

Betriebserfahrungen am Bodenfilter Saarbrücken – Ensheim, einem Bodenfilter zur weitergehenden Mischwasserbehandlung

Dipl.-Ing. Mathias Kurz



Zweckverband Kommunale Entsorgung
Körperschaft des öffentlichen Rechts

Einleitung

Seit dem Jahr 2001 betreibt der Zweckverband Kommunale Entsorgung einen Bodenfilter zur weitergehenden Mischwasserbehandlung in Saarbrücken-Ensheim. Mit der Errichtung eines Bodenfilters dieser Art betrat der ZKE technisches Neuland und erwartete damit deutliche Verbesserungen im Hinblick auf den Gewässerschutz, der Betriebssicherheit und der hydraulischen Verbesserungen im Bezug auf den sehr schwachen Vorfluter. Nachfolgend wird über die Erfahrungen eines dreijährigen Betriebes berichtet.

1 Zusammenfassung und Ausblick

Retentionsbodenfilter vom Typ der in Saarbrücken-Ensheim errichteten Anlage sind für die weitergehende Behandlung von Entlastungsabflüssen aus Durchlaufbecken infolge intensiver Niederschläge konzipiert.

Erste Ergebnisse der Qualitätsmessungen im Zu- und Ablauf der Filterbeete bestätigen die von vergleichbaren Anlagen bekannte gute Rückhaltewirkung bezüglich CSB und Ammonium. Die gute Reinigungsleistung ist jedoch in starker Abhängigkeit der vorgegebenen Belastung zu sehen. Durch das großvolumige vorgeschaltete Absetzbecken ist der Anteil des Schmutzwassers am Filterzulauf sehr gering. Entsprechend niedrig sind die Konzentrationen schmutzwasser-typischer Inhaltsstoffe. Der größte Teil der Schmutzfracht wird als partikuläre Belastung mit dem Spülstoß am Beginn der Entlastung aus dem vorgeschalteten Durchlaufbecken ausgetragen. Die hohe partikuläre Belastung in Verbindung mit langen Trockenzeiten hat zur Entwicklung einer gut strukturierten Sedimentschicht auf der Filteroberfläche geführt. Negative Auswirkungen auf die Durchlässigkeit sind nicht zu beobachten. Bodenuntersuchungen haben gezeigt, dass die gute Reinigungsleistung des Filters vor allem auf die hohe mikrobiologische Aktivität im Sediment und den unmittelbar unterhalb liegenden Filterschichten zurückzuführen ist. Tiefere Schichten sind dagegen bislang biologisch inaktiv.

Der weitaus größte Teil des im Filter behandelten Abflussvolumens stammt nicht aus der planmäßigen Beschickung infolge von Niederschlagsereignissen, sondern aus unerwartet hohen Fremdwasserabflüssen aus dem Einzugsgebiet. Wie Erfahrungen mit ähnlichen Anlagen zeigen, kann eine solche dauerhafte Beschickung zu einem Versagen der Reinigungsprozesse und einem Zusammenbruch der hydraulischen Durchlässigkeit führen. Um dem vorzubeugen und gleichzeitig einen möglichst hohen Anteil des Fremdwasserabflusses effektiv zu reinigen, ist eine Umstellung des Betriebs auf eine alternierende Beschickung der beiden Filterbeete vorgesehen.

In weiteren Untersuchungen (Winterhalbjahr 2003/2004) soll das Verhalten des Filters unter diesen neuen Betriebsbedingungen beobachtet werden. Dabei stehen neben den Stickstoffparametern die Milieubedingungen im Filterablauf (Sauerstoffgehalt, Redoxpotenzial, pH.Wert) im Vordergrund.

2 Beschreibung der Anlage

Die Regenwasserbehandlungsanlage „Am Lehberg“ dient der weitergehenden Behandlung des Mischwasserabflusses des Einzugsgebietes Saarbrücken-Ensheim. Zum Schutz des abflussschwachen Gewässers „Aubach“ wurde einem konventionellen Regenüberlaufbecken eine Bodenfilteranlage nachgeschaltet.

2.1 Einzugsgebiet und Entwässerungsnetz

Das Einzugsgebiet der Regenwasserbehandlungsanlage entwässert überwiegend im Mischsystem. Im Rahmen einer detaillierten Grundlagenermittlung wurden 1999 die in der Tabelle 1 zusammengefassten Kenndaten erhoben. Die Angaben basieren auf einer detaillierten Grundlagenermittlung, die im Rahmen einer früheren Studie der Universität Kaiserslautern durchgeführt wurde /Leinweber, 1999/. Die Auswertung von Durchflussmessungen an Trockenwettertagen ergab eine gute Übereinstimmung mit diesen Daten, wobei jedoch der Fremdwasseranfall erheblichen saisonalen Schwankungen unterliegt (siehe auch Kap. 3).

Tabelle 1: Kenndaten des Einzugsgebietes

A_E	ha	95
$A_{E,b}$	ha	38
Einwohner	-	3303
EWG aus Industrie und Gewerbe	-	2020
spez. SW-Anfall (EW und EWG)	$l/(E \cdot d)$	150
Q_{S24}	l/s	9,2
Q_{SX}	l/s	18,5
Q_{f24}	l/s	8,6
$Q_d = 2 Q_{SX} + Q_{f24}$	l/s	45,6
Q_0 (Zulauf Rüb)	l/s	8.850
Q_0 (Zulauf Filterbeet)	l/s	2.000

Mit Ausnahme eines kleinen Teileinzugsgebietes ($A_{E,b} = 1,5$ ha) ist das Einzugsgebiet des Rüb nicht vorentlastet.

Eine Besonderheit des Einzugsgebietes stellt der Flughafen Saarbrücken dar, der im Norden von Ensheim liegt. Die Flughafenanlagen sowie die zugehörigen Verkehrs- und Gewerbeflächen entwässern im Trennsystem. Zur Verzögerung des Abflusses sind Regenrückhaltebecken auf dem Flughafengelände angeordnet. Für die Ableitung der Regen- und Drainagewässer von ca. 24 ha Verkehrsflächen sind derzeit zwei Möglichkeiten vorgesehen. Im Sommerbetrieb (i.d.R. Mai bis September) entleeren die Becken in angrenzende Gewässer wie auch über einem Teilgebiet in das Rüb Lehberg. In den Wintermonaten ist dies aufgrund des enthaltenen Streugutes und der Enteisungsmittel nicht möglich. Der Ablauf der Regenbecken mit einem Gesamtvolumen von ca. 2.000m³ wird in dieser Zeit in das Mischwassernetz von Ensheim eingeleitet. Die Abgabe in das Netz erfolgt ferngesteuert von der Kläranlage Eschringen aus. Abhängig von der aktuellen Belastung der Kläranlage werden maximal 10 l/s eingeleitet.

Aufgrund der hohen stofflichen Belastungen im Winter durch Streusalz, sowie aus Gründen der Gebühreneinsparung ist auf dem Flughafengelände eine Anlage zur Sammlung und Behandlung des belasteten Oberflächenabflusses geplant. Es ist davon auszugehen, dass im Laufe des Jahres 2004 eine weitestgehende Abkopplung der angeschlossenen Flächen erfolgen wird.

2.2 Die Regenwasserbehandlungsanlage „Am Lehberg“

Die Regenwasserbehandlungsanlage „Am Lehberg“ besteht aus einem konventionellen Durchlaufbecken als erster Behandlungsstufe und einem nachgeschalteten Bodenfilter zur Behandlung des Klärüberlaufs (siehe Anhang). Aufgrund der gegebenen Topografie wurde der Bodenfilter in zwei Filterbeete unterteilt, die parallel beschickt werden. Der Entlastungsstrom des Klärüberlaufs wird über zwei Wehrschwellen im Einlaufbauwerk in zwei gleich große Teilströme aufgeteilt. Gegenüber einer zusammenhängenden Fläche bietet die Aufteilung in zwei Filterbeete auch den Vorteil einer gleichmäßigeren Beaufschlagung des Filters.

- **Das Regenüberlaufbecken**

Das Durchlaufbecken weist ein Volumen von etwa 900 m³ auf. Hinzu kommt ein aktivierbares Speichervolumen im Zulaufkanal von 600m³ (Summe: 1.500 m³). Dies entspricht einem spezifischen Volumen von 39,5 m³/ha_{AE,b}. Das Speichervolumen ist im Nebenschluss angeordnet. Mischwasserabflüsse, die den Drosselabfluss überschreiten, werden über interne Überläufe in den Zulaufkanal des Rüb abgeschlagen.

Ausgehend von den Ergebnissen der oben zitierten Studie wird der Drosselabfluss zur Zeit auf 45,6 l/s geregelt. Mit diesen Daten ergibt sich nach ATV-Arbeitsblatt A 128 ein erforderliches Volumen von 1.300 m³. In der Genehmigungsplanung, der abweichende Eingangsdaten und ein höherer Drosselabfluss von 69,1 l/s zugrunde lagen, wurde ein erforderliches Volumen von 1.100 m³ ermittelt. In jedem Fall liegt jedoch das vorhandene Volumen über den Anforderungen nach ATV-Arbeitsblatt A128. Dies resultiert aus der Tatsache, dass der Zulaufkanal des Rüb aus hydraulischen Gründen sehr groß dimensioniert werden muss und das nachfolgende Becken aus klärtechnischen und bautechnischen Bedingungen eine gewisse Mindestgröße nicht unterschreiten kann. Auch spielen Aspekte wie die Lage des Rüb im Trinkwasserschutzgebiet und der sehr schwache Vorfluter „Aubach“ eine Rolle. Der nachfolgende Bodenfilter stellt somit eindeutig eine weitergehende Behandlungsmaßnahme dar.

- **Allgemeine Kenngrößen des Bodenfilters**

Die wesentlichen Kenngrößen des gesamten Bodenfilters sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die beiden Filterbeete sind hinsichtlich Geometrie und Filteraufbau identisch. Beide Beete entleeren überwiegend in freiem Gefälle. Über einen E-Schieber (über MID gesteuert) kann der Abfluss dabei auf einen gewünschten Wert gedrosselt werden. Hinsichtlich der Bemessung und Gestaltung entspricht die Anlage im wesentlichen den Empfehlungen der Landesanstalt für Umweltschutz (LFU) Baden-Württemberg /Brunner, 2002/.

Tabelle 2: Kenndaten des Bodenfilters

Fläche	2.080 m ²
spez. Fläche	55 m ² /ha _{AE,b}
Einstauhöhe	0,90 m
Speichervolumen	2.100 m ³
spez. Speichervol.	55,2 m ³ /ha _{AE,b}
Drosselung	Variabel, derzeit 10 l/s je Filter

• **Aufbau des Filterkörpers**

Die Filterbeete weisen folgenden einheitlichen Schichtaufbau auf:

- Deckschicht 5 cm Rheinkies 2/8
- Filterschicht 100 cm Rheinsand 0/2
- Drainageschicht 25 cm Rheinkies 2/8

Die Deckschicht dient dabei v.a. der Vermeidung von Erosionsrinnen auf der Filteroberfläche. Zwischen Filter- und Drainageschicht wurde zur Sicherstellung der Filterstabilität ein Geovlies eingebaut.

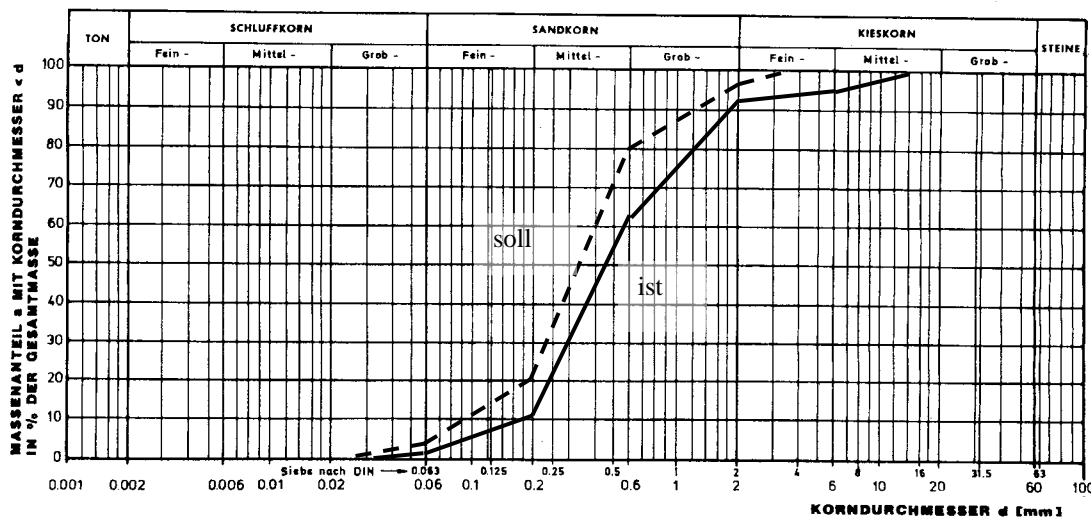


Bild 1 Sieblinie des eingebauten Sandes und Soll-Linie nach BRUNNER /2002/ im Vergleich

Der Sand weist einen Carbonatgehalt von 1,09 Massen-% auf. Dieser für einen Rheinsand niedrige Wert kann längerfristig zu einer Beeinträchtigung der Nitrifikationsleistung führen.

- **Konstruktive Gestaltung und Betrieb**

Der Zulaufbereich beider Filterbeete ist als Schlammfang ausgebildet. Neben der Sedimentation dient dieser Bereich auch der Energieumwandlung sowie der gleichmäßigen Verteilung des Zulaufs über die Filterbreite. Bild 2 zeigt den Zulaufgraben und den Schlammfang von Filterbeet 2 mit frischem Schilfbesatz. Der Filterkörper ist zum Schlammfang hin durch lose verlegte Wasserbausteine gesichert.



Bild 2: Zulaufgraben und Schlammfang von Beet 2

Aufgrund der Höhenverhältnisse zwischen Filteranlage und Gewässer ist eine komplette Entleerung im Freispiegelabfluss nicht möglich. Um Rückstau aus dem Gewässer zu verhindern, musste die Ablaufleitung soweit angehoben werden, dass im Beet 1 die Drainage und im Beet 2 auch der Sandkörper teilweise eingestaut blieben. Für die Restentleerung ist daher eine Pumpe erforderlich. Die Verhältnisse sind schematisch in Bild 3 wiedergegeben.

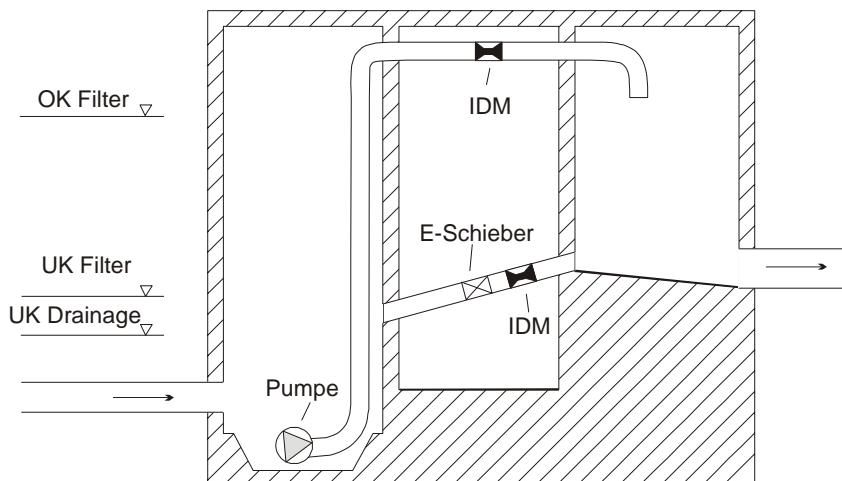


Bild 3: Schema der Ablaufschächte

Der E-Schieber kann auf einen wählbaren Drosselabfluss geregelt werden. Der Durchfluss wird hierzu mit einem IDM erfasst. Derzeit werden beide Filterbeete mit einem Drosselabfluss von jeweils 10 l/s (entspricht 0,01 l/(s*m²)) betrieben. Reicht die Druckhöhe im Ablaufschacht nicht mehr aus, den Soll-Abfluss aufrecht zu erhalten, beginnt die Pumpe mit der Restentleerung.

2.3 Die Baukosten der Regenwasserbehandlungsanlage „Am Lehberg“

In einem **ersten Bauabschnitt** wurde das RÜB mit den dazugehörigen Freispiegel- und Dükerleitungen, sowie das Pumpwerk und das Einlaufbauwerk in den Bodenfilter hergestellt. Die Bauzeit dieses Abschnittes war von Sept. 96 bis Aug. 97. Die Kosten beliefen sich auf brutto 1,29 Mill. DM.

Der zweite **Bauabschnitt** war die Herstellung des Bodenfilters. Dieser Abschnitt wurde von August 97 bis April 98 durchgeführt. Die Kosten beliefen sich ohne Bepflanzung und Sandfüllung auf brutto 1,3 Mill. DM. Die Kosten der Bepflanzung betragen brutto 24.000 DM und die der Sandfüllung brutto 100.000 DM. Somit betragen die Gesamtkosten 1,42 Mill. DM brutto.

Der **dritte Abschnitt** war die Herstellung der Zulaufkanäle. Dieser Bauabschnitt wurde von Sep. 98 bis März 2000 durchgeführt worden. Die Kosten betragen brutto 2,75 Mill. DM.

Der **vierte Abschnitt** war der Bau der Schaltwarte. Kosten hierfür betragen 100.000 DM brutto.

In einem **fünften Abschnitt** wurde von Dez. 98 bis Dez. 2000 die maschinen- und elektrotechnische Ausrüstung eingebaut. Kosten hierfür fielen in der Höhe von 1,2 Mill. DM an.

Weitere Restarbeiten wie Oberflächengestaltung, Maßnahmen zu Landschaftspflege, etc. wurden mit einem Kostenaufwand von 250.000 DM brutto bis Ende 2000 umgesetzt.

Für die gesamte Anlage (Rüb, Bodenfilter und zulaufende Kanäle) hat der Zweckverband Kommunale Entsorgung den Betrag von 6,7 Mill. DM. brutto investiert. Die Bauzeit betrug nahezu 4 Jahre. Mit Beginn des Jahres 2001 wurde die Anlage vollständig in Betrieb genommen, wobei sich die Komplexität der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung als sehr störungsanfällig auswirkte.

2.4 Die Betriebskosten der Regenwasserbehandlungsanlage „Am Lehberg“

Die wesentlichen Betriebskosten dieser Anlage fallen zum einen durch die Stromkosten der Pumpen und Reinigungsaggregate an und zum anderen durch Stundenaufwendungen an Personal und Maschinen.

Während sich die Stromaufwendungen rein auf den Betrieb der Anlage beziehen, sind die Stundenaufwendungen (Mannstunden, Maschinenstunden) an der Anlage geprägt von dem Bemühen, Geruchsbelästigungen durch den Betrieb des konventionellen RÜB zu vermeiden. Durch die extrem nahe Bebauung wirken sich Einflüsse wie massiver Fremdwasserzufluss oder erhöhter Schlammfall schnell als sehr störend für die Nachbarschaft aus.

Die Aufwendung für den Betrieb des Bodensfilters sind vergleichsweise vernachlässigbar. Die durchgeführten Arbeiten waren beschränkt auf das Entfernen von Geschwemmsel am Auslaufgitter des Bodensfilters, dem Entfernen von Weidenstockansiedlungen und den Mäharbeiten an den Flanken.

Zwar fallen im Betrieb von Bodensfilter kaum regelmäßige Wartungsarbeiten an, es ist jedoch ein gewisser Aufwand für die Überwachung des Betriebes erforderlich. Anders als bei konventionellen Entlastungs- und Speicherbauwerken können Betriebsstörungen bei Bodensfiltern zu einer dauerhaften Schädigung der Anlage führen. Daraus ergeben sich auch höhere Anforderungen an das Betriebspersonal.

Für Inspektionsarbeiten wurden an der Anlage aufgewendet:

Jahr 3/00 – 12/00	1.700 Euro (ca. 22 h Werkstattwagen incl. 2 Mann)
Jahr 2001	3.600 Euro (ca. 46 h Werkstattwagen incl. 2 Mann)
Jahr 2002	2.800 Euro (ca. 35 h Werkstattwagen incl. 2 Mann)

Hierbei teilen sich die zeitlichen Aufwendungen ca. 90 % an Arbeiten am Rüb und 10 % für den Bodensfilter.

Für Inspektionsarbeiten wurden an der Anlage aufgewendet:

Jahr 3/00 – 12/00	5.700 Euro (ca. 56 h Reinigungswagen incl. 2 Mann)
Jahr 2001	8.000 Euro (ca. 80 h Reinigungswagen incl. 2 Mann)
Jahr 2002	15.000 Euro (ca. 150 h Reinigungswagen incl. 2 Mann)

Diese Arbeiten fielen nahezu zu 100 % für Arbeiten am Rüb an.

An Stromkosten (Hauptbetriebskosten) fallen ca. 270 Euro/Monat = 3.240 Euro/Jahr an.

3. Betriebserfahrungen

Die ersten Betriebserfahrungen mit dem Bodensfilter sind überwiegend positiv. Das Anwachsen des Schilfbeckes war problemlos. Nach relativ regenarmen Sommermonaten 2002 zeigte sich jedoch ein Rückgang der Schilfentwicklung insbesondere im Ablaufbereich der Beete. Im zweiten Jahr des Vollastbetriebes (2003) war durch die sehr trockenen Witterungsverhältnisse dieses unterschiedliche Wuchsverhalten extrem; nahezu kein Schilfwachstum am Auslauf und dichter hoher Bestand am Zulauf.

Dennoch verhielt sich der Bodensfilter trotz massiver hydraulischer Belastung in den Monaten des Frühjahres und nahe ausbleibender Beschickung in den Sommermonaten stets stabil in seinem Reaktionsverhalten.

Die ganze Anlage ist geprägt durch die Besonderheiten des Einzugsgebietes, hier ist insbesondere der zum Teil extreme und langandauernde Fremdwasseranfall zu nennen. Laut der vorliegenden Planung wird der Mischwetterabfluss in das weiterführende Kanalsystem auf ca. 45 l/s gedrosselt, worin hier ein Fremdwasseranteil von 8,6 l/s enthalten ist. Dieser Planungswert wird in den Sommermonaten weit unterschritten und in gewissen Jahreszeiten unerwartet weit überschritten. Es wurde in den Monaten Februar/März 2002 sowie Oktober 2002 bis Januar 2003 Fremdwasserzuflussmengen in den Größenordnungen des Mischwasserabflusses gemessen, d.h. bis 42 l/s.

Hierbei handelt es sich nicht (!) um gezielte Einleitungen von z.B. Außengebietswassers, sondern um diffus auftretendes Drainagewasser, welches nur mit nicht darstellbar hohen finanziellen Mitteln von dem Kanalsystem fernzuhalten ist.

Folge hiervon ist eine ständige hydraulische Überlastung des Gesamtsystems, das wiederum zu einem Schlammaufbau innerhalb des RÜB (fehlende Entleerungsmöglichkeit) und zu einem Nässestau (keine Belüftung des Filters durch eine Trockenphase) führt. Bild 4 zeigt, wie stark die Einstaudauern vom jährlichen Verlauf des Fremdwasserabflusses bestimmt werden.

Um einer nachhaltigen Schädigung des Filters vorzubeugen wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- einer Notabschaltung des Filterbeetes bei Dauerstau
- einer Strategie (Kanalnetz-Kläranlage) zu erhöhten Weiterleitung von Mischwasser (4 Qs+Qf)
- dem Suchen und Fernhalten von einzelnen Drainagewasserzuflüssen
- einem vierwöchigen Reingigungszyklus (mit Zwangsentleerung des Beckens)
- einer Notentleerung und Reinigung des RÜB

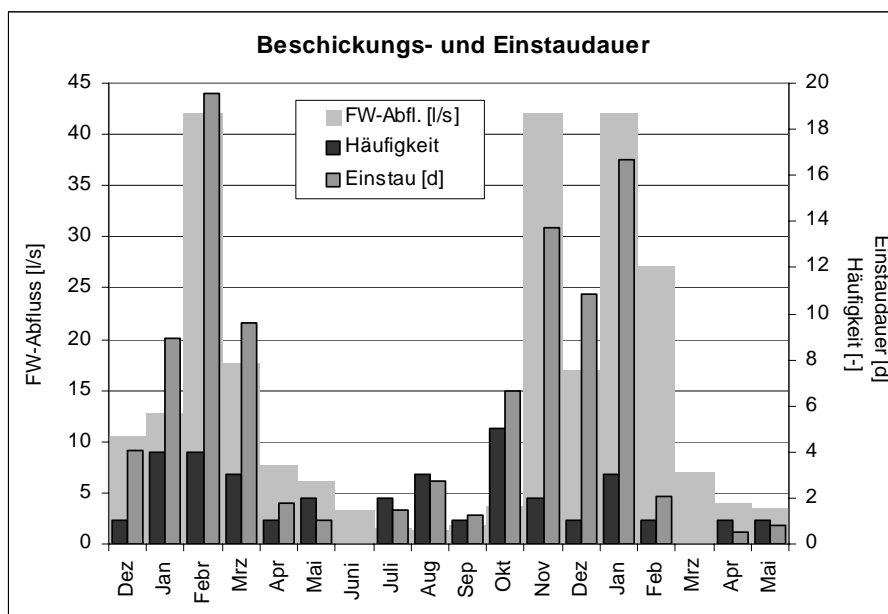


Bild 4: Beschickungs- und Einstaudauer der Filterbeete

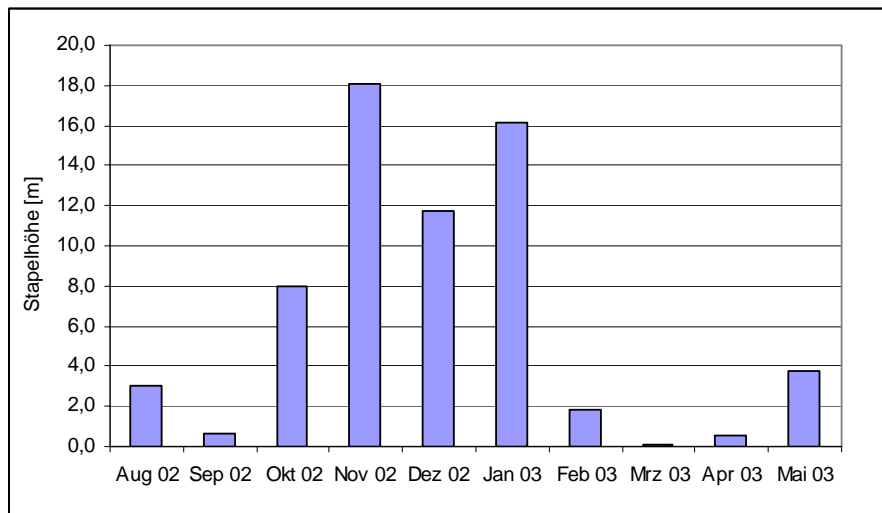


Bild 5: Darstellung der Stapelhöhen

Ausgelegt wurde der Bodenfilter auf eine Stapelhöhe von < 30 m im langjährigen Mittel, und bis zu < 50 m in nassen Jahren (Empfehlungen des LfU Baden Württemberg). Der Nachweis wurde durch eine Niederschlags-Abfluss-Simulation mit einer langjährigen Regenreihe geführt. Im realen Betrieb werden diese Werte in wenigen Monaten des Jahres bereits erreicht und bezogen auf das Jahr weit überschritten. Wie der Vergleich der Abbildungen 4 und 5 zeigt, wird auch die monatliche Stapelhöhe vom Fremdwasser bestimmt. Ohne Notabschaltung bei Dauerstau wäre die Belastung vermutlich noch höher gewesen.

Es bleibt aber festzuhalten, dass eine Bemessung einer Anlage mit einem N-A Modell ohne realitätsnahe Berücksichtigung des Fremdwasseranfalls nichts über die tatsächliche Belastung aussagt.

Trotz der dargestellten Überlastung wurde die Durchlässigkeit des Bodenfilters (k_f -Wert = 10^{-4} m/s) bislang nicht nachteilig verändert und eine Kolmationsneigung konnte nicht festgestellt werden. Erfahrungen an anderen Anlagen zeigen jedoch, dass eine fremdwasserbedingte Kolmation schlagartig auftritt. Nach dem bisherigen Stand der Wissenschaft lässt sich ein bevorstehender Zusammenbruch der hydraulischen Leitfähigkeit nicht vorhersehen. Aus der bislang hohen Durchlässigkeit kann daher nicht geschlossen werden, dass grundsätzlich keine Kolmationsgefahr besteht.

Der ZKE als Betreiber der Anlage wird auf die extreme Fremdwasserbelastung mit einem jahreszeitlich angepassten Bewirtschaftungskonzept reagieren müssen.

4 Das Forschungsprojekt der Universität Kaiserslautern

4.1 Ziele und Methodik des Forschungsprojektes

Primäres Ziel des Forschungsprojektes ist der Nachweis des sicheren Rückhaltes der abwasserrelevanten Schmutzstoffparameter in Bodenfiltern. Es soll die Eliminationswirkung von Bodenfiltersystemen hinsichtlich abwassertechnischer Standardparameter (AFS, CSB, Ammonium) und deren Abhängigkeit von der stofflichen und hydraulischen Zulaufbelastung erfasst werden.

Methodisch liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der Auswertung von Durchflussmessungen zur Erfassung des hydraulischen Verhaltens und der Beprobungen der Zu- und Abläufe der Filteranlage. Ergänzend zur Beprobung der Großanlage (Filterbeet) werden hierzu Langzeitversuche im Labormaßstab durchgeführt.

Sekundäres Ziel des Forschungsprojektes ist die Erfassung und Bewertung für ausgewählte anorganische und organische Schadstoffe (AOX, Schwermetalle, etc.).

Darüber hinaus sollen mit Hilfe von Simulationsrechnungen Strategien zur Integration von Bodenfilteranlagen in bestehende Entwässerungskonzepte entwickelt werden.

4.2 Ergebnisse der ersten Intensivmessphase, Erfahrungen unter Normallastbetrieb

Wie die Darstellungen im vorangegangenen Kapitel gezeigt haben, ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen der planmäßigen Filterbeschickung durch intensive Niederschläge - wie sie vor allem durch die sommerlichen Gewitterregen verursacht werden - und der nicht planmäßigen Beschickung durch erhöhte Fremdwasserabflüsse. Messeinrichtungen und Beprobungskonzept sind auf die bestimmungsgemäße Belastung durch Niederschlagsabflüsse ausgelegt. Die Ergebnisse der ersten Intensivmessphase (August bis Oktober 2002) hierzu werden im Folgenden dargestellt.

Eine für Februar bis April 2003 geplante gezielte Untersuchung der Fremdwasserbelastung musste aufgrund der extrem trockenen Witterung in diesem Jahr entfallen.

4.2.1 Umfang der Beprobung

Im Beobachtungszeitraum 24. August 2002 bis 24. Oktober 2002 sind 7 Beschickungsereignisse aufgetreten. Als eigenständige Ereignisse wurden Zuflüsse gewertet, die in einem Abstand von mehr als 18h (Entleerungszeit des RÜB) zum vorangegangenen Ereignis auftraten. Gemessen wurde im Zulauf des Filterbeetes.

Zu allen Ereignissen liegen kontinuierliche Beprobungen des Ablaufs von Filterbeet 1 in 2h-Mischproben vor. Der Filterzulauf wurde in den ersten 30 min in Intervallen von 5 min beprobt. Danach schaltet der Probenehmer auf 20 min-Mischproben um. Durch diese Aufteilung sollte der erwartete Spülstoß möglichst detailliert erfasst werden.

4.2.2 Zulaufcharakteristik

In Bild 6 und 7 sind beispielhaft die Ganglinien der Zuflussmessung (Q2) sowie üblicher Qualitätsparameter dargestellt. Abhängig von Charakteristik und Vorgeschichte des jeweiligen Regenereignisses können die Ganglinien einzelner Ereignisse sehr weit voneinander abweichen. Einige typische Phänomene treten jedoch immer wieder auf.

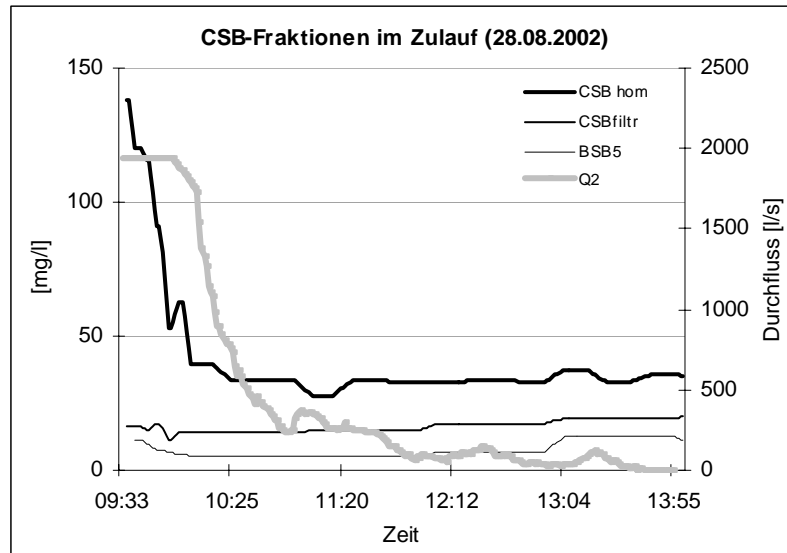


Bild 6: Zulaufcharakteristik am 28.8.2002

Trotz der Durchmischung im RÜB zeigt sich auch im Zulauf zum Filter noch ein deutlicher Spülstoß mit hoher partikulärer Belastung. Mit nachlassendem Durchfluss geht auch die Konzentration an Feststoffen zurück. Dies kann sowohl mit der nachlassenden Verschmutzung des Abflusses aus dem Einzugsgebiet erklärt werden, als auch mit der besseren Sedimentationswirkung des RÜB. Die gelöste CSB-Belastung und der BSB-Anteil sind sehr niedrig und verlaufen weitgehend unabhängig von der Ganglinie des Gesamt-CSB. Dies lässt den Schluss zu, dass die partikuläre CSB-Belastung zum größten Teil aus Abschwemmungen von der Oberfläche oder aus Kanalablagerungen stammt und nicht aus dem Schmutzwasseranteil. Darauf weisen auch die Ganglinien der Ammoniumkonzentration und der elektrischen Leitfähigkeit hin. Beides sind typische Indikatoren für den Schmutzwasseranteil. Mit nachlassendem Durchfluss steigt nach dem Regenende der Anteil des Schmutzwassers an.

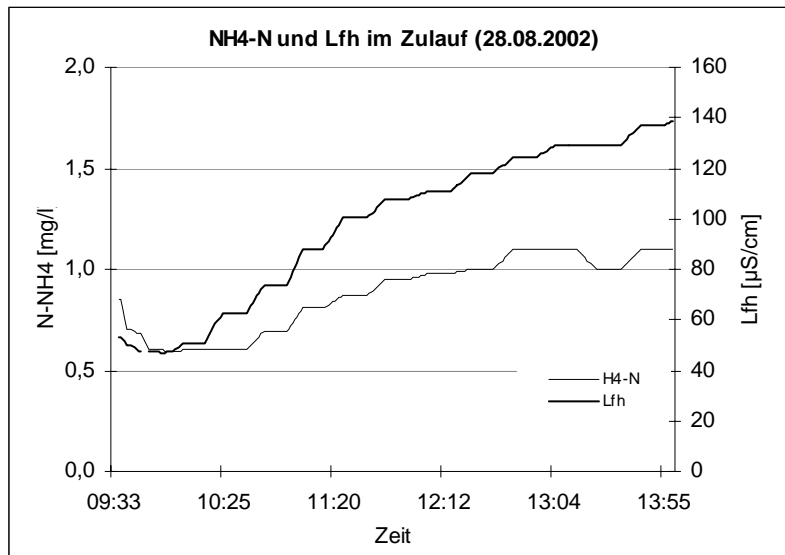


Bild 7: Einfluss des Schmutzwassers im Mischwasserzulauf am 28.8.2002

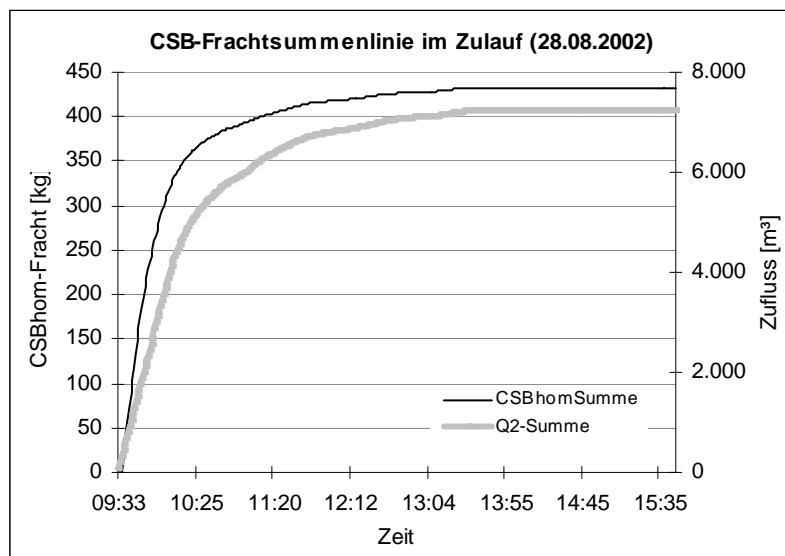


Bild 8: CSB Frachtsummenlinie am 28.8.2002

Die dargestellten Messungen zeigen, dass sich die Zulaufcharakteristik der Bodenfilteranlage Lehberg nicht mit einer Pflanzenkläranlage zur Schmutzwasserbehandlung vergleichen lässt. Wesentliche Unterschiede, die in ähnlicher Form auch an anderen Anlagen beobachtet wurden, sind

- die große Schwankungsbreite und zeitliche Dynamik der hydraulischen und stofflichen Belastung
- der hohe partikuläre Anteil der Verschmutzung
- der niedrige Anteil schmutzwasserbürtiger Belastung
- die insgesamt niedrigere stoffliche Belastung

Hinzu kommen lange Trockenperioden und die stochastische Verteilung der Zulaufereignisse.

Im Vergleich mit anderen RBF-Anlagen und sonstigen Messungen an Klärüberläufen ergibt sich hier eine relativ schwache Belastung. Der CSB befindet sich im unteren Bereich der üblichen Streubreite mittlerer Konzentrationen (50 – 100 mg/l). Bei der gelösten, schmutzwasserbürtigen Belastung ist dies noch geringer (z.B. $\text{NH}_4\text{-N} < 1 \text{ mg/l}$ gegenüber der übliche Spanne: 2 – 6 mg/l). Der Anteil partikulären am gesamten CSB liegt im Mittel bei 70%. Dies ist sehr hoch für den durch Sedimentation vorgereinigten Klärüberlauf eines Durchlaufbeckens und entspricht der Größenordnung, die allgemein für nicht abgesetztes Mischwasser angegeben wird.

Bei der Betrachtung des Zulaufkanales zum Bodenfilter erkennt man sehr feinkörnige Sedimentablagerungen, die mit der schnell ankommenden Zulaufwassermenge mitgerissen werden. Auch kommt der größte Teil der Feststofffracht bevor der Filter komplett bespannt ist. Deutlich erkennbar ist hier die Neigung zu einer ungleichmäßigen Sedimentbildung auf der Filteroberfläche.

4.2.3 Wirksamkeit der Bodenfiltration

Mittelpunkt der Untersuchung ist das Verhalten und die Leistungsfähigkeit der Bodenpassage. Überstauvolumen verhält sich ähnlich einem konventionellen Speicherraum. Hier ist eine gute Durchmischung bei gleichzeitiger Sedimentation zu erwarten.

- **Hydraulischer Wirkungsgrad**

Von sieben Beschickungsereignissen im Untersuchungszeitraum haben nur zwei zu einem Überlaufen der Filterbeete geführt. Der hydraulische Wirkungsgrad liegt bei 70%.

Wie Bild 9 zeigt, hängt dieser Wert stark von der Charakteristik der Niederschlagsverteilung ab und kann somit nicht auf längere Zeiträume hochgerechnet werden.

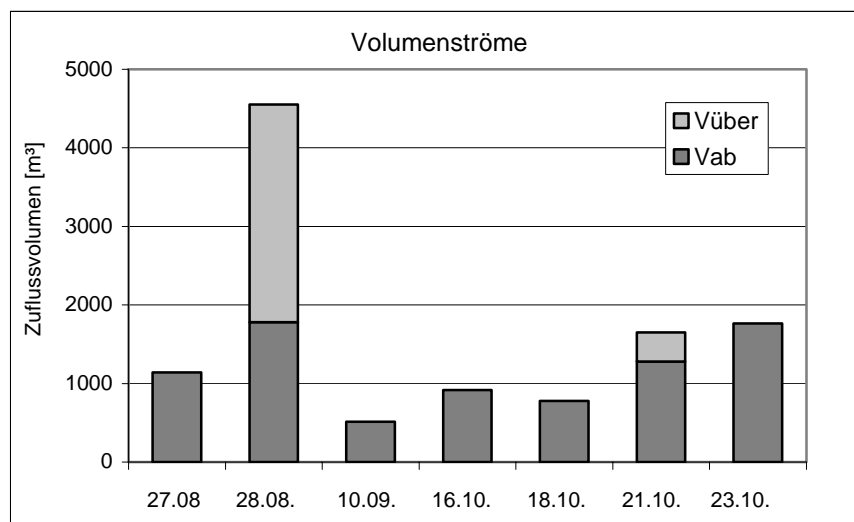


Bild 9: Zu- Abläufe des Filterbeetes

Reinigungsleistung

In Tabelle 3 sind die mittleren Zu- und Ablaufkonzentrationen des beprobten Filterbeetes hinsichtlich typischer Schmutzstoffparameter zusammengefasst.

Tabelle 3: Mittlere Konzentrationen im Zu- und Ablauf [mg/l]

	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	AFS
Zulauf	39,2	6,8	0,61	0,64	104
Ablauf	11,8.	n.n.	0,03	2,36	n.n.
η [%]	76	> 90	95	-269	> 90

Ein genaueres Bild von der Wirkungsweise der Bodenpassage vermittelt die Betrachtung einzelner Ereignisse und die differenzierte Betrachtung gelöster und partikulärer CSB-Anteile. Wie der Vergleich der in Bild 10 dargestellten mittleren Zu- und Ablaufkonzentrationen zeigt, ist die CSB-Elimination im wesentlichen auf den Rückhalt der partikulären Anteile zurückzuführen. Bei Ereignissen mit höheren gelösten Anteilen scheint die Wirksamkeit der Anlage daher deutlich geringer.

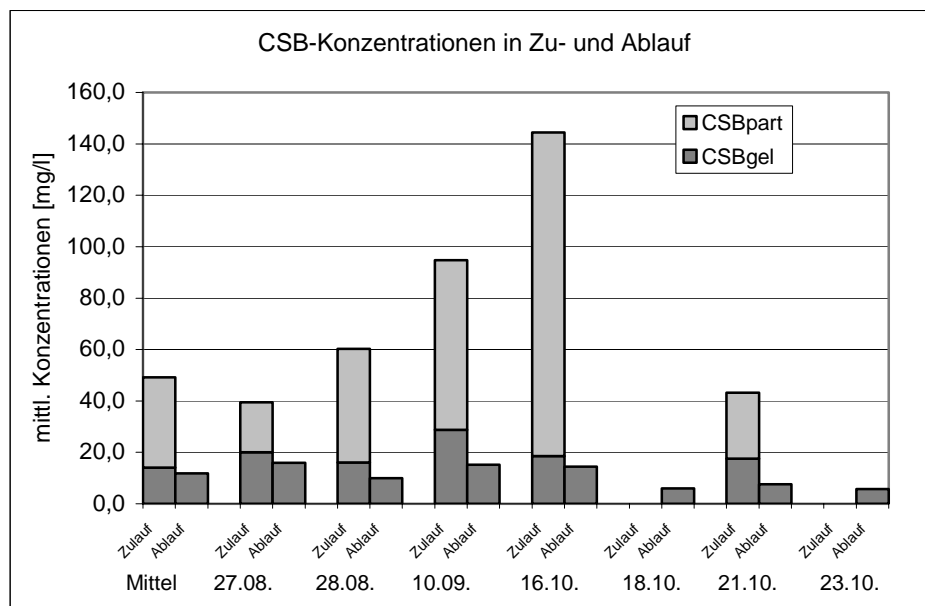


Bild 10: Mittlere CSB-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der beprobten Ereignisse

Die Ablaufkonzentrationen variieren zwischen 16 und 5,7 mg/l, allerdings unabhängig von der jeweiligen Zulaufbelastung. In Bild 11 sind die Ablaufkonzentrationen für Nitrat und CSB unter Berücksichtigung der Zeitabstände zwischen den Ereignissen dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher Einfluss der vorangegangenen Trockenzeit auf die Ablaufkonzentration. Nach längeren Trockenzeiten sind bei beiden Parametern deutlich höhere Ablaufkonzentrationen festzustellen als bei Ereignissen, die unmittelbar auf eine vorangegangene Beschickung folgen. Erklärbar ist dies durch die während der Trockenphase stattfindenden Abbauprozesse (Abwasserinhaltsstoffe, Pflanzen, etc.) und die Ausschwemmung von den Abbauprodukten (hier: Nitrat).

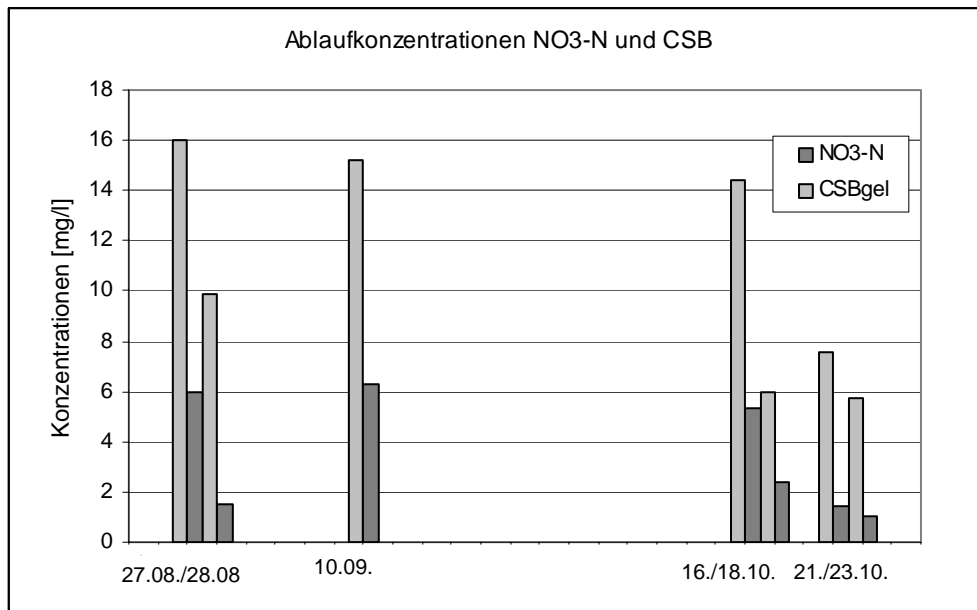


Bild 11: Ablaufkonzentrationen Nitrat / CSB gelöst

Hier sei ein Hinweis erlaubt:

Die Bilanzierung ist bei den vorliegenden Proben extrem problematisch wegen vorhandener Problemen in der Analytik. Die vorgefundenen geringen Konzentrationen befinden sich oft knapp an der Nachweisgrenze. Die Messbereiche lassen wegen der großen Dynamik auch schlecht eingrenzen, so dass die Gefahr von relativ großen Fehlern existent ist.

Bei der Beurteilung der Zulaufmesswerte zum Bodenfilter befindet sich der CSB im üblichen Rahmen, $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ sind sehr niedrig, was entsprechend der niedrigen Zulaufbelastung erklärbar ist.

Die Ablaufkonzentrationen sind weitgehend unabhängig von Zulaufbelastung. Der vorhandene Wirkungsgrad ist Ereignisspezifisch. Die maßgeblichen Einflussfaktoren sind Trockenzeit, gelöst/part.-Verteilung und die Belastungswässer.

Aus Gewässerschutzsicht ist der vollständige BSB_5 Rückhalt und die vollständige Nitrifikation als Erfolg zu werten.

4.3 Erfahrungen mit dem Betrieb in Trockenzeiten

Das Jahr 2003 war extrem (!) trocken. Grundsätzlich sind Trockenperioden nach bisherigen Erfahrungen kein Problem für einen Filter. Für diesen Extremfall mit einer Folge von Trockenperioden lag bislang noch keine gezielte Beobachtung vor.

4.3.1 Pflanzenbesatz

Durch Überlagerung verschiedener ungünstiger Faktoren (geringe Feldkapazität des Sandes wegen größerer Körnung, geringe Nährstoffversorgung, seltene Beschickung) war Schilfbestand bereits relativ schwach entwickelt.

Das Ausbleiben von Niederschlägen in der wesentlichen Vegetationsphase im Frühjahr hemmte die Schilfentwicklung zusätzlich. Daneben machten sich nicht gewünschte Vegetationen unter Verdrängung der Schilfpflanzen breit.

Eine Maßnahme hiergegen war der komplette überirdische Einstau des Bodenfilters bei gleichzeitigem kurzfristigen Verschluss des Ablaufes. Diese Maßnahme führte jedoch durch die fehlende Beschattung des Filters zu massiven Geruchsbelästigungen und musste abgebrochen werden. Eine Lösung zur besseren Versorgung des Schilfes war der unterschiedlich hohe Einstau des Filterbeetes „von unten“.

4.3.2 Reinigungsleistung

Tabelle 4: Mittlere Ablaufkonzentrationen

Datum	CSB [mg/l]	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]
19.05	15,7	0,71	2,0
30.05.	13,6	0,12	23,9
16.07	21,0	0,75	3,5
30.07.	21,0	0,65	2,8
28.08.	24	0,27	14,4

Bei den Ablaufmessungen lagen keine vergleichbaren Randbedingungen und Ganglinien vor, so dass hier nur Tendenzen erkennbar sind.

Der Einstau führt zu einem Rückgang der Reinigungsleistung bezüglich des CSB und des NH₄-N. Trotzdem sind hohe Konzentrationen an NO₃-N erkennbar, die offenbar nicht aus der Nitrifikation von NH₄-N stammen. Vermutlich werden diese bedingt durch Abbau N-haltiger organischer Verbindungen im Sediment oder durch die Autolyse der Biologie.

Dieser Effekt wurde auch an parallel stattfindenden Säulenversuchen beobachtet.

Ein Teileinstau ist auch bei unterschiedlicher Höhe dauerhaft nicht möglich, da sich bereits nach wenigen Tagen anaerobe Verhältnisse im Einstauwasser entwickeln. Der Sauerstoffgehalt lag bei 0 mg/l, das Redoxpotenzial < 100 mV.

Damit ist kein weiterer aerober CSB-Abbau her möglich und eine Sulfid-Bildung wird ermöglicht. Ferner konnte im Ablauf der Drainagenleitungen eine Verockerung festgestellt werden, die durch die anaeroben Zustände durch Reaktion mit Eisenanteilen im Boden entstehen.

Dieser Befund widerspricht vordergründig Erfahrungen aus Fulda/Fellenweg, wo eine RBF-Anlage seit 9 Jahren im Teileinstau betrieben wird.

Dies ist jedoch wie folgt erklärbar.

Die Sorptionsleistung der oberen Schichten in dem Bodenfilter Ensheim ist noch zu gering (nur im Sediment Zulaufnah ist der Bodenfilter voll eingefahren). Auch durch den Zulaufgraben können gelöste org. Belastung recht schnell in Bereich des Einstaus vordringen und zehren dort ihre biologischen Abbauprozessen den Sauerstoff auf. Mit Erreichen eines besseren Einfahrzustandes wird ein Zurückgang dieses Effektes erwartet. Ein planmäßiger Teileinstau wäre dann eher vertretbar.

Ein NO₃-Peak wird in Ensheim mit den ersten 100 – 200 mm Abfluss ausgetragen. In den bindigen Böden der Vergleichsbodenfilteranlagen (Fellenweg, Waldangelloch) herrscht eine andere Durchströmung. Durch das duale Porensystem aus Grob- und Feinporen erfolgt eine Verlagerung des NO₃ in tiefere Bodenschichten, während es einem Sandboden sofort ausgetragen wird.

4.3.3 Bodenuntersuchungen

Wegen der Probleme im Betrieb bei langen Trockenzeiten und des mangelnden Schilfbewuchses ist an eine Änderung der Betriebsstrategie gedacht. Ein dauerhafter oberirdischer und/oder unterirdischer Teileinstau hat sich im derzeitigen Zustand der Anlage nicht bewährt.

Um Hinweise für eine angepasste Betriebsstrategie zu finden, wurden Bodenuntersuchungen in Auftrag gegeben.

- **Grabung**

Untersucht wurden anhand zweier Aufnahmen von Bodenprofilen durch Grabungen nahe Zulauf Beet 1 und Ablauf Beet 2. Diese beiden Aufgrabungsstellen sollten bewusst die beiden Extremen an unterschiedlicher Entwicklung darstellen. Die Grabungsstelle 1 im Bereich des Zulauf Beet 1 war ein optisch sehr starker und kräftiger Schilfbewuchs erkennbar. An der Grabungsstelle 2 nahe dem Ablauf Beet 2 war nur ein kümmerlicher Schilfbewuchs erkennbar.

Untersucht wurde NO₃-N als Indikator für biologische Aktivität der betreffenden Bodenschicht.

Tabelle 5: Nitratgehalte der beiden Filterprofile
– Probenahme 18.04.03 -

	[cm]	Beet 1, zulaufnah	Beet 2, zulauffern
		[mg NO ₃ -N/100 g]	
Sediment	10 – 15	57,4	---
2/8 Kiesdecklage	0 – 10/5	3,71	6,31
Filtersand	0 – 2	4,43	3,44
Filtersand	2 – 10	1,93	1,44
Filtersand	50 – 60	0,62	0,44
Filtersand	90 – 100	0,82	0,39
Dränkies	100 - 130	0,21	0,10

Höhen bezogen auf OK Filtersand
Beet 1: 10 cm; Beet 2: 5 cm

Erkennbar ist aus dieser Tabelle, dass der Stoffumsatz überwiegend im Sediment und den oberen Zentimetern der Sandschicht stattfindet.

Trotz der intensiven hydraulischen Belastung im Winterhalbjahr (im Fremdwasserfall eine durchschnittliche CSB Belastung von nur ca. 30 mg/l bei einer gleichzeitigen NH₄-N Belastung von ca. 5 – 6 mg/l) ist die Anlage in der Tiefe offensichtlich nicht eingefahren. Hier wird in dieser Zeit ein Sauerstoffmangel vermutet, der kein Biomassenwachstum im Filterinneren zulässt.

- **Sedimenteigenschaften**

Obwohl in der hydraulischen Überlastphase zu Beginn des Jahres begründete Bedenken einer Kolmation bestanden (feinster Sedimentationsschlamm) ist bei der Untersuchung im April diesen Jahre ein Sediment vorhanden, das krümelstrukturiert und gut durchlässig ist. Eine hydraulische Sperre durch das Sediment ist nicht erkennbar.

Erklärbar ist dies durch eine gute Mineralisation in Trockenzeiten.

- **Säulenversuche**

Es wurden jeweils Zulaufnah und –fern ein Säulenprofil aufgenommen sowie eine Säule aus dem gemischten Unterboden beider Standorte (ohne Sediment-, Kies- und Invasionsschicht). Hiermit werden Langzeitversuche bei unterschiedlicher Betriebsweise gefahren. Ferner soll auch das Leistungspotential des Filters festgestellt werden.

Die Bedeutung des Sediments bzw. der oberen Schichten für die Sorption zeigt sich im Sorptionsversuch.

Tabelle 6: NH₄-Sorption^① im Säulenversuch der Filterprofile^② RBF Ensheim, Beschickung Nr. 1, 22.09.03

	ηNH ₄ [%]
Beet 1, zulaufnah ^③	68,5
Beet 2, zulauffern ^③	52,2
Unterboden ^④	43,6
<u>Vergleichswerte</u>	
Wemdinger Sand, mikrobiell eingearbeitet	74,1
Wisseler Sand 2, mikrobiell eingearbeitet	55,4
Biesdorf B 3-4, mikrobiell nicht eingearbeitet	29,1

① q = 600 mm, NH₄-N-Zulauf ≈ 100 mg/l, freier Ablauf

② Probenahme 31.08.03

③ Profilaufbau analog Großanlage, aber nur 0,75 m Sandhöhe

④ Probenahme unterhalb 10 cm FOK

Der Vergleich erster Beschickungen mit freiem Ablauf und mit Teileinstau bestätigt die vermutete NO₃-Zehrung in der Einstauschicht. Während das in der Beschickungspause gebildete Nitrat bei den reinen Sandsäulen sofort ausgetragen wird, gelangt es bei der Säule mit Sediment zunächst verzögert in den Einstaubereich, wo es zur Veratmung genutzt wird.

Erkennbar ist hier ein positiver Einfluss des Sedimentes, bedingt durch die erhöhte Sorptionsleistung und Aktivität. Ein nicht zu unterschätzender Faktor ist der damit verbundene Wasserspeicher, der insbesondere für die Bodenfilteranlage in Ensheim auch für die Pflanzenversorgung bedeutsam ist.

Bei langer Trockenphase zwischen Ereignissen und geringer Belastung kann sich das Sorptionsvermögen zwischen den Beschickungen hinreichend regenerieren. Bei einer höheren Belastung oder längeren Belastung, wie sie im Fremdwasser-Fall typischerweise auftritt, ist mit einem baldigen Durchbruch der Belastung zu rechnen.

Eine zu untersuchende Lösung könnte die Umstellung des Betriebs auf alternierende Beschickung sein. Das Ziel: Filter nacheinander komplett einfahren. Nach bisherigen Erfahrungen bleibt damit einmal erreichter Einfahrzustand auch bei langen Pausen erhalten (NH₄-N-Sorption sofort verfügbar, CSB-Elimination nach 2 bis 3 Beschickungen).

Literaturhinweise

Schriftenreihe 15 (2002): „Regenwasserbehandlung, Anwendungspraxis und Perspektiven“,
Universität Kaiserslautern

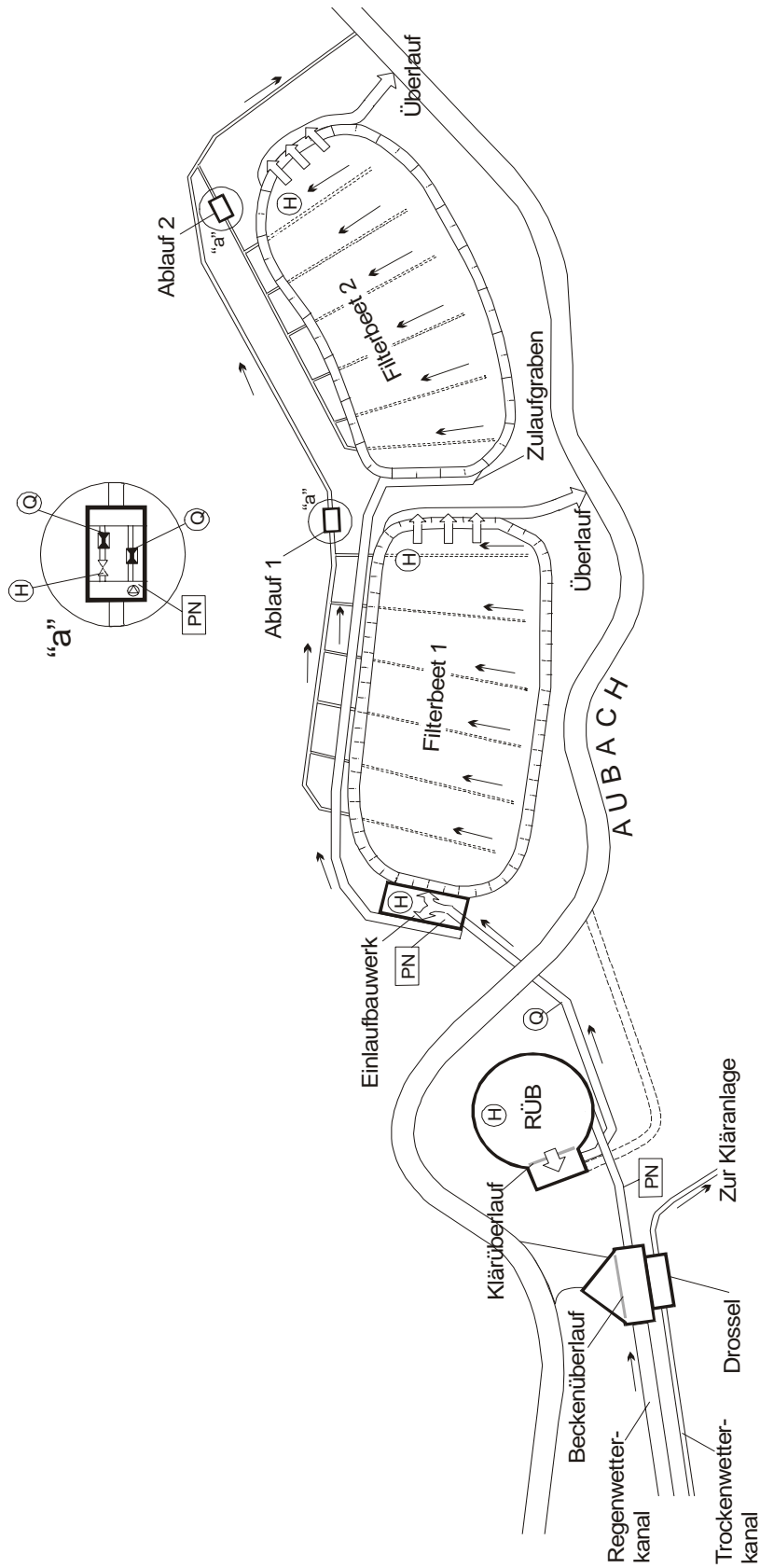
Lambert, B. (2003): Untersuchungsbericht: Bodenkundliche Untersuchungen am
Retentionsbodenfilter Ensheim, unveröffentlicht

Dittmer, U. (2003): Untersuchungsbericht: „Abwassertechnische Untersuchungen im Zu- und
Ablauf am Retentionsbodenfilter Ensheim“, unveröffentlicht

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. Mathias Kurz
Zweckverband Kommunale
Entsorgung
Gaschhübel 1
66113 Saarbrücken
Email: kur@zke-sb.de

Dipl.-Ing. Ulrich Dittmer
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Universität Kaiserslautern
Postfach 3049
D-67653 Kaiserslautern
E-mail: dittmer@rhrk.uni-kl.de



- Legende:
- ⊙ Durchflussmessung
 - ⊕ Höhenstandsonde
 - PN Probennehmerstandort

Anhang: