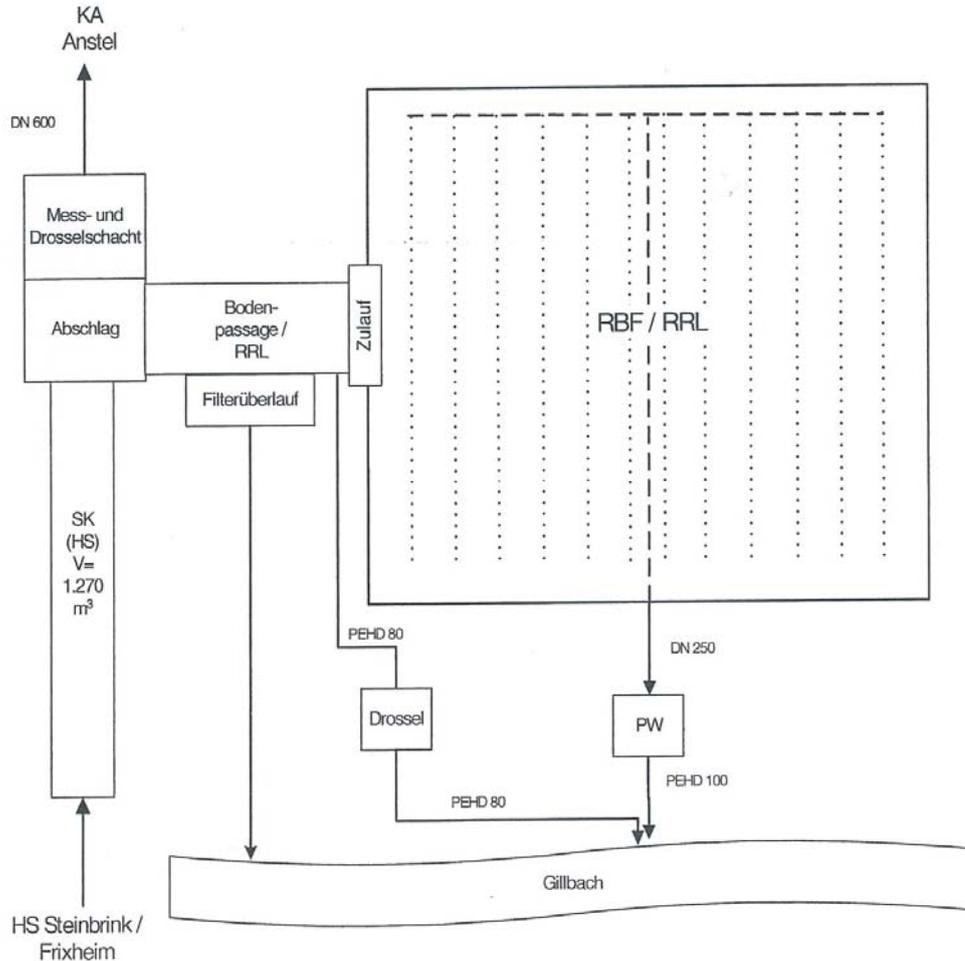


Abbildung 4.7: Fließschema RBF Nettlesheim (Quelle: Ertfverband)

4.2.4 RBF Gill

Wie Nettlesheim ist auch Gill ein Ortsteil der Gemeinde Rommerskirchen. Der Bodenfilter ist einem Stauraumkanal mit unten liegender Entlastung nachgeschaltet. Zusätzlich zu der Entlastung aus der Mischwasserbehandlung erfolgt ein Zulauf von Regenwasser aus einem im Trennsystem entwässerten Neubau-Wohngebiet. Der Ablauf und der Filterüberlauf werden in den Gillbach abgeleitet. Die Drosselung des Ablaufes erfolgt über MID-geregelte Pumpen.

Ähnlich dem RBF Vanikum ist die Entlastungsschwelle des vorgelagerten Stauraumkanals mit einem Siebrechen ausgerüstet.



Abbildung 4.8: RBF Gill (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

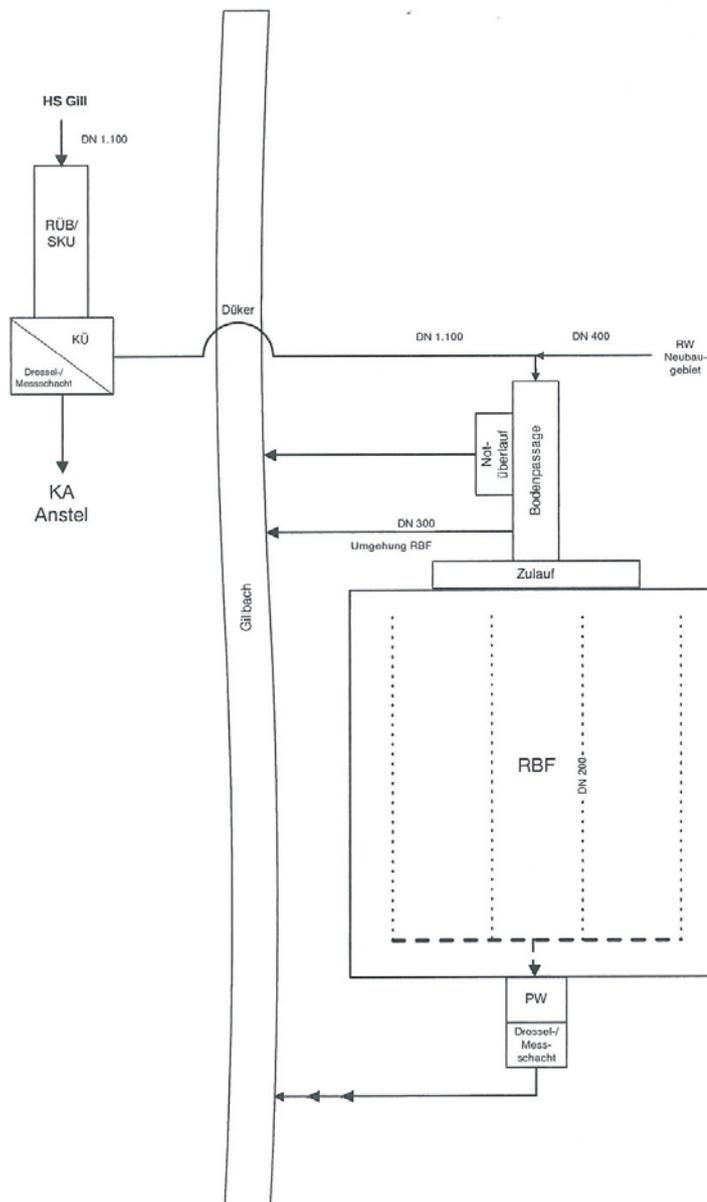


Abbildung 4.9: Fließschema RBF Gill (Quelle: Ertverband)

Folgende Betriebsdaten werden erfasst:

- Höhenstand Stauraumkanal (Entlastungsschwelle) [m]
- Höhenstand Entlastungsseite Stauraumkanal [m]
- Höhenstand Zulauf Bodenfilterbecken [m]
- Durchfluss Zulauf Bodenfilterbecken [l/s]
- Durchfluss Drosselbauwerk [l/s]
- Höhenstand Drosselbauwerk [m]

4.2.5 RBF Kenten

Das RBF Kenten befindet sich unmittelbar neben dem Gruppenklärwerk Kenten in Bergheim. Das Bodenfilter ist einem Regenüberlaufbecken, welches sich auf dem Kläranlagengelände befindet und von dem gemeinsamen Zulaufhebwerk und Regenwasserhebwerk der Kläranlage beschickt wird. Das Einzugsgebiet der Regenwasserbehandlungsanlage setzt sich aus dem ausgedehnten und vielfach vorentlasteten Gebieten des Stadtgebietes Kerpen, Ortsteile von Elsdorf, Merzenich und -Golzheim, Bergheim-Quadrath-Ichendorf und -Kenten zusammen. Die Einleitung des Mischwassers erfolgt in den Erftflutkanal.



Abbildung 4.10: RBF Kenten (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

Das Regenüberlaufbecken ist als kombinierte Anlage aus Fangbecken und Durchlaufbecken konzipiert, wobei das Durchlaufbecken über eine 22 m lange Schwelle in den Zulaufdüker zum Bodenfilter entlastet.

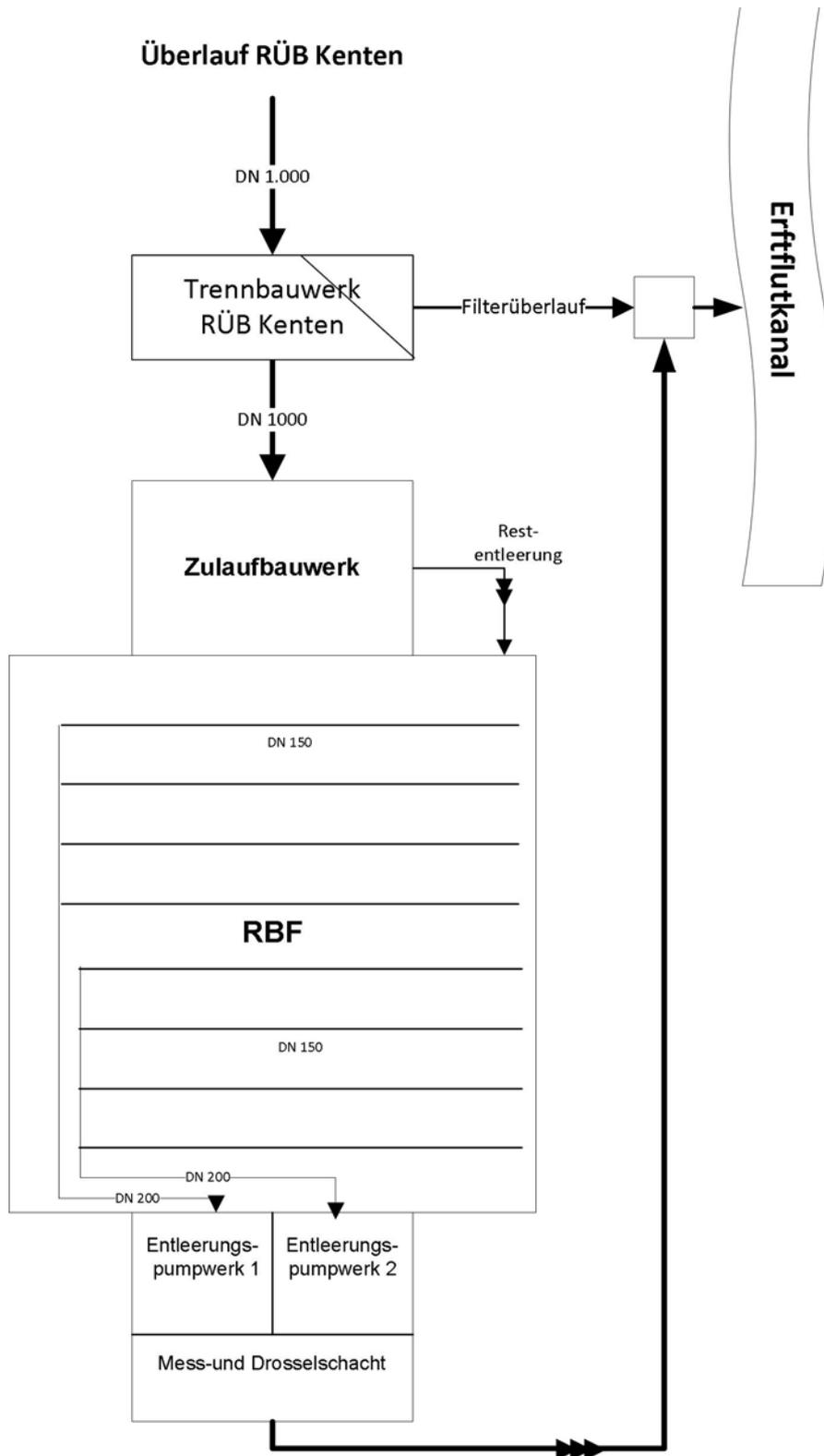


Abbildung 4.11: Fließschema RBF Kenten (Quelle: Erftverband)

Unmittelbar hinter dem Klärüberlauf des RÜB befindet sich der Filterüberlauf. Der Ablauf des Filters erfolgt über zwei MID-geregelte Pumpen, wobei der einen Pumpe der vordere Filterbereich und der anderen Pumpe der hintere Filterbereich zugeordnet ist.

Folgende quantitative Daten werden erfasst:

- Füllstand RÜB 1	[m]
- Füllstand RÜB 2	[m]
- Niveau Klärüberlaufüberfall 1	[m]
- Niveau Klärüberlaufüberfall 2	[m]
- Niveau Filterüberlauf	[m]
- Füllstand RBF	[m]
- Durchfluss Ablauf, RBF 1	[l/s]
- Durchfluss Ablauf, RBF 2	[l/s]
- Füllstand Entleerungsschacht	[m]
- Füllstand Zulaufschacht RBF	[m]

4.2.6 RBF Glessen

Glessen ist der östlichste Stadtteil der Kreisstadt Bergheim. Der Bodenfilter ist einem Regenüberlaufbecken, das als Durchlaufbecken ausgebildet ist, nachgeschaltet. Ablauf und Überläufe der Anlage werden in den Glessener Bach eingeleitet.



Abbildung 4.12: RBF Glessen (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

Der Retentionsbodenfilter Glessen ist einfach konstruiert. Besonderheiten wie zusätzliche Rechenanlagen oder zusätzliche Rückhaltelamellen existieren nicht. Der Ablauf wird über MID-geregelte Pumpen gedrosselt.

Es werden folgende relevante Daten erfasst:

- Niveau RÜB, Kammer 1 [m]
- Niveau RÜB, Kammer 2 [m]
- Niveau Filterüberlauf [m]
- Niveau Drosselbauwerk [m]
- Durchfluss Drosselbauwerk [l/s]

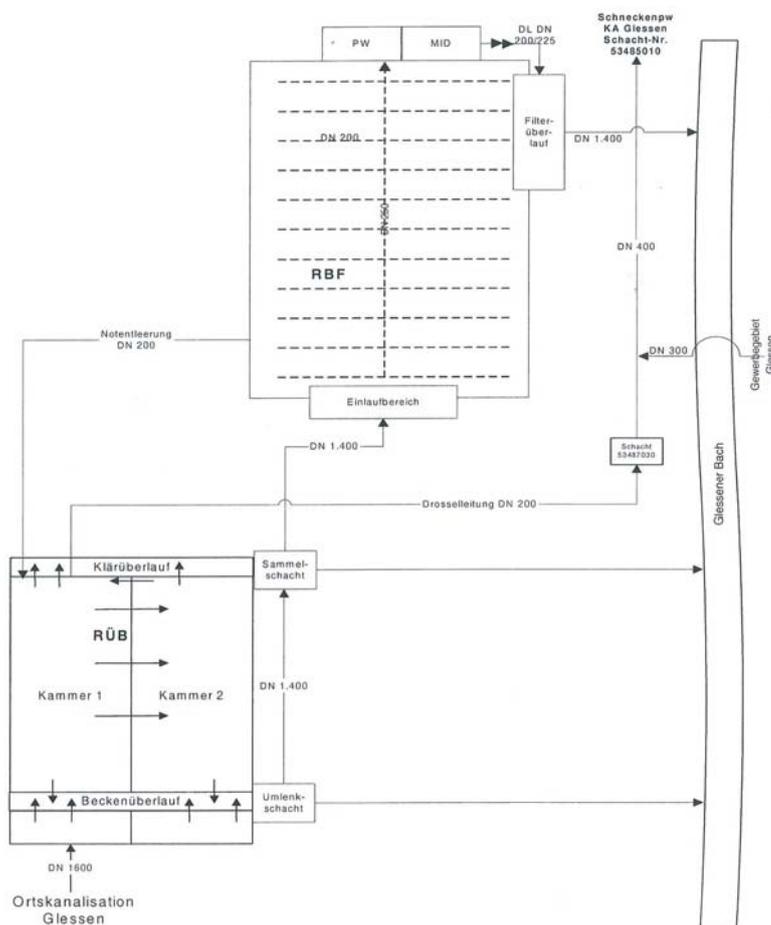


Abbildung 4.13: Fließschema RBF Glessen (Quelle: Erftverband)

4.2.7 RBF Kaster

Der Standort des RBF Kaster befindet sich in Kaster, einem Stadtteil der Stadt Badburg. Neben der Ortslage Kaster gehören auch Königshoven und Weiler Hohenholz zum Einzugsgebiet. Als Vorstufe der Retentionsbodenfilteranlage wird ein

Regenüberlaufbecken mit vorgelagertem Staukanal betrieben, das als Fangbecken konzipiert ist. Ablauf und Filterüberlauf werden der Mühlenerft zugeführt.



Abbildung 4.14: RBF Kaster (Aufnahme: TUTTAHS & MEYER 2011)

Nach Füllung des RÜB und des vorgelagerten Stauraumkanals erfolgt die Beschickung des Bodenfilterbeckens über eine geregelte Wehranlage. Der Ablauf des Bodenfilters wird über MID-geregelte Pumpen gedrosselt und gemeinsam mit einem eventuellen Filterüberlauf im Freigefälle in die Mühlenerft abgeleitet. Aufgrund der betriebsintensiven Anlagenbestandteile (Mischwasserpumpwerk, Rechenanlage, Sandfang, RÜB, RBF) steht auf dem Betriebsgelände ein Betriebsgebäude zur Verfügung.

Folgende Betriebsdaten werden erfasst:

- Höhenstand RÜB, Becken 1 [m]
- Höhenstand RÜB, Becken 2 [m]
- Höhenstand RÜB, Becken 3 [m]
- Niveau Stauraumkanal, Wehr 2 [m]
- Entlastung Wehr 2, Durchfluss [l/s]
- Durchfluss Drosselbauwerk, Bodenfilter [l/s]
- Niveau Drosselbauwerk, Bodenfilter [m]
- Niveau Filterüberlauf [m]
- Wehr- und Schieberstellungen [%]

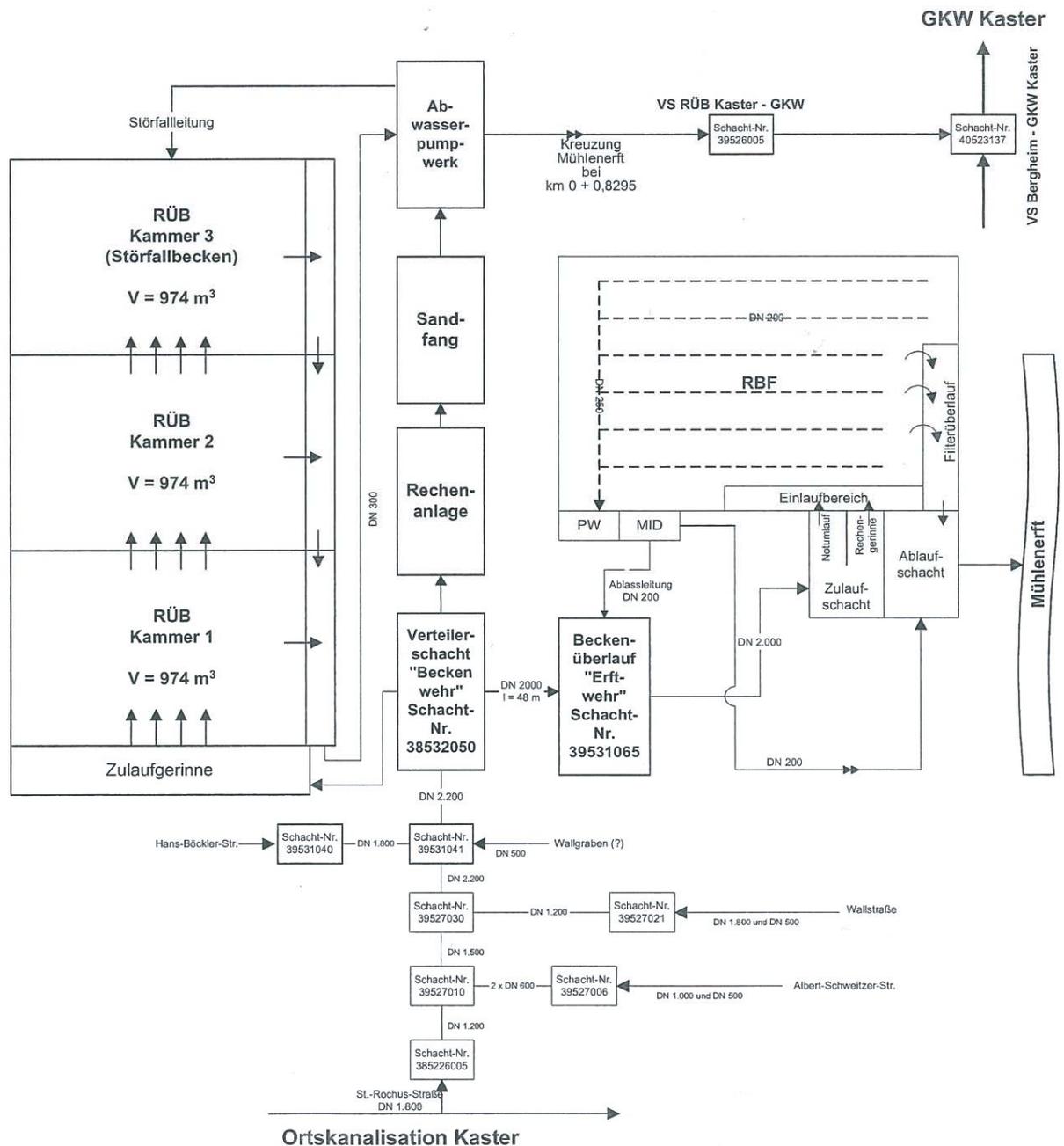


Abbildung 4.15: Fließschema RBF Kaster (Quelle Erftverband)

4.3 Vorhandene Betriebsdaten

4.3.1 Vorgehen

Zielsetzung des Forschungsvorhabens ist es, neben der qualitativen Anlagenüberwachung auch eine ausreichende quantitative Datengrundlage zu erhalten, um Frachtbetrachtungen durchführen und zeitliche Entwicklungen des Reinigungsverhaltens erfassen und bewerten zu können. Die für die Intensivbeprobung ausgewählten Filter sollen diese Voraussetzung erfüllen oder durch geringfügige

Anpassungen (Kalibrierung, Nachrüstung von Messtechnik) entsprechend optimiert werden können.

Vor diesem Hintergrund wurden die Betriebsdaten der vorausgewählten Anlagen ausgewertet und unter folgenden Kriterien geprüft:

- Vollständigkeit der Daten (Liegen bei Beschickungsereignissen zu allen Messpunkten zueinander passende Messdaten vor?);
- Datenlücken;
- Plausibilität von Einzelereignissen.

4.3.2 Messdaten-Management des Erftverbandes

Der Erftverband hat 1996 ein Betriebsdatenerfassungs- und Störmeldesystem (BDS) im Verbandsgebäude in Bergheim, eingerichtet. Es ermöglicht auch von außerhalb Einblick in die Abwasserreinigungsanlagen und deren Funktionstüchtigkeit zu bekommen. Ein direkter Zugriff auf das Datenarchiv aller Betriebsergebnisse zwecks Auswertung für die Planung, sowie die Optimierung von Prozessabläufen ist damit gewährleistet. Die Datenübermittlung erfolgt an eine Fernwirkzentrale.

Bei Betriebsstörungen wird die Störung über eine Fernwirkunterstation und das Telekommunikationsnetz an die Fernwirkzentrale geleitet, die einen Störmeldetext über das Telekommunikationsnetz dem Bereitschaftsdienst mittels Cityrufempfänger und an das Handy übermittelt. Das BDS bietet die Möglichkeit sich von jedem Ort aus mittels eines Notebooks von jeder Anlage ein Prozessabbild mit aktuellen Betriebszuständen und Messwerten zu erhalten. Somit können aus der Entfernung Entscheidungen bei Störfällen bzw. außergewöhnlichen Betriebszuständen getroffen werden.

Durch das SSL-Portal des Erftverbands erhält man von jedem Ort aus über einen Computer Zugriff auf die Betriebs- und Störmeldungen sowie auf Online- und Archivdaten der angeschlossenen Betriebsstellen.

Zur Datenarchivierung wurde eine zentrale Oracle-Datenbank, die sich auf einem Server im EDV-Netzwerk des Erftverband befindet, eingerichtet.

Derzeit sind 40 Abwasserreinigungsanlagen und 150 Regenüberlaufbecken, Pumpstationen und Retentionsbodenfilterbecken an das BDS angeschlossen.

Für die Datenübertragung wurden DSL- und GPRS-Verbindungen eingerichtet, da diese eine permanente Online-Kommunikation erlauben.

Zur Gewährleistung eines zeitnahen Zugriffs auf aktuelles und historisches Datenmaterial ist ein leistungsfähiges Archiv- und Protokolliersystem notwendig. Hierzu wurde im Juli 2010 die Software AquaReports eingeführt und in das Oracle-Datenbanksystem eingebunden.

4.3.3 Ergebnisse der Datenauswertungen

Neben der Prüfung auf Vollständigkeit und Konsistenz der Daten wurde die Plausibilität anhand der Analyse von Einzelereignissen geprüft. Dabei wurde deutlich, dass auch bei vollständigen Datensätzen und Anlagen mit überwiegend plausiblen Ereignisabbildungen Einzelereignisse existieren, für die unplausible Datenerfassungen vorliegen. Dies zeigt, dass eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit den erhobenen Betriebsdaten erfolgen muss, um verlässliches Datenmaterial zu erhalten und Rückschlüsse auf die Reinigungsleistung und einen sicheren Anlagenbetrieb ziehen zu können.

Die Bewertung von Einzelereignissen muss dabei mit dem Wissen des realen Betriebs- und Wettergeschehens erfolgen, um auf den ersten Blick mögliche Datenverläufe realistisch bewerten zu können. Abbildung 4.16 zeigt den Datenverlauf für ein Ereignis am RBF Nettlesheim. Die Entleerung des Beckens fällt während des Befüllvorganges auf 0 l/s. Nach Vollenfüllung des Beckens fällt der Wasserstand kurzfristig um rd. 1 m ab, um dann über mehrere Wochen beim Maximalwasserstand zu verharren. Dieser Ereignisverlauf ist grundsätzlich möglich, kann aber vom Betriebspersonal nicht bestätigt werden, da es keinen dauerhaften Einstau beobachtet hat. Zudem sind die Entleerungspumpen gelaufen, was über die Stromaufnahme dokumentiert ist.

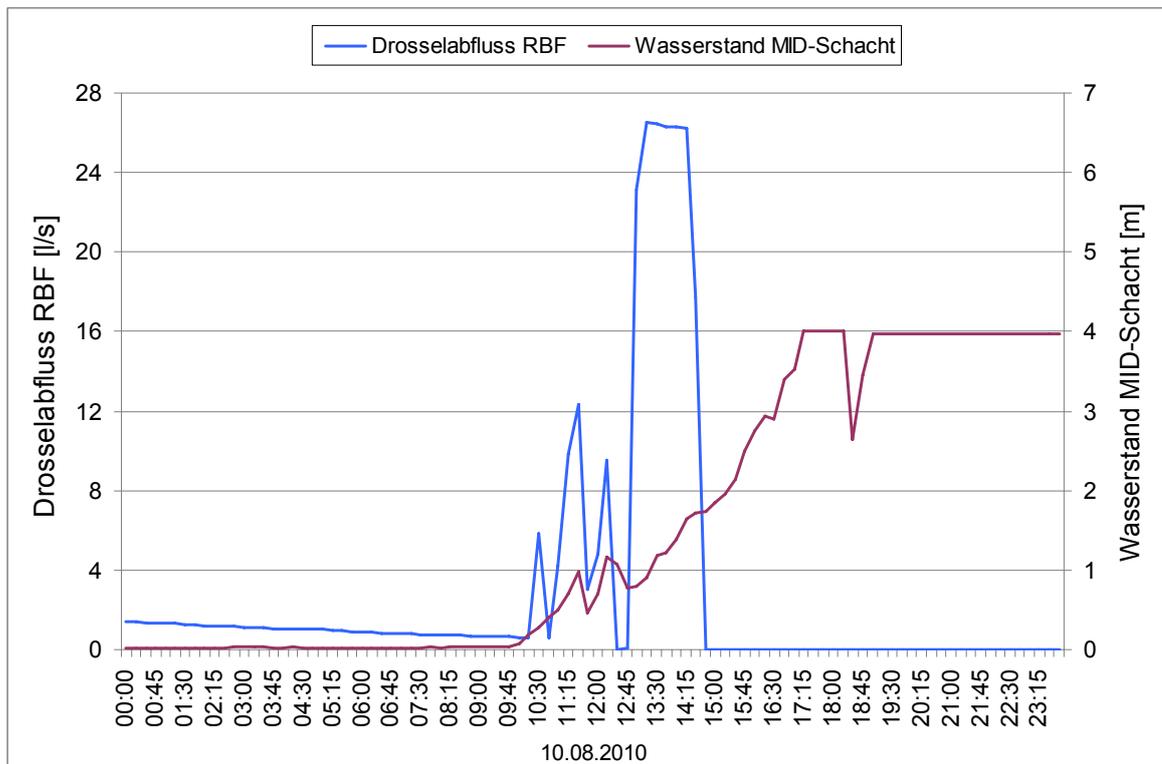


Abbildung 4.16: Beispiel für nicht plausible Daten in Nettlesheim

Abbildung 4.17 zeigt ein Ereignis am RBF Vanikum, bei dem der Verlauf des Wasserstands im Staukanal verzeichnet wird, aber trotz vollständig geöffnetem Drosselschieber keine Weiterleitung von Mischwasser zur Kläranlage stattfindet.

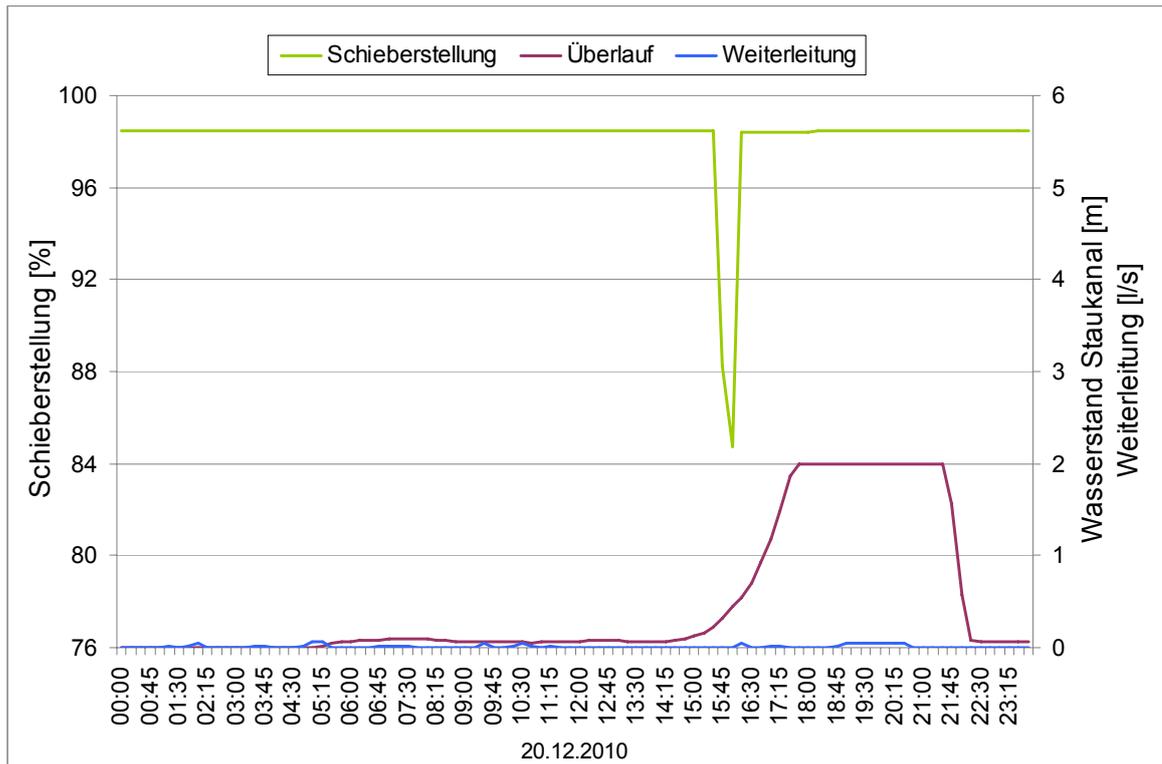


Abbildung 4.17: Beispiel für nicht plausible Daten in Vanikum

Auch am RBF Glehn traten während des Untersuchungszeitraumes unplausible Daten auf. Abbildung 4.18 zeigt eine konstante Entlastung des RRB, obwohl der Staukanal nicht gefüllt ist.

Diese Beispiele zeigen, dass auch bei eingefahrenen Anlagen eine intensive Auseinandersetzung mit den erhobenen Daten erforderlich ist, bevor diese für betriebliche und planerische Zwecke verwendet werden können.

Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse der Datenauswertungen so bewerten, dass die Datenbasis der Anlagen Kenten, Vanikum und Glehn ausreichende Voraussetzungen für die Durchführung des geplanten FuE-Vorhabens bietet. Die Datenlage ist an diesen Anlagen sowohl qualitativ als auch quantitativ besser als an den Anlagen Kaster (aufgrund der Komplexität der Steuerung und der Vielzahl der unterschiedlichen Datentypen), Nettlesheim und Glessen. Die Anlage Gill wurde aufgrund eines Kolmationsproblems, das sich gerade in der Regenerierung befand, aussortiert und hinsichtlich der Daten nicht weiter untersucht.

Die Abbildungen 4.19, 4.20 und 4.21 zeigen die plausiblen Datenverläufe infolge eines verbandsgebietsweiten Regenerereignisses am 15./16.08.2010.

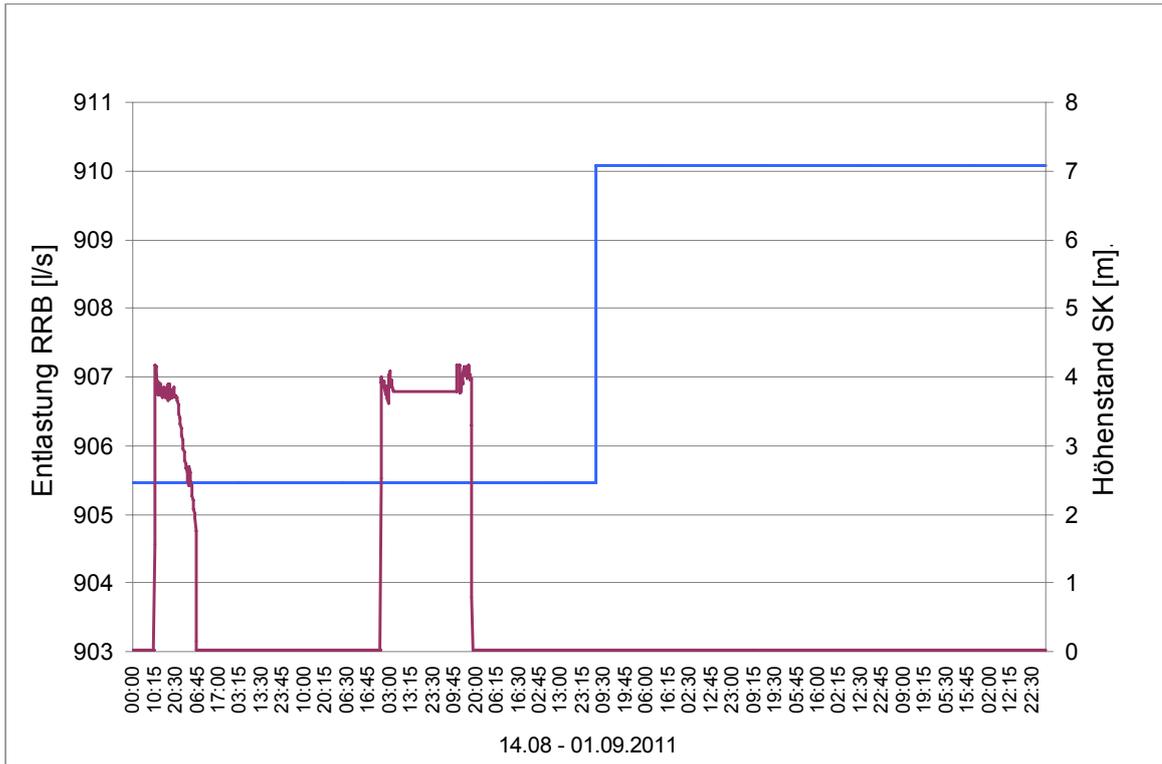


Abbildung 4.18: Beispiel für nicht plausible Daten in Glehn

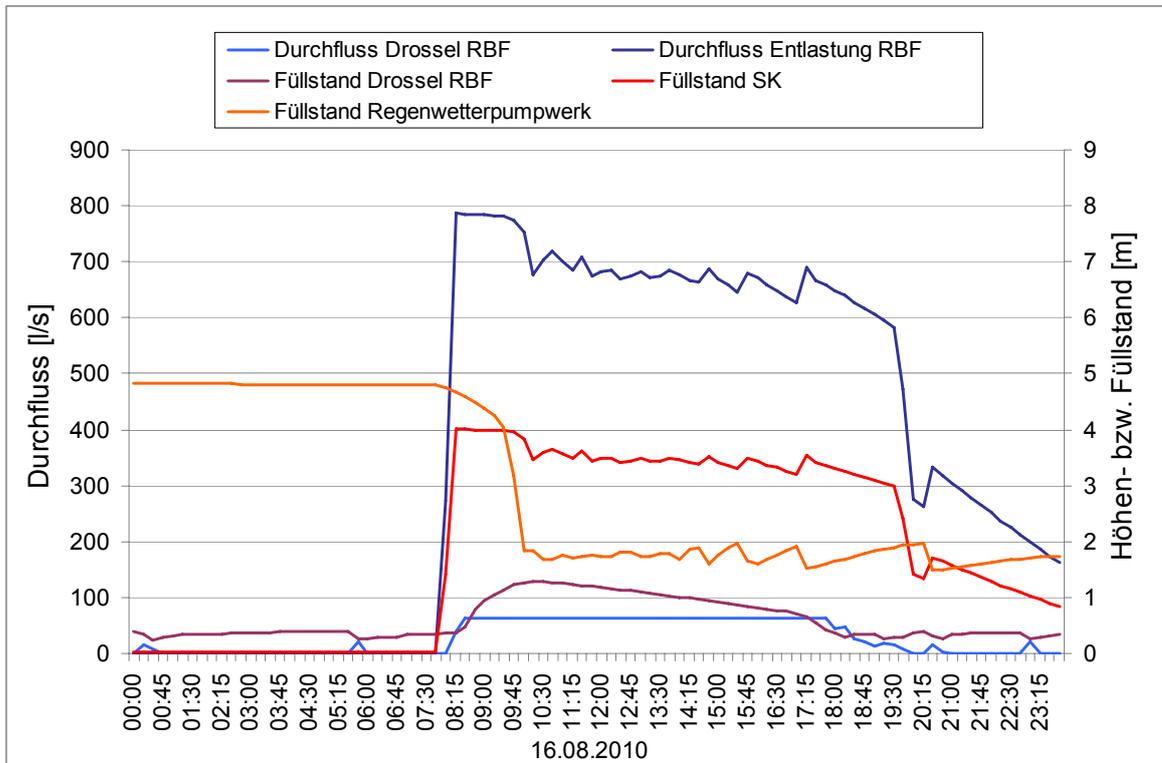


Abbildung 4.19: RBF Glehn, Regenereignis 16.8.2010

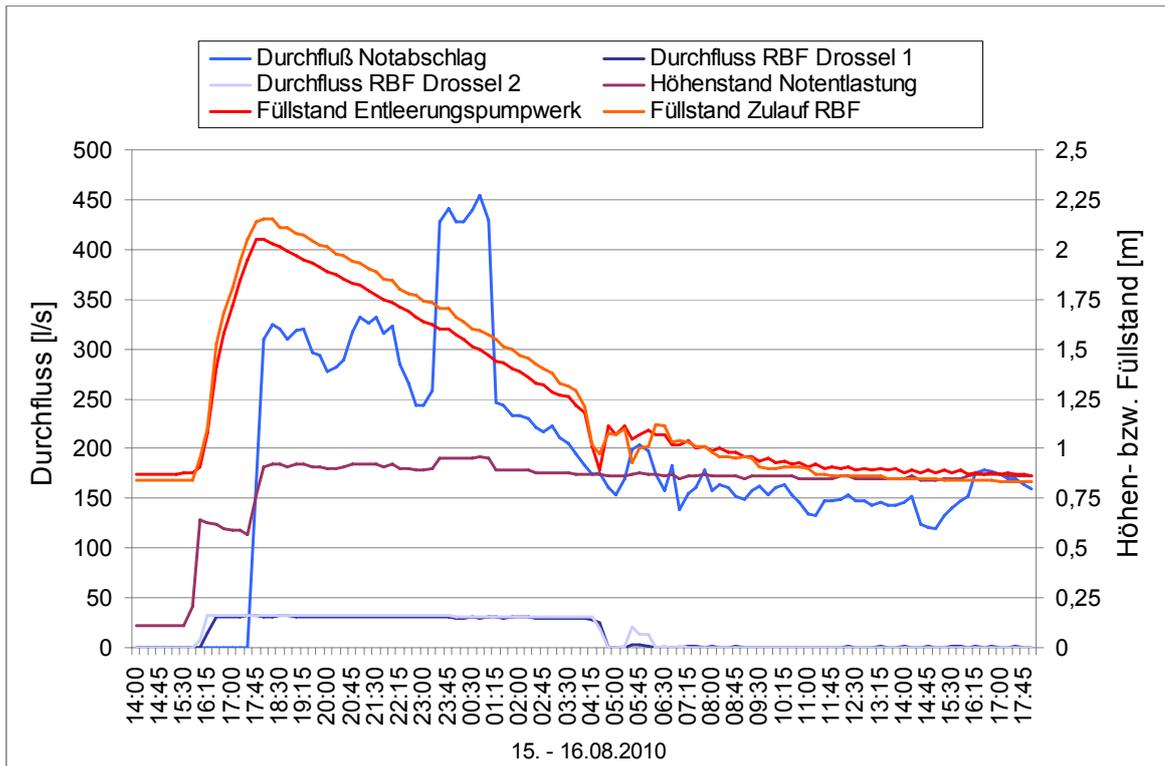


Abbildung 4.20: RBF Kenten, Regenereignis 15./16.8.2010

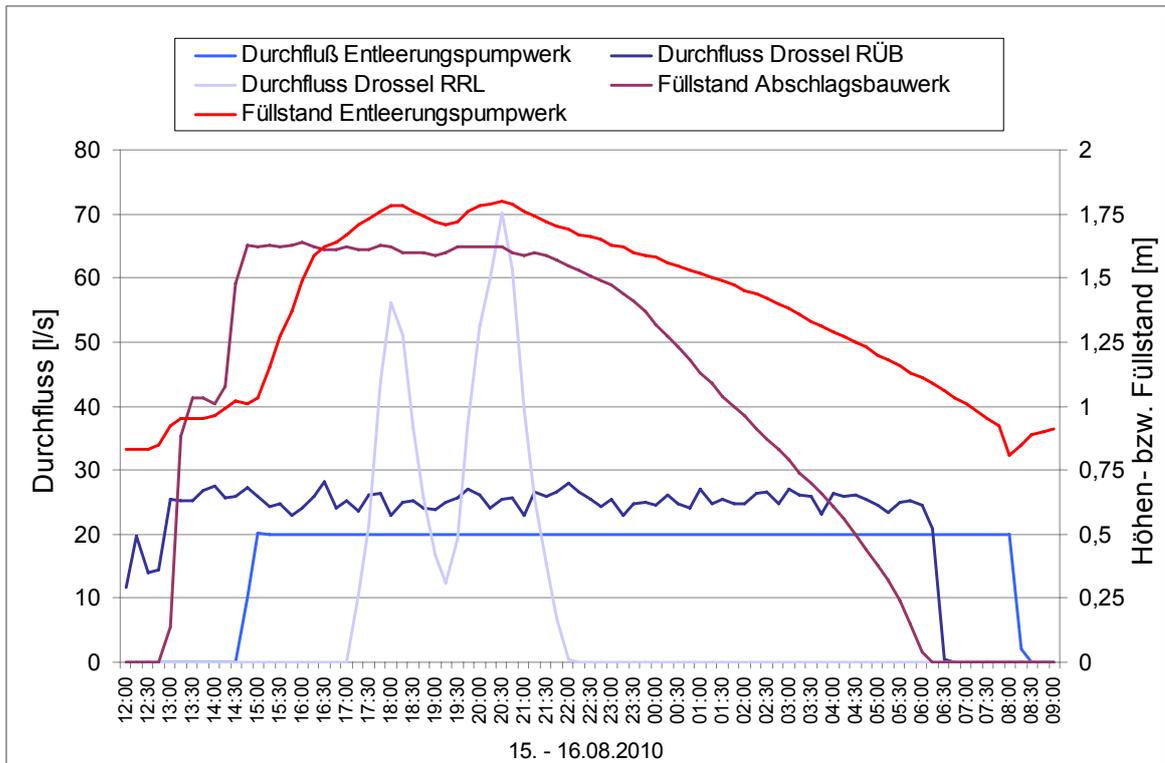


Abbildung 4.21: RBF Vanikum, Regenereignis 15./16.8.2010

4.4 Filterauslastung

Anhand der ausgewerteten Betriebsdaten ergibt sich in Bezug auf die Anlagenauslastung und den Datenumfang das in Tabelle 4.2 dargestellte Bild. Es sind die Anzahl der Beschickungsereignisse pro Jahr und die Anzahl der Tage ohne Daten pro Jahr (in Prozent) aufgeführt.

Auf dieser Basis können die Anlagen Kaster und Kenten als stärker belastet, die Anlagen Glehn, Nettlesheim und Glessen als schwach belastet und der Filter Vanikum als gering belastet eingestuft werden.

Tabelle 4.2: Übersicht der Beschickungshäufigkeiten der RBF und Datenlücken der Datensätze

RBF	Beschickungshäufigkeit [d/a]				Datenlücken [%]			
	2008	2009	2010	Ø	2008	2009	2010	Ø
Kenten	30	38	55	41	6	7	4	6
Kaster	29	29	38	32	2	8	4	5
Vanikum	10	7	10	9	27	19	11	19
Glehn	16	22	16	18	9	16	10	12
Nettlesheim	k. A.	k. A.	14	14	100	100	19	73
Glessen	17	14	22	18	95	96	94	95

	Beschickungshäufigkeit [d/a]	Datenlücken [%]	
	> 50	> 80	
	41-50	70-80	
	31-40	51-70	
	21-30	21-50	
	11-20	11-20	
	0-10	5-10	
	k. A.	< 5	

4.5 Filterauswahl

Neben den Informationen aus Entwurfs- und Betriebsunterlagen und den Ergebnissen der Datenauswertungen wurden die bei der Anlagenbegehung gewonnenen Erkenntnisse in die Entscheidungsfindung einbezogen. Die Auswahl der drei für die Intensivbeprobung vorgesehenen Anlagen erfolgt auf Basis einer Entscheidungsmatrix unter Berücksichtigung des Hauptkriteriums „Belastungsgrad“.

Die Anlagenbewertung erfolgt unter folgenden Kriterien:

Datenbasis:	Qualität der vorhandenen Messdaten
Optimierung der Datenbasis:	Welches Potenzial ist zur Optimierung der Messdatenerfassung oder zur Nachrüstung weiterer Messtechnik zur Erhebung fehlender Daten gegeben?
Betriebliche Randbedingungen:	Wird das Vorhaben durch die betrieblichen Randbedingungen unterstützt (Nähe zur Kläranlage, Betriebsgebäude, Zugänglichkeit)?
Struktur der Anlage:	Entspricht die Gestaltung der Anlage den Vorgaben des Handbuchs (MUNLV 2003)? Ist die Anlage einfach aufgebaut, oder gibt es komplexe Stoffströme oder Steuerungskonzepte?
Probenahme Online-Sonden:	Randbedingungen für den Einsatz der automatischen Probenahmen und der Online-Sonden

Auf Basis der Entscheidungsmatrix in Tabelle 4.3 stellen sich die Retentionsbodenfilteranlagen Kenten, Glehn und Vanikum als geeignet für die Durchführung der geplanten Intensivbeprobung dar. Dementsprechend wurden die weiteren Untersuchungen an diesen Anlagen durchgeführt.

Tabelle 4.3: Bewertungsmatrix zur Auswahl der zu untersuchenden RBF

RBF	Datenbasis	Optimierung Datenbasis	Betriebliche Randbe- dingungen	Struktur der Anlage	Probenahme Online-Sonden	Summe Punktzahl	Auslastung
Glehn	1	1	2	1	2	7	mittel
Vanikum	1	1	1	1	2	6	niedrig
Nettesheim	0	0	1	1	2	4	mittel
Gill	1	0	0	2	1	4	n. b.
Kenten	2	1	2	2	2	9	hoch
Glessen	0	0	2	2	0	4	mittel
Kaster	0	0	1	0	0	1	hoch
0 = nicht geeignet 2 = gut geeignet							

5 Bilanzierung einzelner Ereignisse

In vielen Fällen wird mit der messtechnischen Ausrüstung von Retentionsbodenfilteranlagen einschließlich der Vorbehandlungsanlagen das Ziel verfolgt, eine quantitative Bewertung der Anlagen in Bezug auf Wassermengen und Auslastungsgrade durchzuführen und einen Abgleich mit den Bemessungsansätzen zu ermöglichen. Dabei wird häufig auf die Standardausrüstung des Entlastungsbauwerkes, die im Wesentlichen aus Höhenstandsmessungen besteht, zurückgegriffen. Die Thematik messtechnische Ausrüstung wird im Kapitel 8.1 detaillierter betrachtet.

Die nachfolgenden Beispiele sollen zeigen, dass mit den eingesetzten Methoden bei den vorhandenen konstruktiven Randbedingungen kaum verlässliche Mengenbilanzierungen aufgestellt werden können.

RÜB/RBF Kenten

Das erste Beispiel bilanziert ein Niederschlagsereignis an der Anlage Kenten. Der Zufluss wird über die gemessene Überfallhöhe am Klärüberlauf des RÜB 2 errechnet. Diese Schwelle besitzt keinen Siebrechen; die Ungenauigkeiten der Messsonde betragen laut Herstellerangaben maximal 1,5 cm. Der Ablauf errechnet sich aus dem Filterüberlauf (Höhenstandsmessung) und den Durchflussmengen der 2 RBF-Abläufe.

Die zeitliche Abfolge der einzelnen Ganglinien ist plausibel und entspricht den betrieblichen Vorgaben.

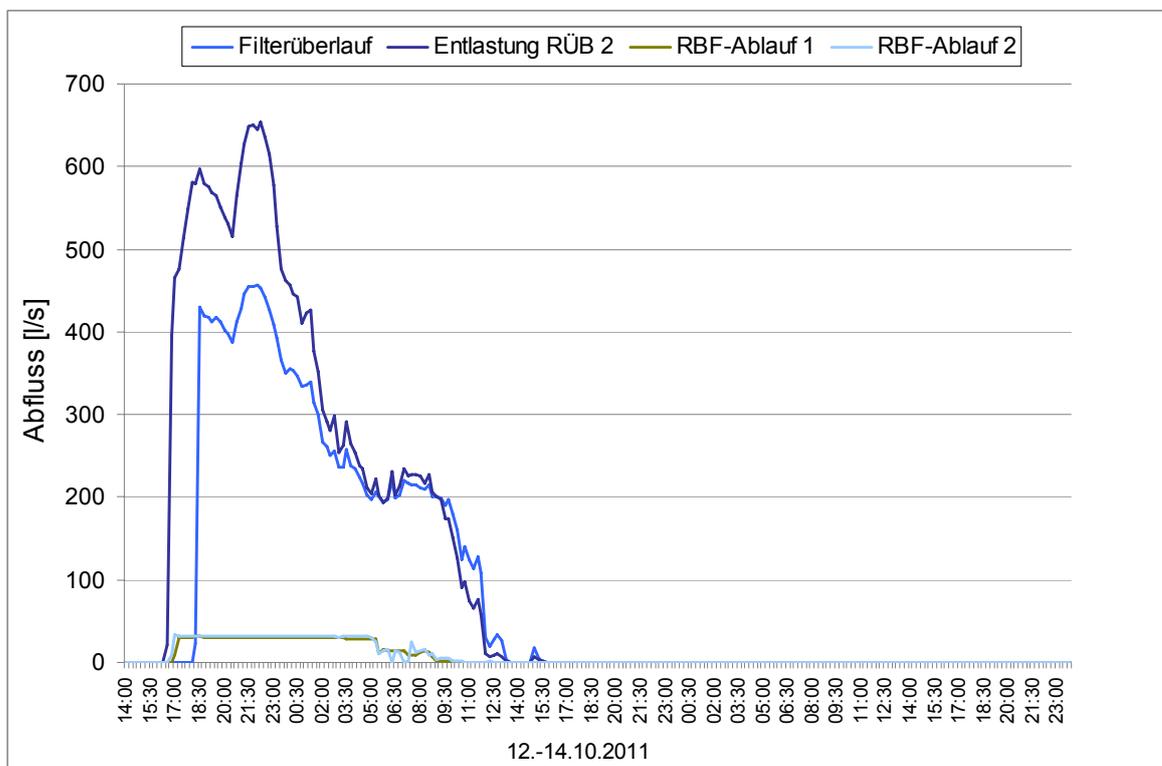


Abbildung 5.1: RÜB/RBF Kenten, Beschickungsereignis 12.-14.2011

Die Bilanzierung erfolgte über die Intervallmittelwerte der 15-Minuten-Messwerte (s. Anhang 1, Abbildung 1 und Abbildung 2). Einem rechnerischen Zufluss von rd. 25.000 m³ zum RBF steht eine Summe aus Abfluss und Entlastung in Höhe von ca. 19.700 m³ gegenüber; es besteht also trotz günstiger Voraussetzungen eine Differenz von rd. 20 %.

Hauptinflussfaktoren sind neben den Ungenauigkeiten der eingesetzten Messsonden die Überfallbeiwerte des Klärüberlaufes und des Filterüberlaufes, da an beiden Stellen keine normierten Profile verwendet werden. An diesen Punkten besteht noch Optimierungspotenzial. Insgesamt ist das Ergebnis sowohl qualitativ als auch quantitativ als hinreichend genau einzustufen.

SK/RBF Vanikum

Der Bodenfilter Vanikum wird aus dem Staukanal beschickt. Die Entlastung erfolgt zunächst über einen Siebrechen, bei steigendem Wasserspiegel dann über einen freien Überfall. Der zeitliche Ablauf der Ganglinien ist plausibel und entspricht der Betriebsweise.

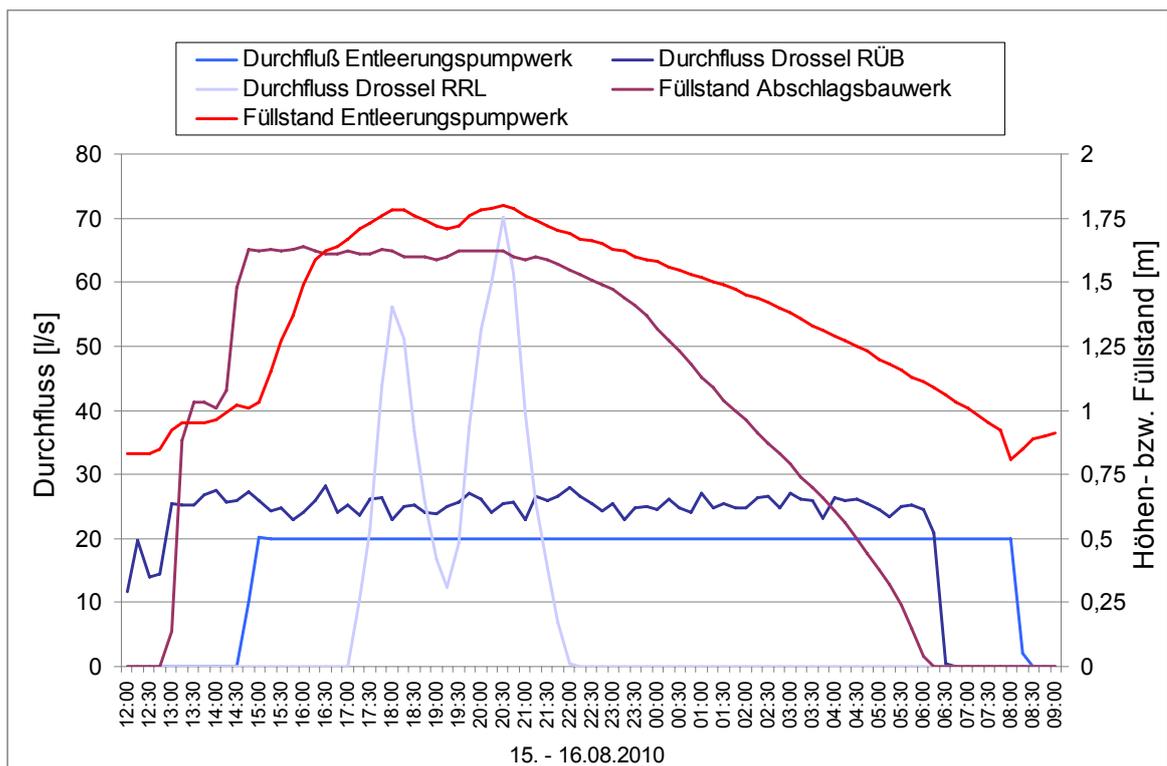


Abbildung 5.2: SK/RBF Vanikum, Regenereignis 15.-16.08.2010

Für die Bilanzierung von Zu- und Abfluss wurde ein nicht belegter Siebrechen mit Maximalleistung nach Herstellerangaben (630 l/s) angesetzt. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde versucht, aus der Messvorrichtung im Zulauf eine Zulaufmenge zu ermitteln. Diese wurde mit den Ablaufmessungen in RBF und RRL abgeglichen. Wie die

Tabellen in Anhang 1, Abbildung 2 und Abbildung 4 aufzeigen, beträgt der damit ermittelte Zufluss das 17,6-fache des gemessenen Abflusses (32.571 m³ zu 1.849 m³).

Geht man davon aus, dass der Siebrechen über die gesamte Ereignisdauer nur 10 % des theoretischen Maximaldurchflusses leistet, reduziert sich der Zufluss zum RBF auf 9.171 m³ und damit auf das 5-fache des Abflusses. Dieses Beispiel zeigt deutlich, mit welchen Unsicherheiten eine Zuflussermittlung über eine Schwelle mit Siebrechen in Verbindung mit einer bezüglich des Messbereiches nicht auf die Messung von Überfallhöhen ausgelegten Sonde im Staukanal behaftet ist.

SK/RBF Glehn

Auch die Anlage Glehn besteht aus einem Staukanal mit unten liegender Entlastung. Die Entlastung erfolgt über eine mehr als 30 m lange Wehrschwelle (beidseitiger Überfall), die einseitig mit 2 Siebrechen ausgerüstet ist. Die Schwelle verläuft teilweise im Bogen; am Schwellenende treffen beide Schwellen in einem spitzen Winkel aufeinander. Eine tabellarische Ereignisbilanzierung für den 27.05.2010 ist in Anhang 1, Abbildung 5 und 6 aufgeführt.

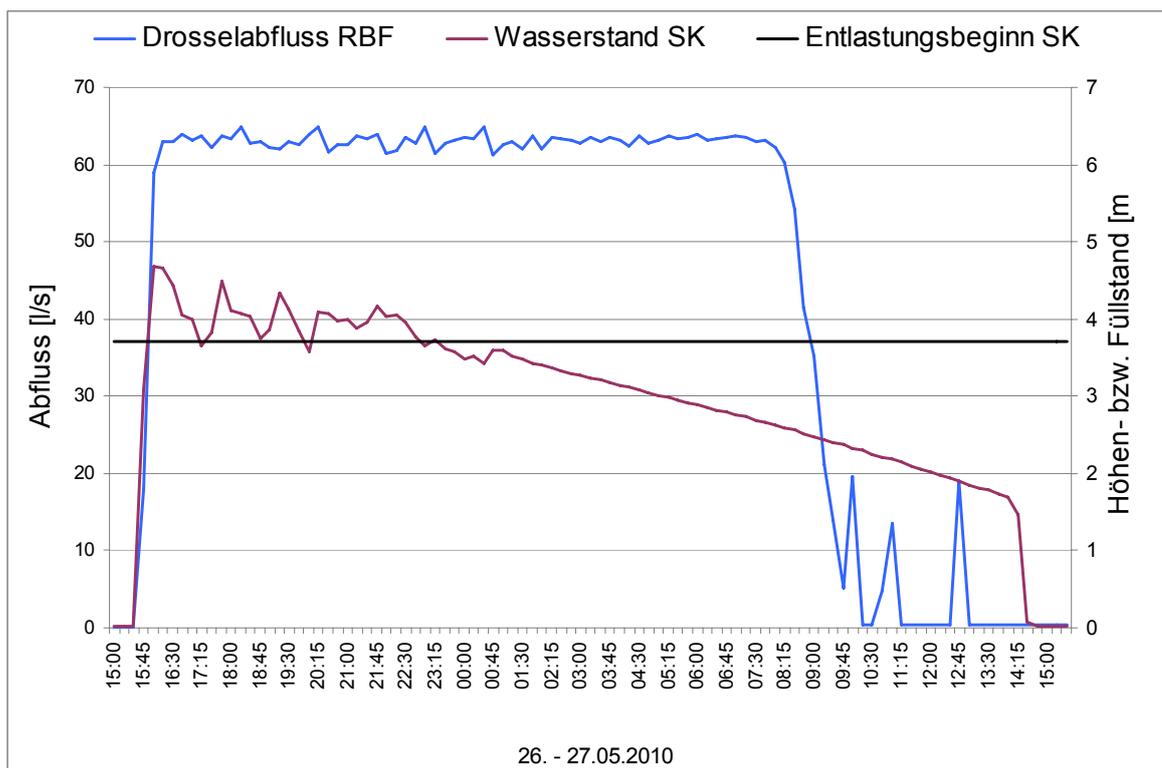


Abbildung 5.3: SK/RBF Glehn, Regenereignis 26.-27.05.2010

Die zeitliche Abfolge der in Abbildung 5.3 abgebildeten Ganglinien ist plausibel; der Drosselabfluss aus dem RBF dauert länger an, als die Entlastung aus dem Staukanal zum RBF.

Der Wasserstand im SK wird nur am Schwellenanfang gemessen, was aufgrund der Länge des Bauwerkes zu erheblichen Ungenauigkeiten bei der Wasserspiegelerfassung führt. Hinzukommen die bereits am Beispiel Vanikum angesprochenen Unsicherheiten bei der Ermittlung des Durchflusses des Siebrechens in einer Mischwasserentlastung. Errechnet man den Zufluss zum RBF während des bilanzierten Ereignisses, so erhält man rund 117.400 m³ bei Annahme eines vollständig unbelegten Siebrechens, während der Abfluss aus dem RBF einschließlich Filterüberlauf rd. 54.600 m³ beträgt; das Verhältnis liegt hier bei nur 2,15 : 1. Dieses im Vergleich zum RBF Vanikum deutlich bessere Verhältnis ist in erster Linie der Tatsache geschuldet, dass die Entlastung über den Siebrechen aufgrund deutlich größerer Überfallhöhen und eines wesentlich geringeren Anteils des Rechens an der Gesamtschwellenlänge in Glehn einen erheblich geringeren Anteil an der Gesamtentlastungsmenge besitzt. Geht man wie in Vanikum davon aus, dass der Siebrechen nur 10 % seines maximalen Durchflusses liefert, reduziert sich der Zufluss zum RBF auf rd. 100.000 m³. So wird deutlich, dass in Glehn die Ursachen für die Differenz zwischen Zu- und Abfluss in erster Linie in der Wasserstandserfassung im SK mit nur einer Sonde am Schwellenanfang, die dazu nicht über die erforderliche Messgenauigkeit für Überfallhöhen verfügt, zu suchen ist.

Fazit und Konsequenzen für das Vorhaben

Das Vorhandensein von Siebrechen an Entlastungsschwellen macht eine verlässliche Mengenermittlung von Wassermengen auf Basis von Höhenstandsmessungen nahezu unmöglich. Auch bei einfachen Schwellen ohne zusätzliche Einbauten ist diese Vorgehensweise mit starken Unsicherheiten behaftet. Die Zielvorstellung der Bilanzierung von Wassermengen und Schmutzfrachten für Einzelereignisse kann unter diesen Rahmenbedingungen nicht erreicht werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird daher auf die Vereinfachung Zulaufmenge = Ablaufmenge zurückgegriffen, da für die Abflüsse über die MID-Messungen belastbare Zahlen vorliegen.

6 Analyseverfahren und Probenahmekonzeption

6.1 Auswahl der beprobten Parameter

Da der Ablauf von Retentionsbodenfiltern direkt in einen Vorfluter eingeleitet wird, sind auf gesetzlicher Ebene insbesondere die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) und die Badegewässerrichtlinie (EU-BADEGEWÄSSERRICHTLINIE, 2006) von Bedeutung. Nach der Wasserrahmenrichtlinie sind die EU-Mitgliedstaaten hinsichtlich der Oberflächengewässer verpflichtet, „die Verschmutzung durch prioritäre Stoffe schrittweise zu reduzieren und die Einleitungen, Emissionen und Verluste prioritärer Stoffe zu beenden und schrittweise einzustellen“ (WRRL, 2000, Art. 4 Abs. a Nr. iv). Als wichtigste Schadstoffe werden z.B. Metalle und Metallverbindungen, Schwebstoffe, Nitrate und Phosphate und „Stoffe mit nachhaltigem Einfluss auf die Sauerstoffbilanz“ (WRRL, 2000, Anhang VIII Nr. 12) genannt. Daher wurden für die Beprobung im Rahmen dieses Vorhabens physikalisch-chemische Parameter, Nährstoffe und Schwermetalle ausgewählt, wie in Tabelle 6.1 aufgeführt.

Tabelle 6.1: Parameter der Intensivbeprobung der RBF

Physikalisch-Chemische Parameter	Nährstoffe	Schwermetalle/Halogene/Sulfate/(Erd-)Alkalimetalle
pH-Wert	N _{org}	Cl
Leitfähigkeit	NH ₄ -N	SO ₄
TOC	NO ₂ -N	Ca
DOC	NO ₃ -N	Mg
CSB	N _{ges}	Na
Abfiltrierbare Stoffe	P _{ges} und ortho-P	Fe, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr (gelöst und gesamt)
Gesamtrockenrückstand		
Gesamtglührückstand		
Säurekapazität pH 4,3		

Zudem nennt die WRRL organische Phosphorverbindungen, „Stoffe und Zubereitungen oder deren Abbauprodukte, deren karzinogene und mutagene Eigenschaften bzw. steroidogene, thyreoide, reproduktive oder andere Funktionen des endokrinen Systems beeinträchtigenden Eigenschaften im oder durch das Wasser erwiesen sind“ (WRRL, 2000).

Dieses Projekt lehnt sich mit der in Tabelle 6.2 aufgeführten Auswahl der Spurenstoffe an die Liste der Leitsubstanzen an, die im Zuge des Themenschwerpunktes „Elimination von

Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen“ in NRW erstellt wurde (PINNEKAMP et al., 2011). Diese Liste basiert auf einem umfassenden Screening, wurde für den gesamten Förderschwerpunkt entwickelt und mit dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) abgestimmt. Die Parameter Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) wurden nach Rücksprache mit dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW für die Untersuchung der Retentionsbodenfilter jedoch ausgenommen. Bei einer Untersuchung der Kläranlagenabläufe des LANUV der Kläranlagen Glehn, Anstel (Rommerskirchen) und Kenten im Jahr 2007 ergaben sich für die PFOA und PFOS Werte von 10 ng/l oder kleiner. Lediglich im Ablauf von Kenten wurde ein PFOA-Wert von 20 ng/l (LANUV, 2012) gemessen. Die Summe von PFOA- und PFOS-Konzentration überschreitet in keinem Fall 30 ng/l, also den Wert, der von der Trinkwasserkommission als gesundheitlich unbedenkliche Konzentration im Trinkwasser selbst bei lebenslanger Einnahme angegeben wird (LANUV, 2012).

Tabelle 6.2: Spurenstoffe: Leitsubstanzen in NRW (nach: PINNEKAMP et al., 2011)

Gruppe		Leitsubstanz
Pharmaka	Antiepileptika	Carbamazepin
	Nichtopioid-Analgetika	Diclofenac
	Betablocker	Metoprolol
	Antibiotika	Sulfamethoxazol
Korrosionsschutzmittel		Benzotriazol
Diagnostika		Amidotrizoesäure (Röntgenkontrastmittel)
EDCs		Bisphenol A
Phosphororganische Verbindungen		TCPP
Bromat		
Komplexbildner		EDTA

Weitere Parameter, auf die in der Wasserrahmenrichtlinie eingegangen wird, sind Pflanzenschutzmittel. In einem ländlichen Einzugsgebiet wie dem Erftkreis sind diese nach längeren Trockenphasen vor allem zu Beginn der Vegetationsperiode zu erwarten.

In Tabelle 6.3 sind diejenigen Pflanzenschutzmittel aufgeführt, die im Zuge dieses Projektes untersucht wurden. In der Badegewässerrichtlinie, die Vorgaben zur Einstufung der Qualität aller Badegewässer der Europäischen Union macht, sind mit intestinalen Enterokokken (Fäkalstreptokokken) und *Escherichia coli* zwei mikrobiologische Parameter

vorgegeben, die während der Badesaison regelmäßig überwacht werden müssen. Als dritter gebräuchlicher Indikatorparameter (BISCHOFF und FEUERPFIL, 2001) wurde *Clostridium perfringens* mit in die Messreihe aufgenommen. Da jedoch in der Vergangenheit kein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen dieser Indikatorparameter und anderen, im Rohwasser für die Trinkwassergewinnung nachgewiesenen Krankheitserregern wie *Campylobacter* nachgewiesen werden konnte (BISCHOFF und FEUERPFIL, 2001), wurde dieser Parameter ebenfalls beprobt. Da auch Viren im Rohwasser nachgewiesen werden, die in geringen Konzentrationen bereits Krankheiten auslösen, wurden Coliphagen als Indikator für die virale Belastung aufgenommen (HAGENDORFF et al., 2002). Die untersuchten mikrobiologischen Parameter können ebenfalls Tabelle 6.3 entnommen werden.

Tabelle 6.3: Beprobte Pflanzenschutzmittel, Keime/Bakterien

Pflanzenschutzmittel	Keime/Bakterien
Chlortoluron	Escherichia coli
Diuron	Intestinale Enterokokken (Fäkalstreptokokken)
Isoproturon	Clostridium perfringens
Atrazin	Campylobacter
Desethylatrazin	Coliphagen
Simazin	
Chloridazon	
Metamitron	
Methabenzthiazuron	
MCPA	
Dichlorprop	
Mecoprop	

6.2 Probenahmekonzeption und Messtechnik-Nachrüstung

6.2.1 Art der Probenahme für die Laboranalyse

Die ausgewählten Retentionsbodenfilter wurden vom 11.07.2011 bis 10.07.2012 über 12 Monate lang beprobt. Dazu wurden Probenehmer genutzt, die frei programmierbar Proben aus Zu- und Ablauf ziehen können (MAXX, TP I).

Die tragbaren Probenehmer sind im Zu- und Ablauf der Anlagen installiert. Das Steuerungsgehäuse ist auf einer Isolierbox montiert, die mit einem Rundverteiler versehen ist. In der Grundausstattung ist die Isolierbox mit zwölf Probenahmeflaschen aus Kunststoff ausgestattet. Um eine Kontamination der Proben insbesondere mit Bisphenol A aus den Probenahmeflaschen zu verhindern, wurden diese zunächst durch

eigens angefertigte Zylinder aus V4A-Stahl ersetzt. Zu Beginn des Jahres 2012 wurden diese Zylinder durch Duran-Glasflaschen mit einem Fassungsvermögen von ca. 750 ml ersetzt.

Um im Ereignisfall sowohl im Zulauf als auch im Ablauf eine ausreichende Probenmenge zu erhalten, mit deren Hilfe sich die verschiedenen Phasen des Zulauf- und Ablaufvorgangs darstellen lassen, wurden im Vorfeld die Ereignisse der Vorjahre hinsichtlich Dauer und Intensität analysiert. Aus diesen Ergebnissen heraus wurden zunächst die in Tabelle 6.4 dargestellten Einstellungen gewählt.

Tabelle 6.4: Befüllmodi des Probenehmers für die beprobten Anlagen

Messstelle	Probenvolumen pro Ansaugvorgang	Dauer Ansaugvorgang / Gesamtdauer	Flaschenwechsel nach Teilbefüllungen / Zeit
Vanikum			
Zulauf	250 ml	1 min / 48 min	4 / 4 min
Ablauf	200 ml	1 min / 60 min	5 / 5 min
Glehn / Bendstraße			
Zulauf	200 ml	1 min / 60 min	5 / 5 min
Ablauf	150 ml	2 min / 180 min	7 / 15 min
Kenten			
Zulauf	200 ml	1 min / 60 min	5 / 5 min
Ablauf	150 ml	2 min / 180 min	7 / 15 min

2012 wurde die Beprobung für die Anlage Kenten umgestellt. Im Zulauf wie im Ablauf wurden Proben über vier Stunden gezogen. Auf den Anlagen Vanikum und Glehn kam es 2012 zu keiner Beprobung.

Nach jedem Ereignis wurde der Inhalt der Probenahmegefäße in lichtgeschützte Glasflaschen umgeschüttet, jeweils vier Gefäße in eine Glasflasche. So wurden zeitproportional gezogene Proben aus drei Zeitintervallen gewonnen. Für die Analyse der Parameter gemäß Tabelle 6.1 standen so je Zulauf und Ablauf der Anlagen drei Proben zur Verfügung. Für die Spurenstoffe gemäß Tabelle 6.2 wurden im Labor Mischproben aus den drei Zeitintervallen gebildet, ebenso für die Parameter von Tabelle 6.3, die in einem zertifizierten Labor untersucht wurden.

Für die beprobten Parameter wurden Einzelkonzentrationen erfasst. Eine Darstellung der Probenaufteilung findet sich in Abbildung 6.1.

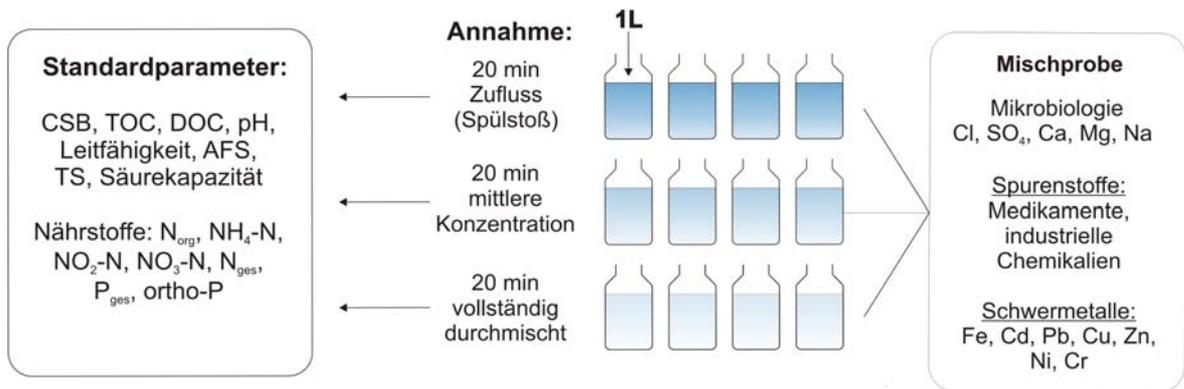


Abbildung 6.1: Aufteilung der Proben im Probenehmer

Nach dem Austausch der Edelstahlzylinder durch Glasflaschen im Januar 2012 war das Umfüllen in größere Glasflaschen zum Transport nicht mehr nötig, da die Probenahme Flaschen verschlossen und so direkt ins Labor transportiert werden konnten.

Die Art der Probenahme für die Mikrobiologie wurde im Laufe des Projekts ebenfalls umgestellt, da eine Verwendung von Mischkonzentrationen die Gefahr birgt, dass sich einzelne Erreger bis zur Laboranalyse verstärkt vermehren. Die ab Januar 2012 anfallenden Proben wurden als Stichproben während eines laufenden Ereignisses gezogen.

6.2.2 Online-Sonden zur Nitrat- und Ammoniummessung

Retentionsbodenfilter unterscheiden sich von anderen bepflanzten Bodenfiltern dadurch, dass in Trockenphasen das in vorhergegangenen Ereignissen adsorbierte Ammonium mithilfe des Eintrags von Sauerstoff in Nitrat umgewandelt wird (DITTMER, 2006). Von besonderem Interesse sind daher die Ganglinien von Ammonium und Nitrat während eines Ereignisses. Hierfür wird eine Messtechnik benötigt, die beide Parameter in relativ kurzen Intervallen aufzeichnen kann. Aus diesem Grund wurden die drei Retentionsbodenfilter jeweils im Zu- und im Ablauf mit ionenselektiven Sonden der Firma Hach-Lange ausgestattet (Modell AN ISE), die für die Aufzeichnung von Nitrat- und Ammoniumwerte auch Störeinflüsse durch Kalium- und Chloridionen kompensieren. Der Hersteller gibt als Messmethode die potentiometrische, ionenselektive Messung mit einem Messbereich von 0 bis 1000 mg/l für Ammonium und Nitrat an. Die Genauigkeit liegt bei $\pm 5\%$ (+ 0,2 mg/l (mit Standardlösung)). (HACH-LANGE, 2011)

Diese Sonden werden regulär im Belebungsbecken eingesetzt. Für den Einsatz im Retentionsbodenfilter gibt es bislang keine Applikation. Von Seiten des Herstellers wurde auf die Sensibilität der Sonden aufmerksam gemacht: So müssen diese stets feucht gehalten werden und sollten idealerweise umspült werden. Außerdem sind sie nicht EX-geschützt.

Der Zulauf des Retentionsbodenfilters Glehn fällt jedoch während des größten Teils des Jahres trocken, in Vanikum steht lediglich das am Filter vorbeigeleitete Schmutzwasser zur Verfügung. Wegen der unterschiedlichen Matrix eignet sich dieses jedoch nicht als Tauchmedium. Um dennoch die Umgebungsbedingungen den Anforderungen der Sonden anzupassen, wurde im Rahmen des Vorhabens ein Sondenbehälter entwickelt, der in den Zulauf integriert werden kann. Bei diesem Behälter, der in Abbildung 6.2 dargestellt ist, handelt es sich um eine Edelstahlwanne, die etwa 40 l Wasser aufnehmen kann. Dieser Behälter wird an der Überfallschwelle im Retentionsbodenfilter angebracht. Eine automatisch gesteuerte Frischwasserzufuhr in Form eines 1.000 l-Fasses mit Logo-Steuerung stellt sicher, dass im Abstand von ca. einer Stunde etwa ein halber Liter in den Behälter nachgefüllt wird. Somit werden mögliche Verluste durch Verdunstung und Verwehungen ausgeglichen. Eine Druckluftzufuhr mittels Kompressor stellt sicher, dass eine Umspülung der Sonden gewährleistet ist.



Abbildung 6.2: Edelstahlbehälter für AN-ISE-Sonde

Im Ereignisfall stellt eine integrierte Tauchwand sicher, dass das zulaufende Wasser das Frischwasser sofort verdrängt. Dadurch können die aufgezeichneten Ammonium- und Nitratwerte zur Bildung einer Ganglinie herangezogen werden. Eine technische Zeichnung des Behälters kann Anhang 1 entnommen werden.

Der Ablaufschacht befindet sich in den Anlagen unterhalb des Niveaus der Drainageleitungen. Das dort vorhandene Resteinstauwasser ist ausreichend, um die Sonden feucht zu halten. Auch hier wurde eine Drucklufteinblasung installiert.

Da die baulichen Gegebenheiten in Vanikum und Glehn gemeinsam haben, dass keine geeignete Matrix zur dauerhaften Installation der Sonden im Zulauf zur Verfügung steht, wurde der entwickelte Behälter jeweils unter der Zulaufschwelle installiert.

Im Retentionsbodenfilter Kenten wurde die Ammonium-Nitrat-Sonde in den Zulaufschacht gehängt, der einen permanenten Wasserstand aufweist. Im Ablauf wurde die Sonde im Ablaufschacht installiert, der ebenfalls einen dauerhaften Wasserstand aufweist. Weitere Vorkehrungen zur Umspülung oder Abstandhalter wurden nicht getroffen.

6.3 Beschreibung der Laboranalyse

6.3.1 Parameter: Pharmaka und Korrosionsschutzmittel

Es wurde auf die Pharmaka Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxazol und das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol hin untersucht.

Geräte

- Zymark Autotrace SPE Workstation
- LC/MS-System (Orbitrap, Thermo Electron)

Probenvorbereitung und Festphasenextraktion

- Vorfiltration über Papierfilter zur Entfernung von Schwebstoffen
- Zugabe von internem Standard
- Anreicherung am Autotracesystem
- Festphasenextraktion mittels Oasis HLB-SPE-Kartuschen 60 mg, Waters
- Einengen des Eluats bei 60 °C im Stickstoffstrom
- Rekonditionierung mit 1 ml Methanol/Wasser 50:50

HPLC-MS Bedingungen

- Eluent A: Wasser mit 2mM Ammoniumacetat und 0,1% Essigsäure
- Eluent B: Methanol mit 2mM Ammoniumacetat und 0,1% Essigsäure

HPLC-Gradient	A	B
0 min:	20 %	80 %
12 min:	90 %	10 %
22 min:	90 %	10 %
23 min:	20 %	80 %
30 min	20 %	80 %

- Flussrate 0,2 ml/min
- Trennsäule Hypersil Gold aQ 150x2.1 5µm

- Injektionsvolumen 10 µl
- Ionisierung ESI positiv

Quantifizierungsmassen [M + H]⁺

Parameter	[M + H] ⁺
Carbamazepin	237,1022
Diclofenac	296,0231
Metoprolol	268,1907
Sulfamethoxazol	254,0594
Benzotriazol	120,0556

6.3.2 Parameter: Röntgenkontrastmittel

Es wurde auf das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure hin untersucht.

Geräte

- Zymark Autotrace SPE Workstation
- LC/MS-System (Orbitrap, Thermo Electron)

Probenvorbereitung und Festphasenextraktion

- Vorfiltration über Papierfilter zur Entfernung von Schwebstoffen
- Zugabe von internem Standard
- Anreicherung am Autotracesystem
- Festphasenextraktion mittels ENV + SPE Kartusche 200 mg, Biotage, Polystyrol-divinylbenzol Polymer
- Einengen des Eluats bei 60 °C im Stickstoffstrom
- Rekonditionierung mit 1 ml Methanol/Wasser 50:50

HPLC-MS Bedingungen

- Eluent A: Methanol mit 0,5% Ameisensäure
- Eluent B: Wasser mit 0,5% Ameisensäure
- HPLC-Gradient

	A	B
0 min:	5 %	95 %
3 min:	90 %	10 %
22 min:	90 %	10 %
23 min:	20 %	80 %

	30 min	20 %	80 %
- Flussrate	0,2 ml/min		
- Trennsäule	Hypersil Gold Phenyl 150x2.1 5 µm		
- Injektionsvolumen	10 µl		
- Ionisierung	ESI positiv		

Quantifizierungsmassen $[M + H]^+$

Parameter	$[M + H]^+$
Amidotrizoesäure	614,7769

6.3.3 Parameter: Phosphororganische Verbindungen

Es wurde auf die phosphororganische Verbindung Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP) hin untersucht.

Geräte

- Zymark Autotrace SPE Workstation
- Thermo Finnigan GCQ und AS 200 Autosampler

Probenvorbereitung und Festphasenextraktion

- Filtration der Probe
- Anreicherung mit 100 µl internem Standard 1 mg/l D27-TBP-Lsg.
- Trocknung der Festphasen im Stickstoffstrom
- Elution: 3 ml, 3 ml und 2 ml Ethylacetat
- Eindampfen des Ethylacetat-Eluats unter Stickstoff am Thermostaten (max. 40°C) auf unter 1 ml
- Auffüllen des Rückstands mit Ethylacetat auf 1 ml und Transferierung in ein 0,4 ml-Vial

GC-MS Bedingungen

- Stationäre Phase Macherey-Nagel Optima 17 MS, 30 m Länge, 0,25 µm FD, 0,4 mm ID
- Injektor Split/Splitless
- Injektortemperatur 260°C
- Trägergas Helium 40 cm/min.
- Temperaturprogramm 60°C, 3 min. isotherm - 12°C/min bis 200°C - 5°C/min bis 250°C, 5 min isotherm - 10°C/min bis 300°C, 10 min, isotherm
- Transferlinientemperatur 275 °C

- Ionenquelle 200 °C
- Ionisierung EI positiv

Diagnostisches Ion

Parameter	Diagnostisches Ion
TCP	99+125

6.3.4 Parameter: EDC (Bisphenol A)

Tris(2-chlorisopropyl)phosphat

Geräte

- Zymark Autotrace SPE Workstation
- LC/MS-System (Orbitrap, Thermo Electron)

Probenvorbereitung und Festphasenextraktion

- Vorfiltration über Papierfilter zur Entfernung von Schwebstoffen
- Zugabe von internem Standard
- Anreicherung am Autotracesystem
- Festphasenextraktion mittels C₁₈-SPE-Kartuschen 500 mg, Baker
- Einengen des Eluats bei 60 °C im Stickstoffstrom
- Rekonditionierung mit 1 ml Methanol/Wasser 50:50

HPLC-MS Bedingungen

- Eluent A: Methanol
- Eluent B: Wasser
- HPLC-Gradient

	A	B
0 min:	25 %	75 %
2 min:	25 %	75 %
15 min:	100 %	0 %
20 min:	100 %	0 %
21 min	25 %	75 %
30 min	25 %	75 %
- Flussrate 0,2 ml/min
- Trennsäule Hypersil Gold Phenyl 150x2.1 5 µm
- Injektionsvolumen 10 µl

- Ionisierung APCI negativ

Quantifizierungsmassen [M - H]⁻

Parameter	[M - H] ⁻
Bisphenol A	227,10780

6.3.5 Parameter: Komplexbildner

Es wurde auf den Komplexbildner Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) hin untersucht.

Geräte

- Zymark Autotrace SPE Workstation
- Autosampler: CTC A 200 S
- Gaschromatograph: HP 6890
- Massenspektrometer: Finnigan MAT 95 XL

Probenvorbereitung und Festphasenextraktion

- Entnahme des benötigten Probevolumina aus dem Überstand der abgesetzten Probe
- Zugabe von 2 ml 1,2-PDTA-Lösung als interner Standard
- Trocknen der Probe im Trockenschrank
- Aufnahme des Rückstands mit 10 ml Salzsäure (1 mol/l)
- Trocknung im Heizblock bei 90 °C unter kontinuierlichem Stickstoffstrom
- Versetzen des Rückstands mit 2 ml Veresterungsreagenz und das Gefäß für 30 min in den Heizblock
- Nach Abkühlen auf Raumtemperatur Zugabe von 1 ml Kontrollstandard (50 mg 1-Chlortetradecan in 100 ml Hexan), Schütteln, Überführung des Inhalts auf 50 ml Messkolben, Zugabe von 1 ml NaOH (1 mol/l)
- Nach Phasentrennung Abnahme des Hexan-Extraktes und Überführung in Probenvial

GC-MS Bedingungen

- Injektor 280 °C; 2 µl splitless
- GC-Ofenprogramm Start 60 °C, 3 min halten, mit 10 °C/min auf 280 °C, 5 min halten
- Kapillartrennsäule DB17-ms (30m; i.d. 0,25 mm; Filmdicke 0,20 µm)
- Transferlinietemperatur 280 °C
- Ionenquelle 240 °C
- Ionisierung EI positiv

Diagnostisches Ion

Parameter	Diagnostisches Ion
EDTA-n-Butylester	258,1705

6.3.6 Pflanzenschutzmittel

Die Analyse der Pflanzenschutzmittel wurde durch ein Labor der EUROFINS Umwelt West GmbH durchgeführt, die nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sind. Als Verfahren für die Parameter Atrazin, Chlortoluron, Desethylatrazin, Diuron, Isoproturon, Methabenzthiazuron, Simazin, Chloridazon und Metamitron wurde das in DIN EN ISO 11369 beschriebene Verfahren verwendet, die Bestimmungsgrenze liegt bei 50 ng/l. Für MCPA und Mecoprop wurde ein Verfahren analog zu DIN 38407-35 mit der gleichen Bestimmungsgrenze eingesetzt. Für Dichlorprop wurde eine LC-MS/MS-Analyse verwendet.

6.3.7 Mikrobiologische Parameter

Die mikrobiologischen Parameter wurden im Hygiene-Institut Dr. Berg in Eschweiler durchgeführt, ein akkreditiertes Prüflabor. Bei einer Probenahmemenge von 100 ml wurde für E.coli das Verfahren MPN-Colilert angewandt, für Clostridium perfringens ein Verfahren nach TrinkwV 2001, für intestinale Enterokokken ISO 7899-1, für Coliphagen Schulz 1996 und für Campylobacter mF Skirrov-Agar.

7 Intensivbeprobung der ausgewählten Anlagen

7.1 Niederschlagsereignisse während der Projektlaufzeit

Der Untersuchungszeitraum zeichnete sich durch eine ungewöhnliche Niederschlagsarmut aus. Schon im Frühjahr lagen die Monatmittel deutlich unter den langjährigen Mittelwerten. Im Juli und August konnten dagegen normale Niederschlagsmengen verzeichnet werden. Die 3-Monatsbilanz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ergibt für NRW eine leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmenge. Ab September 2011 folgten mit Ausnahme des Oktoberanfangs drei ungewöhnlich trockene Monate, erst ab Dezember 2011 fielen wieder nennenswerte Niederschläge, was sich aber bereits im Februar 2012 wieder grundlegend änderte. Bis Ende März 2012 lagen die Niederschlagsmengen deutlich unter dem statistischen Mittelwert. Die Frühjahrsbilanz des DWD (Zeitraum 1.3.2012 – 31.5.2012) stuft das Einzugsgebiet des Erftverbandes in das Defizitintervall -50 mm bis -125 mm ein. Der überwiegende Teil des Gebietes wird in der Sommerbilanz in das gleiche Intervall eingestuft, Randbereiche zeigen ein geringeres Niederschlagsdefizit. Insgesamt ist aber auch der Sommer 2012 niederschlagsärmer als der langjährige Durchschnitt des Zeitraumes 1981 – 2010 (mittlere Jahreszeitensummen der klimatischen Wasserbilanz 1981 – 2010 des DWD). Insgesamt lag die Zahl der beprobaren Ereignisse, d.h. Niederschlagsereignisse mit einer Beschickung der Retentionsbodenfilter, dadurch deutlich unter den Erwartungen. Die in Anhang 2 angefügten Tabellen beinhalten die Tageswerte der Niederschlagsmessstationen des Erftverbandes, die sich in unmittelbarer Nähe der Anlagen Glehn, Kenten und Vanikum befinden. Zur besseren Einordnung wurden die Tageswerte mit den Werten des Starkregenatlasses KOSTRA des DWD für die Station Bergheim verglichen und gemäß ihrer Wiederkehrzeit eingestuft.

Im gesamten Untersuchungszeitraum Juli 2011 – Juli 2012 lagen sämtliche Niederschlagsereignisse an den Messstationen des Erftverbandes mit Ausnahme des 18./19. August 2011 unterhalb des 24-Stunden-Wertes für die Wiederkehrzeit $T_n = 1a$.

7.2 Retentionsbodenfilter Vanikum

Zwischen dem 11.07.2011 und 10.07.2012 wurde der RBF Vanikum sieben Mal beschickt. Diese Beschickungsereignisse sind in Tabelle 7.1 aufgeführt.

Im Ablaufschacht ergab sich am Ende eines Ereignisses ein Wasserstand von 46 cm. Dieser resultierte aus der Einstauhöhe der Drainagerohre (25 cm) sowie zusätzlich aus der Aufhängung der Pumpe oberhalb der Ablaufhöhe (21 cm). Das Porenvolumen wird nach MUNLV (2003), „Dimensionierung des Retentionsvolumens“ mit pauschal 15% angesetzt. Bei einer Fläche des Filters von 650 m² befindet sich damit zwischen zwei

Ereignissen eine Gesamtmenge von ca. 45 m³ im Bodenfilter. Das Retentionsvolumen ohne Filterkiesschicht beträgt insgesamt 790 m³.

Tabelle 7.1: Beschickungsereignisse RBF Vanikum während der Projektlaufzeit

Beschickungsereignis	Dauer	Entleerung des RBF
06.08.2011	15:45 Uhr – 17:15 Uhr	06.08.2011, 16:15 – 17:30 Uhr
14.08.2011	08:30 Uhr – 11:30 Uhr	14.08.2011, 09:15-11:30 Uhr
18.08.2011	21:15 Uhr – 23:45 Uhr	18.08.2011, 21:45 - 19.08.2011, 03:30 Uhr
19.08.2011	05:45 Uhr – 09:15 Uhr	19.08.2011, 05:30 Uhr-19 Uhr
23.08.2011	03:00 Uhr – 04:00 Uhr	23.08.2011, 08:30-08:45 Uhr
16.12.2011	06:45 Uhr – 09:45 Uhr	16.12.2011, 07:00 Uhr - 17.12.2011, 09:30 Uhr
21.06.2012	21:00 Uhr – 23:00 Uhr	21.06.2012, 21:00 Uhr - 22.06.2011, 04:30 Uhr

Laut DITTMER (2006) ist die Durchströmung eines Retentionsbodenfilters weitgehend als vertikal zu betrachten. Der Drosselabfluss des Retentionsbodenfilters beträgt laut Auszug aus dem Betriebshandbuch 16 l/s. Damit wird das Einstauwasser innerhalb von 47 Minuten ausgepumpt.

Die Probenahme im Ablauf dauerte 60 Minuten, so dass bei den Ereignissen am 06.08.2011, 14.08.2011 und 18.08.2011 im Ablauf bis auf die letzten beiden Flaschen das Einstauwasser beprobt wurde. Die Ereignisse am 19. und 23.08.2011 wurden aus organisatorischen Gründen nicht beprobt.

Die Online-Kombisonden wurden im Juli 2011 installiert und im November 2011 wegen des festgestellten dauerhaften Teileinstaus ausgebaut. Aufgrund dieses Einstaus und den Auswirkungen auf die Elektroden konnten keine plausiblen Daten mit den Sonden gewonnen werden.

Der dauerhafte Teileinstau wurde im November 2011 behoben. Die folgenden Ereignisse am 16.12.2011 und 21.06.2012 konnten aus technischen Gründen nicht beprobt werden. Eine weitergehende Auswertung der Probenahmen erfolgte daher nicht.

7.3 Retentionsbodenfilter Glehn

Zwischen dem 11.07.2011 und dem 10.07.2012 wurde das RBF Glehn sieben Mal beschickt. Diese Beschickungsereignisse sind in Tabelle 7.2 aufgeführt.

Tabelle 7.2: Beschickungsereignisse RBF Glehn während der Projektlaufzeit

Beschickungsereignis	Dauer	Entleerung
04.08.2011	10:00 Uhr – 10:15 Uhr	04.08.2011, 10:45 Uhr
14.08.2011*	10:30 Uhr – 21:00 Uhr	15.08.2011, 12:30 Uhr – 16.08.2011, 03:30 Uhr
18.08.2011-20.08.2011*	23:00 Uhr – 18:00 Uhr	20.08.2011, 09:30 Uhr – 21.08.2011, 03:45 Uhr
12.10.2011-13.10.2011*	20:45 Uhr – 01:15 Uhr	12.10.2011, 22:15 – 22:30 Uhr
16.12.2011*	07:15 Uhr – 22:15 Uhr	16.12.2011, 07:15 Uhr – 17.12.2011, 04:45 Uhr
05.01.2012-06.01.2012	09:30 Uhr – 02:30 Uhr	05.01.2012, 09:30 Uhr – 06.01.2012, 08:00 Uhr
19.01.2012-20.01.2012	14:45 Uhr – 04:45 Uhr	19.01.2012, 14:45 Uhr – 20.01.2012, 11:00 Uhr
*Es liegen Aufzeichnungen der Online-Kombisonden für Nitrat und Ammonium vor.		

Beim einzigen beprobten Ereignis am 18.08.2011 wurden durch einen nicht näher definierten Fehler, den der automatische Probenehmer mit „Ansaugen“ bezeichnet, nur fünf Liter in einem Zeitraum von 08:05 Uhr bis 12:11 Uhr entnommen.

Insgesamt sind die Ablaufdaten der Ereignisse im August und Oktober wegen des starken zeitlichen Versatzes nicht plausibel.

Die Online-Kombisonden wurden im Juli 2011 installiert. Für vier Ereignisse, die in Tabelle 7.2 markiert sind, liegen vollständige Daten der Sonden vor. Für die Ereignisse vom 14.08.2011, 18.08.2011 und 12.10.2011 lassen sich wegen der Diskrepanz zwischen Aufzeichnung von Zulauf und Ablauf diese Werte nicht auswerten.

Nach dem 19.01.2012 konnte bis Projektende kein weiteres Beschickungsereignis festgestellt werden.

7.4 Retentionsbodenfilter Kenten

In Abbildung 7.1 sind alle Ereignisse im RBF Kenten zwischen dem 11.07.2011 und dem 10.07.2012 ausgewertet, so dass zur Ermittlung der Beschickungshöhe genau ein Jahr berücksichtigt wird.

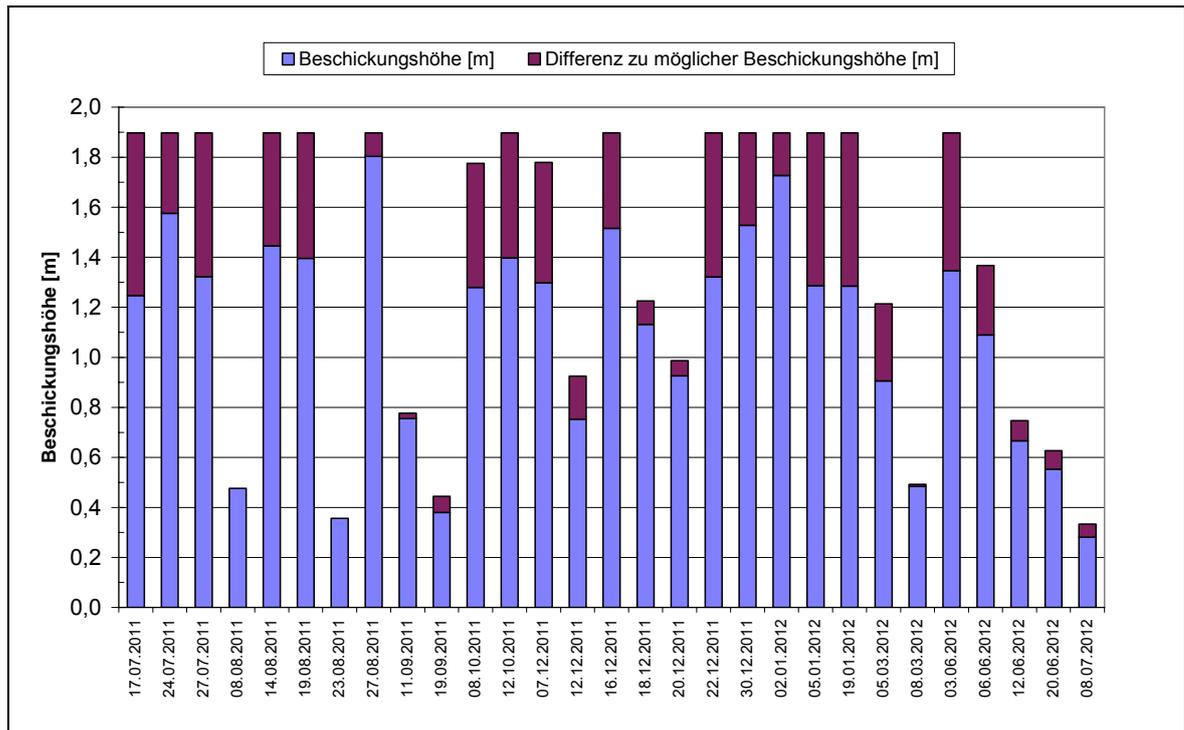


Abbildung 7.1: Filterbeschickungen RBF Kenten während der Projektlaufzeit

Die sich mit diesen Ereignissen ergebende Beschickungshöhe beträgt 31,6 m. Durch eine Besonderheit in der Anlagensteuerung wurde spätestens vier Stunden nach Beschickungsbeginn über den Filterüberlauf abgeschlagen, so dass ein Teil des Filterpotentials ungenutzt bleibt, was auf der Sekundärordinate aufgetragen ist. Die vermutlich erreichbare Beschickungshöhe im Projektzeitraum bei einer maximalen Einstauhöhe von 1,94 m, berechnet aus dem Ablauf des RBF und dem Filterüberlauf, ergibt sich zu 40,1 m.

Zwölf Ereignisse konnten beprobt werden, bei zwei Ereignissen jedoch führten Probleme mit den Probennehmern (08.07.2012) bzw. den Ablaufpumpen (5.3.2012) dazu, dass die Analyseergebnisse nicht zu einer weiteren Auswertung herangezogen wurden.

Zusätzlich lieferten die Online-Kombisonden für Ammonium und Nitrat Daten zu elf Ereignissen, von denen acht verwertbar sind. Die im Labor gewonnenen Daten überschneiden sich jedoch nur bei drei Ereignissen mit den Daten der Online-Kombisonden.

Die Beschickungspause zwischen Beschickungsende und einem möglichen neuen Ereignis beträgt 36 Stunden, in der der Filter nicht beschickt wird, damit das Filterbett sich regenerieren kann und insbesondere wiederbelüftet wird.

In Tabelle 7.3 ist aufgeführt, welches Beschickungsereignis einem jeweils beprobten Ereignis vorausgegangen sind. Außerdem ist angegeben, wann die Proben laut Probenahmeprotokoll des Probennehmers gezogen wurden. Da am 19.09.2011 die

Zulaufprobe zeitlich nach der Ablaufprobe gezogen wurde, sind die Analyseergebnisse der Probe in den Auswertungen dargestellt, aber in die Bildung des Mittelwertes nicht einbezogen. Wie bereits dargestellt, ist die Probenahme zum Dezember 2011 hin auf ein Intervall von drei Stunden im Zulauf und drei Stunden im Ablauf vereinheitlicht worden. Da durch diese Änderung lediglich eine Vergleichmäßigung der Konzentrationen im Zulauf zu erwarten sind, werden diese Ergebnisse als vergleichbar mit denen vor Dezember 2011 bewertet. Ebenso wird die Probe vom 20.06.2012 mit ungleichmäßigen, jedoch über den gesamten Beprobungszeitraum von drei Stunden gezogenen Proben, als vergleichbar angesetzt.

Tabelle 7.3: Beprobte und ausgewertete Beschickungsereignisse RBF Kenten während der Projektlaufzeit

Beschickungsereignis	Dauer	Entleerung bis (beginnend mit Beschickung)	Probenahme Zulauf	Probenahme Ablauf	Vorhergehendes Beschickungsereignis
27.-28.07.2011	23:15-03:15 Uhr	28.07.2011, 13:30 Uhr	23:22-00:21 Uhr	23:26-02:25 Uhr	24.-25.07.2011
08.-09.08.2011	20:30-00:15 Uhr	09.08.2011, 14:15 Uhr	19:47-20:46 Uhr	19:47-22:51 Uhr	27.-28.07.2011
19.08.2011	02:15-06:00 Uhr	19.08.2011, 17:30 Uhr	02:06-03:05 Uhr	02:11-05:10	14.08.2011
23.08.2011 ^a	14:00-15:30 Uhr	23.08.2011, 20:45 Uhr	14:10-15:09 Uhr	14:11-16:05 Uhr	19.08.2011
11.09.2011 ^b	19:00-22:45 Uhr	12.09.2011, 15:30 Uhr	18:57-19:41 Uhr	19:03-22:02 Uhr	27.-28.08.2011
19.09.2011 ^c	11:15-15:15 Uhr	19.09.2011, 18:30 Uhr	13:27-14:26 Uhr	10:56-13:55 Uhr	11.-12.09.2011
12.10.2011 ^{d,e}	16:45-18:15 Uhr	13.10.2011, 13:45 Uhr	16:50-17:49 Uhr	16:53-19:52 Uhr	08.-09.10.2011
07.12.2011	14:30-16:00 Uhr	08.12.2011, 05:45 Uhr	14:19-17:18 Uhr	14:18-17:17 Uhr	12.-13.10.2011
20.06.2012 ^f	16:15-19:15 Uhr	21.06.2012, 00:30 Uhr	Uhrzeiten nicht verfügbar		12.06.2012

^aProbenvolumen im Ablauf weniger als 12 Liter (~7,5 Liter; Zylinder 8 nicht vollständig gefüllt, Zylinder 9-13 leer)
^bProbenvolumen im Ablauf weniger als 12 Liter (~8,1 Liter; Zylinder 9 nur eine Probe, Zylinder 10-13 leer)
^cAutomatischer Probenehmer im Zulauf wegen Fehlfunktion manuell gestartet; dadurch Zulauf nach Ablauf beprobt
^dAutomatischer Probenehmer im Ablauf wegen Fehlfunktion manuell gestartet; keine Verschiebung gegenüber vorhergehenden Ereignissen
^eAufzeichnungen der Online-Sonden für Ammonium und Nitrat vorhanden
^fProbenvolumen im Zulauf weniger als 12 Liter (~4,5 Liter; Flasche 1,8,9,12 ca. 1 cm Füllstand; 2,3,5 leer, 6,10 ca. 2 cm Füllstand, 4,7,11 voll)

7.5 Ermittlung der Reinigungsleistung

Aufgrund der in den Abschnitten 7.2 bis 7.4 beschriebenen Probleme bei der Probennahme basiert die Auswertung der Reinigungsleistung ausschließlich auf den am RBF Kanten gewonnenen Erkenntnissen. Da die Zulaufmenge und -rate nicht ausreichend genau bestimmt werden kann, wird die Reinigungsleistung konzentrationsbasiert ermittelt und ist daher treffender mit Konzentrationsverhältnis beschrieben.

Die analysierten Parameter sind im Folgenden in Säulendiagrammen dargestellt. Die blauen Säulen stellen die gemessene Konzentration im Zulauf dar, die orangefarbenen Säulen die Konzentrationen im Ablauf. Die jeweils korrespondierenden Proben sind nebeneinander angeordnet. Das Konzentrationsverhältnis eines einzelnen Ereignisses ist ebenso in den Grafiken dargestellt wie der Mittelwert über alle beprobten Ereignisse und das Konzentrationsverhältnis aus den Mittelwerten für Zulauf und Ablauf. Der Mittelwert für den Zulauf ist aus allen Analyseergebnissen für die Zulaufproben gebildet worden, entsprechend dem für die Ablaufwerte. Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich bei fehlenden Werten um nicht analysierte Proben, z.B. mangels Probenahmevolumen.

Es muss berücksichtigt werden, dass im Filtermaterial Restfeuchte in Form von Porenwasser vorhanden ist. Dieses wird mit Beginn der Beschickung teilweise verdrängt. Das Porenwasser im Filter während der Trockenphase beträgt schätzungsweise bis zu 15% des Filterkörpers (MUNLV, 2003; UHL und SCHMITT, 2007). Dies entspricht maximal 250 Litern bei einer Filterfläche von 2.210 m² und einer Höhe von 75 cm in Kanten. Das Auspumpen von 250 Litern benötigt ca. eine Stunde. Nach den Beobachtungen zum Beschickungsereignis in Kanten ist nicht davon auszugehen, dass der Filter gleichmäßig beschickt und dass es sich bei dem aus dem Filter ausgetragenen Wasser ausschließlich um Porenwasser handelt. Für die Bewertung der Ergebnisse sollte jedoch berücksichtigt werden, dass insbesondere in der ersten Ablaufprobe (vgl. Abbildung 6.1) ein erhöhter Anteil an Porenwasser vorhanden ist. In diesem Anteil kann es in überdurchschnittlichem Maße zu Rücklösungen und Desorption während der Trockenphase gekommen sein.

Die in den Abbildungen 7.2 bis 7.15 angegebene „Gesamtdauer Abfluss“ entspricht der Entleerungsdauer des Filterbeckens gemäß DWA M 178 (DWA, 2005). Diese beinhaltet neben der eigentlichen Entleerungsdauer des Einstauvolumens auch die Nachlaufzeit Entleerung Porenvolumen und Nachlaufzeit Entleerung Restfeuchte.

7.5.1 Sauerstoffzehrende Verbindungen und abfiltrierbare Stoffe

In Abbildung 7.2 bis Abbildung 7.5 ist die Auswertung für sauerstoffzehrende Parameter und AFS bei neun Ereignissen dargestellt.

Für den CSB lässt sich eine Gesamtreduktion von 80% zwischen der gemittelten Zulaufkonzentration von 76 mg/l und der gemittelten Ablaufkonzentration von 15 mg/l ermitteln.

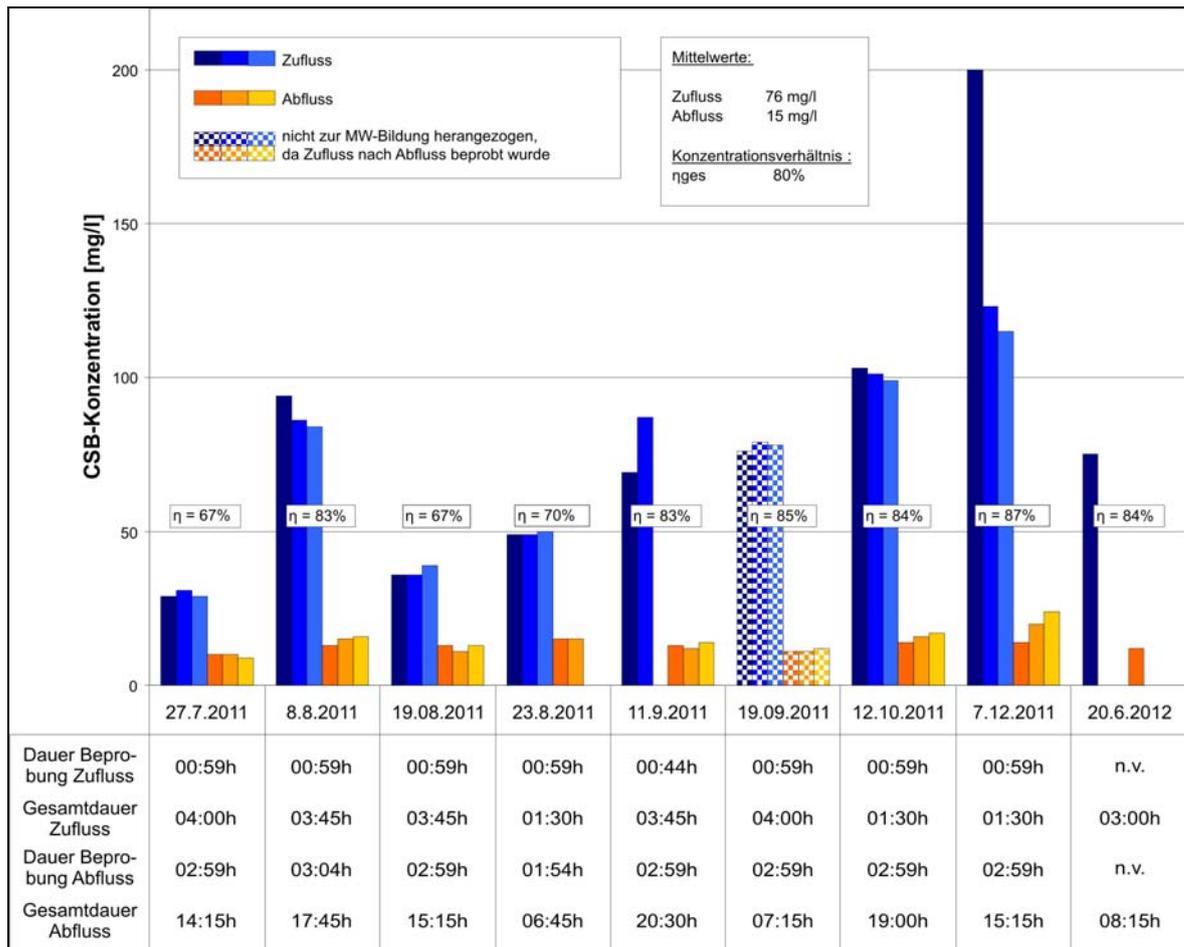


Abbildung 7.2: Analyseergebnisse CSB-Konzentrationen RBF Kenten

Für TOC lässt sich eine Gesamtreduktionsrate von 62% zwischen der gemittelten Zulaufkonzentration von 21 mg TOC/l und der gemittelten Ablaufkonzentration von 8 mg TOC/l ermitteln.

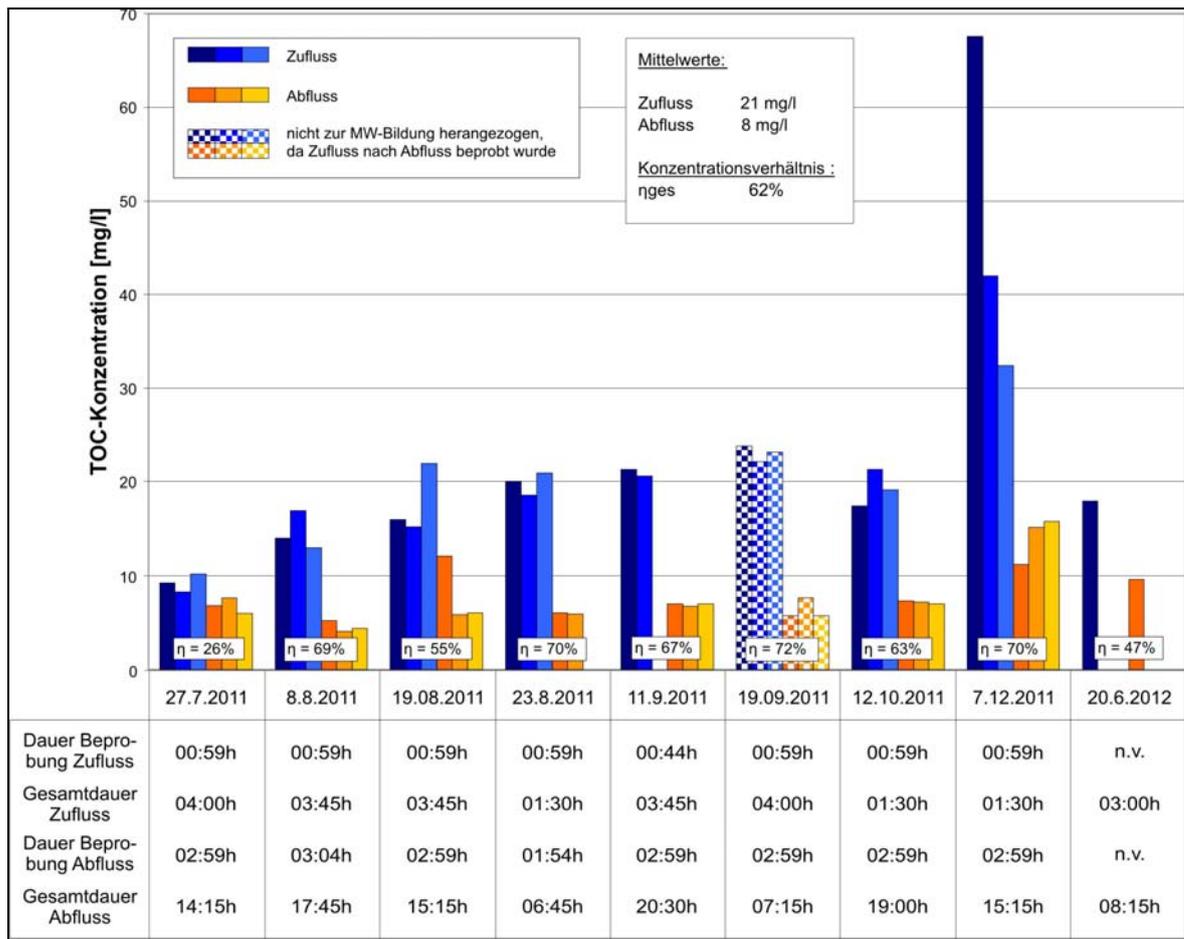


Abbildung 7.3: Analyseergebnisse TOC-Konzentrationen RBF Kenten

Die Analysewerte für den DOC wurden zunächst auf Plausibilität hinsichtlich ihres Verhältnisses zu TOC überprüft. Für zur gleichen Zeit bestimmte Proben muss gelten: Analysewert TOC > Analysewert DOC. Bei allen Werten, in denen der DOC den TOC übersteigt, ist diese Abweichung so geringfügig, dass sie dem Bereich der Messungenauigkeit zuzuordnen ist. Es ergibt sich ein durchschnittliches Konzentrationsverhältnis von 54%.

Im Fall der abfiltrierbaren Stoffe lagen beim Ereignis vom 27.07.2011 die ersten beiden Proben im Zulauf unterhalb der Bestimmungsgrenze, die dritte hatte eine Konzentration von 2 mg/l. Im Ablauf war ebenfalls nur ein Wert von 1 mg/l bestimmbar. Da die Zulaufwerte weit außerhalb dessen liegen, was für AFS erwartbar ist, wird dieses Ereignis nicht berücksichtigt.

Für die in die Auswertung einbezogenen Werte weisen die abfiltrierbaren Stoffe ein mittleres Konzentrationsverhältnis von mehr als 90% auf, was darauf hindeutet, dass auch nach mehreren Betriebsjahren noch ein guter Rückhalt der abfiltrierbaren Stoffe gegeben ist.

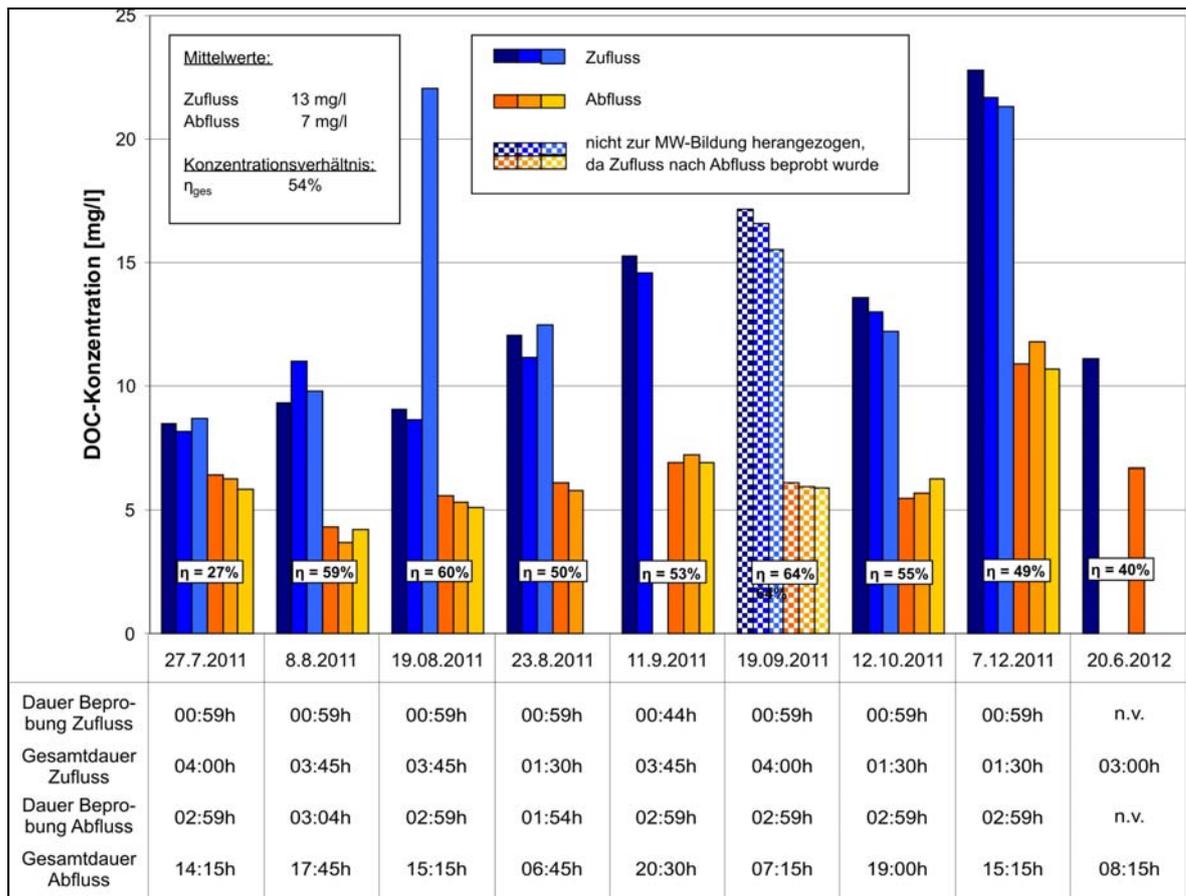


Abbildung 7.4: Analyseergebnisse DOC-Konzentrationen Kanten

Das Ereignis vom 07.12.2011 sticht für alle Parameter durch die Zulaufkonzentrationen hervor, wie aus Abbildung 7.2 bis Abbildung 7.5 hervorgeht. Diesem Ereignis ging eine Trockenphase von mehr als 52 Tagen voraus. Dieser deutliche Anstieg der Zulaufkonzentrationen lässt auf Remobilisierung von Ablagerungen im Kanal schließen. Ein Ziel der Untersuchungen war, einen Zusammenhang zwischen dem Rückhalt und der Trockenzeit, d.h. den Tagen ohne Beschickung bis zum aktuellen Ereignis, zu ermitteln. Dafür wurde die Zeitdifferenz zum zurückliegenden Ereignis bestimmt und in Abbildung 7.6 gegen den jeweiligen Stoffrückhalt aufgetragen. Es deutet sich an, dass das Rückhaltevermögen nach mehreren Tagen Trockenwetter zwischen zwei Beschickungsereignissen höher ist als bei dicht aufeinander folgenden Ereignissen. Nach einer extrem langen Trockenzeit liegt bislang nur ein Ereignis vor, so dass sich dies nicht bewerten lässt. Außerdem sollte neben der Filterbeschickung auch die Bewässerung durch Niederschlag berücksichtigt werden, der nicht zu einem Ereignis führt.

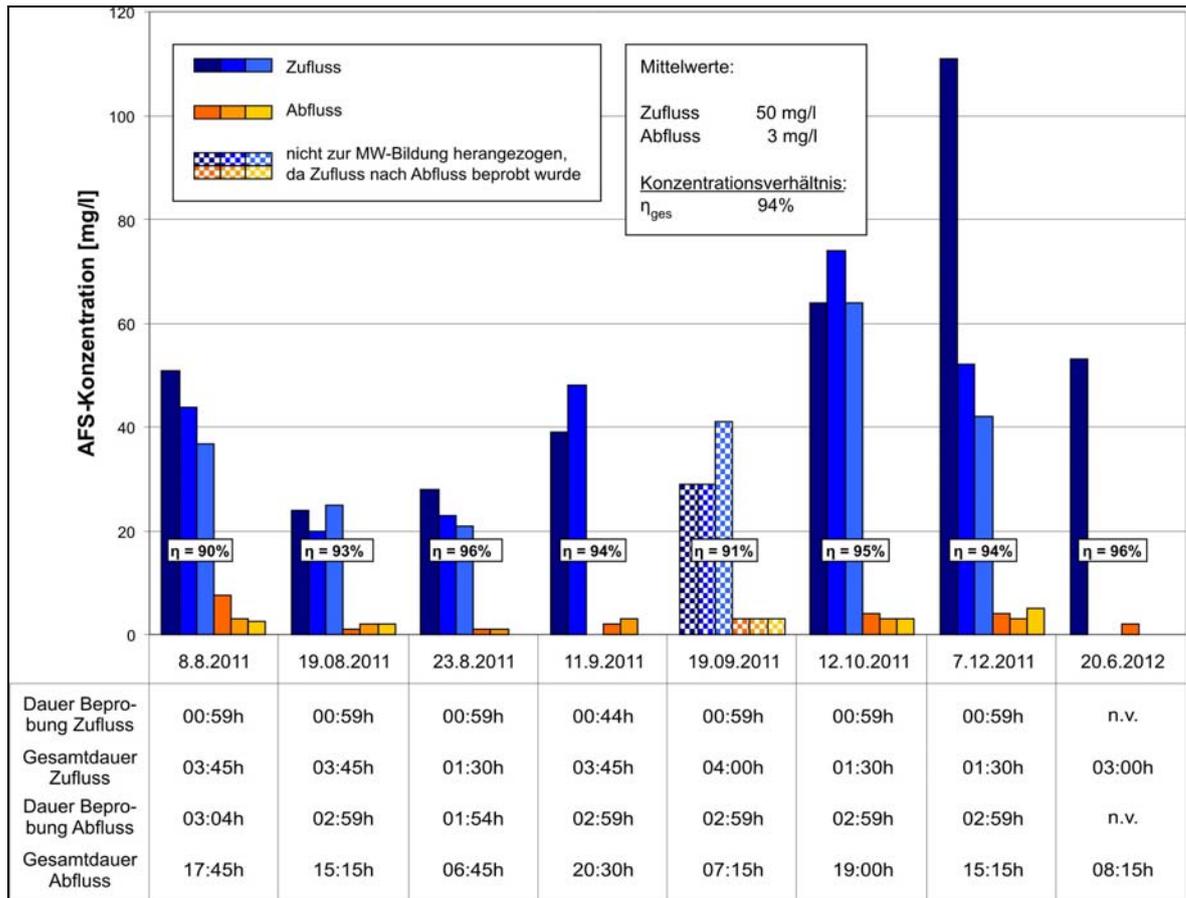


Abbildung 7.5: Analyseergebnisse AFS-Konzentrationen Kenten

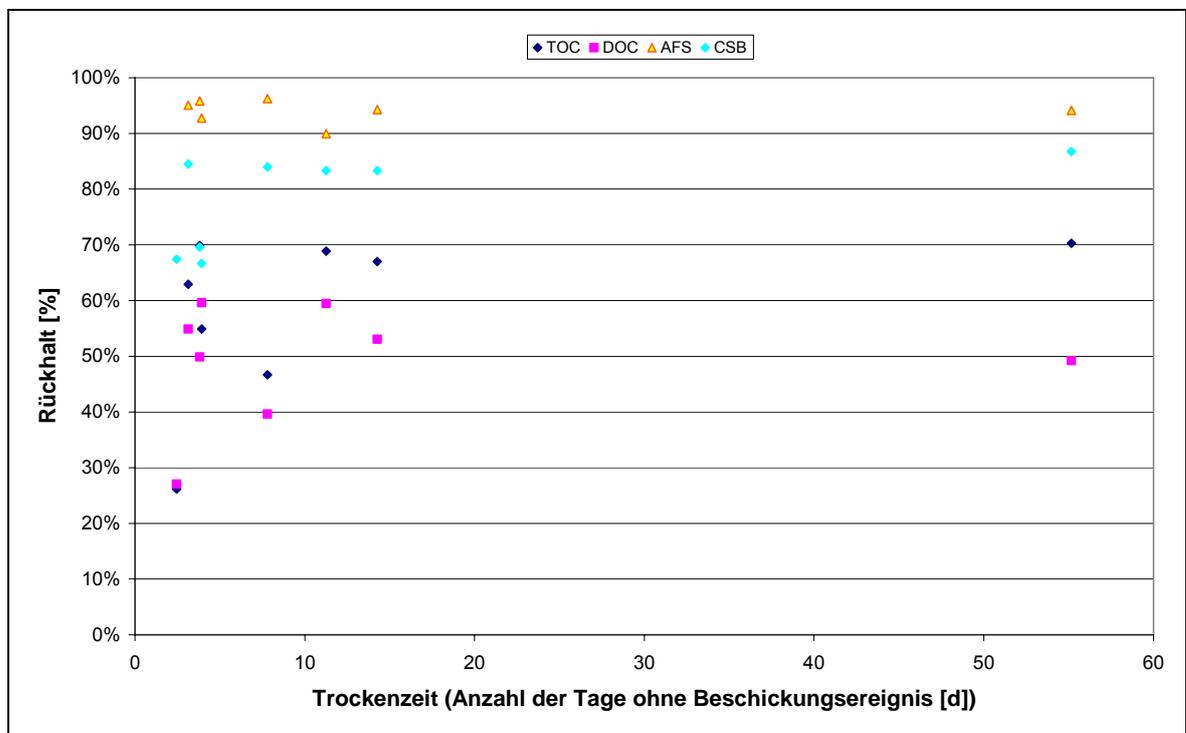


Abbildung 7.6: Zusammenhang zwischen Trockenzeit (Anzahl der Tage ohne Beschickungsereignis) und Rückhaltevermögen

7.5.2 Phosphor

Der Phosphorrückhalt im RBF Kenten ist stark schwankend, jedoch mit einer Ausnahme geringer als 50%. Bei zwei Ereignissen wird mehr Phosphor freigesetzt als zurückgehalten.

Da das Filtermaterial nach dem damaligen Stand des Wissens nicht melioriert worden ist, ist die in HMUELV (2011) ermittelte Filterlaufzeit von 2 Jahren bei einem Rückhalt von 50% bereits überschritten. Darauf deuten Analyseergebnisse mit einem durchschnittlichen Rückhalt von 21% für Gesamtphosphor in Abbildung 7.7 und 15% für ortho-Phosphat in Abbildung 7.8 hin.

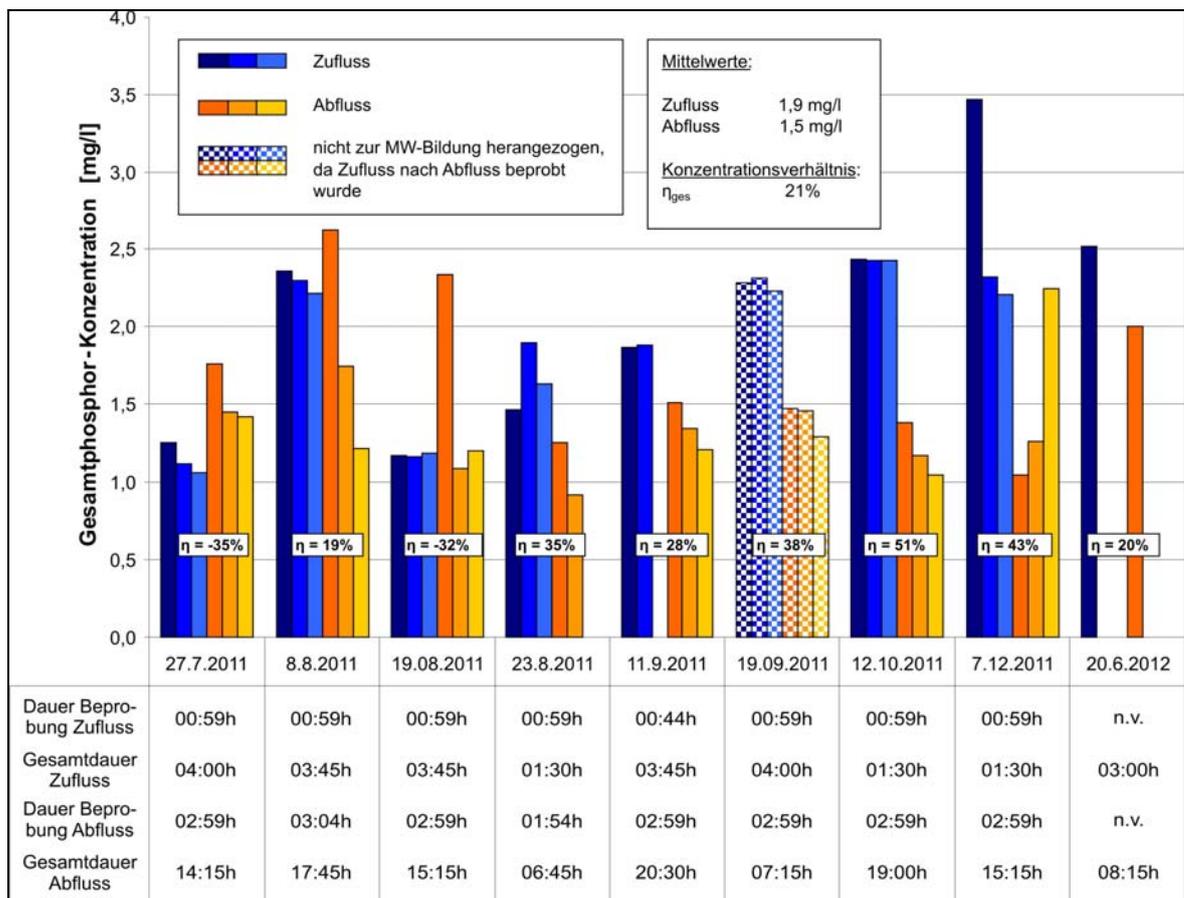


Abbildung 7.7: Analyseergebnisse Konzentration Gesamtphosphor, RBF Kenten

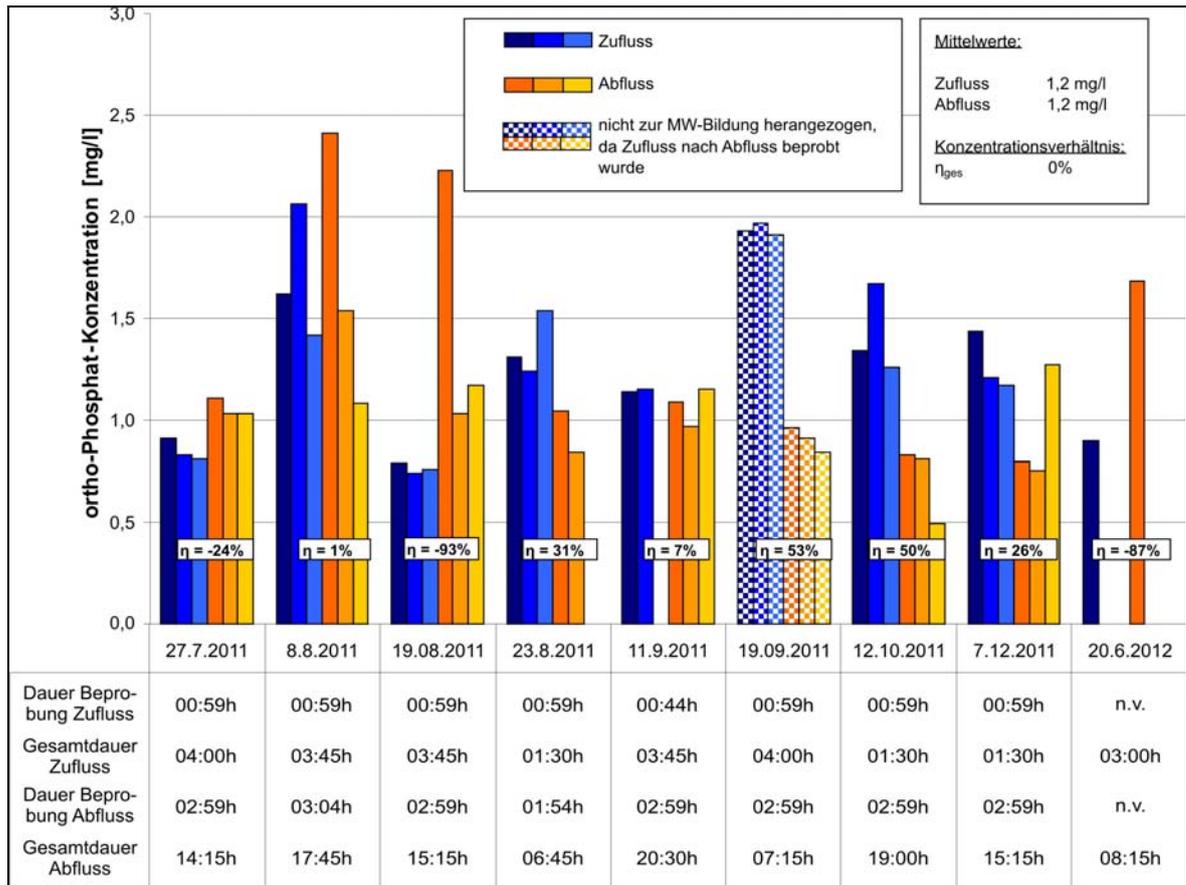


Abbildung 7.8: Analyseergebnisse Konzentration ortho-Phosphat, RBF Kenten

7.5.3 Schwermetalle

Die in Tabelle 6.1 genannten Schwermetalle konnten bei neun Ereignissen mit insgesamt 44 Einzelproben beprobt werden. Dabei fiel der Parameter Cadmium stets unter die Bestimmungsgrenze (BG), Chrom konnte nur in neun Proben nachgewiesen werden. Diese beiden Parameter werden daher im Weiteren nicht berücksichtigt.

Zu Beginn des Forschungsprojekts wurden nach den Aspekten Kosten, Eignung für sämtliche Spurenstoffe inkl. PFOA/PFOS, Handhabung auf den Anlagen und benötigte Probenahmemenge Edelstahlbehälter zur Probennahme angeschafft. Die Freisetzung von Schwermetallen aus den Edelstahlgefäßen ins Abwasser wurde durch einen Blindwert berücksichtigt. Es wurden drei Blindwerttests (BWTs) mit Reinstwasser vorgenommen (siehe Anhang 3). Die sich dadurch ergebenden Ergebnisse sind in Tabelle 7.4 dargestellt. Die Proben auf den Anlagen wurden gekühlt und innerhalb von 24 h abgeholt.

Tabelle 7.4: Ergebnisse der Blindwerttests SM für Edelstahlbehälter im Vergleich zu den Analyseergebnissen

Parameter	Fe	Pb	Cu	Zn	Ni
Analysierte Konzen-	0,08 – 3,5	0,003-0,12	0,009-0,2	0,004-0,034	0,001-

trationsbereiche [mg/l]					0,034
Analyseergebnisse > BG	44	44	44	44	44
Ergebnisse BWT > BG (von 3 Analysen)	2	1	2	2	3
Mittelwert BWT [mg/l]	0,026	0,001	0,001	0,014	0,002
Messwerte ≤ Mittelwert BWT	0	0	0	0	15
Standardabweichung [mg/l]	0,01	0,001	0,001	0,005	0,002

Wie sich erkennen lässt, sind etwa ein Drittel der Nickelwerte nicht bewertbar, da sie der Höhe der Mittelwerte des Blindwerttests entsprechen. Zehn weitere Werte liegen innerhalb des Bereichs der Standardabweichung, so dass eine Aussage zu den tatsächlich zurückgehaltenen Nickelkonzentrationen im Bodenfilter aufgrund der Konzentrationsbereiche nicht möglich ist.

In Einzelfällen überschreitet die nachgewiesene Konzentration der gelösten Metalle die der gesamt gemessenen Metalle. Dies tritt jedoch nicht systematisch und nur in einzelnen Fällen auf. Da sich jedoch nicht feststellen lässt, ob eine fehlerhafte Analyse im partikulären oder im gelösten Fall vorliegt, wurden die entsprechenden Werte nicht weiter ausgewertet.

Die Kontamination der Proben mit Schwermetallen wurde durch den Austausch der Edelstahlzylinder durch Glasflaschen beseitigt.

Bei den Parametern Fe, Pb, Cu und Zn wurde für die Auswertung der Mittelwert des Blindwerttests als Korrekturwert vom Messwert der Proben im Jahr 2011 abgezogen (ebenso bei den Analyseergebnissen der gelöst bestimmten Parameter), so dass eine korrigierte Bestimmung des Rückhalts stattgefunden hat. Die Messwerte und Ergebnisse sind den Abbildungen 5.8 bis 5.13 zu entnehmen.

Für Eisen lässt sich feststellen, dass für die Analyse des Gesamt-Parameters in Abbildung 7.9 der Wirkungsgrad stark streut und ebenso negative Wirkungsgrade zu beobachten sind. Auffällig sind ebenfalls drei besonders hohe Einzelkonzentrationen bei drei Messungen: Am 07.12.2011 im Zulauf, der durch die in Abschnitt 5.4.1 bereits geschilderte lange Trockenphase zustande kommen kann, sowie am 08.08.2011 und 23.08.2011. Der Wert am 8.8.2011 wird durch die Analysen des gelösten Eisen in Abbildung 7.12 unterstützt, so dass dieser sich zumindest teilweise auf einen gelösten Parameter bezieht. Dies ist nicht der Fall am 23.8.2011, so dass hier eine besonders hohe partikuläre Eisenkonzentration im Ablauf gemessen wurde. Ein weiterer Ausreißer im Gesamt-Eisen mit 3,5 mg/l am 19.09.2011 wurde wegen der enormen, nicht plausiblen Abweichung bei der Auswertung nicht berücksichtigt, da dieser Wert sich ebenfalls nicht in den gelösten Stoffen wiederfindet.

Vergleicht man die Rückhaltegrade bei Gesamteisen und dem gelösten Eisen, so lässt sich feststellen, dass bei den gelösten Parametern weniger Schwankungen auftreten. Insgesamt lässt sich feststellen, dass ein Rückhalt für Eisen grundsätzlich gegeben ist und nur gelegentlich eine Remobilisierung von gelöstem Eisen im Filter vermutet werden kann.

Da sich für die anderen Schwermetalle kein eindeutiges Bild ergibt, sind die graphischen Auswertungen im Folgenden ohne weitere Analyse aufgeführt. Für die Reinigungsleistung ist die große Streuung der Wirkungsgrade auffallend.

Für den Parameter Pb (gelöst) ergaben sich nach Abzug des Mittelwertes aus dem BWT nur 21 Messwerte größer Null, von denen jedoch weitere acht gleich der Standardabweichung sind. Daher wurde für Blei nur der Parameter Pb (gesamt) weiter berücksichtigt.

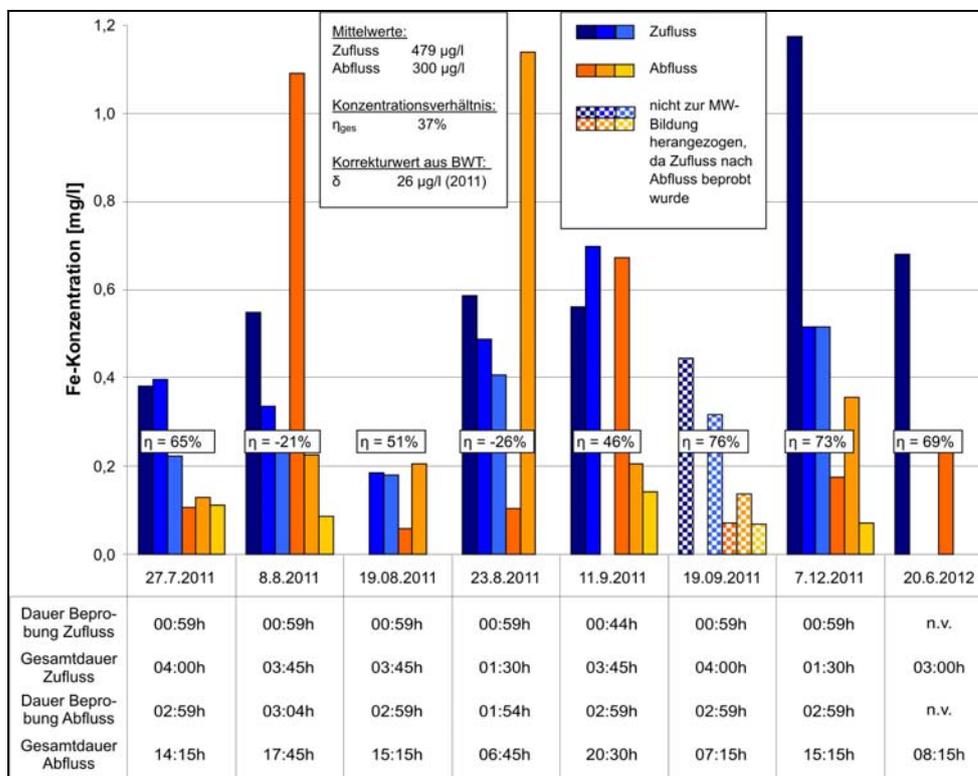


Abbildung 7.9: Analyseergebnisse Konzentration Fe (gesamt), RBF Kenten

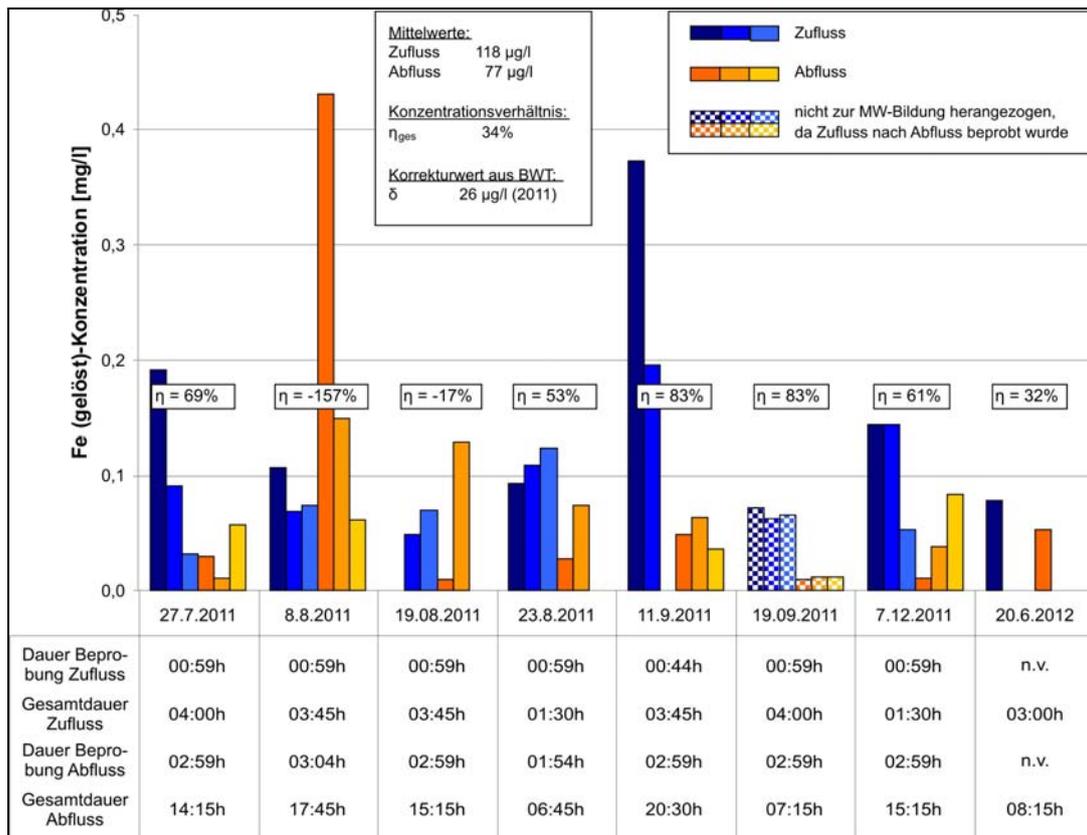


Abbildung 7.10: Analyseergebnisse Konzentration Fe (gelöst), RBF Kenten

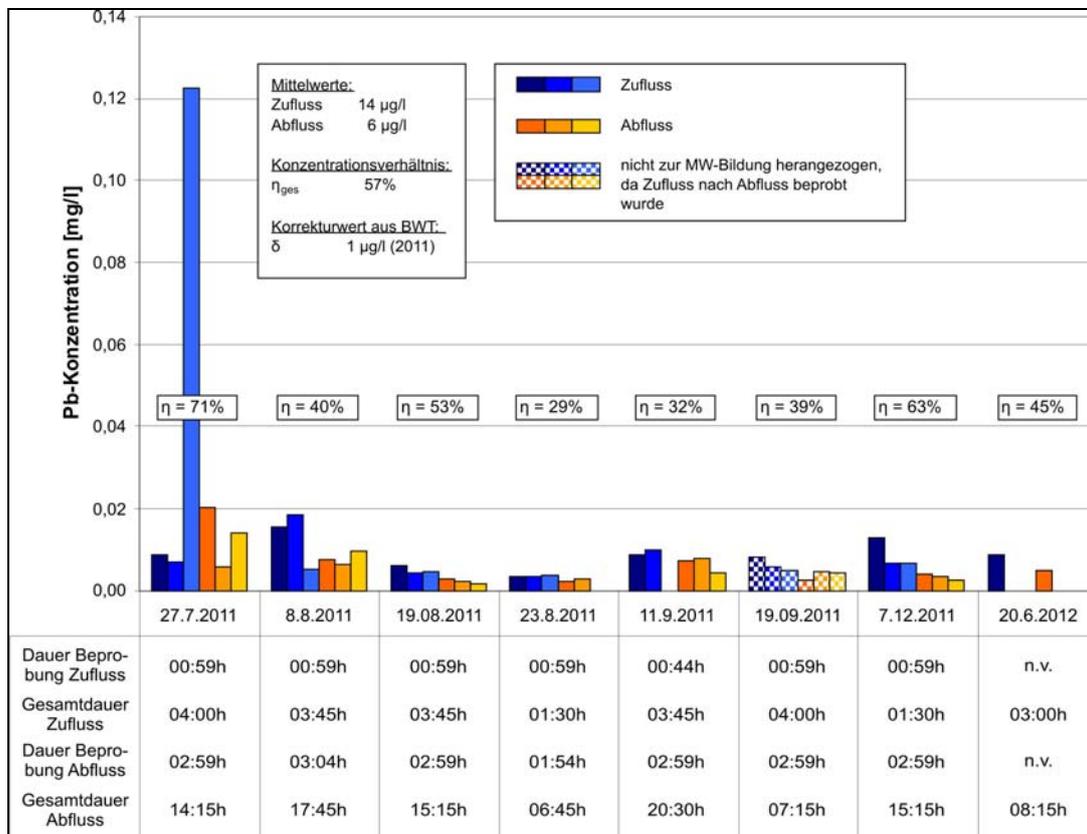


Abbildung 7.11: Analyseergebnisse Konzentration Pb (gesamt), RBF Kenten

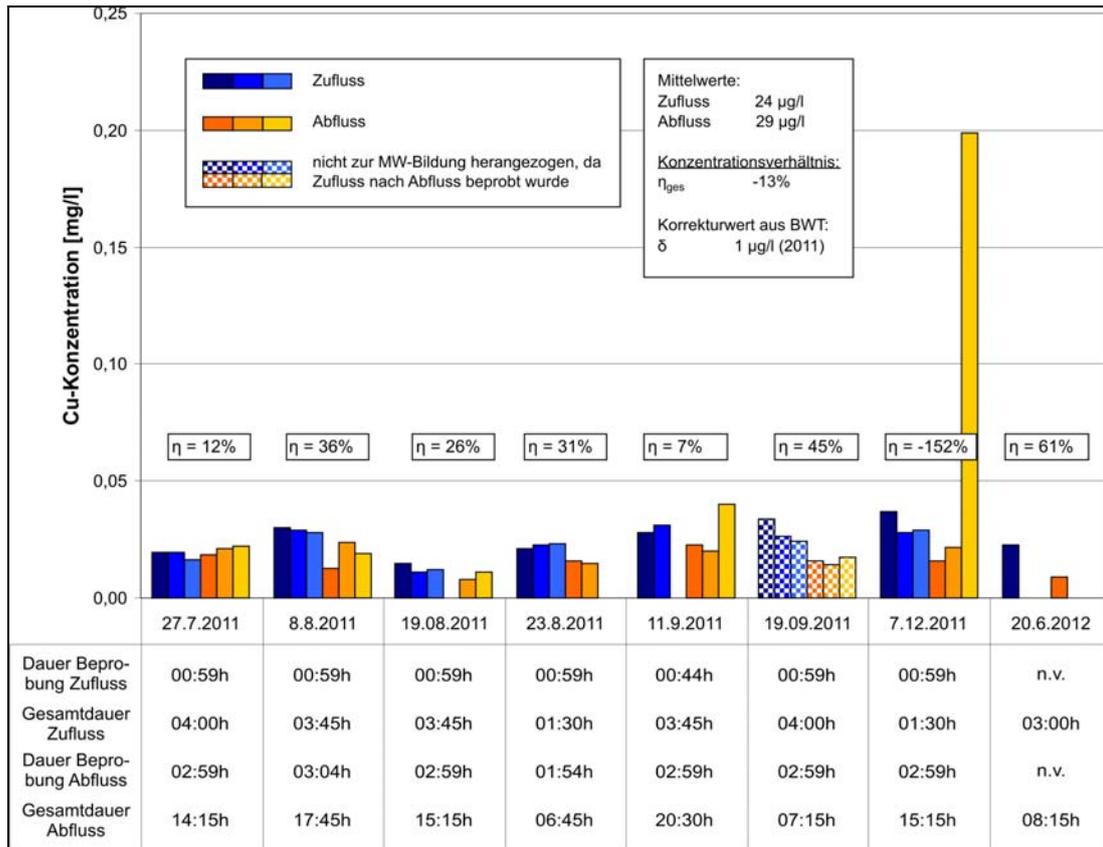


Abbildung 7.12: Analyseergebnisse Konzentration Cu (gesamt), RBF Kenten

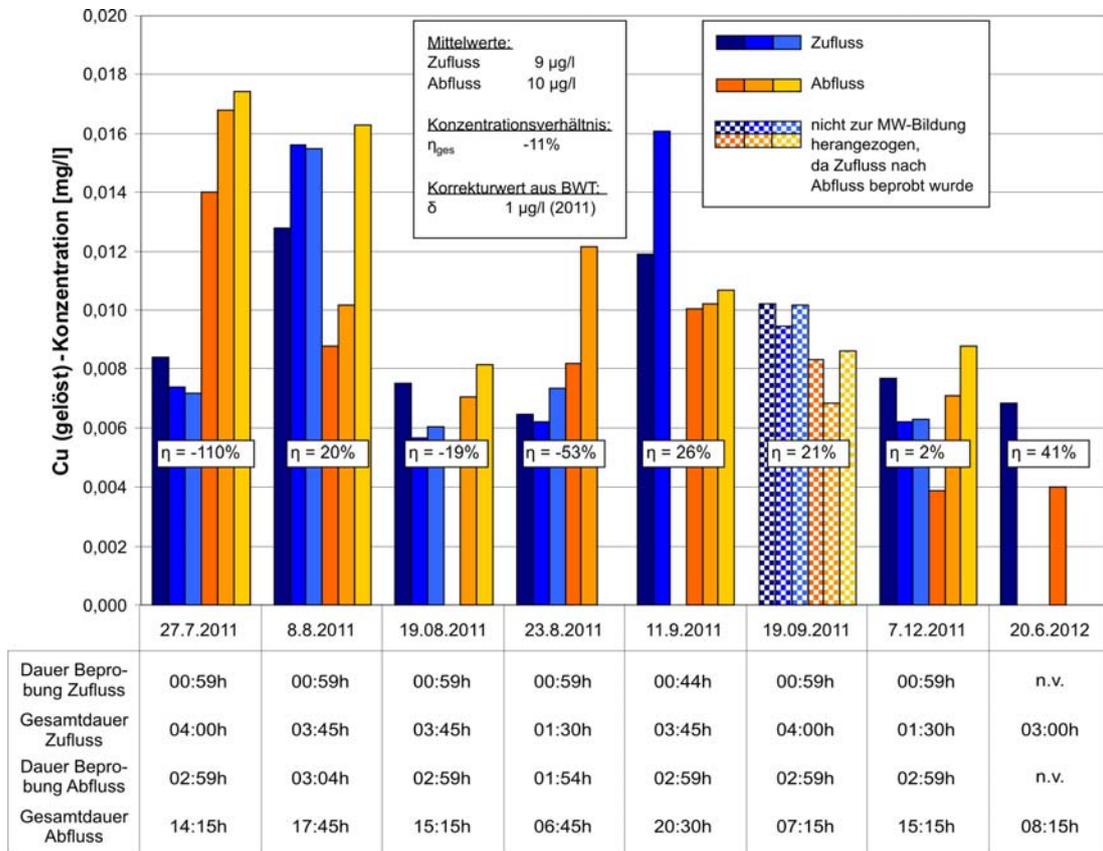


Abbildung 7.13: Analyseergebnisse Konzentration Cu (gelöst) RBF Kenten

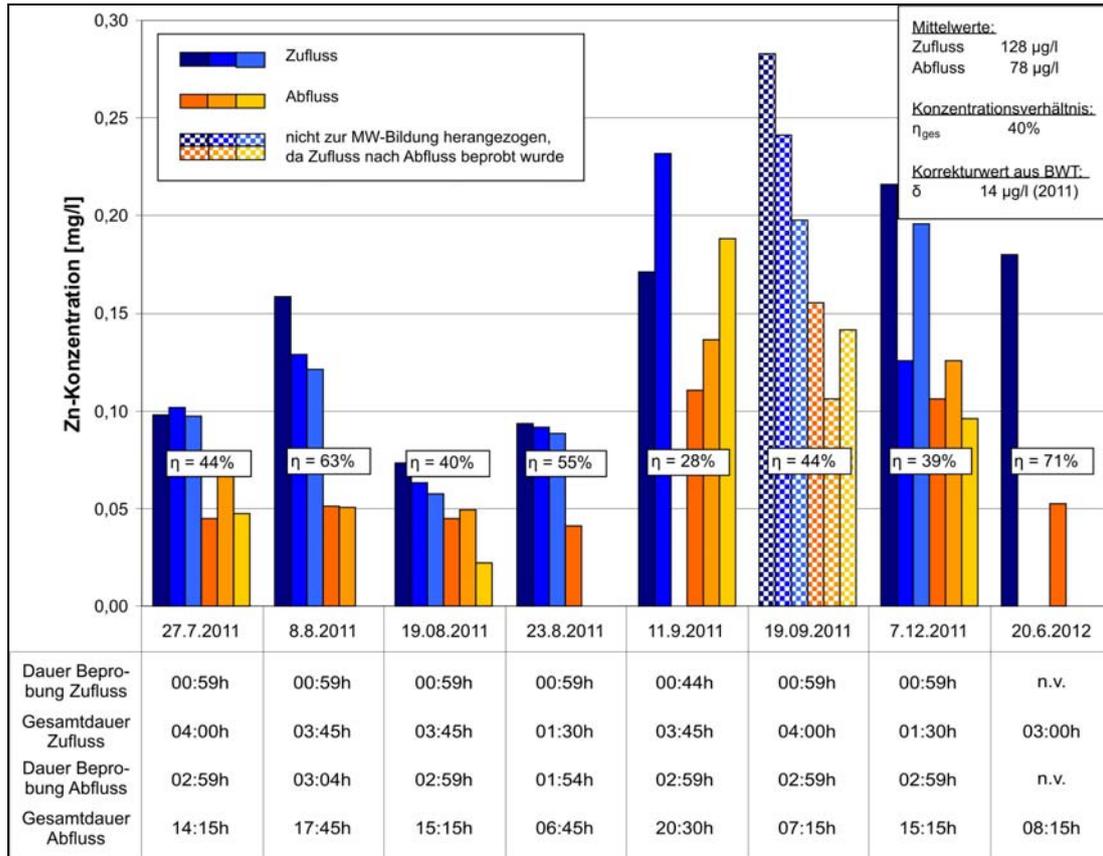


Abbildung 7.14: Analyseergebnisse Konzentration Zn (gesamt), RBF Kenten

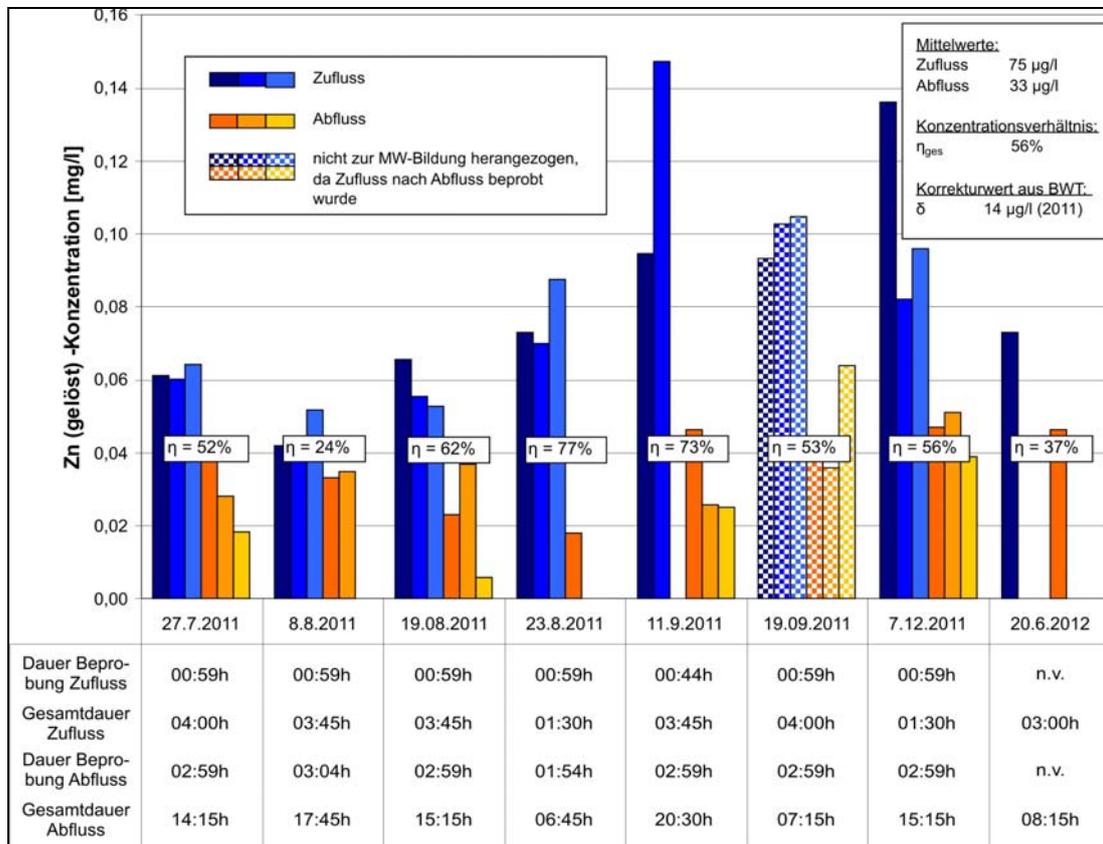


Abbildung 7.15: Analyseergebnisse Konzentration Zn (gelöst), RBF Kenten

7.5.4 Spurenstoffe

Bei den analysierten Spurenstoffen gemäß Tabelle 6.2 lag Bromat bei allen Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze von 50 µg/l, Ritalinsäure (BG = 10 ng/l) konnte nur bei einem Ereignis quantifiziert werden. Amidotrizoesäure (BG = 10 ng/l) konnte bei 4 von 7 Ereignissen bestimmt werden.

In Abbildung 7.16 ist der rechnerische Rückhalt der Spurenstoffe angegeben, die Bandbreite der aufgetretenen Konzentrationen kann Tabelle 7.5 entnommen werden. Für Metoprolol, Diclofenac und Bisphenol A kann ein relativ eng eingrenzender Rückhalt zwischen 60 und 75% ermittelt werden, da die Boxen 50% der Wirkungsgrade enthalten, die für jedes Ereignis bestimmt wurden.

Amidotrizoesäure dagegen zeigt eine sehr große Variation von -80% bis 54%. Das Auftreten von negativen Reduktionsraten kann noch nicht eindeutig geklärt werden. Möglich sind Remobilisierungen im Filter oder Effekte aus der Probenahme, die wegen der geringen Probendichte nicht weiter eingegrenzt werden können.

Die Ergebnisse zum Rückhalt von Spurenstoffen legen nahe, dass die relevanten Prozesse dem Bereich der Sorption und des biologischen Abbaus zuzuordnen sind. Für einige der untersuchten Stoffe wurde dies bereits in anderen Zusammenhängen untersucht: MERSMANN (2003) hat in Laborversuchen Transportvorgänge von verschiedenen Arzneimitteln in gesättigten und ungesättigten Sedimentzonen untersucht. Dabei wurde eine starke Sorption für Diclofenac in ungesättigten Zonen und einem biologischen Abbau unter aeroben Bedingungen festgestellt. Carbamazepin hingegen tendierte zur Remobilisierung durch Desorption unter aeroben Bedingungen ohne nennenswerten biologischen Abbau. Andere Untersuchungen, bei denen weitere Abhängigkeiten von Parametern wie der Struktur und Mächtigkeit des Sediments, der Verfügbarkeit von Sauerstoff, der pH-Wert und die chemische Struktur des untersuchten Stoffes berücksichtigt wurden, kamen jedoch zu besseren Ergebnissen für Carbamazepin (SCHEYTT et al., 2005). Überträgt man den Untersuchungsansatz von MERSMANN (2003) und SCHEYTT et al. (2005) auf Retentionsbodenfilter, so ist der Filtersand bei vollständiger Füllung der Filterschicht gesättigt (DITTMER, 2006). Dieser Zustand stellt sich für den Retentionsbodenfilter Kenten frühestens dann ein, wenn der Filtersand vollständig eingestaut ist. Bei einem angenommenen Porenvolumen von 15% (MUNLV, 2003) und der bestehenden Kies- und Filterschicht müssen sich mindestens 350 m³ Wasser im Filter befinden. Aufgrund der Schwierigkeit bei der Zulaufmessung können die Zulaufmengen nicht zeitproportional angegeben werden. Die erzielten Resultate für Diclofenac und Carbamazepin legen jedoch nahe, dass zumindest ein Teil des Probenvolumens aus der ungesättigten Filterphase stammt.

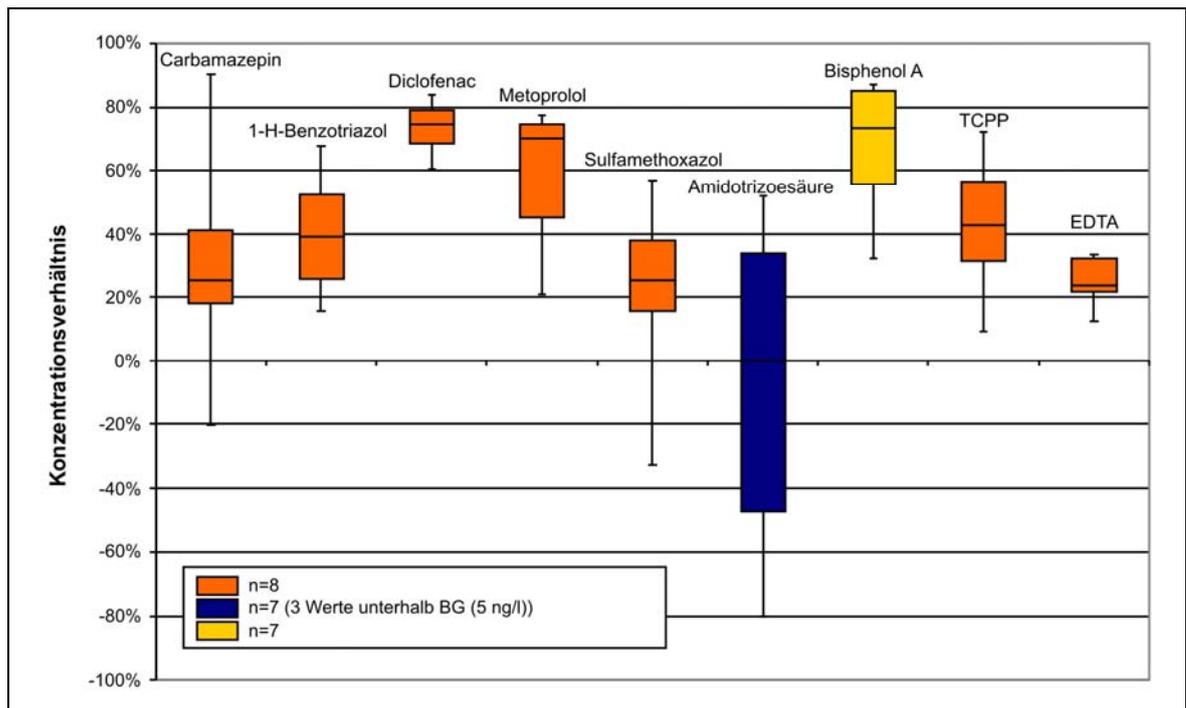


Abbildung 7.16: Verhältnis der Spurenstoffkonzentration im Zu- und Ablauf

Tabelle 7.5: Konzentrationsbereiche der analysierten Spurenstoffe im Zulauf (n=8)

Konzentration [ng/l]	Carbamazepin	1-H-Benzotriazol	Diclofenac	Metroprolol	Sulfamethoxazol	Amidotrizoesäure**	Bisphenol A*	TCPP	EDTA
Median	296	1.433	920	643	141	333	708	3.200	19.500
Minimum	179	1.044	385	345	81	49	303	1.100	12.000
Maximum	484	3.848	1.519	1.279	241	1.155	1.164	5.100	32.000

*n=7; davon 3 Werte unterhalb der BG (5 ng/l); **n=7

Für Sulfamethoxazol und Amidotrizoesäure, die die größten Schwankungen beim Wirkungsgrad zeigen, belegt eine Studie zur Uferfiltration ebenfalls Unterschiede für aerobe und anaerobe Zonen: Während im aeroben Bereich praktisch keine Reduktion erreicht wurde, konnten sie unter anaeroben Bedingungen in bemerkenswertem Maß zurück gehalten werden (SCHMIDT et al., 2003). Weitere Untersuchungen zur aeroben Adsorption und Abbau von Amidotrizoesäure in Belebtschlamm zeigten ebenfalls, dass die Adsorption unter diesen Umständen vernachlässigbar ist und ein biologischer Abbau nach mehr als 10 Tagen einsetzt (KALSCH, 1999; HAIß und KÜMMERER, 2006). Dies

lässt darauf schließen, dass ein Rückhalt und Abbau von Amidotrizoesäure in Retentionsbodenfiltern auch in weiteren Untersuchungen nicht zu erwarten ist.

Daten zur biologischen Abbaubarkeit der untersuchten Stoffe sind in KUHLMANN et al. (2010) dargestellt. Für Bisphenol A zeigt sich ein biologischer Abbau bei weniger als 10 Tagen; was einer schnellen Abbaubarkeit entspricht, Diese Darstellung steht in Übereinstimmung mit dem Abbau von Bisphenol A in aquatischen Umgebungen (KLECKA et al., 2001). Für Diclofenac wird ein Abbau von weniger als 30 Tagen angegeben, den KUHLMANN et al. (2010) als wenig abbaubar klassifizieren.

Für Retentionsbodenfilter bleibt dementsprechend zu untersuchen, ob ein biologischer Abbau geeigneter Stoffe in den Trockenphasen erreicht werden kann und somit eine Regeneration des Filtermaterials gegeben ist, oder ob die Stoffe nach Erreichen der Filterkapazität remobilisiert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stellen dementsprechend eine erste Erhebung hinsichtlich des Rückhalts von Spurenstoffen auf Retentionsbodenfilter dar und müssen durch weitere Untersuchungen ergänzt werden, um längerfristige Rückhaltegrade angeben zu können und den Rückhalte- und Abbaumechanismus zu verifizieren.

Grundsätzlich lässt sich jedoch zusammenfassen, dass ein Großteil der untersuchten Stoffe reduziert wird und die Wirkungsgrade in Bereichen liegen, die weitere Untersuchungen sinnvoll erscheinen lassen.

7.5.5 Mikrobiologische Parameter

Mikrobiologische Parameter konnten während acht Ereignissen beprobt werden. Die Ergebnisse eines Ereignisses im Jahr 2012, die als Stichprobe gezogen wurden, wurden nicht in die Auswertung in Abbildung 7.17 einbezogen, da die Analyseergebnisse nicht schlüssig waren. Die dort dargestellten Reduktionsraten für E.coli und Enterokokken liegen in dem Bereich, den WALDHOFF (2008) für Keime angibt. Dies bedeutet, dass auch nach mehreren Jahren Filterbetrieb in einer großtechnischen Anlage der Keimrückhalt wie erwartet funktioniert. Der Rückhalt für Coliphagen ist geringer, was mit dem geringeren Durchmesser von Viren gegenüber Bakterien zusammen hängen könnte. Ein Zusammenhang zwischen der Reinigungsleistung von intestinalen Enterokokken und anderen Rahmenparametern konnte nicht eindeutig festgestellt werden.

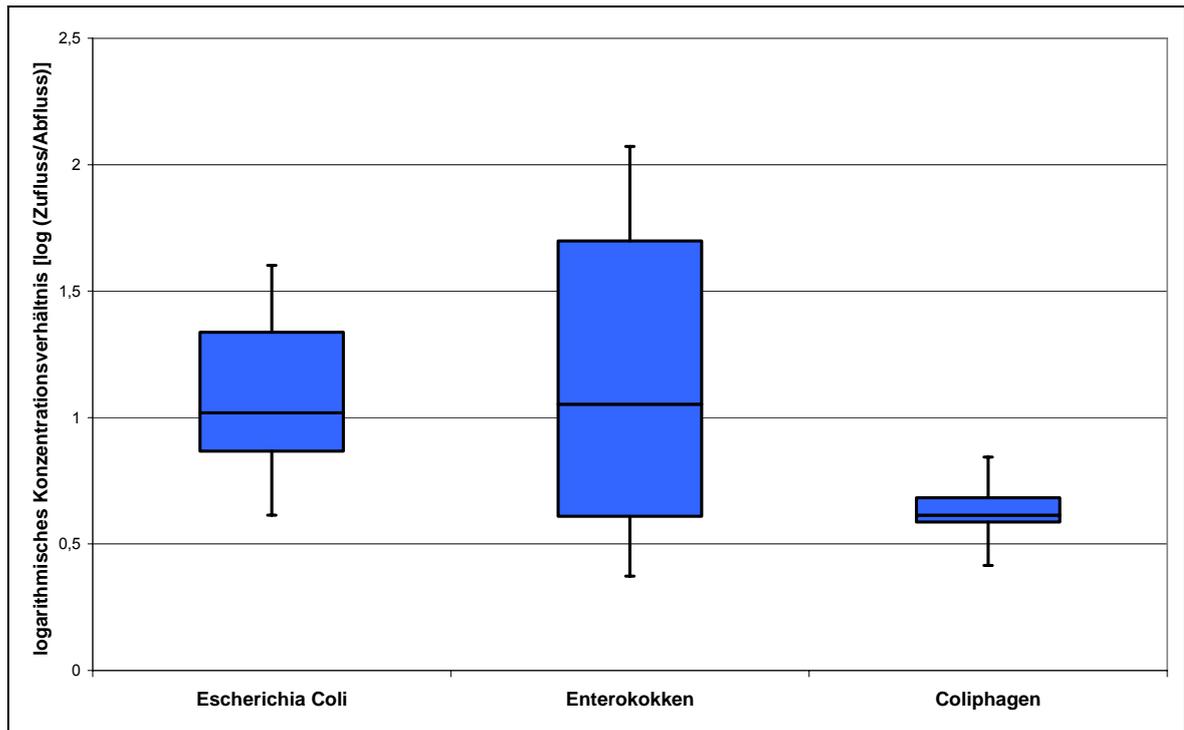


Abbildung 7.17: Rückhalt der mikrobiologischen Parameter im RBF Kenten

Tabelle 7.6: Konzentration der mikrobiologischen Parameter im Zulauf des RBF Kenten

Konzentration (n/100 mL)	Escherichia coli	Enterokokken	Coliphagen
Median	3.665.000	164.500	3.710
Minimum	1.046.000	16.100	1.296
Maximum	7.700.000	1.104.000	5.518

Die Maximalwerte im Zufluss traten, wie in Tabelle 7.6 aufgeführt, für E.coli (7,7 Mio. n/(100 ml)) und Enterokokken (1,1 Mio. n/(100 ml)) am 8.8.2011 auf. Die höchste Konzentration von Coliphagen trat am 19.9.2011 mit 20.000 n/(100 ml) auf. Es lassen sich keine Zusammenhänge zwischen der Trockenzeit und dem Keimrückhalt darstellen. Nach WALDHOFF (2008) sind die in den Filter eingetragenen Mikroorganismen nach sieben Tagen in einem Zustand, der eine Kolonisierbarkeit nicht mehr zulässt. Demnach dürfte dann kein Restaustrag aus dem Filter mehr erfolgen und der Reinigungsgrad steigen. Da jedoch nur ein Ereignis mit einer vorhergehenden Trockenphase von 6,8 Tagen (19.9.2011) und ein weiteres mit 11,3 Tagen Trockenphase (8.8.2011) beprobt werden konnte, muss die Datenmenge um diesen Zeitraum herum noch verdichtet werden, wie in Abbildung 7.18 ersichtlich.

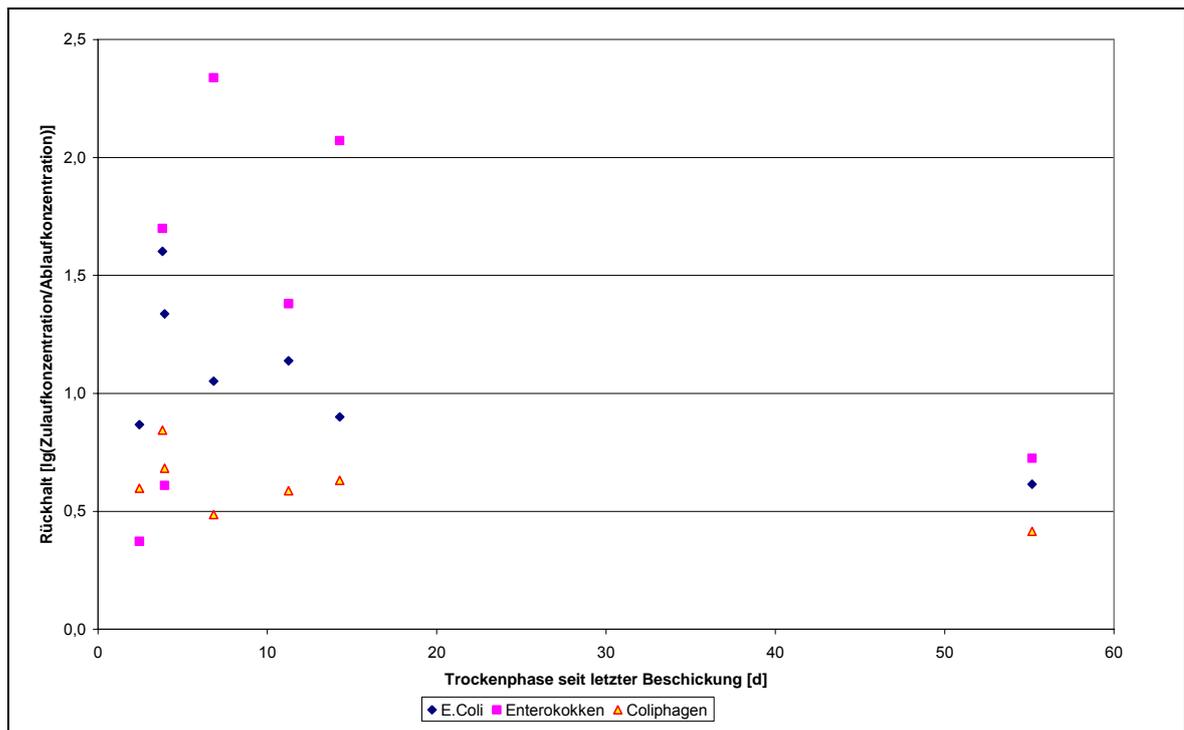


Abbildung 7.18: Zusammenhang von Rückhalt von Mikroorganismen und Trockenphase seit der letzten Beschickung, RBF Kenten

Nach dem Ereignis vom 7.12.2011 und einer Trockenphase von mehr als 52 Tagen liegt der Rückhalt für E.coli und Coliphagen bei einem Minimum, jedoch nicht für Enterokokken. Auch für lange Trockenphasen sollte die Datenlage verdichtet werden, um mögliche Abhängigkeiten zu ermitteln.

7.5.6 Pflanzenschutzmittel

Bei einer Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/l konnten die meisten der in Tabelle 6.3 beschriebenen Pflanzenschutzmittel in keinem Fall bestimmt werden. Die bestimmten Werte sind in Abbildung 7.19 aufgeführt, wobei sechs von acht analysierten Ereignissen dargestellt sind. Diuron und Metamitron konnten bei drei, MCPA bei 4 und Isoproturon sowie Mecoprop bei 5 Ereignissen bestimmt werden. In den Fällen, wo Zulauf- oder Ablaufkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, ist die halbe Bestimmungsgrenze angesetzt worden, um den Mittelwert zu bilden. Der rechnerisch gebildete Rückhaltegrad lässt darauf schließen, dass die untersuchten Pflanzenschutzmittel grundsätzlich zurück gehalten werden. Um Aussagen über Mechanismus und dauerhaften Wirkungsgrad treffen zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

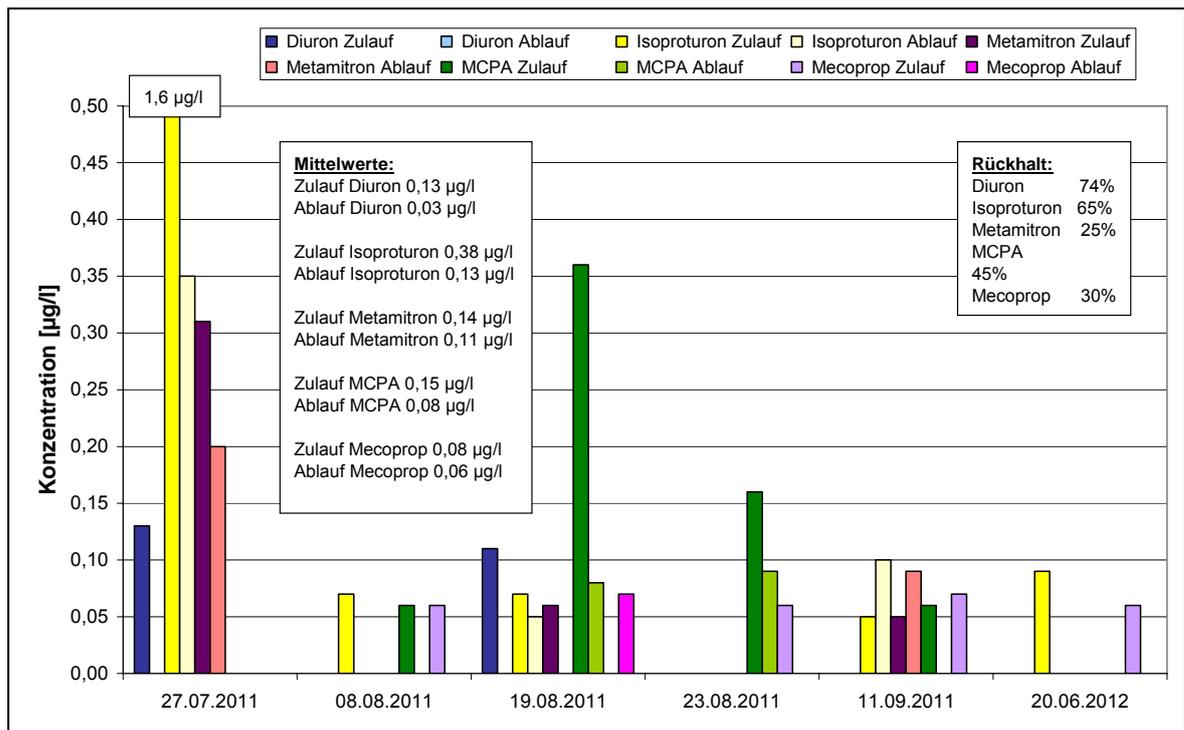


Abbildung 7.19: RBF Kanten: Konzentrationen der untersuchten Pflanzenschutzmittel, n=8

7.6 Stickstoffrückhalt

7.6.1 Retentionsbodenfilter Vanikum

Im Oktober fielen Unregelmäßigkeiten in der Kompensationsmessung der Online-Ammonium-Nitratsonden in der Anlage Vanikum auf. Die Ablaufwerte wiesen extrem hohe Werte auf, die durch zeitgleich genommene Laborproben des Chlorids im Zuge zweier Ereignisse nicht nachvollzogen werden konnten (Chlorid im Ablauf am 14.8.2011 zwischen 0,74 und 1 mg/l; am 19.8.2011 zwischen 8 und 17 mg/l). Es stellte sich heraus, dass die Sensorkartusche mit Eisenoxid belegt war. Insbesondere die Membranen waren vollständig zugesetzt, wie in Abbildung 7.20 zu sehen.

Aufgrund der Schilderung von Eisenoxidmobilisierungen bei Retentionsbodenfiltern, die im dauerhaften Teileinstau betrieben wurden (MUNLV, 2003), wurde vermutet, dass der Retentionsbodenfilter Vanikum ebenfalls im dauerhaften Teileinstau betrieben wird. Ein Nivellement der Anlage erhärtete die Vermutung.

Nach Spülung des Retentionsbodenfilters Ende November 2011 wurde seitens des Erftverbands eine Stichprobe im Ablauf gezogen worden, die einen Eisengehalt von 23,97 mg/l aufweist (Anlage 1). Wegen organisatorischer und technischer Probleme bei den Folgeereignissen am 16.12.2011 und 20.06.2012 konnten keine weiteren Proben

gezogen werden, so dass die Funktion des Filters nach Beendigung des Teileinstaus nicht überprüft werden konnte.



Abbildung 7.20: Verockerte Sonde RBF Vanikum, 23.11.2011

7.6.2 Retentionsbodenfilter Glehn

Im November 2011 wurde festgestellt, dass die Ammoniumkonzentrationen der Zulaufsonde extrem hoch sind (>1.000 mg/l), was zu einer Warnmeldung des Steuergeräts geführt hat. Zeitgleich ließ sich Algenwachstum im Zulaufbehälter beobachten. Es wurde ein Zusammenhang zwischen hohen Ammoniumkonzentrationen und dem Algenaufwuchs im Zulaufbehälter vermutet. Zur Senkung der Algenbelastung im Zulaufbehälter wurden Kupferteile eingebracht, um die Entwicklung von Algen zu mindern.

Die Vor-Ort-Kalibration der Sonden gestaltete sich schwierig, da das zur Umspülung der Sonden verwendete Frischwasser häufig so geringe Konzentrationen an Nitrat enthielt, dass diese nicht eingegeben werden konnten.

Die Ereignisse mit Messdaten sind in Tabelle 7.2 aufgeführt. Wie in Abschnitt 7.3 bereits erläutert, lässt sich jedoch nur das Ereignis vom 16.12.2011 analysieren. Die Messdaten sind in Abbildung 7.21 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Ammoniumwerte im Ablauf praktisch während des gesamten Ereignisses nicht ansteigen. Es lässt sich etwas verzögert zum festgelegten Beginn des Ereignisses ein starker Anstieg der Nitrat-Werte im Ablauf des RBF erkennen, der dann wieder absinkt. Dies steht in guter Übereinstimmung mit dem in der Literatur beschriebenen Austrag des Nitrats (vgl.

Abschnitt 2.2.2). Allerdings fehlt eine Reaktionen der anderen Parameter, so dass eine Gesamtbewertung nicht möglich ist.

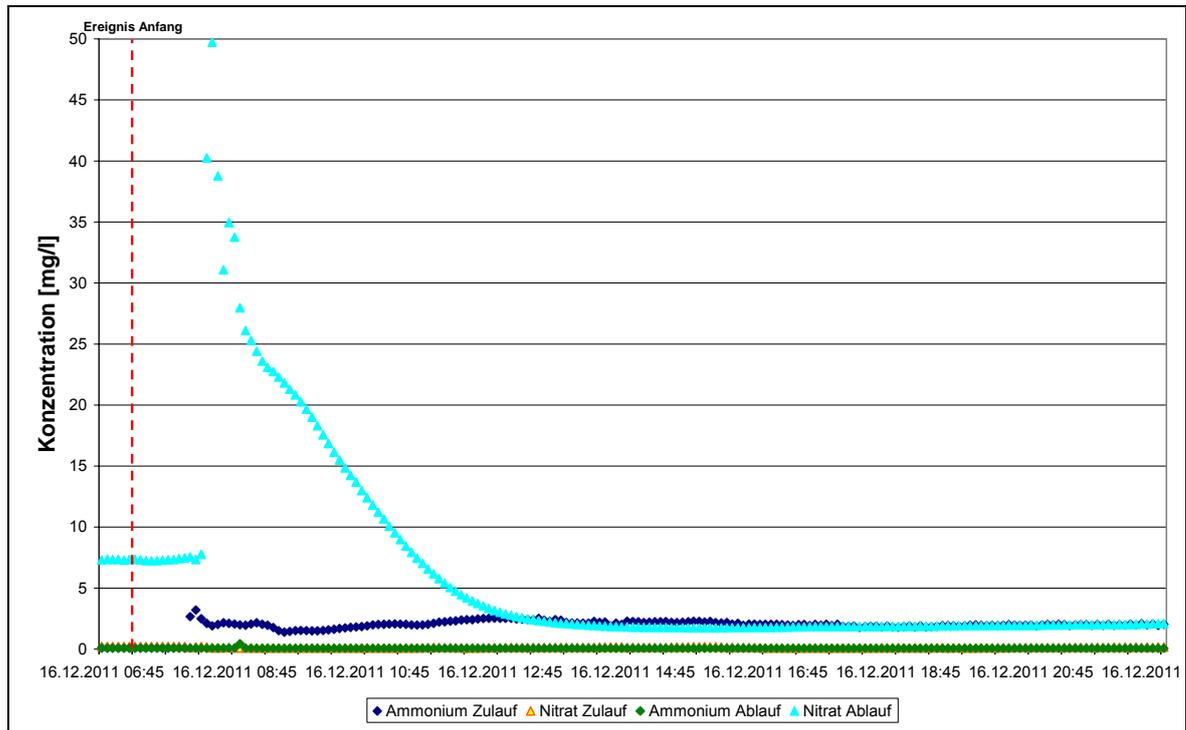


Abbildung 7.21: Auswertung der Ammonium-Nitrat-Sonden, RBF Glehn

7.6.3 Retentionsbodenfilter Kenten

Die Online-Sonden zur Messung der Ammonium- und Nitratkonzentration wurden im Oktober 2011 in Betrieb genommen. Bis zum 10.07.2012 wurden neun Ereignisse mit plausiblen Daten aufgezeichnet. Zwei weitere Aufzeichnungen wurden nicht zur Auswertung herangezogen, da zu dem Zeitpunkt bereits eine Warnmeldung zum Alter der Kartuschen auf den Onlinesonden angezeigt wurde. Auch hier stellte sich heraus, dass die Elektroden, für die der Hersteller für die Standardapplikation Belebungsbecken eine Laufzeit von einem Jahr garantiert, für diesen Einsatzfall vorzeitig altern. Neue Elektroden wurden im Mai 2012 in Betrieb genommen.

Die Ereignisse mit plausiblen Messdaten sind in Tabelle 7.7 aufgeführt. Exemplarisch ist in Abbildung 7.22 ein Ereignis aufgeführt. Die Laborwerte, die aus Proben während des gleichen Ereignisses gezogen wurden, sind als Mittelwerte in Tabelle 7.8 angegeben. Die Zulaufproben wurden über die erste Stunde und die Ablaufproben über drei Stunden gezogen (vgl. Abschnitt 6.2.1) und entsprechen in etwa dem Messbereich, den die Sonden aufgezeichnet haben. Somit ist von einer plausiblen Messung auszugehen.

Tabelle 7.7: Ereignisse RBF Kenten mit ausgewerteten Nitrat-Ammonium-Kurven

Beschickungsereignis	ca. Beginn der Beschickung/ Ende der Beschickung	Vorhergehendes Beschickungsereignis
12.-13.10.2011	12.10.2011, 16:45 Uhr/ 12.10.2011, 18:15 Uhr	08.-09.10.2011
16.-17.12.2011	16.12.2011, 8:45 Uhr/ 16.12.2011, 13:00 Uhr	12.-13.10.2011
20.-21.12.2011	20.12.2011, 16:00 Uhr/ 20.12.2011, 20:00 Uhr	16.-17.12.2011
30.12.2011	30.12.2011, 03:00 Uhr/ 30.12.2011, 07:00 Uhr	20.-21.12.2011
02.-03.01.2012	02.01.2012, 09:00 Uhr/ 02.01.2012, 13:00 Uhr	30.12.2011
05.-06.01.2012	05.01.2012, 10:30 Uhr/ 05.01.2012, 14:30 Uhr	02.-03.01.2012
20.06.2012	20.06.2012, 16:15 Uhr/ 20.06.2012, 19:15 Uhr	12.06.2012

Alle vorhandenen Auswertungen sind im Anhang 4 aufgeführt, wobei die Abszisse aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit stets auf den gleichen Zeitraum normiert ist.

Wie Abbildung 7.22 entnommen werden kann, registrieren die Sonden mit einer etwa halbstündigen Verzögerung zu Beginn des Ereignisses einen Anstieg sowohl bei der Ammonium-Konzentration im Zulauf als auch bei der Nitrat-Konzentration im Ablauf. Dies ist einheitlich für alle betrachteten Ereignisse. Zum einen kann dies daran liegen, dass die Sonden eine zeitlang benötigen, um sich auf das zufließende Medium einzustellen, da sie in Kenten zwischen den Ereignissen im Brackwasser von Anlagenzulauf bzw. -ablauf verbleiben. Eine weitere Erklärung kann darin liegen, dass die Bestimmung eines Ereignisbeginns, wie in Kapitel 5 beschrieben, von dem tatsächlichen Ereignisbeginn abweicht.

Für das exemplarisch beschriebene Ereignis vom 12.-13.10.2011 sinkt die Ammonium-Konzentration im Zulauf nach einem deutlich erkennbaren Peak von in diesem Fall 10 mg/l ab und nähert sich einem Grenzwert von ca. 6 mg/l an. Die Ammonium-Konzentration im Ablauf befindet sich auf einem niedrigeren Niveau und sinkt zunächst ebenfalls ab. Die geringste Konzentration liegt in diesem Fall bei 1 mg/l und das Minimum im Ablauf wird leicht verzögert zum Maximum im Zulauf erreicht. Der Kurvenverlauf bestätigt die von Dittmer (2006) ermittelten Sorptionsprozesse im Retentionsbodenfilter,

die einen Rückhalt von Ammonium im Filter ergeben haben. Ein erneuter Anstieg der Ablaufkonzentration, der bei allen Ereignissen zwischen 5 und 9 Stunden nach Beschickungsbeginn eintritt, deutet darauf hin, dass die Sorptionskapazität zunehmend erschöpft.

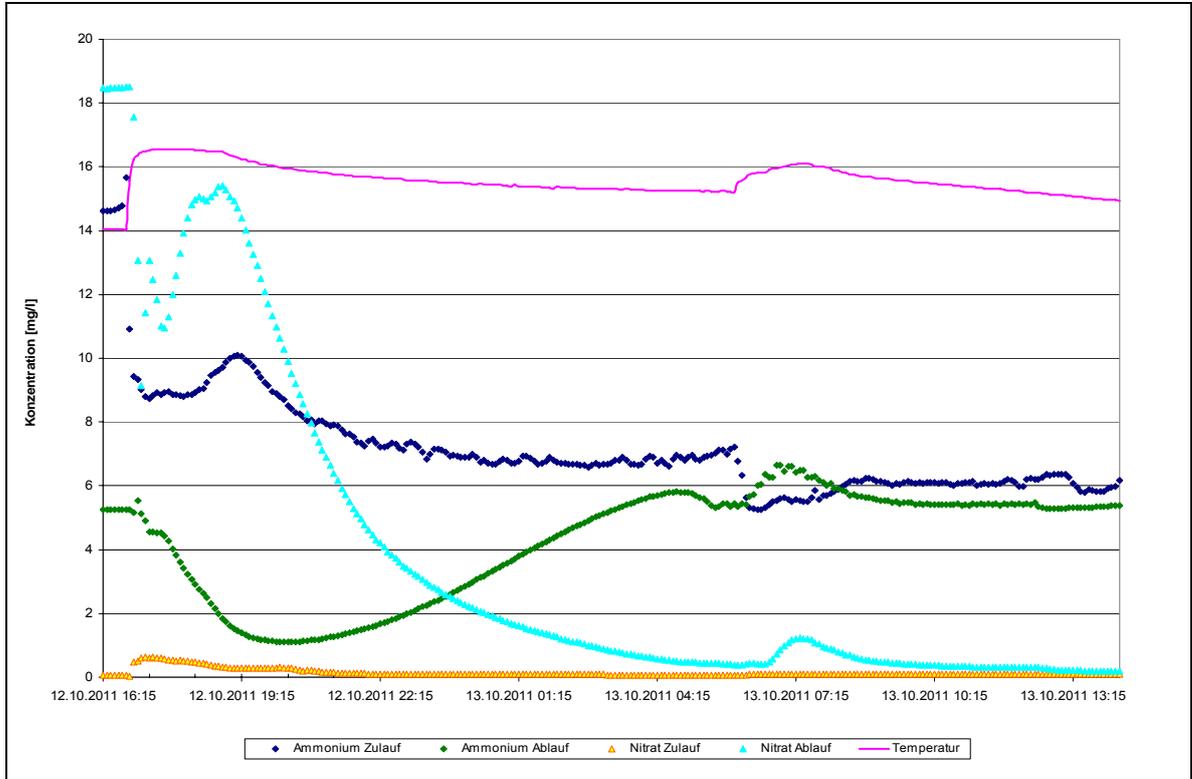


Abbildung 7.22: Auswertung der Ammonium-Nitratsonden, 12.-13.10.2011

Tabelle 7.8: Mittelwerte der im Labor analysierten Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen (Ereignis 12.-13.10.2011), RBF Kenten

	Nitratkonzentration [mg/l]	Ammonium [mg/l]
Zulauf	< 0,05	8
Ablauf	8	2

Die Nitratkonzentration im Ablauf folgt der Ammonium-Konzentration, allerdings auf einem Niveau zwischen ein und 2 mg/l. Bei allen Messungen trat nach einiger Zeit ein Sprung in der Temperaturkurve der Zulaufsonde auf, der Sprünge in den anderen Kurven nach sich zieht. Bei Auswertung der Höhenstandskurve, die den Wasserstand im Filterbett angibt, stellte sich heraus, dass die Bewegung in allen Kurven mit einem erneuten Anstieg des Höhenstands im Retentionsraum zusammen hängt, wie in Abbildung 7.23 zu sehen. Die Höhenstandsmessung ist lediglich für das Ereignis vom 20.6.2012 in auswertbarer Form verfügbar. Der erneute Anstieg des Höhenstands nach Beendigung der Beschickung

konnte nicht eindeutig geklärt werden. Es stehen jedoch vermutlich betriebliche Gründe dahinter.

Aufgrund der verkürzten Lebensdauer der Elektroden und dem vergleichsweise hohen Wartungsaufwands mit Reinigung und Kalibrierung von Elektroden und Sonden kann der Einsatz dieser Sonden derzeit nicht als Standardapplikation zur Überwachung der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfilter empfohlen werden.

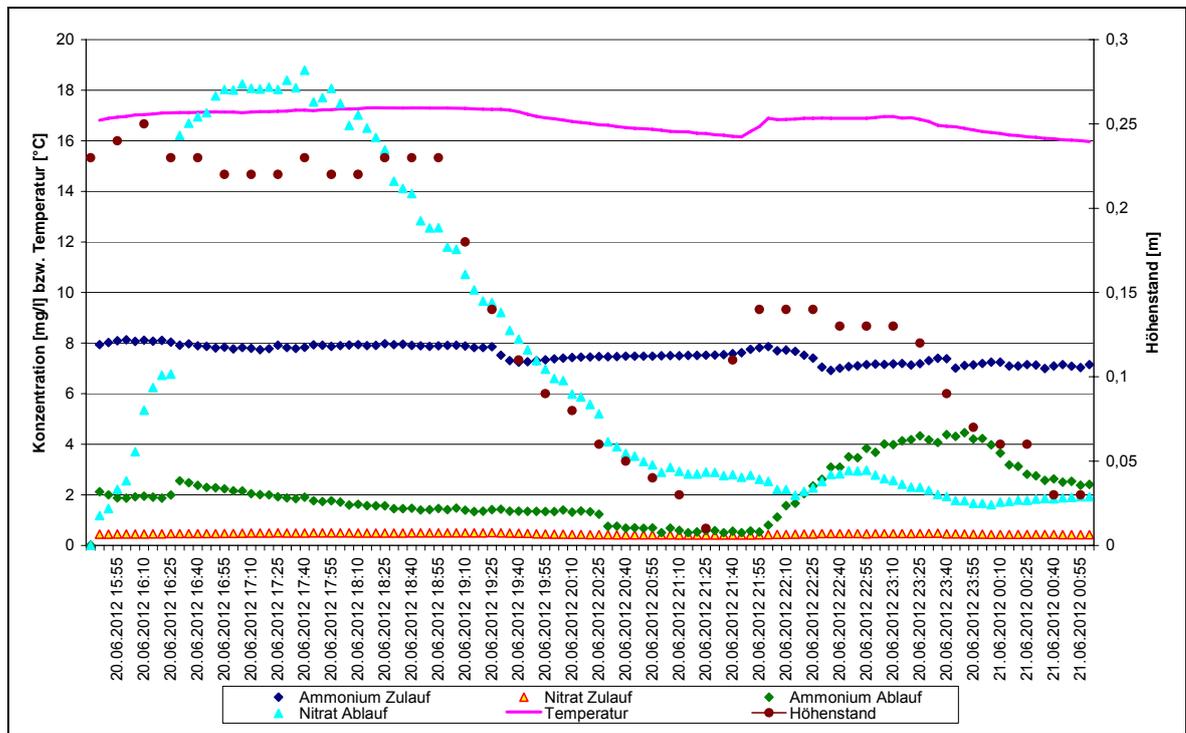


Abbildung 7.23: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden mit Höhenstandsmessung (Wasserstand im Retentionsraum des RBFs), Ereignis vom 20.06.2012

Tabelle 7.9: Mittelwerte der im Labor analysierten Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen (Ereignis 20.06.2012), RBF Kenten

	Nitratkonzentration [mg/l]	Ammonium [mg/l]
Zulauf	0,2	7
Ablauf	10	1

Die weiteren im Labor gewonnenen Werte sind in Abbildung 7.24 aufgeführt. Der durchschnittliche Rückhalt daraus ergibt sich zu durchschnittlich 88%.

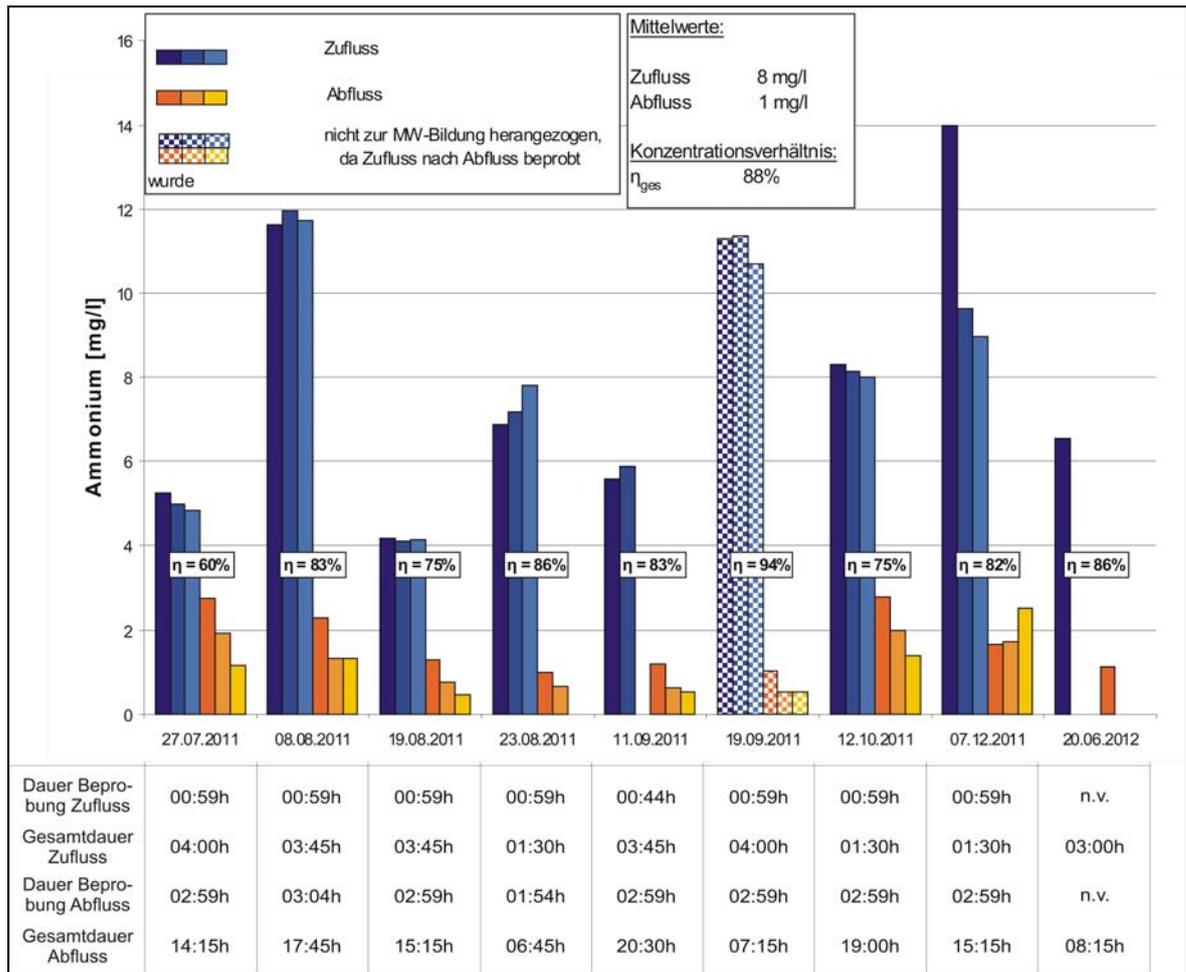


Abbildung 7.24: Rückhalt von Ammonium, RBF Kenten

8 Weitere Ergebnisse

8.1 Messtechnische Ausrüstung

Die untersuchten Retentionsbodenfilteranlagen sind in messtechnischer Hinsicht mit dem eingesetzten Standard mit vielen anderen Anlagen vergleichbar. Daher können die bei der Durchführung des FuE-Vorhabens mit der Messtechnik gemachte Erfahrungen direkt auf andere Anlagen übertragen werden.

8.1.1 Eingesetzte Messtechnik

Im Wesentlichen werden im Bereich der Regenwasserbehandlung zwei Messverfahren eingesetzt:

- Magnetisch induktive Durchflussmessungen (MID), in der Regel als Teil der Drossel-einrichtungen zur Erfassung und Steuerung der Beckenabläufe,
- Ultraschallmessungen zur Erfassung von Füllständen und Wasserspiegellagen. Diese sind im Vergleich zu hydrostatischen Messeinrichtungen langlebiger und wartungsfreundlicher (IKT 2006),

Zusätzlich wurden im Rahmen des Vorhabens die unter Kapitel 7.6 beschriebenen Online-Sonden zur kontinuierlichen Erfassung von Stickstoffparametern nachgerüstet.

Bei den untersuchten Anlagen waren an allen relevanten Stellen Höhenstandsmessungen vorhanden, sodass grundsätzlich ausreichende Informationen über sämtliche Betriebszu-stände vorliegen.

8.1.2 Erfasste und ermittelte Daten

In der Regel werden an den Anlagen folgende Betriebsdaten erfasst:

- Füllstand Vorstufe (RÜB, SK),
- Höhenstand Überfallschwelle Vorstufe,
- Höhenstand Filterbecken,
- Höhenstand Filterüberlauf,
- Höhenstand Drosselbauwerk,
- Durchfluss Drosseleinrichtung.

Daraus werden folgende Betriebsdaten rechnerisch ermittelt:

- Entlastungshäufigkeit (Anzahl Ereignisse),
- Entlastungsdauer,

- Einstaudauer Filterbecken,
- Abflussmengen (m^3/a) Entlastungen.

8.1.3 Problembereiche

In Teilbereichen wurden an den messtechnischen Installationen Randbedingungen festgestellt, die die Betriebssicherheit der Messung beeinflussen oder die Aussagekraft und Verwertbarkeit der erfassten Daten beeinträchtigen.

Messort

Bei der Höhenstandsmessung zur Erfassung von Überfallhöhen an Schwellen existiert häufig kein ausreichender Abstand der Messsonde zur Schwelle, um außerhalb des Sogbereiches des Überfalls zu bleiben. Dies ist vor allem bei großen Überfallhöhen oder beidseitig überströmten Schwellen schwer zu realisieren (vgl. auch ATV-DVWK M176, 2001).



Abbildung 8.1: Ungünstige Anordnung der Messsonde unmittelbar vor der Schwelle

Teilweise sind die Messsonden so installiert, dass eine Beeinflussung durch Störelemente, z.B. einwachsendes Schilf, auftreten kann. Dies stellt eine ständige

Unsicherheit dar und erhöht den Wartungsaufwand. Bei Außenmontagen ist auch die Problematik der direkten Sonneneinstrahlung zu beachten.

Der Messort muss so geplant und ausgebildet sein, dass die vorgesehene Messaufgabe erfüllt werden kann. Die Verwendung der Messdaten zur Herleitung weiterer Betriebsdaten führt nur zum Ziel, wenn diese bereits bei der Definition der Messaufgabe und der Planung der Messstelle berücksichtigt und die entsprechenden Randbedingungen geschaffen wurden.



Abbildung 8.2: Mögliche Störung der Höhenstandsmessung durch Schilf

Messbereiche

Häufig werden Höhenstandsmessungen in Regenbecken so eingesetzt, dass sie sämtliche Betriebsinformationen von „Becken leer“ über „Becken voll“ bis „Überfallhöhe Entlastungsschwelle“ erfassen sollen. Daraus resultieren Messbereiche von 0 bis 3 m und mehr. Bei diesen Messbereichen nimmt die Genauigkeit der Messung ab und liegt nur noch in der Größenordnung von 1,5 bis 3 cm. Wird über diese Messung dann die Überfallhöhe eines Klärüberlaufes erfasst, der in der Regel um die 10 cm beträgt, wird deutlich, welche Ungenauigkeit dieser Datenerfassung anhaftet und welche Qualität daraus errechnete Abflusswerte haben.

Dokumentation

- Häufig sind umfangreiche Unterlagen über die eingesetzte Messtechnik vorhanden; eine Zuordnung zu den einzelnen Messstellen ist teilweise aber nur schwer nachvollziehbar. Es wird eine Anlagenzeichnung mit Darstellung der Messpunkte und

Klartextbezeichnung der erfassten Daten empfohlen. Die Bezeichnungen müssen mit den Spaltenbezeichnungen der Datentabellen übereinstimmen, sonst sind Verwechslungen nicht zu vermeiden.

- Die Messungen müssen kalibriert sein. Bezugshöhen und Nullmessungen sollten klar dokumentiert sein. Eine Niveaumessung an einer Schwelle von 2,87 m Höhe über Sohle ist für Kontrollnachrechnungen unzureichend, wenn die absolute Höhe der Nullmessung und die absolute Höhe der Schwellenoberkante nicht bekannt sind. Diese sind für die Berechnung von Überfallhöhen und die in Bezugsetzung mit anderen Betriebspunkten (weitere Schwellen etc.) unerlässlich.

Herleitung von Betriebsdaten

- Häufig werden aus erfassten Höhenstandsdaten weitere Betriebsdaten, wie Überfallmengen und Entlastungsvolumen, ermittelt. Dies geschieht auch, wenn die Randbedingungen dafür nicht optimal sind und deren Auswirkungen auf die theoretische Ermittlung nicht beschrieben werden können.
- Bei langen Schwellen ab ca. 3 Metern fehlen eine zweite und gegebenenfalls weitere Messungen, um einen Mittelwert der Überfallhöhe ermitteln zu können. Auch bei Klärüberläufen ohne turbulente Strömungserscheinungen können z.B. Beeinflussungen durch Wind nicht ausgeschlossen werden. Bei kurzen Schwellen ist die Messung häufig nicht in der Mitte der Schwelle montiert, sodass Schwalleffekte zur Fehleinschätzung des Entlastungsverhaltens führen.
- Die Ausführung von Überfallkanten an Schwellen ist häufig nicht im Detail bekannt, bzw. ihre Auswirkung auf den Überfallbeiwert kann nicht genau beschrieben werden. So wird dieser Wert in der Regel geschätzt und führt zu großen Unsicherheiten beim Erreichen von Überfallmengen. So wird für die Bemessung von Schwellen, bei denen der Überfallwert nicht bekannt ist, ein Wert von $\mu = 0,5$ (DWA-A 111) angegeben. Für scharfkantige Schwellen geben die Tabellenwerke einen Überfallbeiwert in der Größenordnung von 0,63 an. Allein in dieser Schwankungsbreite liegt eine Abweichung von rund 25 %, die linear in die Berechnung der Überfallmenge durchschlägt. Eine genaue Ermittlung des Überfallbeiwertes, z.B. durch Versuchsreihen, erfolgt in der Regel nicht. Ist dies aber der Fall, stellen profilierte Entlastungsschwellen mit unter Laborbedingungen kalibrierten Kennlinien eine brauchbare Möglichkeit dar, auch bei geringen Überfallhöhen hinreichend genau die Überfallmengen zu bestimmen (s. auch Wasserstandsmessungen an Regenbecken und Stauraumkanälen, IKT 2006). In diesem Bericht wird auch auf die negativen Einflüsse von Tauchwänden auf die Messbedingungen im Anströmbereich hingewiesen.



Abbildung 8.3: Ungünstige Schwellenausbildung (vollkommener Überfall fraglich)

- Sonderformen von Schwellen, z.B. gekrümmte oder abgewinkelte Schwellenverläufe, oder die Beeinflussung von Einbauten, wie Zwischenstützen oder Siebrechen und Tauchwände, machen eine genaue theoretische Berechnung der Überfallmenge aus der Überfallhöhe nahezu unmöglich.
- Das Zeitintervall der Messdatenerfassung ist bei einem Ziel der Überfallmengenenermittlung häufig zu groß. Nimmt man als Beispiel eine Entlastungsmenge an einem Regenbecken von $2 \text{ m}^3/\text{s}$, so ergeben sich in einem Zeitintervall von 5 min bereits 600 m^3 Entlastungsvolumen, bei 15 min sogar 1.800 m^3 . Dies bewegt sich in der Größenordnung der Beckenvolumina. Das bedeutet, bei der Erfassung von Überfallhöhen mit dem Ziel der Mengenermittlung ist ein Zeitintervall von $< 1 \text{ min}$ erforderlich.

Die Frage, welche Betriebs-/Messdaten erforderlich sind, um die Funktionsfähigkeit einer Anlage zu bewerten, ist häufig nicht eindeutig geklärt und dokumentiert. An dieser Stelle fehlen Hinweise aus technischen Regelwerken und Praxiserfahrungen. Hier sollten Hinweise zu einer sinnvollen und angemessenen Anlagenüberwachung erarbeitet werden.



Abbildung 8.4: Überfallschwelle mit Siebrechen

8.1.4 Wartungsaufwand

- Der Wartungsaufwand der Ultraschallmessungen und der MID-Messung stellte sich im Rahmen des Forschungsvorhabens als unkritisch heraus. Eine regelmäßige Plausibilisierung vor allem der Höhenstandsmessungen wird empfohlen.
- Die schwierigen Randbedingungen des Einsatzes der Online-Sonden zur Erfassung der Stickstoffwerte werden im Kapitel 7.6 beschrieben. Der Wartungsaufwand dieser Geräte in dem beschriebenen Einsatzfall war extrem hoch. Teilweise waren wöchentliche Wartungsarbeiten auszuführen. Die Standzeit der Messkartuschen betrug teilweise nur 6 Monate, sodass durch den erforderlichen Austausch der Kartuschen schon während der Projektlaufzeit hohe Kosten anfielen. Der Einsatz der Sonden in einem normalen Regenbeckenbetrieb ist nicht praktikabel.

8.1.5 Fehlende Informationen über Betriebszustände

Grundsätzlich wurden über die standardmäßig installierten Messungen ausreichende Daten ermittelt, um den Betriebszustand der Anlagen bewerten zu können. Kritisch war die Beurteilung des Wasserstandes im Filtersubstrat. Der Wasserstand im Drosselbauwerk war hier nicht immer aussagekräftig genug, zumal bei der Vor-Ort-Kontrolle eine optische Bewertungshilfe fehlte. So konnte ein Teileinstau der Filterschicht am Filter Vanikum vor Ort lange Zeit nicht erkannt werden und trat erst nach den ersten qualitativen

Probenauswertungen mit erhöhten Eisengehalten im Ablauf zu Tage. Hier könnten einfache Betriebseinrichtungen wie Messlatten und Peilrohre Abhilfe schaffen.

8.2 Dokumentation Betrieb

Aus dem Forschungsvorhaben ergeben sich zahlreiche Ansätze für eine aussagekräftige und nachvollziehbare Anlagen- und Betriebsdokumentation, die sowohl den Anlagenbetreiber als auch die Aufsichtsbehörden in die Lage versetzt, den Betrieb einer Retentionsbodenfilteranlage schnell und effizient bewerten zu können.

So wird empfohlen, folgende Inhalte in eine Anlagen- und Betriebsdokumentation einer Retentionsbodenfilteranlage aufzunehmen:

- Bauwerkszeichnung mit Anlagen- und Betriebsbeschreibung (Teil der Dienst- und Betriebsanweisung),
- Anlagendatenblatt (ähnlich dem Erhebungsbogen des Erftverbandes, siehe Anhang 5),
- Bemessungsgrößen und Ergebnisse Anlagensimulation Entwurf,
- Berichtswesen Anlagenbegehung (Standardisierung),
- Quartalsbericht mit Datenauswertung; Plausibilisierung, grafische Darstellung der Betriebsdaten eines Beschickungsereignisses,
- Jahresbilanz der wasserwirtschaftlichen Kenndaten (Ereignisanzahl, Stapelhöhe), Abgleich mit Bemessungsgrößen,
- Kalibrierung von Höhenstandsmessungen (empfohlen wird eine Vor-Ort-Anzeige zur Unterstützung des Betriebspersonals bei der Inaugenscheinnahme gemäß SÜWVKan, einfache Prüfung der Höhenstandsmessung möglich),
- Anlagenzeichnung mit Darstellung der Messpunkte und Klartextbezeichnung analog zu den Tabellenköpfen der Datenlisten, die eine eindeutige Zuordnung der Daten zu den Messpunkten ermöglicht

Es wird Betreibern von mehreren Anlagen empfohlen, eine zentrale Datenauswertung und Anlagendokumentation aufzubauen, um einen einheitlichen Unterlagenaufbau und dadurch eine Vergleichbarkeit der Anlagen zu erreichen.

8.3 Betrieb

Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass aufgrund der ungewöhnlich langen Trockenphasen das Schilf teilweise starke Vertrocknungen zeigte und ebenfalls konkurrierende Pflanzen wie Brennesseln beobachtet werden konnten. Zudem wurden vor allem in Kenten im hinteren Drittel des Filters Tierbauten entdeckt, wie in Abbildung 8.5 zu sehen



Abbildung 8.5: Tierbau im RBF Kenten, Aufnahme 29.03.2012 (ISA)

Aufgrund der Erfahrungen mit dem Betrieb der drei Filter und den Problemen mit länger anhaltenden Trockenphasen und kaum eintretenden Beschickungsereignissen wurde eine Umfrage unter dem Betriebspersonal entwickelt. Der vollständige Fragebogen ist in Anhang 6 aufgeführt. Die Umfrage wurde vom Erftverband anonym unter den Mitarbeitern des Betriebs durchgeführt, die sich zum Zeitpunkt der Umfrage um die 22 in Betrieb befindlichen Retentionsbodenfilteranlagen kümmerten. Es wurden 13 Fragebogen ausgefüllt. 11 davon repräsentieren dabei die Antworten für jeweils eine Anlage; ein Fragebogen wurde zusammenfassend für insgesamt 5 Anlagen mit Schilfbewuchs ausgefüllt, ein Fragebogen wurde zusammenfassend für insgesamt 5 Anlagen mit Grasbewuchs ausgefüllt. Da die Anlagen mit Grasbewuchs den in diesem Forschungsprojekt betrachteten Anlagenarten nur teilweise entsprechen, wurde dieser Fragebogen nicht ausgewertet. Es ergeben sich damit Ergebnisse für 16 Anlagen. Die Anzahl der im Folgenden angegebenen Nennungen bezieht sich stets auf die Anzahl der Anlagen.

Alle Mitarbeiter, die sich an der Befragung beteiligt haben, sind zusätzlich für den Betrieb von Regenbecken zuständig, ein Teil (9 bzw. 8 Nennungen) ebenfalls für Kanalbauwerke bzw. Kläranlagen. Die Bedeutung der Retentionsbodenfilter im Vergleich zu den anderen von ihnen betreuten Bauwerken schätzen sie mit einem durchschnittlich 3,5 auf einer Skala

von 1 (sehr wichtig, 5 sehr unwichtig) ein. Dies entspricht in etwa der Bewertung des Arbeitsaufwand, der von einigen differenziert für Frühjahr/Sommer bzw. das Winterhalbjahr angegeben wurde: Im Frühjahr/Sommer wird der Aufwand mit durchschnittlich 3,1 (1 erheblich, 5 kaum), im Winterhalbjahr mit 3,7 eingeschätzt.

Die Unterschiede im Aufwand lassen sich durch die Begehungen der Anlagen erklären: Einige Anlagen werden im Jahresverlauf unterschiedlich häufig begangen: in der Vegetationsperiode acht Anlagen 14-tägig, im Winterhalbjahr davon fünf jedoch nur sporadisch. Sieben Anlagen werden ganzjährig einmal pro Monat begangen. Eine wöchentliche Begehung ganzjährig wurde nur einmal angegeben.

Bei den Begehungen wird der Bewuchs anhand aller abgefragten auftretenden Besonderheiten bewertet. Bei der Antwort waren Mehrfachnennungen möglich. Am häufigsten wurden „Einwuchs von Begleitpflanzen (z.B. Brennnesseln)“, „Abgeknickte Schilfpflanzen“ sowie „Kahlstellen“ (jeweils 15 Nennungen), am seltensten „Auskolkung des Bodenmaterials im Zulaufbereich“ (7 Nennungen) angekreuzt. Fünf Nennungen wurden unter „Weitere“ gemacht mit „Läusebefall“ als Kriterium für die Beurteilung des Bewuchszustandes. Bei derartigen Problemen gab es sieben Nennungen dazu, das Betriebshandbuch zu Rate zu ziehen, elf zu „Besprechung mit dem Vorgesetzten“. Bei Besprechung mit anderen Personen gab es zwölf Nennungen für eine Kontaktaufnahmen mit der zuständigen Biologin des Verbandes. Fünf Nennungen gab es zur eigenen Lösungssuche.

Ein interessanter Aspekt ist der Umgang bei Problemen mit den Schilfpflanzen bei Problemen in der Vergangenheit. Es konnten ebenfalls mehrere Antworten gegeben werden, die zu folgender Verteilung führten: Am häufigsten wird der „Betrieb im Teileinstau“ mit acht Nennungen angegeben, gefolgt von sieben Nennungen zur Bewässerung mit Brauchwasser aus der Nachklärung bzw. gar keine Maßnahmen. Fünf Nennungen gab es für die Bewässerung mit Bachwasser sowie als weitere Maßnahme einen radikalen Rückschnitt mit Mahdgutentfernung. Weitere Nennungen, die seltener als fünf Mal angekreuzt wurden, werden hier nicht aufgeführt.

Wie bereits in Kapitel 7.6.1 beschrieben, führt ein länger andauernder Einstau, z.B. zu Beginn der Wachstumsperiode im Frühjahr zu vorher nicht eindeutig zu bestimmenden Effekten wie anaeroben Zonen im Filtermaterial und einer Remobilisierung von Eisenoxid. Dies sollte jedoch verhindert werden, um einen dauerhaften und effektiven Filterbetrieb nicht zu behindern. Außerdem ist die Belüftung des Filtermaterials durch die Drainage essentiell, um die Nitrifikation des adsorbierten Ammoniums zu ermöglichen. Dies sollte den Betriebsmitarbeitern verdeutlicht werden. Der Erftverband stellt seinen Betriebsmitarbeitern derzeit eine Arbeitshilfe „Messungen und Funktionen an Retentionsbodenfiltern“ zur Verfügung (s. Anhang 7). Es wäre sinnvoll und wünschenswert, solche Betriebsanweisungen um einen allgemein verständlichen Absatz

zu den im Filterprozess stattfindenden Reinigungsprozessen zu ergänzen, der die Notwendigkeit des ordentlichen Filterbetriebs insbesondere hinsichtlich des Stickstoffabbaus verdeutlicht.

Die Ergebnisse der Umfrage stehen in Übereinstimmung mit einer Umfrage unter Betreibern aus dem Jahr 2009, die in ESSER et al. (2010) vorgestellt wird. 92% der Antworten stammten von Betreibern in NRW von 38 RBF im Mischsystem, alle Anlagen waren mit Schilf bewachsen, mindestens 62,5% davon im Dauerstau. Dies hängt mit der Beschickungen der Anlagen zusammen, die bei mehr als der Hälfte der Anlagen weniger als einmal im Monat passiert. Ein ähnliches Bild ergeben die in diesem Forschungsprojekt betrachteten Anlagen Vanikum und Glehn.

Es sollte daher geklärt werden, ob und in welchem Maße die lang andauernden Trockenphasen dem Schilf langfristig schaden. Hierzu ist weitere Forschung notwendig.

Das Betriebspersonal sollte zudem in Schulungen auf die Notwendigkeit der Trockenphasen zur Nitrifikation von Ammonium hingewiesen werden. Auch sollten die negativen Effekte eines Teileinstaus durch mögliche Rücklösungen erläutert werden. Gegebenfalls können gemeinsam mit den Mitarbeitern die anlagenspezifischen Bewässerungsstrategien überarbeitet werden.

Eine weitere Verbesserung des Problems ließe sich erzielen, wenn die derzeitige Bemessung der Filtervorstufe überdacht würde, die häufigere Ereignisse verhindert. Bei einer vollständigen Neuplanung einer Gesamtanlage (Vorstufe und Bodenfilter) gehört hierzu die korrekte Bemessung des zu erwartenden abflusswirksamen Niederschlags. Im Falle einer bestehenden Vorstufe wie z.B. eines Regenüberlaufbeckens sollten die tatsächlichen Entlastungshäufigkeiten und -mengen der zurückliegenden Jahre berücksichtigt werden.

8.4 Zusammenfassende Empfehlungen

Messeinrichtung und Datenerfassung

Bei Messungen von Wassermengen und Höhenstängen muss der Messort von Beginn an definiert und so geplant und ausgebildet sein, dass die vorgesehene Messaufgabe erfüllt werden kann. Die Verwendung der Messdaten zur Herleitung weiterer Betriebsdaten führt nur zum Ziel, wenn diese bereits bei der Definition der Messaufgabe und der Planung der Messstelle berücksichtigt und die entsprechenden Randbedingungen geschaffen wurden. Die dazu verwendeten Messeinrichtungen sollten dem Zweck entsprechend ausgewählt sein, auf Sonderbauformen ist zu verzichten.

Die Messungen müssen kalibriert sein. Bezugshöhen und Nullmessungen sollten klar dokumentiert sein.

Es wird eine Anlagenzeichnung mit Darstellung der Messpunkte und Klartextbezeichnung der erfassten Daten empfohlen. Die Bezeichnungen müssen mit den Spaltenbezeichnungen der Datentabellen übereinstimmen.

Betrieb

Ein unbeabsichtigter Teileinstau sollte durch entsprechende Messeinrichtungen (z.B. Pegellatten im Ablaufschacht) sichtbar gemacht werden.

Auf das Mittel des Teileinstaus zum Zweck der Bewässerung der Schilfpflanzen sollte verzichtet werden, bis eindeutig geklärt ist, wie lange es ohne Schäden für das Filtermaterial und die Reinigungsleistung eingesetzt werden kann. Maximal sollte es für eine Dauer eingesetzt werden, die der eines Beschickungsereignisses entspricht.

Das Betriebspersonal sollte zudem in Schulungen auf die Notwendigkeit der Trockenphasen zur Nitrifikation von Ammonium hingewiesen werden. Auch sollten die negativen Effekte eines Teileinstaus durch mögliche Rücklösungen erläutert werden. Gegebenfalls können gemeinsam mit den Mitarbeitern die anlagenspezifischen Bewässerungsstrategien überarbeitet werden.

9 Ausblick und Empfehlungen

Retentionsbodenfilter stellen einen wichtigen Beitrag zur Reinigung von Mischwasserentlastungen dar. Auch nach mehreren Betriebsjahren konnte die Reinigungsleistung hinsichtlich AFS und Stickstoffparametern an der großtechnischen Filteranlage Kenten (Bergheim) belegt werden. Für den Filter mit einer Fläche von 2.200 m² und einem Retentionsvolumen von ca. 4.200 m³ konnte bei sieben beprobten Ereignissen für AFS ein Wirkungsgrad von stets mehr als 90% erreicht, für sauerstoffzehrende Parameter wie CSB konnte eine durchschnittliche Eliminationsleistung von 80% ermittelt werden (basierend auf acht Ereignissen).

Im Hinblick auf Spurenstoffe geben diese Untersuchungen erste Anhaltspunkte, dass bestimmte Stoffe in nennenswertem Maß zurückgehalten werden. Insbesondere für Metoprolol, Diclofenac und Bisphenol A konnte bei zehn untersuchten Ereignissen ein Rückhalte-Wirkungsgrad zwischen 60 und 75% ermittelt werden. Es müssen jedoch weitere Untersuchungen zur Verlässlichkeit des Rückhalts folgen.

Für die untersuchten und nachgewiesenen Keime ergab sich bei sieben untersuchten Ereignissen ein durchschnittlicher Rückhalt für E.coli von 1,07 Log-Stufen und für Enterokokken von 1,31 Log-Stufen. Für Coliphagen lag der Rückhalt mit im Durchschnitt 0,64 Log-Stufen etwas niedriger.

Die Untersuchungen fielen in eine lang anhaltende Trockenperiode, was die Probenahmen erschwerte. Die zu Projektbeginn angenommene Aufteilung der Anlagen in schwach, optimal und stark belastet erwies sich in der Praxis als nicht zutreffend. Zudem war es wegen der geringen Probendichte nicht möglich festzustellen, welche Rahmenbedingungen sich günstig auf den Rückhalt auswirken. Bei zwei Anlagen konnte aufgrund von betrieblichen und technischen Problemen keine ausreichende Probenanzahl für eine Auswertung gewonnen werden.

An den drei untersuchten Anlagen stellte sich heraus, dass die bislang vorgeschriebenen messtechnischen Einrichtungen nur eingeschränkt zur Bilanzierung von Beschickungsereignissen geeignet sind. Insbesondere bei der Überfallschwelle messung stellen große Überfallhöhen, lange Überfallschwelle oder beidseitig überströmte Schwelle ein Problem dar. Außerdem ist es in der Regel nicht möglich, den Wasserstand im Substrat anzugeben. Dies führt dazu, dass ein dauerhafter Teileinstau unerkannt bleiben kann.

Hinsichtlich der Dokumentation des Anlagenbetriebs ergibt sich Optimierungspotential. Eine Umfrage unter den Mitarbeitern des Betriebs zur Wartung des Betriebs ergab Hinweise darauf, dass der Umgang mit langen Trockenphasen der Filter derzeit keine einheitliche Handlungsweise nach sich zieht. Häufig wird diesem mit einem Teileinstau begegnet, der jedoch bezüglich Rücklösungen von Schwermetallen negative Folgen für

den Filter haben kann und derzeit noch ohne klare Vorgaben hinsichtlich Höhe und Dauer vorgenommen wird.

Aus der einjährigen Untersuchungsphase ergeben sich folgende Empfehlungen:

- Zu Beginn der Planung eines Retentionsbodenfilters sollte festgelegt werden, welche messtechnischen Ziele verfolgt werden. Das Nachrüsten von Messtechnik im Betrieb hat in der Regel nicht optimale Lösungen zur Folge, die verhältnismäßig hohe Kosten verursachen.
- Die Dokumentation des Betriebs sollte im Sinne von Betreibern und Überwachungsbehörden vereinheitlicht und damit eine Auswertung der Betriebsdaten vereinfacht werden.
- Damit die Handhabung von Trockenphasen nicht zu Filter schädigenden Maßnahmen wie z.B. einem dauerhaften Teileinstau führen, sollten Betriebsmitarbeiter für die Funktionsweise des Filters insbesondere hinsichtlich der Stickstoffparameter und der Rücklösung von Schwermetallen sensibilisiert werden.

In weiteren Forschungsvorhaben sollten zudem weitere Fragen zur Funktionsweise der Retentionsbodenfilter geklärt werden. Dies schließt unter anderem folgende Fragestellungen ein:

- Kann ein verlässlicher Mindestrückhalt für den Parameter AFS für einen gut funktionierenden Retentionsbodenfilter definiert werden?
- Wie verlässlich erfolgt der Rückhalt von bestimmten Spurenstoffen? Folgt diesem auch ein biologischer Abbau?
- Kann eine vereinheitlichte Anlagendokumentation und -auswertung die Fernüberwachung der Funktion von Retentionsbodenfiltern ermöglichen?

Auch zukünftig werden Retentionsbodenfilter eine wichtige Rolle insbesondere in Hinblick auf die Qualitätsverbesserung der nachfolgenden Gewässer spielen. Eine Optimierung ihrer Bau- und Betriebsweise sollte daher im öffentlichen Interesse weiter verfolgt werden.

Literatur

ATV DVWK M 176 (2001): Merkblatt ATV DVWK M 176. Hinweise und Beispiele zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2001.

BISCHOFF, K., FEUERPFEL, I. (2001): Belastung von Trinkwassertalsperren und ihrem Einzugsgebiet mit Parasiten (Cryptosporidium-Oocysten und Giardia-Cysten) und ausgewählten potentiell pathogenen Bakterien als hygienisches Risiko bei der Trinkwasseraufbereitung. Umweltmedizinischer Informationsdienst, 1/2001, www.umweltbundesamt.de.

BRIX, H. (1997): Do Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water Science Technology Vol. 35, No. 5, pp. 11-17.

BRUNNER, P., ROTH, H. (2004): Planung und Gestaltung von Retentionsbodenfilteranlagen. KA - Abwasser, Abfall, Heft 51 Nr.10, S.1089-1095.

DIETER, H. (2009): Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte, Maßnahmenwerte – Definitionen und Festlegungen mit Beispielen aus dem UBA. Fortschreibung eines Vortrags zur 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft „Mikroschadstoffe in der aquatischen Umwelt“ vom 18.-20. März 2009 im EUROGRESS Aachen, Stand: Oktober 2009.

DITTMER, U. (2004): Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem, TAH-Seminar: Regenbecken und Retentionsbodenfilter, Münster.

DITTMER, U. (2006): Prozesse des Rückhaltes und Umsatzes von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen in Retentionsbodenfiltern zur Mischwasserbehandlung. Dissertation, Kaiserslautern.

DRESCHER, D., HASSELBACH, R. (2010): Pflanzenkläranlagen im Mischsystem nach dem Konzept des Entsorgungsverbands Saar. Betriebsergebnisse zur Bewertung der Leistungsfähigkeit. KA Korrespondenz Abwasser Abfall, Heft 57, Nr. 7, S. 670-675.

DWA (2005): Merkblatt DWA-M 178. Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2005.

ESSER, C., ROTH-KLEYER, S., DEBUS, T. (2010): Entwicklung läuft anders als geplant. DEGA Galabau, Band 64 (3), S.54-56, ISSN 0341-2091.

EU-BADEGEWÄSSERRICHTLINIE (2006): RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

FUCHS, S. (2003): Retentionsbodenfilter - Betriebserfahrungen/Konsequenzen. DWA Regenwassertage 15./16.10.2003, Landau.

GASPERI, J., GARNAUD, S., ROCHER, V., MOILLERON, R. (2011): Priority substances in combined sewer overflows: case study of the Paris sewer network. Water Science and Technology, 63 (5).

GROTEHUSMANN, D., KASTING, U. (2009): Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickeranlagen an Bundesfernstraßen. Forschung, Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 1024, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), ISBN 078-3-86509-946-4, Bonn.

GROTEHUSMANN, D., UHL, M., LAMBERT, B. (2013): Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Misch- und Trennsystem. Projektbericht, unveröffentlicht.

- GUMBRICHT, T. (1993): Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophytes. *Ecological Engineering* 2, S.1-30.
- HACH-LANGE (2011): Datenblatt AN-ISE sc. www.hach-lange.de (25.05.2011)
- HAGENDORF, U., BARTOCHA, W., FEUERPFIL, I., DIEHL, K., HUMMEL, A., LÓPEZ-PILA, J., SZEWZYK, R. (2002): Mikrobiologische Untersuchungen zur seuchenhygienischen Bewertung naturnaher Abwasserbehandlungsanlagen. Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Bewachsene Bodenfilter“, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, http://www.hygieneinspektoren-rlp.de/gesetze/Natur_Klaeranlagen.pdf (17.02.2011).
- HAIß, A., KÜMMERER, K. (2006): Biodegradability of the X-ray contrast compound diatrizoic acid, identification of aerobic degradation products and effects against sewage sludge micro-organisms. *Chemosphere*, 62, 294-302.
- HILLENBRANDT, T., Toussaint, D., Böhm, E. (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. Umweltbundesamt, Dessau, 2005.
- HILTMANN, W., STRIBRNY, B. (1998): Tonmineralogie und Bodenphysik. Springer-Verlag, ISBN 3-540-59465-5, Berlin Heidelberg.
- HMUELV (2011): Empfehlungen für Bemessung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen im Mischsystem in Hessen. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden 2011.
- HUBER, M., GÖBEL, A., JOSS, A., HERRMANN, N., LÖFFLER, D., MCARDELL, C., RIED, A., SIEGRIST, H., TERNES, T., VON GUNTEN, U. (2005): Oxidation of pharmaceuticals during ozonation of municipal wastewater treatment plant effluents: a pilot study. *Environmental Science and Technology* 39 (11), 4290-4299.
- IKT (2006): Wasserstandsmessungen an Regenbecken und Stauraumkanälen. Auswertung von Einstau- und Entlastungsereignissen am Beispiel des Aggerverbandes. Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT), Gelsenkirchen 2006.
- JOSS, A., ZABCZYNSKI, S., GÖBEL, A., HOFFMANN, B., LÖFFLER, D., MCARDELL, C.S., TERNES, T., THOMSEN, A., SIEGRIST, H. (2006): Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: Proposing a classification scheme. *Water Research* 40, 1686-1696.
- KALSCH, W. (1999): Biodegradation of the iodinated X-ray contrast media. *The Science of the Total Environment*, 225, 143-153.
- KISTEMANN, T., CHRISTOFFELS, E., FRANKE, C., RECHENBURG, A., WILLKOMM, M., EXNER, M. (2007): Mikrobielle Belastung der Fließgewässer aus diffusen Eintragspfaden am Beispiel der Swist (SWIST III). <http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/gewaesser.htm> (11.12.2012)
- KOENZEN/PRO AQUA GMBH (2007): Handlungsanleitung zur Ermittlung von kosteneffizientesten Maßnahmen. http://www.flussgebiete.nrw.de/Pilotprojekte/Steuerprojekt/HA_Teil_A_061208.pdf (11.12.2012).
- KUHLMANN, B., SKARK, C., ZULLEI-SEIBERT, (2010): Definition und Bewertung der trinkwasserrelevanten Chemikalien im Rahmen der REACH-Verordnung und Empfehlungen zum Screening nach potentiell kritischen Substanzen. Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamts, http://www.reach-info.de/dokumente/Trinkwasserrelevanz-FKZ_363_01_241-Langfassung.pdf (in German).
- LANUV (2012): PFT (*unter anderem: PFT-Messwerte bei kommunalen Kläranlagen (>2.000 EW) und industriellen Direktleitungen*). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, <http://www.lanuv.nrw.de/pft/start.htm> (11.12.2012).

- MARTIENSSEN, M. (2001): Leistung immobilisierter Mikroorganismen bei der Eliminierung von Umweltschadstoffen. Habilitationsschrift, Universität Halle-Wittenberg.
- MERSMANN, P. (2003): Transport- und Sorptionsverhalten der Arzneimittelwirkstoffe Carbamazepin, Clofibrinsäure, Diclofenac, Ibuprofen und Propyphenazon in der wassergesättigten und -ungesättigten Zone. PhD thesis, opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2003/609/pdf/mersmann_petra.pdf, Berlin (in German).
- MERTENS, F.M., CHRISTOFFELS, E., SCHREIBER, C., KITEMANN, T. (2012): Rückhalt von Arzneimitteln und Mikroorganismen am Beispiel des Retentionsbodenfilters Altendorf. Korrespondenz Abwasser Abfall, 59 (12) (in German).
- MEYER, D. (2011): Modelling and Simulation of Constructed Wetlands for Combined Sewer Overflow Treatment. Dissertation, ISBN 978-3-941438-87-3, Kaiserslautern.
- MKULNV (2010): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. 15. Auflage 2010, http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/abwasserbeseitigung_nrw.pdf (04.10.2012).
- MUNLV (2003): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (1. Aufl.). Düsseldorf. 233 S. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf.
- MUNLV (2004): Retentionsbodenfilter in Nordrhein-Westfalen – Dokumentation zum Stand der Technik, 11/2004.
- NOBLE, R.T., DORSEY, J.H., LEECASTER, M. OROZCO-BORBON, V. (2000): A regional survey of the microbiological water quality along the shoreline of the Southern California Bight. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 64, S. 435-447.
- ORB, R. (2012): Rückhalt hygienerelevanter Bakterien in mischwasserbeschickten Retentionsbodenfiltern – Konstruktive Hinweise.
- PINNEKAMP, J., MONTAG, D., MALMS, S. (2011): Spurenstoffe NRW – Zielsetzung und Vorgehensweise des Forschungsverbundes. 44. Essener Tagung, GWA-Band 223, ISBN 978-3-938996-29-4, Aachen.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum – Akademischer Verlag, 16. Auflage, ISBN 978-3-8274-1444-1, Heidelberg.
- SCHEYTT, T., MERSMANN, P., LINDSTÄDT, R., HEBERER, T. (2005): Determination of sorption coefficients of pharmaceutically active substances carbamazepine, diclofenac, and ibuprofen, in sandy sediments. Chemosphere 60, 245-253.
- SCHMIDT, C.K., LANGE, F.T., BRAUCH, H.-J., KÜHN, W. (2003): Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany. DVGW Water Technology Center (TZW), http://www.tzw.de/de/projekte/stoffbewertung/verhalten_von_spurenstoffen_be-366/, Germany.
- SCHWARZ, M. (2004): Mikrobielle Kolmation von abwasserdurchsickerten Bodenkörpern: Nucleinsäuren zum Nachweis von Biomasse und Bioaktivität. Schriftenreihe des ISWW Universität Karlsruhe (TH), Band 116
- STRUCK, S.D., SELVAKUMAR, A., BORST, M. (2006): Performance of Stormwater Retention Ponds in Reducing Microbial Concentrations. Washington DC: US Environmental Protection Agency.
- TERNES, T.A, STUBER, J., HERRMANN, N., MCDOWELL, D., RIED, A., KAMPMANN, M., TEISER, B. (2003): Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? Water Research 37 (8), 1976-1982.
- UHL, M., SCHMITT, G. (2007): Erstellung eines Eignungsnachweises für Filtersubstrate für Retentionsbodenfilter. Schlussbericht zur Vor- und Hauptstudie, Ministerium für

Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Az IV-9-042 261.

WALDHOFF, A. (2008): Hygienisierung von Mischwasser in Retentionsbodenfiltern (RBF). Dissertation, Kassel.

WOZNIAK, R., DITTMER, D., WELKER, A. SCHMITT, T.G. (2006): „Einsatz von optischen Sauerstoffsonden zur Untersuchung von Prozessen in Retentionsbodenfiltern“, Wasserwirtschaft und Wassertechnik (wwt), Heft 2006/4.

WELKER, A. (2007): Assessment of organic pollutants with respect to occurrence and fate in combined sewer systems and possible impacts on receiving waters. Water Science and Technology, 56 (10), 141-156.

WOZNIAK, R. (2008): Ermittlung von Belastungsgrenzen an Bodensubstraten zur weitergehenden Mischwasserbehandlung in Retentionsbodenfiltern. Dissertation, Kaiserslautern.

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.

Anhang

Anhang 1

Kenten RÜB und RBF

Filterüberlauf			RBF-Ablauf				Entlastung RÜB 2				
Durchfluß Notabschlag [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]	Durchfluß 1 RBF Ablauf [l/s]	Durchfluß 2 RBF Ablauf [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]	Niveau Überfallkante 1 [cm]	Niveau Überfallkante 2 [cm]	Entlastung RÜB 2 [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,1	11,1	10,0
0	0,0	0,0	0	0	4,5	4,0	1,01	0,55	22,2	208,9	188,0
0	0,0	0,0	0,09	8,9	21,1	19,0	6,53	4,12	395,6	430,2	387,2
0	0,0	0,0	8,89	33,39	32,7	29,4	7,29	4,57	464,9	470,2	423,2
0	0,0	0,0	29,34	32,01	31,9	28,7	7,33	4,71	475,5	494,1	444,7
0	0,0	0,0	30,55	31,79	31,9	28,7	7,7	4,96	512,7	531,1	478,0
0	0,0	0,0	30,79	31,97	32,2	29,0	8,01	5,25	549,6	564,9	508,4
0	11,4	10,3	30,88	32,49	32,6	29,3	8,31	5,44	580,3	580,0	522,0
22,82	226,1	203,5	31,15	32,72	32,8	29,5	8,27	5,47	579,7	587,9	529,1
429,47	424,7	382,2	31,19	32,82	32,6	29,3	8,46	5,54	596,2	587,9	529,1
419,88	418,8	376,9	30,81	32,29	32,3	29,1	8,32	5,42	579,7	578,1	520,3
417,62	414,8	373,3	30,81	32,29	32,3	29,1	8,28	5,41	576,5	572,1	514,9
412,03	415,0	373,5	30,79	32,37	32,3	29,1	8,24	5,31	567,7	566,7	510,1
417,99	414,8	373,3	30,92	32,19	32,2	28,9	8,26	5,26	565,8	558,3	502,5
411,64	406,7	366,1	30,73	32,14	32,1	28,9	8,1	5,18	550,8	544,9	490,4
401,84	400,3	360,3	30,87	32,13	32,1	28,9	8,06	5,03	539,0	535,0	481,5
398,77	393,2	353,8	30,95	32,13	32,1	28,9	7,88	5,08	531,0	522,8	470,5
387,54	399,7	359,7	30,85	32,09	32,1	28,9	7,72	4,97	514,5	539,8	485,9
411,83	419,7	377,7	30,73	32,05	32,0	28,8	8,2	5,31	565,2	584,8	526,4
427,6	436,9	393,2	30,63	32,03	32,0	28,8	8,49	5,64	604,5	615,5	553,9
446,18	450,3	405,3	30,52	32	32,0	28,8	8,75	5,72	626,5	637,6	573,8
454,47	455,1	409,6	30,49	32,04	32,1	28,9	8,88	5,93	648,7	649,3	584,4
455,67	455,8	410,2	30,45	32,1	32,0	28,8	8,92	5,91	650,0	647,0	582,3
455,95	454,8	409,3	30,44	31,99	31,9	28,7	8,8	5,94	644,1	649,0	584,1
453,71	448,5	403,6	30,42	31,85	31,8	28,7	8,88	6,01	653,9	645,1	580,6
443,24	435,2	391,7	30,42	31,83	31,8	28,6	8,84	5,78	636,2	625,2	562,7
427,24	418,3	376,5	30,41	31,81	31,8	28,6	8,64	5,64	614,2	595,6	536,1
409,38	400,8	360,7	30,26	31,85	31,9	28,7	8,29	5,41	577,1	552,8	497,6
392,12	379,4	341,5	30,07	31,89	31,8	28,6	7,82	5,1	528,6	502,3	452,1
366,7	358,6	322,8	30,16	31,76	31,7	28,5	7,34	4,71	476,1	468,7	421,8
350,55	352,5	317,3	30,29	31,62	31,6	28,5	7,19	4,61	461,3	459,3	413,4
354,49	354,0	318,6	29,96	31,63	31,6	28,5	7,19	4,54	457,2	452,0	406,8
353,56	350,2	315,2	29,89	31,61	31,6	28,5	7,02	4,53	446,8	444,7	400,3
346,82	340,2	306,1	30,12	31,65	31,6	28,5	6,99	4,49	442,7	426,1	383,5
333,5	335,0	301,5	30,04	31,61	31,6	28,4	6,71	4,19	409,6	416,4	374,7
336,53	337,5	303,7	29,81	31,5	31,5	28,3	6,82	4,32	423,2	424,6	382,1
338,46	326,4	293,8	29,99	31,43	31,4	28,3	6,87	4,32	426,0	401,7	361,5
314,36	307,5	276,7	29,76	31,4	31,4	28,2	6,41	3,91	377,3	364,3	327,9
300,58	283,6	255,3	29,85	31,37	31,3	28,2	6,13	3,71	351,3	328,5	295,7
266,66	263,5	237,1	30,12	31,27	31,3	28,2	5,63	3,34	305,8	298,7	268,8
260,31	255,5	230,0	30,07	31,32	31,3	28,1	5,49	3,2	291,6	286,6	257,9
250,71	253,4	228,1	29,85	31,2	31,2	28,0	5,39	3,1	281,5	290,1	261,1
256,16	246,4	221,8	30,1	31,12	31,1	28,0	5,61	3,22	298,6	276,6	249,0
236,7	236,6	212,9	29,83	31,07	31,2	28,1	5,07	2,87	254,6	258,7	232,9
236,42	247,1	222,4	29,6	31,31	31,3	28,1	5,2	2,91	262,9	276,7	249,0
257,8	248,2	223,4	29,3	31,22	31,2	28,1	5,51	3,16	290,6	277,9	250,1
238,65	236,7	213,0	29,19	31,21	31,3	28,1	5,14	3,02	265,3	260,0	234,0
234,76	229,3	206,4	29,14	31,32	31,3	28,2	5,05	2,89	254,6	246,3	221,7
223,93	220,3	198,2	29,18	31,24	31,2	28,1	4,86	2,73	238,0	236,3	212,7
216,57	209,5	188,5	28,87	31,25	31,2	28,1	4,81	2,71	234,7	222,7	200,5
202,34	199,7	179,7	28,52	31,23	31,1	28,0	4,54	2,46	210,8	207,4	186,7
197,04	201,9	181,7	28,13	31	27,7	24,9	4,43	2,42	204,0	213,3	192,0
206,82	204,1	183,7	28,01	24,32	17,6	15,8	4,72	2,54	222,6	212,2	191,0
201,42	197,2	177,4	9,8	10,81	12,2	11,0	4,42	2,38	201,8	198,1	178,3
192,88	195,1	175,6	15,8	13,64	14,9	13,4	4,32	2,31	194,3	196,7	177,1
197,41	208,6	187,8	14,8	16,22	8,1	7,3	4,4	2,34	199,2	215,3	193,8
219,84	209,6	188,7	13,99	0,07	7,2	6,5	4,8	2,65	231,4	217,3	195,6
199,39	201,2	181,1	14,21	14,39	13,4	12,1	4,49	2,34	203,2	208,3	187,5

Abbildung 1: Tabellarische Ereignisbilanzierung Kenten

Kenten RÜB und RBF

Filterüberlauf			RBF-Ablauf				Entlastung RÜB 2				
Durchfluß Notabschlag [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]	Durchfluß 1 RBF Ablauf [l/s]	Durchfluß 2 RBF Ablauf [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]	Niveau Überfallkante 1 [cm]	Niveau Überfallkante 2 [cm]	Entlastung RÜB 2 [l/s]	Mittelwert [l/s]	Intervallwert [m³/15min]
203,02	211,8	190,6	13,36	12,47	6,3	5,6	4,56	2,5	213,5	224,3	201,9
220,58	218,3	196,4	14,94	0,05	0,9	0,8	4,84	2,69	235,2	230,5	207,5
215,97	215,8	194,3	9,1	1,79	13,0	11,7	4,71	2,62	225,9	226,8	204,1
215,72	215,3	193,8	8,83	24,23	18,2	16,4	4,76	2,61	227,7	227,9	205,2
214,86	212,9	191,6	9,72	12,22	13,1	11,8	4,8	2,58	228,2	226,8	204,1
210,92	210,2	189,1	11,85	13,94	15,0	13,5	4,72	2,6	225,4	221,0	198,9
209,41	212,3	191,1	14,25	16,01	12,4	11,2	4,56	2,57	216,7	222,0	199,8
215,28	207,8	187,0	13,05	8,84	9,6	8,7	4,76	2,6	227,3	216,3	194,7
200,29	200,3	180,3	6,65	10,41	7,1	6,4	4,53	2,35	205,4	203,2	182,8
200,36	200,0	180,0	2,47	3,86	4,3	3,9	4,45	2,33	200,9	199,2	179,2
199,73	194,8	175,3	2,43	4,7	4,6	4,2	4,38	2,32	197,4	185,9	167,3
189,79	193,4	174,1	1,36	4,55	4,7	4,2	4,28	1,89	174,4	174,2	156,8
197,04	187,9	169,1	2,12	4,89	3,6	3,3	4,38	1,78	174,0	162,4	146,2
178,8	169,7	152,7	1,87	2,36	1,9	1,7	4,15	1,45	150,8	138,3	124,4
160,54	142,3	128,1	0	1,4	1,4	1,2	3,81	1,15	125,7	107,9	97,1
124,15	132,2	119,0	0	1,33	1,0	0,9	3,1	0,87	90,0	93,6	84,3
140,26	132,0	118,8	0	0,72	0,4	0,4	3,38	0,8	97,3	86,4	77,7
123,82	118,7	106,8	0	0,14	0,2	0,2	2,93	0,6	75,5	70,5	63,4
113,55	120,3	108,3	0	0,25	0,1	0,1	2,68	0,53	65,5	71,3	64,1
127,11	117,5	105,7	0	0	0,0	0,0	2,88	0,7	77,1	68,1	61,3
107,84	68,9	62,0	0	0	0,1	0,0	2,46	0,54	59,1	35,2	31,7
29,96	24,9	22,4	0	0,1	0,7	0,6	0,96	0,03	11,2	8,7	7,9
19,89	24,4	21,9	0,25	1,31	0,7	0,6	0,65	0,02	6,2	7,7	7,0
28,84	31,7	28,5	0	0	0,0	0,0	0,84	0,03	9,2	9,6	8,7
34,48	30,2	27,2	0	0	0,0	0,0	0,9	0,02	10,0	8,8	7,9
25,97	14,5	13,1	0	0	0,0	0,0	0,73	0,03	7,5	4,5	4,1
3,04	1,6	1,4	0	0	0,0	0,0	0,24	0,02	1,5	0,9	0,8
0,06	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,07	0,02	0,3	0,2	0,2
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
0	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
0,29	9,2	8,3	0,85	0,19	0,1	0,1	0,04	0,03	0,2	4,0	3,6
18,12	11,5	10,4	0	0	0,0	0,0	0,74	0,03	7,7	5,9	5,3
4,93	2,9	2,6	0	0	0,0	0,0	0,47	0,03	4,0	2,9	2,6
0,85	0,4	0,4	0	0	0,0	0,0	0,25	0,03	1,7	1,2	1,1
0,03	0,0	0,0	0,33	0,06	0,0	0,0	0,12	0,03	0,7	0,6	0,5
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,09	0,03	0,5	0,4	0,4
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,06	0,03	0,3	0,3	0,3
0	0,0	0,0	0,07	0,02	0,0	0,0	0,06	0,03	0,3	0,3	0,3
0	0,0	0,0	0,16	0,05	0,2	0,1	0,07	0,03	0,4	0,3	0,2
0	0,0	0,0	0,2	0,25	0,2	0,2	0,03	0,03	0,2	0,2	0,2
0	0,0	0,0	0,54	0,22	0,2	0,1	0,03	0,03	0,2	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0,12	0,1	0,1	0,0	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0,15	0,07	0,1	0,1	0,02	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0,13	0,2	0,1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0,2	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0,42	0,2	0,2	0,2	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0,2	0,23	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0,2	0,2	0,1	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0,11	0,1	0,0	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,1	0,1	0,1
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,1	0,0	0,0
0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,1	0,0	0,0
Summe Filterüberla	18.111,5		Summe Ablauf RBF	1.596,2		Summe KÜ RÜB 2 [m³]:	25.041,8				

Abbildung 2: Tabellarische Ereignisbilanzierung Kenten (Fortsetzung)

Entlastung Staukanal Vanikum								Drosselabfluss RBF und RRL				
Abschlags- erkennung SK [m]	h_0 gesamt [m]	h_0 Sieb- rechen [m]	Q Sieb- rechen [l/s]	h_0 Schwelle [m]	Q Schwelle [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m³/15min]	Mengen- messung Not- abschlag l/s	Durchfluß Entleerungs- pumpwerk l/s	Durchfluß Drossel- bauwerk l/s	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m³/15min]
0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
0,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
1,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
1,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
1,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0
1,08	0	0	0	0	0	247	222	0	0	0,01	0	0
1,48	0,18	0,18	493	0	0	862	776	0	0	0,02	5	5
1,63	0,33	0,23	904	0,1	327	1.193	1.074	0	10,15	0,02	15	14
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.193	1.074	0	20,06	0	20	18
1,63	0,33	0,23	904	0,1	327	1.193	1.074	0	20,05	0	20	18
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.193	1.074	0	20,01	0,01	20	18
1,63	0,33	0,23	904	0,1	327	1.270	1.143	0	20,02	0	20	18
1,64	0,34	0,23	931	0,11	377	1.232	1.109	0	20,03	0,02	20	18
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.119	1.007	0	20,02	0	20	18
1,61	0,31	0,23	849	0,08	234	1.083	975	0	20,02	0	20	18
1,61	0,31	0,23	849	0,08	234	1.119	1.007	0	20	0,02	20	18
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.119	1.007	0	20	0	25	23
1,61	0,31	0,23	849	0,08	234	1.083	975	0	20,03	10,62	36	32
1,61	0,31	0,23	849	0,08	234	1.157	1.041	0	19,98	21,39	53	47
1,63	0,33	0,23	904	0,1	327	1.193	1.074	0	20,01	43,68	70	63
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.084	976	0	20	56,11	74	66
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	1.013	912	0	19,99	51,12	64	57
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	1.013	912	0	19,99	36,57	51	46
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	980	882	0	20	25,77	41	37
1,59	0,29	0,23	794	0,06	152	980	882	0	20	16,66	35	31
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	1.084	976	0	19,99	12,37	36	32
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.156	1.040	0	20	19,35	48	43
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.156	1.040	0	20	37,26	65	58
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.156	1.040	0	20,01	52,46	76	69
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.156	1.040	0	19,99	59,8	85	76
1,62	0,32	0,23	877	0,09	279	1.084	976	0	19,99	70,11	86	77
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	980	882	0	20,02	61,54	70	63
1,59	0,29	0,23	794	0,06	152	980	882	0	19,98	39,34	53	47
1,6	0,3	0,23	822	0,07	191	980	882	0	19,99	25,73	41	36
1,59	0,29	0,23	794	0,06	152	884	796	0	20,01	15,38	31	28
1,57	0,27	0,23	740	0,04	83	768	691	0	19,99	6,95	24	21
1,55	0,25	0,23	685	0,02	29	672	605	0	19,98	0,41	20	18
1,53	0,23	0,23	630	0	0	603	542	0	19,99	0	20	18
1,51	0,21	0,21	575	0	0	548	493	0	19,99	0	20	18
1,49	0,19	0,19	520	0	0	493	444	0	19,99	0	20	18
1,47	0,17	0,17	466	0	0	425	382	0	19,99	0,02	20	18
1,44	0,14	0,14	383	0	0	342	308	0	19,98	0,03	20	18
1,41	0,11	0,11	301	0	0	247	222	0	20,02	0,02	20	18
1,37	0,07	0,07	192	0	0	123	111	0	20,03	0,01	20	18
1,32	0,02	0,02	55	0	0	27	25	0	20	0,04	20	18
1,27	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,01	20	18
1,23	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
1,18	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
1,13	0	0	0	0	0	0	0	0	19,98	0,01	20	18
1,09	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0,03	20	18

Abbildung 3: Tabellarische Ereignisbilanzierung Vanikum

Entlastung Staukanal Vanikum								Drosselabfluss RBF und RRL				
Abschlags- erkennung SK [m]	h_u gesamt [m]	h_u Sieb- rechen [m]	Q Sieb- rechen [l/s]	h_u Schwelle [m]	Q Schwelle [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m ³ /15min]	Mengen- messung Not- abschlag l/s	Durchfluß Entleerungs- pumpwerk l/s	Durchfluß Drossel- bauwerk l/s	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m ³ /15min]
1,04	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0,02	20	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	20,03	0,02	20	18
0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	19,99	0,01	20	18
0,91	0	0	0	0	0	0	0	0	19,99	0	20	18
0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	19,98	0	20	18
0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	19,94	0	20	18
0,79	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
0,74	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	19,98	0	20	18
0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	20,04	0	20	18
0,61	0	0	0	0	0	0	0	0	19,99	0	20	18
0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	19,95	0	20	18
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	20,02	0	20	18
0,44	0	0	0	0	0	0	0	0	20,05	0	20	18
0,38	0	0	0	0	0	0	0	0	19,95	0	20	18
0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	19,98	0	20	18
0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	19,95	0	20	18
0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	20,01	0	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,02	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,02	0,03	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,98	0,04	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,99	0,01	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0,02	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,96	0,02	20	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,97	0,03	11	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,02	0	0
Summe Zulauf [m ³]:							32.571	Summe Ablauf [m ³]:		1.849		

Abbildung 4: Tabellarische Ereignisbilanzierung Vanikum (Fortsetzung)

Entlastung Staukanal Glehn							Drosselabfluss RBF		Durchfluss Notabschlag RBF		
h_U SK [m]	h_U Sieb- rechen [m]	h_U Schwelle [m]	Q Siebrechen [l/s]	Q Schwelle [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m ³ /15 Min]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m ³ /15 Min]	NÜ RBF [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m ³ /15 Min]
0	0	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
0	0	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
0	0	0	0,0	0	0	0,0	9,0	8,1	0	302,7	272,5
0	0	0	0,0	0	14.206	12.785,8	38,5	34,6	605,5	761,8	685,6
0,98	0,29	0,69	990,8	27.422	27.821	25.039,1	61,0	54,9	918,1	916,1	824,5
0,96	0,29	0,67	990,8	26.239	21.331	19.198,3	63,0	56,7	914,1	892,4	803,1
0,74	0,29	0,45	990,8	14.443	8.564	7.707,4	63,5	57,1	870,6	831,7	748,5
0,35	0,29	0,06	990,8	703	1.342	1.208,2	63,5	57,2	792,8	787,5	708,8
0,29	0,29	0	990,8	0	495	445,9	63,4	57,0	782,3	749,7	674,7
0	0	0	0,0	0	222	199,9	63,0	56,7	717,1	733,7	660,3
0,13	0,13	0	444,2	0	8.923	8.030,5	63,0	56,7	750,2	814,2	732,7
0,78	0,29	0,49	990,8	16.410	10.069	9.061,9	63,6	57,2	878,1	840,5	756,4
0,4	0,29	0,11	990,8	1.745	2.405	2.164,4	64,1	57,7	802,9	800,1	720,0
0,37	0,29	0,08	990,8	1.083	1.800	1.619,6	63,8	57,4	797,2	794,1	714,7
0,34	0,29	0,05	990,8	535	848	763,5	62,9	56,6	791,1	762,9	686,6
0,05	0,05	0	170,8	0	376	338,3	62,6	56,4	734,7	746,5	671,9
0,17	0,17	0	580,8	0	5.739	5.165,3	62,1	55,9	758,4	804,2	723,8
0,64	0,29	0,35	990,8	9.907	7.197	6.477,6	62,5	56,2	850,0	829,8	746,8
0,43	0,29	0,14	990,8	2.506	1.988	1.788,9	62,8	56,5	809,6	780,3	702,3
0,14	0,14	0	478,3	0	239	215,3	63,2	56,9	751,0	725,7	653,1
0	0	0	0,0	0	1.252	1.126,7	64,4	58,0	700,3	750,6	675,5
0,39	0,29	0,1	990,8	1.513	2.393	2.153,9	63,3	57,0	800,8	799,9	719,9
0,38	0,29	0,09	990,8	1.292	1.620	1.457,7	62,1	55,9	798,9	788,4	709,6
0,28	0,28	0	956,7	0	974	876,4	62,6	56,3	778,0	780,3	702,3
0,29	0,29	0	990,8	0	803	722,6	63,2	56,9	782,7	771,3	694,1
0,18	0,18	0	615,0	0	752	676,5	63,6	57,2	759,8	768,3	691,4
0,26	0,26	0	888,3	0	2.616	2.354,7	63,6	57,2	776,7	795,8	716,3
0,46	0,29	0,17	990,8	3.354	2.859	2.573,1	62,6	56,4	815,0	802,4	722,2
0,33	0,29	0,04	990,8	383	1.534	1.380,4	61,6	55,5	789,9	791,3	712,2
0,35	0,29	0,06	990,8	703	1.291	1.162,0	62,7	56,4	792,8	784,6	706,1
0,26	0,26	0	888,3	0	564	507,4	63,1	56,8	776,3	756,8	681,1
0,07	0,07	0	239,2	0	120	107,6	63,8	57,4	737,3	725,6	653,0
0	0	0	0,0	0	51	46,1	63,2	56,9	713,9	722,4	650,2
0,03	0,03	0	102,5	0	51	46,1	62,2	55,9	731,0	719,7	647,7
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,0	56,7	708,4	703,5	633,2
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,3	57,0	698,7	689,6	620,6
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,4	57,1	680,5	684,7	616,3
0	0	0	0,0	0	0	0,0	64,1	57,7	689,0	680,1	612,1
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,1	56,8	671,2	687,5	618,8
0	0	0	0,0	0	0	0,0	61,9	55,7	703,8	703,6	633,2
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,8	56,5	703,3	696,3	626,6
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,5	56,3	689,2	685,7	617,2
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,9	56,6	682,3	677,0	609,3
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,9	56,6	671,7	669,1	602,2
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,8	56,5	666,5	662,4	596,2
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,5	57,1	658,4	654,9	589,4
0	0	0	0,0	0	0	0,0	63,3	57,0	651,4	648,6	583,7
0	0	0	0,0	0	0	0,0	62,9	56,6	645,7	642,7	578,5

Abbildung 5: Tabellarische Ereignisbilanzierung Glehn

Entlastung Staukanal Glehn							Drosselabfluss RBF		Durchfluss Notabschlag RBF		
$h_{U,SK}$ [m]	$h_{U,Sieb}$ [m]	$h_{U,Schwelle}$ [m]	Q Siebrechen [l/s]	Q Schwelle [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m³/15 Min]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m³/15 Min]	NÜ RBF [l/s]	Mittel- wert [l/s]	Intervall- wert [m³/15 Min]
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,1	56,8	639,7	636,4	572,8
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,2	56,9	633,1	630,2	567,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,3	56,9	627,3	623,9	561,5
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,3	57,0	620,5	617,5	555,7
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	56,5	614,5	612,0	550,8
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,1	56,8	609,6	605,7	545,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,2	56,9	601,9	598,5	538,6
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,9	56,6	595,1	592,6	533,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,5	57,1	590,1	586,9	528,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	57,2	583,7	580,2	522,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,4	57,1	576,7	573,2	515,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,8	57,4	569,8	567,0	510,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	57,2	564,3	561,0	504,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,2	56,9	557,7	554,4	499,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,4	57,1	551,2	548,2	493,4
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	57,2	545,2	541,8	487,6
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,6	57,2	538,4	535,6	482,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,2	56,9	532,8	529,4	476,5
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,0	56,7	526,1	523,2	470,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	56,4	520,3	516,9	465,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	61,3	55,2	513,5	510,0	459,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3	51,5	506,6	503,2	452,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,8	43,0	499,8	495,2	445,7
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4	34,5	490,7	487,3	438,6
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,2	25,3	483,9	479,7	431,8
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,4	15,7	475,6	472,4	425,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	8,6	469,3	465,9	419,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	11,1	462,5	458,1	412,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	8,9	453,7	451,2	406,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	448,7	443,3	399,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,3	438,0	433,2	389,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	8,2	428,4	426,3	383,7
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	6,2	424,3	420,6	378,6
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	417,0	412,0	370,8
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	406,9	403,4	363,1
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	400,0	396,7	357,0
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	393,3	389,6	350,6
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	385,8	382,1	343,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	8,7	378,3	373,7	336,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	8,7	369,1	365,0	328,5
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	360,9	357,0	321,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	353,0	350,3	315,2
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	347,6	342,8	308,5
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	338,0	334,4	300,9
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	330,8	307,9	277,1
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	284,9	147,0	132,3
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	9,1	4,5	4,1
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
Summe:						117.400,8	3.968,6	50.637,6			

Abbildung 6: Tabellarische Ereignisbilanzierung Glehn (Fortsetzung)

Anhang 2

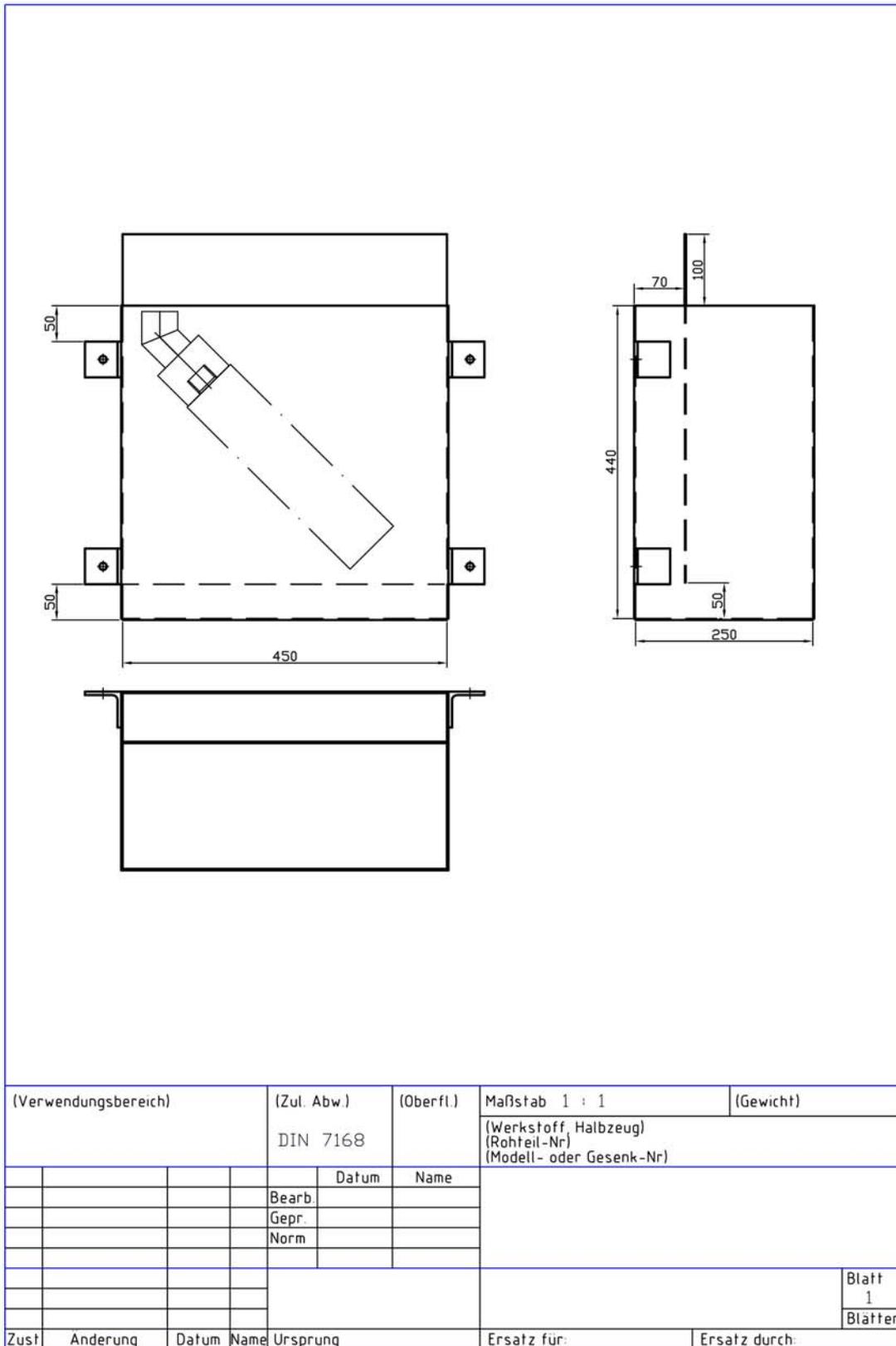


Abbildung 7: Technische Zeichnung Probenahmetopf

Anhang 2

$h_N \leq 0,1$ mm:

$h_N < T_n = 1$ a:

1 a $< h_N < 5$ a:

5 a $< h_N < 20$ a:

$h_N > 20$ a:



Statistische Einordnung der Tagessummen gemäß KOSTRA DWD 2000, bezogen auf Bergheim

Station	Juli 2011																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	7,3	0,1	0	0	0	0,3	0	0	4,9	0,1	0	0,2	0,8	0,7	0	12	5,8	0,3	3,1	2,6	18	0	0,4	19	1,6	0,3	5	3,6	0	0,2	0
Rommerskirchen	5,7	0	0	0	0	0,2	0	0,1	3,4	0,1	0	0,2	0,5	1,1	0	14	5,4	0	1,5	0,1	1,4	0	0,1	24	0,1	0,2	16	5,9	0	0	0,1
Glehn	4,9	0	0	0	0	0,1	0	0	3,6	0	0	11	0,9	2,6	0	12	4	0,1	0,4	1,3	1,1	0,2	0	18	0,8	0,1	17	2	0	0	0
Bedburg	5,7	0	0	0	0	0,2	0	0	1,7	0,1	0	0,1	0,6	1,3	0	7,3	5,7	0	1,6	0,5	0,6	0	0,4	18	0,5	0,1	16	5,9	0	0,7	0
Bergheim	4,3	0	0	0	0	0,2	0	0	2,7	0,1	0	0,3	0,6	0,6	0	7,4	5,5	0	3,8	3	0,7	0	0,9	18	0,3	0,5	31	3,7	0	0,1	0
Haus Forst	7,9	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,1	0	0,1	1,9	0,4	0	2,8	4	0,3	1,3	0,2	0	0	0,3	11	0,3	0,2	6,1	2,2	0	0,2	0
Kenten	3,6	0	0	0	0	0,2	0	0,2	2,2	0	0	0,5	0,2	0,4	0	7,3	5	0	5,5	3,2	0,6	0	4,9	18	0,1	0,2	21	0,5	0	0	0
Kerpen	2,6	0	0	0	0	0,7	0	0	0,7	0	0	0	1,2	0,2	0	4,3	4,7	1	6,9	0,2	0	0	0,2	16	0,1	0,2	16	13	0	0,2	0

Station	August 2011																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	0	0	2,9	10	0	17	0,4	11	2,4	0	0	4	2,5	17	0	1,3	0	37	29	0	2,2	0	7,5	0	1,1	12	10	0,3	0	0	0
Rommerskirchen	0	0	1,9	8,3	0	15	0,5	7,5	10	0	0,2	2,6	2,8	19	0	1,2	0	22	35	0	1,9	1,3	6,7	0	1,4	13	6,4	0	0	0	0
Glehn	0	0	0,7	2,8	0	6,6	0,3	4,8	2,1	0	0,5	0	2,2	14	0	0,3	0	16	3	0	0,6	2	6,3	0	0,3	7,7	10	0	0,1	0	0
Bedburg	0	0	3,2	8	0	21	0,3	6,5	2,7	0	0,1	3,2	3,5	15	0	1,4	0	22	16	0	1,9	1,9	7,7	0	0,6	13	8,2	0,1	0	0	0
Bergheim	0	0	4,2	12	0	16	0,3	9,1	3,5	0	0	0,8	2	22	0	1,1	0	47	16	0	2	1,5	8,1	0	1	12	12	0,2	0	0	0
Haus Forst	0	0	6,9	3	0	8,5	0,6	11	10	0	0	2	0,8	19	0	0,6	0,7	23	17	0	1	0,1	9,8	0,1	1,6	12	15	0	0	0	0
Kenten	0	0	4,2	4,4	0	16	0,6	9,2	4,3	0	0	1	1,5	22	0	1	0	38	13	0	1,9	0,7	8,6	0	1	9,3	12	1	0	0	0
Kerpen	0	0	6,1	2,8	0	3,9	0,7	7,9	13	0	0	1,7	0,9	21	0	0,7	0,7	12	17	0	1,1	0,1	10	0,1	0,3	9,1	16	0	0	0	0

	September 2011																													
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Auenheim	0	0	0	1,6	0	2,3	2,3	4,3	0,2	0	6,8	0	0	0	0	0	1,1	4,2	5,9	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0
Rommerskirchen	0	0	0	1,8	0	2,1	2,5	3,6	0,1	0	5,4	0	0	0	0	0	1,1	4,7	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Glehn	0	0	0,2	4,4	0	4,8	4,8	3,5	0	0	2,7	0	0	0	0	0	0,1	3,3	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bedburg	0	0	0	2,7	0	2	3,1	4,5	0,1	0	4,6	0	0	0	0	0	0,6	3,9	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bergheim	0	0	0	1,5	0	1,9	2,6	4,2	0,4	0	6,4	0	0	0	0	0	1,6	5	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Haus Forst	0	0	0	2,5	0	0,9	2,1	6,2	0,5	0	5,9	0	0	0	0	0	1,1	5,7	4,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kenten	0	0	0	1,3	0	1,5	2,8	4,9	0,5	0	7,9	0	0	0	0	0	1,3	5,3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kerpen	0	0	0	1,2	0	0,9	2,3	6,4	0,6	0	8	0	0	0	0	0,1	1,1	6,4	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

	Oktober 2011																														
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	0,1	0,1	0,1	0	0,1	6,8	7,6	7,5	4,2	0,5	0,2	15	0	0	0	0	0	1,9	0,3	0	0,1	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0
Rommerskirchen	0	0	0	0	0	6,9	5	4,2	3,9	0,1	0,1	19	0	0	0	0	0	2	0,5	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0
Glehn	0	0	0	0,1	0,1	6,2	10	4,9	4,7	0,4	0,9	15	0	0	0	0	0	3,5	2	0,1	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0,1	0	0
Bedburg	0	0	0	0	0	6,9	8,2	11	4,1	0,4	0,3	16	0	0	0	0	0	3,1	0,3	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0,1	0	0
Bergheim	0	0	0	0	0,1	6,6	6,5	8,1	3,7	0,1	0	17	0	0	0	0	0	2,1	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0
Haus Forst	0	0	0	0	0,1	3,7	7,1	6	3	0,1	0,1	17	0	0	0	0	0	1,8	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0
Kenten	0	0	0	0	0	6	6,1	8,7	3,1	0	0	18	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0
Kerpen	0	0	0	0	0	3,5	7,2	9,8	2,5	0,1	0	16	0	0	0	0	0	1,3	0,8	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0	0	0,14	0

	November 2011																													
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Auenheim	2	0,1	2,5	0,8	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,3	0	0,4	0,1	0,2	0
Rommerskirchen	2,1	0	2	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,3	0	0,6	0	0,1	0
Glehn	0,6	0,1	0,8	1,9	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0,1	0	0,4	0

Bedburg	1,6	0	2,6	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,1	0,3	0	0,4	0	0,1	0
Bergheim	1,6	0,1	1,7	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0,2	0	0,1	0	
Haus Forst	0,7	0	0,8	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,3	0	0,1	0	
Kenten	1,2	0	2,3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0,4	0	0,1	0	
Kerpen	0,5	0	0,9	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	

	Dezember 2011																														
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	4,7	2,1	3,4	3,1	5,4	2,6	3,8	0,9	6,7	0	0	3,5	2,8	3,6	0,1	24	1,5	4,7	1	14	0	10	0,5	2,5	0,1	0,3	0	0,5	10	2,9	9,5
Rommerskirchen	4,8	2,6	4,1	3,9	4,8	2,4	2,2	1,4	5,1	0	0	4,3	3,5	3,7	0	23	1,1	4,4	0,5	13	0,3	10	0,5	2,7	0	0,2	0	0,5	14	3,8	9,3
Glehn	5	2,7	4,1	0,3	8,4	2,9	4,3	1,2	6,5	0	0	3,5	13	2,2	0,1	22	1,9	4,5	1,5	10	0	9,5	0,5	3,5	0,1	0,8	0	0,3	9,1	4,2	8,5
Bedburg	4,6	2,4	4,1	3,4	5,2	2,5	5,8	1,3	8	0	0	5,8	3,6	3,5	0	19	1,1	4,2	0,2	7,5	0,1	6,8	0,2	2,9	0,2	0,2	0	0,4	12	3	8,4
Bergheim	4,9	1,6	3	2,5	2,6	2,2	7,2	0,6	9,6	0	0	3,6	2,9	3,8	0	23	1,1	4,3	0	7,1	0,2	8,9	0,4	3,1	0,1	0	0	0,2	8,7	2,4	7,8
Haus Forst	2,3	2,7	3,3	4,5	1	1,6	3,9	0,4	7,3	0	0	4,4	3,6	3,3	0	18	1,7	2,4	0	2,9	0,2	6,8	0,4	3,9	0	0	0	0,3	4,3	2,5	6,8
Kenten	3,8	1,8	2,4	2,5	1,8	1,4	8,4	0,6	6,8	0	0	3,5	3,8	3,9	0	19	1,1	4,9	0	7	0,2	8,2	0,1	2,4	0,1	0	0	0,5	8,2	1,3	7,7
Kerpen	2,1	1,6	2,6	4	1,4	1,8	5,4	0,2	6,7	0	0	5,4	3,2	2,7	0	18	1,3	5,4	0	6,3	0,6	9,1	0,2	2,7	0,1	0	0	0,2	4,8	5	6,9

	Januar 2012																														
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	1,7	5,9	3,2	0,9	12	0,6	7	4,1	2,5	0	0	1,8	0,4	0	0,1	0	0,1	1,4	14	7,6	10	2,2	2,8	0	0	0,8	0,1	0	0,6	0,1	0
Rommerskirchen	1,4	5,5	3,2	0,9	17	0,1	4	6,9	1,9	0	0	2,6	0,2	0	0	0,1	0	1,8	14	5,9	9,3	1,3	3,6	0	0	0,6	0	0	0,3	0	0
Glehn	1,7	5,9	3,2	1,7	21	0,1	5,8	5,7	2,1	0	0	0,7	0,2	0	0	0	0	2,4	17	6,3	9,3	1,5	2,5	0	0	0,8	0	0	0,4	0,3	0
Bedburg	1,9	4,9	3,1	1,8	15	1,4	4,8	1,5	2,6	0	0	2,4	0,9	0	0	0	0	0,8	16	8,5	10	2	4,5	0,3	0	0,9	0	0	0,6	0,1	0
Bergheim	1,7	5	2,6	0,9	13	1,4	4,4	1,6	2,8	0	0	2,1	0,8	0	0	0	0	1,1	13	3,6	9,2	1,3	5,5	0,2	0	0,5	0	0	0,5	0	0
Haus Forst	1,6	6,2	3,1	2,8	17	2,1	4,5	2,3	1,4	0	0	1,1	0,2	0	0	0	0	1	13	2,8	8,1	1,3	2,8	0,5	0	0,7	0	0	0,4	0,3	0
Kenten	1,9	5,4	2,5	0,6	12	1,1	3,9	1,6	2,7	0	0	1,7	0,9	0	0	0	0	1,4	14	3,2	7,4	1,1	5,5	0,6	0	0,4	0	0	0,4	0	0
Kerpen	1,7	5,5	1,8	0,5	13	2	5,7	1,7	2,2	0	0	1,1	0,8	0	0	0	0	1,6	11	3,3	7	0,9	4,6	1,3	0	0,5	0	0	0,1	0	0

	Februar 2012																														
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Auenheim	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,9	4,9	3	1,7	2,9	0,5	2,5	0	0	0,1	0,2	2,7	0	0,9	0	0,2	0,1		

Anhang 3

		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ca	Mg	Na	Fe
40098 BW Reinstwasser 1	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005
40099 BW Reinstwasser 2	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005
40100 BW Reinstwasser 3	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005
40101 PN-Behälter Glas 1	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	0,0168	<0,005
40102 PN-Behälter Glas 2	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	0,0139	<0,005
40103 PN-Behälter Glas 3	mg/l	<0,001	<0,001	0,0018	<0,001	<0,001	<0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005
40104 PN-Behälter Edelstahl 1	mg/l	<0,001	0,001	<0,001	0,00526	<0,001	<0,005	0,0963	<0,01	<0,01	0,0242
40105 PN-Behälter Edelstahl 2	mg/l	<0,001	<0,001	0,0011	0,00812	0,00136	0,024	0,1869	0,0136	<0,01	<0,005
40106 PN-Behälter Edelstahl 3	mg/l	<0,001	<0,001	0,0012	0,00335	<0,001	0,018	0,269	0,0203	0,102	0,028

Anhang 4

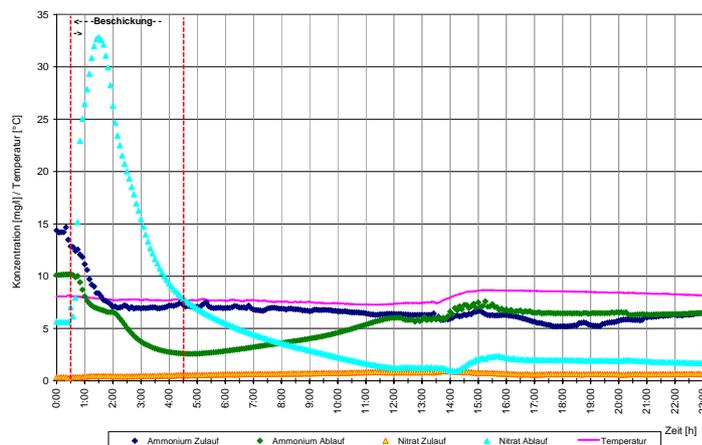


Abbildung 8: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden Kenten, Ereignis vom 16.12.2011

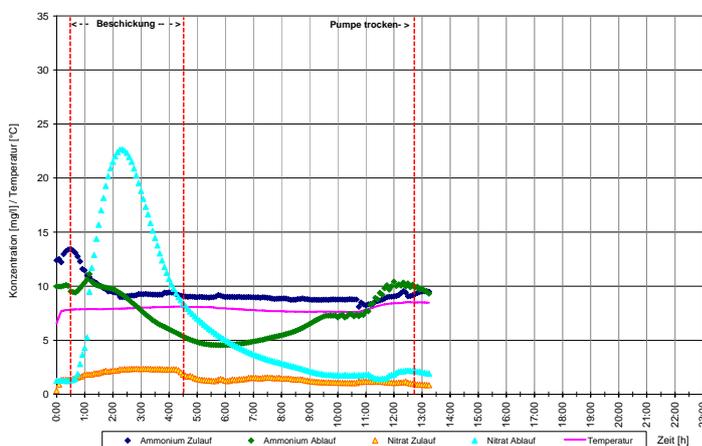


Abbildung 9: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden Kenten, Ereignis vom 20.12.2011

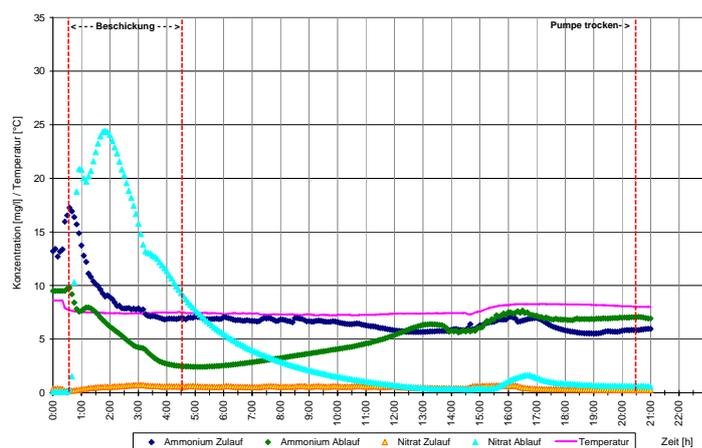


Abbildung 10: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden Kenten, Ereignis vom 30.12.2011

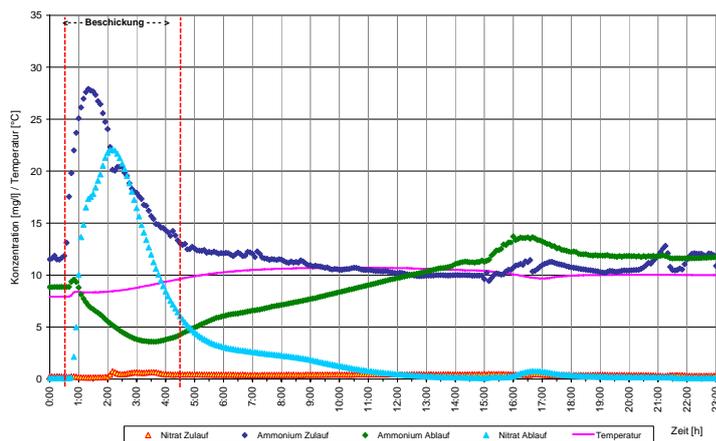


Abbildung 11: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden Kenten, Ereignis vom 02.01.2012

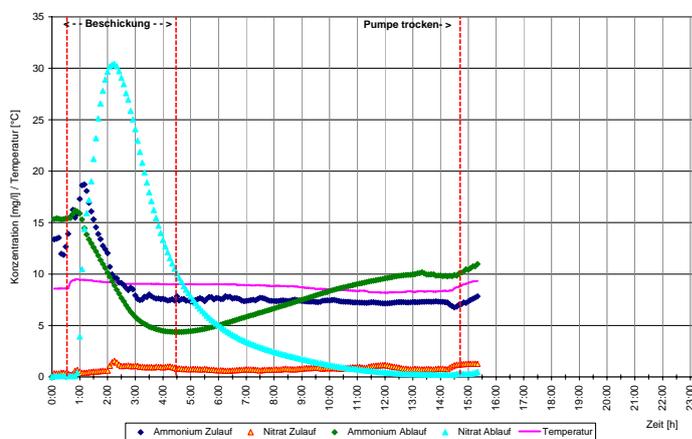


Abbildung 12: Auswertung Nitrat-Ammonium-Sonden Kenten, Ereignis vom 05.01.2012

Anhang 5

<u>Erhebungsbogen RBF</u>		Filtername / Nr.: RBF Kenten (218)		Baujahr: 2005					
Eigentümer: Erftverband, Bergheim		Betreiber: Erftverband, Bergheim							
Mischsystem (M):	X	Trennsystem (T):		Straße (S):					
Lage des RBF Rechts-/ Hochwert:	RW: 2 546 327		HW: 5 645 218						
PLZ / Ort / Bundesland	50126 Bergheim - NRW								
Einleitgewässer	Erft								
Gewässerschutzveranlassung	AFS	CSB	NH ₄	P	Metalle	Keime	Keine		
Sonstige Veranlassung: Mischungsverhältnis Entlastung SW : NW << 1 : 7 (s.u);									
Entlastungsschwerpunkt; 70 % Förderung									
Behördliche Auflage	Ja		Nein X						
Direktes Einzugsgebiet:									
A _{ges} :	0 ha	A _{red} :	0 ha	A _u :	0 ha	hN: 700 mm/a			
Außengebietseinfluss	Ja		Nein X		Erschließungsgrad 95 %				
<u>Angaben zur Vorbehandlung (Bemessungs- / Planungsgrößen)</u>									
Mischsystem									
Beckentyp	Volumen	FB	m ³	DB	3.600 m ³	SKU	m ³	SKO	m ³
Aktivierbares Kanalvolumen			m ³		600 m ³		m ³		m ³
Vorentlastungen im System vorhanden?		Anzahl	38	Qm Zulauf RBF aus Vorentlastung: 600 l/s					
Volumenströme		Q _s	140 l/s	Q _f	20 l/s	Q ₀	1.200 l/s	Q _{Dr}	621 l/s
Beschickungshäufigkeit (mittl. Anzahl je Jahr):				rd. 100					
Entlastungshäufigkeit (mittl. Anzahl je Jahr):				50		Entlastungsrate (e _o): 35 %			
Sedimenträumung:		Kontinuierlich/automatisch X			Nach Bedarf/händisch				

Filter			
Σ Filter-Fläche: 2.470 m ²	Einbeetig	Mehrbeetig (und Anzahl)	2
Σ Volumen (ohne RRL): 4.194 m ³	(max.) Einstauhöhe (ggfls. ohne RRL): 1,50 m		
Σ Volumen (mit RRL):	m ³	(max.) Einstauhöhe (ggfls. mit RRL):	m
Beschickung durch	KÜ X	BÜ	X
Zulaufmenge aus Vorstufe:	Q _{max} : 600 l/s	Q:	105.000 m ³ /a
Regenrückhaltelamelle (RRL) integriert: (ja/nein):	Nein	Q _{ab} aus RRL:	l/s
Zulaufgestaltung	Zulaufschwelle und zusätzlich über die gesamte Breite eine Gabionenreihe		
Art der Dränablaufsteuerung	über Pumpen und IDM		
Dränablaufdrosselung	nein	Ja X (60 l/s)	auf 0,025 l/s*m ²
Filterüberlauf vorgeschaltet	Ja X	nein	
Art der Bepflanzung	Schilf		
Filteraufbau	Höhe in m	Art	Körnung in mm von / bis
Deckschicht	-	keine	
Filterschicht	0,75	Sand	0,06 bis 2
Dränschicht	0,25	Kies	2 bis 8
Wasserspeicher	-		
Dränsystem	DN 150		Gefälle: kein
Wurzelschutz Dränsystem	Vorhanden		Nicht vorhanden X
Dichtung	Folie X	Bentonit	Sonstiges:
Messgeräte; EMSR	Zu- u. Ablaufmessungen; BDS (s.u.)		
Kosten gesamt (ohne Grunderwerb, EMSR, Ing. Honorar, MwSt, etc.)	0,700	Mio Euro	
Kosten gesamt (mit Grunderwerb, EMSR, Ing. Honorar, MwSt, etc.)	0,950	Mio Euro	
Besonderheiten: Zu- u. Ablaufmessung: Q, pH, Leitfähigkeit; automatische Probenehmer;			
Der Zulauf zur Vorstufe (RÜB) ist komplett vorentlastet, somit kein direktes Einzugsgebiet und das Mischungsverhältnis entsprechend ungünstig.			
BDS = Betriebsdatenerfassungs- u. Störmeldesystem (alle Messdaten automatisch nach Bergheim)			
IST- Situation / Betrieb / Wartung / Besonderheiten / Probleme			
Gibt es einen Unterschied zwischen Sommer und Winterbetrieb? Nein			
Gibt es Probleme mit der Filtervegetation (z.B. starker Unkrautwuchs, etc.)? Nein			
Betrieb mit Teileinstau?	Nein	Wenn ja, wie hoch wird angestaut:	cm
Kolmation erkennbar und wenn ja, warum: siehe unten			
Fremdwassermenge:	0 l/s	Fehlanschlüsse vorhanden?	Nein
tatsächl. Beschickungshäufigkeit je Jahr:	20-25	tatsächl. Überstauhäufigkeit je Jahr:	rd. 15
Anzahl Proben: 45	Reinigungsleistung in % für	CSB: 77 BSB ₅ : 89 P _{ges} : 56 TKN: 80	
	Ablaufkonzentration in mg/l für	CSB: 28 BSB ₅ : 5 P _{ges} : 1,0 TKN: 2,8	
Betriebskosten (ohne Abschreibung; Zinsen):		8.000	Euro / Jahr
Sonstige Besonderheiten (Probleme): in der Anfahrphase bestand ein Problem bzgl. Kolmation (Biofilmmolmation). Erst als der Fehler in der Steuerung der Entleerung des RBF erkannt wurde (Filter wurde nicht in Gänze leer gepumpt, sondern nur bis ca. Mitte Filtersand, so dass er sich nicht belüften konnte), lief der Betrieb ordnungsgemäß.			

Anhang 6

F&E-Projekt Betriebsoptimierung von Retentionsbodenfiltern im Mischsystem
Projektpartner: ISA der RWTH Aachen, Tuttahs&Meyer, Erftverband

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen so genau wie möglich. Wenn keine Antwortmöglichkeit passt, nutzen Sie den freien Platz darunter.

Aus Ihren Antworten können keine Rückschlüsse auf die einzelnen Bodenfilter gezogen werden. Sie helfen jedoch, die Betriebsweise von Bodenfiltern zu verbessern.

Bitte reichen Sie diesen Fragebogen bis Ende Mai 2012 an Herrn Dahmen zurück.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wie häufig kontrollieren Sie den Bewuchs der Bodenfilter in Ihrem Zuständigkeitsgebiet?

- Einmal im Monat
- Einmal im Quartal
- Halbjährlich
- Häufiger (bitte Häufigkeit angeben):
- Seltener (bitte Häufigkeit angeben):

Führen Sie diese Aufgabe selbst durch?

- Ja
- Nein, Delegation an (bitte Aufgabenbereich desjenigen nennen):

Wonach beurteilen Sie den Zustand des Bewuchses?
(Mehrfachnennungen möglich)

- Vertrocknungserscheinungen
- Einwuchs von Begleitpflanzen (z.B. Brennnesseln)
- Abgeknickte Schilfpflanzen
- Kahlstellen
- Auskolkung des Bodenmaterials im Zulaufbereich
- Fehlender Neubewuchs im Frühjahr
- Weitere (bitte nennen): _____

Wie reagieren Sie auf aufgetretene Probleme?

- Eigene Lösungssuche
- Rückgriff auf Betriebsanleitung

- Besprechung mit dem Vorgesetzten
- Besprechung mit weiteren Personen (bitte Position nennen): _____

Welche Maßnahmen haben Sie in der Vergangenheit bei Problemen im Bewuchs ergriffen? (Mehrfachnennungen möglich)

- Bewässerung über Trinkwasseranschluss
- Bewässerung mit Bachwasser
- Betrieb im Teileinstau
- Bewässerung mit Brauchwasser aus der Nachklärung
- Nachsetzen von fehlenden Pflanzen
- Ausbessern des Bodenmaterials
- keine
- Weitere (bitte nennen): _____

Haben Sie Vorschläge/Anregungen, die auf Ihrer Betriebserfahrung mit dem Bewuchs von Retentionsbodenfiltern basieren? (bitte notieren)

Welchen betrieblichen Aufwand verursachen Wartung und Betrieb der von Ihnen betreuten Retentionsbodenfilter in Ihrem Arbeitsalltag ? Bitte bewerten Sie auf einer Skala von 1 bis 5 (1 erheblich, 5 kaum) ein?

- 1 2 3 4 5

Welche Wichtigkeit räumen Sie den Retentionsbodenfiltern im Vergleich zu Ihren anderen Bauwerken (Regenüberlaufbecken, Stauraumkanälen etc.) auf einer Skala von 1 bis 5 (1 sehr wichtig, 5 sehr unwichtig) ein?

- 1 2 3 4 5

Welche Bauwerke betreuen Sie ansonsten? (bitte notieren)

- Regenbecken
- Kläranlagen
- Kanalbauwerke

Anhang 7

Betrieb Abwasseranlagen, Servicebereich Kanal



Messungen und Funktionen an Retentionsbodenfiltern

1 Aufgabenstellung

Retentionsbodenfilter werden in Mischwassersystemen aus einer Vorstufe, einem Regenüberlaufbecken (RÜB im Haupt- oder Nebenschluss) oder einem Kanalstauraum (oben, mitten oder untenliegende Entlastung) beschickt. Für den Fall der Beaufschlagung soll das Bodenfilter erst bis zur Oberkante des Sandfilters gefüllt werden, bevor die gesteuerte Entleerung gemäß Bemessung beginnt. Im Gegensatz dazu soll das Filter aber nach Regenereignissen immer Restentleert werden. Das Wasser muss bis unterhalb der Drainageleitungen aus dem Filter abfließen. Im praktischen Betrieb sind diese beiden Forderungen über eine möglichst einfache Steuerung sicher zu stellen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass der Nachlauf aus einem Sandfiltersystem sehr träge reagiert und noch viele Stunden (ggf. auch Tage) nach einem Regenereignis Wasser abgibt.

2 Notwendige Messeinrichtungen:

- 2.1 Füllstand im RÜB (Vorstufe)
- 2.2 Füllstand über Filteroberkante Bodenfilter
- 2.3 Füllstand hinter Filter (Pumpensumpf, Ablaufschacht vor Drossel)
- 2.4 Durchflussmessung Ablauf Filter

3 Funktion Bodenfiltersteuerung

Die Aufgabenstellung für das Bodenfilter macht es erforderlich zwei Betriebsarten zu unterscheiden:

1. Trockenwetterbetrieb
2. Regenbetrieb

Im Trockenwetterbetrieb soll das Filter vollständig Restentleert werden. Im Regenbetrieb soll das Filter planmäßig ab der Einstauhöhe Filteroberkante das filtrierte Niederschlagswasser in das Gewässer ableiten.

Die Detektion dieser Betriebszustände ist erforderlich und erfolgt in einfachster Form über die Füllstandsmessung in der Vorstufe (Regenüberlaufbecken, Kanalstauraum): Wird ein Füllungs Zustand im Becken erreicht, der bei weiter andauerndem Regen den Überlauf zum Bodenfilter zur Folge hat (z.B. 1 cm unter Überfallkante), so wird in der Steuerung der Merker „Regenbetrieb“ gesetzt.

Dieser Merker „Regenbetrieb“ wirkt sich auf die Steuerung des Ablaufs des Bodenfilters aus: Ist ein Pumpwerk zur Entleerung vorhanden, wird der Einschaltpunkt zur Entleerung für den Trockenwetterbetrieb blockiert (Die Pumpen

schalten erst ein, wenn die OK Sandfilter erreicht ist). Bei Anlagen mit MID-Schieber Regelungen wird der Schieber mit dem Erreichen dieses Betriebszustandes vollständig geschlossen und die Entleerungsregelung greift erst dann ein, wenn die OK Sandfilter erreicht ist und das Filter planmäßig entleert wird.

Der Merker „Regenwetter“ bleibt so lange anstehen bis eine der folgenden Kriterien erreicht ist: Das Filter füllt sich durch das nachfolgend abschlagende Niederschlagswasser bis zur Oberkante des Sandfilters (Einschaltzeitpunkt Pumpe zur planmäßigen Entleerung oder Freigabe Schieber) und gibt die Entleerung frei oder ein voreingestelltes Zeitglied von z.B. 6 Stunden ist abgelaufen.

Im Betriebszustand „Trockenwetterbetrieb“ sind die Ein- und Ausschaltzeitpunkte der Pumpen am Ablauf des Bodenfilters so eingestellt, dass die Drainageleitungen vollständig entleert werden. Bei MID-Schieber-Regelungen ist der Regelschieber im Trockenwetterbetrieb geöffnet.

Diese Steuerung hat zur Folge, dass das Filter auch nach Ereignissen, die das Filterbett nicht vollständig füllen, nach Ablauf des Zeitglieds wieder vollständig entleert wird.

Bei Ereignissen, die den regulären Entleerungsbetrieb des Filters auslösen, wird das Filter so lange entleert, bis die Unterkante der Drainageleitung wieder erreicht wird. Nachfließendes Wasser aus dem Filter wird über das Schaltspiel des Trockenwetterbetriebs abgeführt.

Bei nachfolgenden Regenereignisse, auf einen teilgefüllten Sandfilter, wird durch die Ereigniserkennung an der Überlaufschwelle der Vorstufe wiederholt der notwendige Betriebszustand detektiert und sicher gestellt, dass keine Kurzschlussströmungen im Filter entstehen.

4 Messdaten und Auswertung

Für die Beurteilung der Betriebs und der Auslastung eines **Bodenfilters** sind folgende Daten notwendig:

- 4.1 Häufigkeit der Beaufschlagung in Tagen pro Jahr n/a
- 4.2 Dauer der Inanspruchnahme in h/a
- 4.3 Behandeltes Niederschlagswasser-Volumenstrom als Stapelhöhe $m^3/m^2/a$
- 4.4 Häufigkeit des Filterüberlaufs (Notabschlag) in n/a
- 4.5 Dauer des Filterüberlaufs (Notabschlag) in h/a

Für das **vorgelagerte Regenbecken** (Vorstufe) sind notwendig:

- 4.6 Häufigkeit des Einstaus in Tagen pro Jahr n/a
- 4.7 Dauer des Einstaus in h/a
- 4.8 Häufigkeit des Abschlags (Klärüberlauf, Beckenüberlauf) in n/a
- 4.9 Dauer des Abschlags in h/a

Die v.g. Auswertungen sind aus den Messeinrichtungen gemäß Punkt 2 vollständig zu ermitteln.

Von Bedeutung ist, dass die ausgewählten Messpunkte für die Messeinrichtungen so gewählt und eingerichtet werden, dass die Messdaten zuverlässig ermittelt werden. Kontrollpunkte zur Plausibilisierung der Messgrößen im laufenden Betrieb sind unbedingt zu empfehlen. Die Beeinflussung durch mechanische Einbauten, Ablagerungen oder Schilfpflanzen sind sicher zu vermeiden.

Auf Messdaten, die nicht zwingend für den Betrieb und die Beurteilung des Bodenfilters benötigt werden soll verzichtet werden. Hierzu gehören insbesondere Abschlagvolumenströme über Wehrschwellen. Die Erzeugung dieser Messdaten stellen einen sehr hohen Anspruch an die Messbedingungen aus Messort, Messgerät und an die Justierung auf die Messaufgabe und ist nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu erzeugen. Zur Bilanzierung des Filters sollte die Durchflussmessung im Ablauf des Bodenfilter als einfach und zuverlässig erzeugbarer Messwert heran gezogen werden. Zur Kalibrierung und zum Abgleich des Filters auf das Einzugsgebiet sind die ausgewerteten Messdaten gemäß 4.1 bis 4.9 aussagekräftig und mit Bemessungsgrößen zu vergleichen.

5 Ansteuerung Probenehmer Bodenfilter

Zur Beurteilung der Reinigungsleistung eines Bodenfilters ist eine gezielte Probenahme im Zulauf und Ablauf des Filters notwendig. Die Aufgabenstellung zur Probenahme variiert allerdings erheblich: Werden im Regelfall bei der Beschickung kurze und intensive Ereignisse zu erwarten sein, so stellt sich die Situation im Ablauf des Filters als langfristiger, andauernder Betriebszustand dar, der zu beproben ist. Entsprechend sind die Steuersignale auszugeben.

Der Erftverband verfolgt die Strategie, den Probenehmer mit einem anstehenden digitalen Impuls so lange anzusteuern, wie das zu beprobende Ereignis ansteht, bzw. einen Zeitraum zu definieren, in welchem die Probenahme aktiv sein soll.

Die notwendigen Steuerdaten sind aus den Messeinrichtungen gemäß Punkt 2 einstellbar:

Zulaufprobe Bodenfilter

Die Zulaufprobe wird dann aktiviert, wenn das Probenahmesignal Zulaufprobenehmer ansteht: Wird ein echter Abschlag aus der Vorstufe erkannt, wird mit einer einzustellenden Verzögerungszeit für Fließzeiten (innerhalb derer das Signal anstehen bleiben muss) ein Impuls für den Probenehmer gesetzt. Das

Probenahmesignal soll dann für einen vorgegebenen Mindest-Zeitraum anstehen bleiben (30 bis 120 Minuten) um ausreichend Probe für eine umfassende Untersuchung zu gewinnen. Der Ort der Probenahme ist dabei so zu wählen, dass auch bei einen zwischenzeitlichen Abklingen des Ereignisses noch eine echte Zulaufprobe gewonnen werden kann. Der Probenehmer selbst ist für diese Probenahme so einzustellen, dass innerhalb kürzester Zeit eine größtmögliche Probemenge gewonnen wird. Bei Anlagen mit lang andauernden Zuflüssen sollen diese Zeiträume und Probemengen variabel sein. Es wird empfohlen automatische Probenehmer mit Glasflaschen zu verwenden.

Ablaufprobe Bodenfilter

Die Ablaufprobe wird dann aktiviert, wenn das Probenahmesignal Ablaufprobenehmer ansteht: Der Ablaufprobenehmer soll erst dann gestartet werden, wenn eine „echtes“ Ereignis filtriert wird. Dieser Betriebszustand wird dann erreicht, wenn die Entleerungspumpen oder das Drosselsystem den Einschaltbefehl über das Erreichen der Filteroberkante erhalten. Auch hier soll eine Verzögerungszeit für den Start des Probenehmers variable möglich sein, um dem Probenahmeort (Laufzeit, Füllung von Vorlagen, etc.) gerecht zu werden. Ebenso ist es möglich damit den ersten Ablaufzeitraum des Bodenfilters definiert zu überbrücken damit das Porenwasservolumen des vorangegangenen Ereignisses nicht beprobt wird. Diese „Restfeuchte“ sollte gezielt bei der Probenahme ausgeblendet werden können. Das Probenahmesignal sollte über ein definiertes Zeitglied (bis zu 6 Stunden) und/oder den tatsächlichen Entleerungszeitraum anstehen bleiben. Der Probenehmer selbst sollte auf diese deutlich längeren Zeiträume so parametrisiert werden, dass über den Entleerungszeitraum repräsentativ Proben gewonnen werden. Es wird empfohlen auch hier automatische Probenehmer mit Glasflaschen zu verwenden.

Eine dauerhafte Beprobung der Bodenfilter am Zu- und Ablauf ist nicht erforderlich. Unabhängig davon sollten die Anschlüsse und das Probesignal am Zu- und Ablauf immer aktiviert sein um für eventuelle gezielte Beprobungen vorbereitet zu sein und die Funktion des Systems zu plausibilisieren. Die Registrierung, bzw. Dokumentation dieser Ausgangssignale ist zu empfehlen.

Die Steuerungen für das Bodenfilter sind mit einer lokalen SPS zu realisieren und die genannten Ein- und Ausschaltpunkte, Zeitvariablen und Steuergrößen über ein Bedienpanale durch das Betriebspersonal (Berechtigungskonzept) einstellbar zu realisieren.

Die Füllstände und der Durchfluss sind neben den Parametern für die Auswertung in einem Langzeitarchiv zu speichern um die automatisierten Auswertungen nachträglich plausibilisieren und ggf. schleichende Messwertabweichungen ermitteln zu können.