

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Beschreibung der untersuchten Pflanzenkläranlagen

Zur Zeit befinden sich eine Vielzahl von Pflanzenkläranlagen mit unterschiedlichsten Bauformen in Betrieb. Daher ist fast jede Anlage ein Unikat, welches an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden muss. Um einen Vergleich zwischen den verschiedenen Bauformen ziehen zu können, werden diese nach ihrer Funktionsweise in zwei Gruppen eingeteilt. Zur ersten Gruppe gehören die Anlagen mit horizontalem Wasserdurchfluss, zur zweiten Gruppe die Anlagen mit vertikalem unterirdischem Wasserfluss. Je nach Art der Vorreinigung (Rottefilter oder Mehrkammerausfallgrube) wurden die beiden Gruppen weiter unterteilt. In dem Projekt wurden stellvertretend für diese Gruppen fünf Pflanzenkläranlagen untersucht, in denen repräsentativ die wichtigsten Verfahrensprinzipien umgesetzt wurden.

3.1.1 Die „System-WURSTER“ Pflanzenkläranlage „Nord-1“

Bei der Pflanzenkläranlage „Nord-1“ handelt es sich um eine „System-WURSTER“ Pflanzenkläranlage mit vorgeschaltetem Rottebehälter zur Grobstoffabscheidung. In zwei parallel angeordneten und intervallmäßig, oberflächlich beschickten Schilfbeeten wird das Abwasser während des vertikalen Durchflusses gereinigt. Über eine Teichanlage zur Nachreinigung gelangt das Wasser in die Vorflut.

Die 1996 in Betrieb genommene Pflanzenkläranlage wurde als ein Pilotprojekt für Untersuchungszwecke gebaut und reinigt das Abwasser zweier Dörfer. Diese Gemeinschaftsanlage wurde für eine Abwasserbelastung von ca. 100 EGW gebaut.

1) Aufbau der Rottefilter nach dem System-WURSTER

Die Grobstoffabscheidung erfolgt durch einen Rottefilter, welcher mit einer Strohauflage auf einer Holzhäckselschicht ausgekleidet ist. Die Abb. 6 zeigt die Innensicht eines Rottefilters vor der ersten Beschickung. Auf dem Grund befinden sich Holzhäcksel, die Wände sind mit Strohballen ausgekleidet. In die Mitte ragt das Zuflussrohr herein. Der Schacht wird mit Gitterrosten abgedeckt. Jede Ortschaft hat zur Grobstoffabscheidung zwei wechselweise nutzbare Rottefilter (System-WURSTER), in welchen das gesammelte Abwasser eingeleitet wird. Die quadratisch als Schacht in die Erde eingelassenen Rottefilter haben je eine Grundfläche von ca. 2,5 m<sup>2</sup> bei einer Tiefe von ca. 4 m. Zwei Rottekammern sind so nebeneinander angeordnet, dass mit einem einfachen Schieber der Wasserfluss umgeschaltet werden kann. Während in dem einen Filter das bereits angesammelte Material trocknet bzw. die Verrottung beginnt, kann der zweite Filter mit Abwasser beschickt werden. Die Schachtwände bestehen aus Beton und besitzen in der Mitte eine Trennwand aus grob porösen Bioterra-Lüftungssteinen. Wände und Boden sind mit perforierten Filterplatten ausgekleidet, welche ein Luftkissen von 10 cm Abstand bilden. Über eine Sammelrinne und eine unterirdische Leitung gelangt das vorge-reinigte Abwasser in die Schilfbeete (s. Abb. 5).



Abb. 6: Ansicht eines leeren Rottefilters, Zulauf in der Mitte, Strohballen an der Wand, Holzhäcksel als Bodenauflage

## 2) Aufbau und Beschickung der Pflanzenbeete

Die Abb. 7 zeigt die Pflanzenkläranlage „Nord-1“ im Sommer bei vollem Pflanzenbewuchs. Das zweigeteilte Beet ist gleichmäßig bewachsen. Zwei parallel angeordnete Pflanzenbeete werden in Intervallen abwechselnd beschickt. Die Steuerung erfolgt über einen programmierten mit Solarenergie betriebenen, elektrischen Schieber. Die intermittierende Beschickung garantiert eine gleichmäßige Bewässerung der Schilfbeete. Das Wasser verteilt sich in einem Schwall über ein System von Drainagerohren gleichmäßig auf der Beetoberfläche (Schwallbeschickung). Bei der Beschickung kommt es dabei kurzfristig zu einem Überstau von bis zu 15 cm. Die Nutzfläche des Pflanzenbeetes beträgt ca. 0,8 m<sup>2</sup>/EGW. Der Bodenkörper besteht aus einer ca. 50 cm hohen Schicht Sand mit unterschiedlich abgestuftem Wasserdurchlässigkeitsvermögen. Es wurden ca. 12 Schilfpflanzen pro m<sup>2</sup> angepflanzt. Das Wasser versickert vertikal durch den Bodenkörper. Die am Grund des Beckens befindlichen Filterplatten bilden ein weiteres Luftkissen. Durch dessen Perforation werden sowohl der Ablauf des Wassers als auch eine aufsteigende Belüftung des Bodens ermöglicht. Eine Sammelleitung erfasst das Abwasser beider Pflanzenbecken und leitet es in einen Schönungsteich.



Abb. 7: Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Nord-1“ im Sommer mit vollem Bewuchs

### 3) Aufbau des Schönungsteiches

Der Schönungsteich besteht aus einer aufgeschütteten Erdmulde und ist zum Untergrund durch eine Lehmschicht abgedichtet. Als Uferbepflanzung befinden sich im Bereich des Ablaufes Rohrkolben. Über einen oberflächlich gelegenen Abfluss am Rande des Teiches gelangt das Wasser in die Vorflut, einen kleinen Bach, in welchen auch das Dränagewasser der Wiesen und Weiden des umliegenden Geländes eingeleitet wird.



Abb. 8: Teich der Pflanzenkläranlage „Nord-1“

Die Abb. 8 zeigt den Schönungsteich von „Nord-1“ im Frühjahr. Der oberflächliche Überlauf befindet sich auf der rechten Seite. Die ersten Schilfpflanzen wachsen bereits. Um den Teich befindet sich eine Einzäunung.

#### 3.1.2 Die Pflanzenkläranlage „Nord-2“

Bei der Pflanzenkläranlage „Nord-2“ handelt es sich um einen Eigenbau in Anlehnung an das „System-WURSTER“ mit vorgeschaltetem Rottebehälter zur Grobstoffabscheidung. Diese Gemeinschaftsanlage eines Abwasservereines wurde für ca. 60 EGW im April 1996 fertiggestellt. Durch den Eigenbetrieb sollten eigene Ideen hinsichtlich einer guten Verrottung im Rottebehälter bezüglich der Zugabe verschiedener kompostierbarer Materialien verwirklicht werden. Im Schilfbeet versickert das Wasser nach oberflächlicher Beschickung vertikal durch den Bodenkörper, wird darunter gesammelt und einer Teichanlage zur Nachreinigung zugeführt, bevor es in die Vorflut entlassen wird. Diese Teichanlage wird gleichzeitig von der Pflanzenkläranlage „Nord-3“ mitbenutzt.

#### 1) Aufbau der Pflanzenkläranlage

Das Abwasser gelangt über ein Sammelkanalnetz bis zu den Rottefiltern. Die Rottefilter bestehen aus zwei runden Gruben, die wie in „Nord-1“ mit Filterplatten der Fa. WURSTER ausgekleidet sind. Der durch die Filterplatten gehaltene Abstand von 10 cm zur Wand führt zur Bildung eines Luftkissens rund um das Rottmaterial. Die Grobstoffabscheidung erfolgt durch Stroh als Filtermaterial auf einer Auflage von Holzhacksel. Das am Grund gesammelte Abwasser wird zum Pflanzenbeet geleitet.

## 2) Aufbau des Schilfbeetes

Die Nutzfläche des Pflanzenbeetes beträgt ca.  $1,3 \text{ m}^2/\text{EGW}$ . Das Abwasser wird gleichmäßig über die Oberfläche von einem der zwei Bodenkörper mit einem Drainagerohr verteilt. Die Versickerung erfolgt vertikal durch eine ca. 40 cm hohe Erdschicht. Von dort aus fließt das Wasser über eine Sammelleitung in einen Ablauf zu der 10 m tiefer liegenden Teichanlage.



Abb. 9: Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Nord-2“

Die Abb. 9 zeigt das Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Nord-2“ im Sommer. In der Mitte befindet sich ein Drainagerohr, welches das Abwasser in der Beetmitte verteilt.

## 3) Aufbau der Teichanlage

Die ca.  $50 \text{ m}^2$  große Teichanlage, die von der Pflanzenkläranlage „Nord-3“ mitgenutzt wird, besitzt am Einlauf eine dichte Vegetation von Schilfpflanzen. Sie besteht aus einer in die Erde gegrabenen Mulde, die zum Untergrund hin durch eine wasserfeste Lehmschicht abgedichtet ist. In der Mitte des Teiches befindet sich ein Überlauf, aus welchem das Wasser in die Vorflut, einen kleinen Bach, gelangt.

## 3.1.3 Die Pflanzenkläranlage „Nord-3“

Die Pflanzenkläranlage „Nord-3“ wurde auf Grund der örtlichen Nähe und dem gemeinsamen Einlauf des Wassers in einen Schönungsteich mit der Pflanzenkläranlage „Nord-2“ mit in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Sie reinigt das Abwasser einer Familie mit ca. 5 EGW. Die Grobstoffabscheidung erfolgte mittels eines Rottefilters, der an den Seiten mit Dränagerohren ausgekleidet ist. Das Wasser fließt von dort zentral auf die Beetoberfläche. Das Pflanzenbeet besteht aus einem Betonbecken mit kontinuierlicher, oberflächlicher Wasserbeschickung. Die Sammlung des Wassers erfolgt unterhalb des Bodenkörpers. Das gereinigte Wasser gelangt in den Schönungsteich der Anlage „Nord-2“. Über einen in der Teichmitte gelegenen Überlauf fließt das Wasser in die Vorflut.

## 3.1.4 Die Pflanzenkläranlage „Nord-4“

Bei der Pflanzenkläranlage „Nord-4“ handelt es sich um eine am Hang gelegene Anlage mit einem Rottefilter, einem im Unterholz gelegenen Schilfbeet mit Schönungsteich, der in einen Waldfluss mündet. Von besonderem Interesse war hier der Rottefilter, der

als ca. 2 m tiefer Schacht mit einer Grundfläche von ca. 2 m x 3 m gebaut wurde. Er dient zur Vorreinigung des Abwassers von einem 4-Personenhaushalt. Dieser Filter wurde mit Küchen- und Pflanzenabfällen, Sägemehl und weiteren organischen Materialien über 9 Jahre gefüllt. Bei der Leerung dieses Rottefilters wurden die Proben aus der entsprechenden Tiefe des Materials entnommen.

### 3.1.5 Die „Palutec“ – Pflanzenkläranlage „Süd-1“

Diese Pflanzenkläranlage wurde für die Entsorgung eines 5-Personen-Haushaltes gebaut. Nach der Vorklärung über eine Mehrkammerausfallgrube gelangt das Abwasser über eine unterirdisch gelegene Leitung in ein Pflanzenbeet mit unterirdischer Beschickung und horizontalem Durchfluss. Nach der Passage des Bodenkörpers versickert das Wasser auf dem eigenen Grundstück. Durch die Lage in einer Wiese passte sich die Pflanzenkläranlage trotz der Umzäunung der Landschaft an und war auf den ersten Blick nicht als solche zu erkennen.

#### 1) Aufbau der Pflanzenkläranlage

Vom Wohnhaus gelangt das Abwasser in eine Mehrkammerausfallgrube nach DIN 4261 T1 mit ca. 12 m<sup>3</sup> Nutzinhalt. Dort erfolgt die Grobstoffabscheidung. In der ersten Kammer sammeln sich an der Wasseroberfläche als Schwimmschicht die Bestandteile, die leichter als das Wasser sind. Die schwereren Stoffe sinken als Sediment zu Boden. Der Anlage wird nur häusliches, fäkales Abwasser zugeleitet. In dem landwirtschaftlichen Betrieb anfallendes Regen-, Oberflächen-, Dränage-, Sicker-, Quell- und Kühlwasser sowie Jauche, Gülle, Gäräfte und Spül- und Reinigungswasser aus den anliegenden Schafstallungen werden nicht eingeleitet. Aus dem Überlauf der dritten Kammer fließt das Wasser in ein quer zum Schilfrand gelegenes, unterirdisches Verteilungssystem aus Dränagerohren.



Abb. 10: Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Süd-1“

#### 2) Aufbau des Schilfbeetes

Durch die unterirdische Leitung kommt es zu einer frostsicheren Verteilung des grob gereinigten Abwassers auf der gesamten Breite einer Seite des Schilfbeetes. Die Nutzfläche des Pflanzenbeets beträgt umgerechnet ca. 5 m<sup>2</sup>/EGW bei einer gesamten Größe von ca. 60 m<sup>2</sup>. Die dazu gehörige Abb. 10 zeigt das Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Süd-1“ im Frühjahr. Auf der rechten Seite erfolgt die unterirdische Beschickung. Das

Abwasser fließt horizontal durch den gesamten Bodenkörper des Schilfbeetes. Auf der anderen Seite des Beetes wird das Wasser mit einem quer liegenden System von Dränagerohren gesammelt und gelangt zu einem Überlaufschacht. Die Enden der Dränagerohre hängen aus dem Schilfbeet heraus, um bei einer eventuellen Verstopfung eine Spülung zu ermöglichen. Der Ablauf am Ende des Schilfbeetes wird bei Bedarf durch Aufsetzen eines Rohrstückes erhöht, um in regelmäßigen Abständen das Beet zu überstauen, zu entwässern oder im Sommer durch entsprechenden Rückstau die Austrocknung zu verhindern. Durch das horizontale Beschickungsprinzip erscheint das vorgeklärte Wasser nicht an der Oberfläche. Abschließend gelangt das Wasser in eine mit Kies gefüllte Grube und versickert im Boden. Die Versickerungsgrube ist durch Kieselsteine auf der Oberfläche optisch zu erkennen. Der Boden des Grundstückes besteht in seiner natürlichen Zusammensetzung aus Sand und Kiesel.

### 3.1.6 Die „System-WURSTER“ Pflanzenkläranlage „Süd-2“

Die Pflanzenkläranlage „Süd-2“ besitzt eine Grobstoffabscheidung durch einen Rottefilter (Auflage von Gras, Stroh, Heu, Bioabfällen auf einer Holzhäckelschicht). Als Besonderheit neben dem Schilfbeck mit belüfteter Sohle („Bioterra-Lüftungssteinen“) erfolgt die Verwendung eines mit Schilf bepflanzten, eingestauten Sandfilters.



Abb. 11: Schilfbeet der Pflanzenkläranlage „Süd-2“

Die Nutzfläche des Pflanzenbeetes beträgt ca. 0,5 m<sup>2</sup>/EGW. Die Pflanzenkläranlage wurde zur Reinigung des Abwassers von zwei Haushalten mit insgesamt 7 Personen entworfen. Der abgedeckte Rottefilter befindet sich direkt neben dem Haus. Der Besitzer beschickt diesen regelmäßig mit Laub und Grasschnitt aus dem eigenen Garten. Die Wände des Filters werden mit Abstandshaltern aus dünnem Plastik ausgekleidet, die ein ca. 3 cm tiefes Luftkissen bilden, aber keine Löcher wie bei den Filterplatten in „Nord-1“ und „Nord-2“ besitzen. Das Wasser fließt durch „Bioterra-Lüftungssteine“ am Grund ab und gelangt danach in ein ca. 10 m<sup>2</sup> großes Schilfbeck, welches in eine Betonwanne gepflanzt ist. Die Abb. 11 zeigt das Schilfbeck der Pflanzenkläranlage „Süd-2“. In den Ecken befinden sich zwei Belüftungsrohre, die mit dem Luftpolster unterhalb des Beetes verbunden sind.

Das gesamte Beet wird im Herbst durch ein Netz gegen Einfall von Laub geschützt. Die Beschickung erfolgt zentral oberflächlich in die Mitte des Beetes. Nach der vertikalen Passage des Bodenkörpers fließt das Wasser in einen mit Schilf bepflanzten Sandfilter.

Über einen zentralen Überlauf gelangt das Wasser in einen als Vorflut genutzten kleinen Bach.

### 3.2 Material und Methoden

Im Rahmen dieses Projektes wurden verschiedene bakteriologische Untersuchungen von Wasser- und Feststoffproben durchgeführt. Im weiteren Text werden zunächst die für die bakteriologischen Untersuchungen ausgewählten Verfahren zum Nachweis der berücksichtigten Organismen dargestellt. Im Anschluss wird der festgelegte Plan der Probenentnahme erklärt und zuletzt erläutert, wie aus den Messwerten der Durchfluss- und Tenazitätsversuche die Ergebnisse interpretiert werden können.

#### 3.2.1 Bakteriologische Untersuchungen

In diesem Abschnitt wird die bakteriologische Untersuchungen der nach LANG (1987) hygienisch relevanten Indikatororganismen Fäkalstreptokokken, *E. coli* und Salmonellen im Allgemeinen beschrieben. Dazu gehören das Anreicherungsverfahren, das Anlegen von Subkulturen und die Auswertung mittels des „most-probable-number“-Verfahrens (MPN) nach DE MAN (1983).

##### 3.2.1.1 Allgemeine bakteriologische Verfahren

Die Untersuchungen der Wasserproben erfolgen qualitativ sowie quantitativ. Die Erregerisolierung findet mittels selektiver Kulturanreicherungsverfahren statt, wobei eine Differenzierung durch die typischen Stoffwechselleistungen und serologischen Eigenschaften der Keime möglich ist. Die Untersuchungen orientieren sich dabei an Verfahren, wie sie in der TRINKWASSERVERORDNUNG (1993) für amtliche Wasseruntersuchungen vorgeschrieben sind. Vertretend für die gramnegativen Keime wird auf *Enterobacteriaceae* untersucht, darunter speziell auf die Indikatororganismen *E. coli* und die Seuchenerreger Salmonellen. Vertretend für die grampositiven Keime wird der Nachweis von Fäkalstreptokokken geführt.

##### 3.2.1.1.1 Das Anreicherungsverfahren

Im Anreicherungsverfahren werden die zu diagnostizierenden Keime selektiv vermehrt. Spezielle flüssige Selektivmedien erlauben bestimmten Organismen ein starkes Wachstum und unterdrücken gleichzeitig andere Organismen in ihrer Vermehrung. Das Wachstum der gesuchten spezifischen Bakterien wird entweder durch eine Trübung oder einen Farbumschlag des Nährmediums angezeigt. Aus den Anreicherungslösungen wachsen durch Ausstreichen auf Selektivnährböden Subkulturen.

Je nach zu erwartendem Keimgehalt werden flüssige Proben entweder direkt in die Nährmedien gegeben oder, wie bei der Bearbeitung von Feststoffe, vorverdünnt. Bei diesen wird zur Vorverdünnung eine Einwaage von 20 g in 180 ml steriler, physiologischer 0,9-%iger NaCl Lösung eingebracht. Die Suspension wird anschließend ca. 12 h bei 4 °C mit 120 bis 140 U/min geschüttelt. Zur Erstellung von Verdünnungsstufen wird je 1 ml dieser Lösung in geometrischer Reihe bis zu Verdünnungsstufe  $10^{-9}$  in jeweils 9 ml NaCl-Lösung pipettiert. Diese Verdünnungsstufen dienen nun als Ausgangslösung für weitere Untersuchungen. Zur Keimanreicherung werden aus jeder Verdünnungsstufe drei parallelen Ansätze pipettiert. Dabei wird drei mal jeweils 1 ml in eine spezielle Nährlösung pipettiert und bei 37 °C für 24 h inkubiert. Nun wird aus diesen Anreicherungen, oder je nach gesuchtem Keim direkt aus den Verdünnungen, jeweils 0,1 ml jeder Verdünnungsstufe parallel auf zwei der jeweiligen Selektivnährböden abpipettiert.

Die Flüssigkeit wird sofort mit einem ausgeglühten Drahtspatel bzw. Drigalski-Spatel gleichmäßig verteilt, so dass die Platten anschließend entsprechend den Vorgaben im Inkubator bebrütet werden können (Koch'sches Oberflächenverfahren). Dann werden die auf den Platten gewachsenen Kolonien gezählt, wobei nur Platten mit einer Koloniezahl zwischen 50 bis 250 berücksichtigt werden. Aus den Werten der parallel angelegten Platten wird der Mittelwert errechnet und als Wert notiert. Unter Berücksichtigung der verwendeten Verdünnung wird rechnerisch der Ausgangskeimgehalt, bezogen auf 1 g bzw. 1 ml der Probe, ermittelt.

#### 3.2.1.1.2 Anlegen von Subkulturen

Durch die spezielle Zusammensetzung der Nährböden kommt es zu einem selektiven Wachstum der Keime in Einzelkolonien mit einer für jede Bakterienart spezifischen Kolonienmorphologie.

Ist es notwendig, Material für weitere spezifischere Untersuchungen zu gewinnen, werden einzelne Kolonien von den Selektivnährböden mittels Verdünnungsausstrich auf Standard-I-Agar<sup>2</sup> übertragen. Dieses Nährmedium enthält keine Hemmstoffe und ist damit für alle Bakterien geeignet. Nach einer erneuten Inkubation kommt es zum Wachstum eines Keimrasens, der ausreichend Material für weitere Untersuchungen liefert.

So können vor allem den *Enterobacteriaceae* ähnliche Kulturen mit Hilfe des Cytochrom-Oxidase-Tests und salmonellenähnliche Kulturen mittels eines Agglutinationstests weiter spezifiziert werden.

#### 3.2.1.1.3 Das Auswerten mittels MPN-Verfahren

Mit Hilfe des von DE MAN (1983) beschriebenen „most-probable-number“-Verfahrens wird anhand von in Verdünnungsstufen ermittelten Keimzahlen die ursprüngliche Keimzahl einer Probe statistisch abgesichert geschätzt.

Dazu werden Verdünnungsreihen (1 ml der Vorverdünnung in 9 ml 0,9 %ige NaCl Lösung in geometrischer Reihe bis zur Verdünnungsstufe  $10^{-9}$ ) angesetzt. Anschließend erfolgt die Anreicherung. Dabei werden in drei Ansätzen pro Verdünnungsstufe je 1 ml in eine Nährlösung überführt und bei 37 °C inkubiert.

Von den Ansätzen, in denen ein Wachstum festgestellt wird, erfolgt anschließend eine Überimpfung auf Selektivnährböden, um nach erneuter Inkubation die spezifischen Subkulturen zu differenzieren. Anhand der Anzahl an Nährböden, auf denen der gesuchte Keim gewachsen ist, wird mit Hilfe der McCradyschen Tabelle die Anzahl an koloniebildenden Einheiten pro ml (KBE/ml) der ursprünglichen Probe geschätzt.

#### 3.2.1.2 Verwendete spezielle bakteriologische Verfahren

##### 3.2.1.2.1 Bestimmung der aeroben Gesamtbakterienzahl

Die Proben werden wie in Pkt. 3.2.1.1 beschrieben aufbereitet. Die für das MPN Verfahren erstellten Verdünnungsreihen werden gleichzeitig als Stammsuspension zum Ausplattieren auf Standard-I-Nährböden im Doppelansatz verwendet. Die Auszählung der Keime erfolgt nach einer Inkubationszeit von 48 h.

---

<sup>2</sup> Standard-I-Agar, Merck Art.-Nr.: 7881

3.2.1.2.2 Bestimmung der Anzahl an Enterobacteriaceae und *E. coli*

Während die Beschreibung „gesamtkoliforme Bakterien“ eine Vielzahl von Arten umfasst, die aus Lactose Gas bilden und insgesamt zu den Enterobacteriaceae gehören, stellen Fäkalkoliforme, insbesondere die *E. coli*, sogenannte thermotolerante Coliforme dar, die Lactose noch bei 44 °C vergären und mit hoher Wahrscheinlichkeit fäkalen Ursprungs sind.

Die in Pkt. 3.2.1.1 für das MPN-Verfahren erstellten Verdünnungsreihen werden gleichzeitig in drei Ansätzen als Stammsuspension für das Anreicherungsverfahren mit MacCONKEY-Bouillon<sup>3</sup> verwendet. Dieses Nährmedium enthält Laktose, die von *E. coli* und fäkalkoliformen Keimen mittels  $\beta$ -Galaktosidase zu Säure und Gas abgebaut wird.

Tab. 2: Koloniemorphologie für *Enterobacteriaceae* und *E. coli* auf verschiedenen Kulturmedien

<b>MacCONKEY-Nährboden</b>	
<i>E. coli</i>	Große, rote Kolonien
andere <i>Enterobacteriaceae</i> (z. B. <i>Klebsiella</i> )	Große, rosa Kolonien schleimig
Salmonellen	Farblose, transparente Kolonien
<b>ENDO-Nährboden</b>	
Laktose-positive Keime	Tiefrote Kolonien <i>E. coli</i> besitzen zudem einen grünmetallischen Fuchsinglanz Rotfärbung des Nährbodens
Laktose-negative Keime	Farblose, durchscheinende Kolonien Keine Färbung des Nährbodens
<b>Tergitol-7-Nährboden</b>	
<i>E. coli</i>	Gelbe Kolonien mit weißlich bis gelblichem Hof
Coliforme ohne <i>E. coli</i>	Rote Kolonien evtl. mit gelbem Hof
Laktose-negative Keime	Rötliche Kolonien mit bläulichem Hof

Andere Bakterien, die dieses Enzym nicht besitzen, vermehren sich nur unwesentlich und stören dadurch nicht die selektive Vermehrung von *E. coli*. Der Laktoseabbau zeigt sich durch einen Farbumschlag der Bouillon von violett nach gelb. Aus jeder Anreicherung, in der ein Farbumschlag sichtbar ist, erfolgt je eine Überimpfung auf MacCONKEY-<sup>4</sup>, ENDO-<sup>5</sup> und TERGITOL-7-Agar<sup>6</sup>. MacCONKEY-Agar wird zur Isolierung coliformer Keime sowie enteropathogener Bakterien eingesetzt. Durch Gallensalze und Kristallviolett wird das Wachstum grampositiver Bakterien weitgehend unterdrückt.

Der Laktoseabbau durch die laktose-positiven Bakterien wird durch eine Rotfärbung des bräunlichen Nährbodens angezeigt. Können die verschiedenen *Enterobacteriaceae* nicht eindeutig differenziert werden, wird als weiteres Isolierungsverfahren der Cytochrom-Oxidase-Test durchgeführt. ENDO-Agar wird zur Unterscheidung laktose-positiver von laktose-negativer Bakterien eingesetzt. Die Umsetzung der im Nährboden enthaltenen

<sup>3</sup> MacCONKEY-Bouillon Merck Art.-Nr.: 5396

<sup>4</sup> MacCONKEY-Agar Merck Art.-Nr.: 5465

<sup>5</sup> DEV-ENDO-Agar Merck Art.-Nr.: 10684

<sup>6</sup> TERGITOL-7-Agar Merck Art.-Nr.: 5471

Laktose sowie des Fuchsin führt zu charakteristischen Kolonien der Bakterien auf dem leicht rosafarbenen Nährboden. TERGITOL-7-Agar wird zum Nachweis coliformer Bakterien eingesetzt. Natriumheptadecylsulfat (Tergitol-7) hemmt dabei grampositive Keime. Der Laktoseabbau ist an einer gelben Färbung des sonst grünlichen Nährbodens zu erkennen. Die Zugabe von 2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) ermöglicht eine schnelle Erkennung der *E. coli*, da diese im Gegensatz zu anderen Coliformen den Stoff in rotes Formazan umsetzen. Da die Unterscheidung der *E. coli* von anderen *Enterobacteriaceae* teilweise nicht eindeutig ist, weil ein Fuchsinglanz auch bei anderen Arten auftreten kann, werden beide aufgeführten Nährböden parallel eingesetzt.

Mit Hilfe des Bactident<sup>®</sup>-Oxidase-Testes<sup>7</sup> kann die Cytochromoxidase in Bakterien nachgewiesen werden. Es handelt sich dabei um das terminale Enzym in der Atmungskette vieler Eukaryonten und Bakterien, welches in Anwesenheit von Sauerstoff organische Substanzen reduziert. Bei positiver Reaktion zeigt sich auf den Teststäbchen eine Blaufärbung. Da *Enterobacteriaceae* dieses Enzym nicht besitzen, werden diese von anderen Keimen dadurch unterschieden, dass keine Blaufärbung stattfindet.

#### 1) Bestimmung der Anzahl an Fäkalstreptokokken

Hierbei werden in dem nach Pkt. 3.2.1.1.1 beschriebenen Anreicherungsverfahren drei parallele Ansätze einer Azid-Glucose-Bouillon<sup>8</sup> verwendet, welche bei 37 °C für 48 h inkubiert wird. Die enthaltene Konzentration von Natriumazid unterdrückt das Wachstum von gramnegativen Bakterien. Es kommt somit zur selektiven Vermehrung der grampositiven Fäkalstreptokokken, welche durch eine Trübung der sonst klaren, gelblichen Bouillon deutlich wird. Die Versuchsansätze mit einer Trübung werden auf Kanamycin-Äsculin-Azid-Agar (KAA-Agar<sup>9</sup>) überimpft. Die Agarplatten werden auf den Rückseiten so markiert, dass auf jeder Platte drei Felder zu erkennen sind. Beim Ausstreichen werden dann jeweils die drei parallelen Ansätze einer Verdünnungsstufe auf je eines der drei Felder der gleichen Platte ausgestrichen. Die anschließende Inkubation findet bei 37 °C für 48 h (72 h bei schwachem Wachstum) statt. Kanamycin und Azid hemmen die Begleitflora weitgehend, während sich die Streptokokken vermehren, da sie weniger empfindlich gegenüber diesen Substanzen sind. Sie bilden dabei olivgrüne bis schwarze Kolonien mit einem dunklen Hof. Bei nicht eindeutig zu differenzierenden Kolonien erfolgt die Anzucht einer Reinkultur wie in Pkt. 3.2.1.1.2 beschrieben mit anschließendem Agglutinationstest mittels Phadebact Strep D Test<sup>10</sup>. Die Anzahl der im Grenzbereich des Wachstums nachweisbaren, positiven Parallelansätze von drei aufeinanderfolgenden Verdünnungsstufen werden zur Erstellung eines 3-stelligen MPN-Codes herangezogen. Dessen Auswertung erfolgt anhand der MPN-Tabelle nach DE MAN (1983).

#### 2) Bestimmung der Anzahl an Salmonellen

TURPIN (1993) stellt fest, dass der kulturelle Nachweis von Salmonellen aus Umweltproben wegen der in hoher Anzahl vorkommenden Begleitflora oft schwierig ist. Für den Salmonellennachweis wird daher das Verfahren nach Rappaport-Vassiliadis in Ver-

<sup>7</sup> Bactident ® Oxidase, Diagnostika Merck KG, 64271 Darmstadt

Typ: 1.13300. - Mikrobiologie, In-Vitro-Diagnostikum

<sup>8</sup> Azid-Glukose-Bouillon Merck Art.-Nr.: 1590

<sup>9</sup> Kanamycin-Äsculin-Azid-Agar, Merck Art.-Nr.: 5222

<sup>10</sup> Agar Art. Nr. 5586-12, Fa. INNOGENETICS

bindung mit Xylose-Lysin-Desoxycholat-Agar (XLD)<sup>11</sup> und Brillantgrün-Phenolrot-Laktose-Saccharose-Agar (BPLSA)<sup>12</sup> Selektivnährböden sowie mit einer Peptonvoranreicherung gewählt, welches sich nach SCHALCH (1997) und MILLER (1995) besonders für Umweltproben mit großer Begleitflora eignet. Die Untersuchung erfolgte in Anlehnung an den in DIN 38414, Teil 15 (1992) beschriebenen Salmonellennachweis für entseuchte Klärschlämme sowie die ISO 6579 (1990).

Zur Voranreicherung werden 50 g aus einer Sammelprobe der Ausgangssubstanz (Feststoff oder Wasser) in 450 ml Peptonwasser<sup>13</sup> suspendiert. Feststoffproben werden zunächst über 30 Minuten bei 4 °C langsam geschüttelt und anschließend wie Wasserproben direkt für 20 Stunden bei 37 °C inkubiert. Aus der Voranreicherung werden zur Selektivanreicherung 0,1 ml in 10 ml Anreicherungsbouillon nach RAPPAPORT<sup>14</sup> überführt und je eine Parallele bei 37 °C und bei 43 °C über 20 bis 24 Stunden inkubiert.

Das in RAPPAPORT-Bouillon enthaltene Malachitgrün und Magnesiumchlorid sowie die Inkubation bei 43 °C hemmen das Wachstum normaler Darmflora und erlauben Salmonellen eine ungehinderte Vermehrung. Bakterienwachstum ist in der sonst klaren, blauen Lösung durch eine Trübung zu erkennen.

Aus der Selektivanreicherung werden gleichzeitig Ausstriche auf BPLSA-Agar und auf XLD-Agar angelegt und bei 37 °C über 20-24 Stunden inkubiert. Salmonellenverdächtige Kolonien werden mit biochemische und serologische Verfahren weiter untersucht.

Auf XLD-Agar sind Salmonellen und Shigellen kultivierbar. Die Differenzierung erfolgt durch die unterschiedliche Verwertung von Xylose und Lysin sowie der Schwefelwasserstoffbildung. Shigellen können, im Gegensatz zu Salmonellen und anderen Enterobakterien, Xylose nicht verstoffwechseln. Salmonellen bilden zudem Schwefelwasserstoff (Schwarzfärbung). Die Hemmwirkung des Nährbodens ist schwach. Bei BPLSA-Agar handelt es sich um einen Selektivagar für Salmonellen. Die Differenzierung erfolgt durch die Umsetzung der Laktose im Nährboden. Salmonellen sind laktosenegativ, eine Säurebildung und Gelbfärbung des Mediums wie bei anderen *Enterobacteriaceae* findet nicht statt. Die Begleitflora wird durch Brillantgrün weitgehend unterdrückt.

Tab. 3: Koloniemorphologie auf XLD-Agar und BPLSA-Agar zur Salmonellendiagnostik

XLD-Agar	
<i>Salmonella</i>	Schwarze Kolonien, leicht rötlich umrandet
<i>Shigella</i>	Rote, transparente Kolonien
Enterobakterien	Gelbe Kolonien
BPLSA-Agar	
<i>Salmonella</i>	Rosa Kolonien mit rotem Hof
Andere Enterobakterien bei gutem Wachstum (z. B. <i>E. coli</i> , <i>Klebsiella</i> )	Gelbgrüne Kolonien

<sup>11</sup> Xylose-Lysin-Desoxycholat-Agar Merck Art.-Nr.: 5287

<sup>12</sup> Brillantgrün-Phenolrot-Lactose-Agar nach KAUFMANN Merck Art.-Nr.: 7236

<sup>13</sup> Peptonwasser, Oxoid-Handbuch Art.-Nr.: CM9

<sup>14</sup> RAPPAPORT-Bouillon Merck Art.-Nr.: 10236

Bei der Objektträger-Agglutination handelt es sich um einen serologischen Schnelltest für die Salmonellendifferenzierung. Bakterienmaterial aus einer Reinkultur wird mit zwei verschiedenen polyklonalen Antikörperseren<sup>15</sup> jeweils auf einem Objektträger vermischt. Durch eine Reaktionen der O- und H-Antigene auf der Zelloberfläche von Salmonellen kann es zu einer Verklumpung über die im Serum enthaltenen Antikörper kommen. Die Reaktion ist deutlich durch eine Flockung zu erkennen. Anhand der verwendeten Antikörpern kann auf die Zugehörigkeit zu bestimmten Salmonellenserovaren geschlossen werden.

---

<sup>15</sup> POLY 1 und POLY 2 der Fa. Difco

### 3.2.2 Bakteriologische Stufenkontrollen in den einzelnen Anlagen

Bei den sechs in Pkt. 3.1 beschriebenen Pflanzenkläranlagen wurde das qualitative und quantitative Vorkommen von Salmonellen, *E. coli* und Fäkalstreptokokken sowie die Gesamtbakterienzahl in den verschiedenen Klärstufen untersucht. Die Wasserprobenahme an jeder Pflanzenkläranlage erfolgte aus den Abläufen der einzelnen Klärstufen sowie direkt aus der Vorflut (s. Abb. 12). Die Feststoffproben wurden, wenn nicht anders beschrieben, aus der Mitte jedes untersuchten Objektes mittels eines umstülpbaren, armlangen Handschuhes manuell entnommen um Kontaminationen zu vermeiden. Für die Durchflussversuche wurde eine Salmonellensuspension in den Abwasserstrom unmittelbar vor der ersten Reinigungsstufe eingebracht. Die anschließende Untersuchung über das zeitliche Auftreten der Salmonellen erfolgte in den Wasserproben, die an den genannten Stellen entnommen wurden.

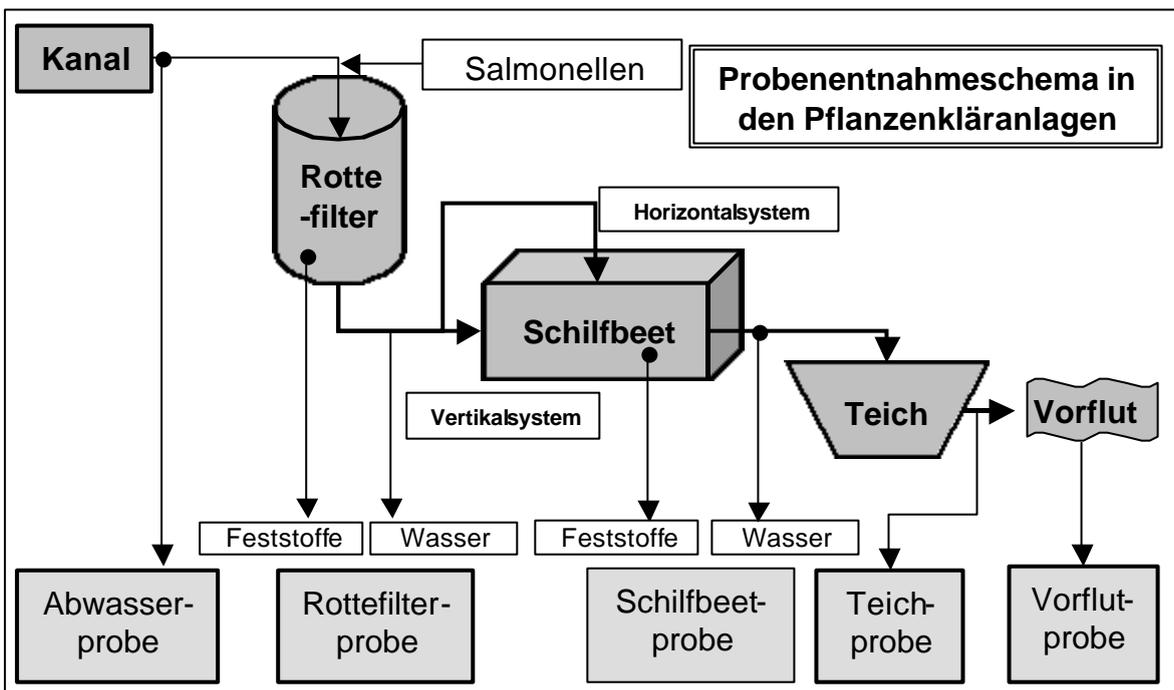


Abb. 12: Probenahme und Keimzugaben in den Pflanzenkläranlagen

Die Abb. 12 skizziert den Verlauf des Wassers in Verbindung mit den einzelnen Probenentnahmeorten für die Wasser- sowie Feststoffproben.

#### 3.2.2.1 Praxis der Probenahme an den Pflanzenkläranlagen

Es wurde zur Untersuchung der Wasserproben jeweils 1 Liter Wasser als Durchschnittsprobe von 1 Stunde gewonnen und in sterile Gefäße abgefüllt. Die Probenahme erfolgte bei den Anlagen „Süd-1“, „Süd-2“, „Nord-2“ und „Nord-3“ manuell. Bei der Anlage in „Nord-1“ stand ein in Abhängigkeit vom Durchfluss automatisch gesteuerter Probennehmer zur Verfügung, so dass unter Berücksichtigung der Durchflussmenge und der Durchflusszeit zwischen dem Zulauf und Ablauf korrespondierende Proben entnommen wurden. Abweichend davon wurden für die Schwerpunktuntersuchung in der Pflanzenkläranlage „Nord-1“ die Wasserproben aus dem Teich manuell entnommen (s. Pkt. 4.1.1.1 in Tab. 6). Für die Untersuchung der inhomogenen Feststoffe wurde entweder eine Mischprobe des Filtermaterials aus dem Rottefilter oder des Erdmaterials

aus dem Bodenkörper entnommen. Die Proben wurden am Tag der Entnahme wie in Pkt. 3.2.1.1 und Pkt. 3.2.1.2 beschrieben weiter bearbeitet.

Zur Durchführung der Schwerpunktuntersuchungen in „Nord-1“ wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, ein automatischer Wasserprobennehmer installiert, der das Probenvolumen abhängig von der durchfließenden Wassermenge sammelte. Die sogenannten qualifizierten Durchschnittsproben wurden aus dem Zu- und Ablauf des Schilfbeetes gewonnen. Die Untersuchung wurde über sieben aufeinanderfolgende Tage durchgeführt. Die Proben kamen nach täglicher Entleerung zur Untersuchung.

### 3.2.3 Tenazitätsversuche

Für die Untersuchungen zur Überlebensfähigkeit dieser Organismen in Pflanzenkläranlagen bieten sich verschiedene Prüfkörpertechniken an. Mit Hilfe der optimierten Prüfkörpertechnik nach RAPP (1995) wurden die Tenazitätsversuche mit Salmonellen durchgeführt. Eine bereits von PRIESTER (1975), LANG (1987) oder RAPP (1995) benutzte Gaze-Sack-Prüfkörper-Technik wurde ebenfalls in optimierter Form für die Tenazitätsversuche mit Askarideneiern verwendet. Die Haupteigenschaft aller Prüfkörper ist die Möglichkeit der Einwirkung des umgebenden Milieus auf die Indikatororganismen, die je nach ihrer Eigenschaft zu einem Absterben oder zu einer Konservierung führen. Die Prüfkörpertechnik ist je nach Indikatororganismus und Umgebungsmilieu unterschiedlich zu handhaben.

#### 3.2.3.1 Gaze – Prüfkörpertechnik mit Schweine – Spulwurmeiern

Die Askarideneiern wurden aus den Uteri weiblicher Spulwürmer herauspräpariert. Eine möglichst hohe Zahl von befruchteten Eiern wurde dadurch gewonnen, dass nur die ersten 2 cm beider Uterusschlingen entleert wurden. Die auf diese Weise gewonnene Eiususpension enthielt aufgeschüttelt eine nach mikroskopischer Auszählung errechnete Konzentration von ca. 1 Million Eiern pro ml. Die Aufbewahrung erfolgte in Glasreagenzgläsern im Kühlschrank bei ca. 5 °C bis 8 °C. Zur Tenazitätsuntersuchung wurde 1 ml der Eiususpension in ein Tuch aus Seidengaze<sup>16</sup> abfiltriert und als Säckchen verschlossen. Zum mechanischen Schutz vor grobem Kompostmaterial wurden diese Säckchen zusätzlich mit Stücken von handelsüblichen Zwiebelsäcken (Maschenweite 1 cm) eingewickelt. Diese Prüfkörper wurden in die Mehrkammerausfaulgrube, die Rottefilter und die Pflanzenbeete eingebracht. Durch die geringe Maschenweite des Gazematerials wurde der Kontakt der Eier zum umgebenden Milieu gewährleistet, ohne dass diese ausgeschwemmt werden konnten. Der Zwiebelsack hatte auf Grund seines Materials und der großen Maschenweite keine rückhaltende Funktion gegenüber dem umgebenden Milieu. Die Befestigung der Gaze-Prüfkörper erfolgte gemeinsam mit den Macro-lon-Prüfkörpern. Die Prüfkörper wurden in einem monatlichen Rhythmus entnommen.

Die Gaze-Prüfkörper wurden zur Rückgewinnung der Eier in eine Petrischale ausgespült. Im Anschluss erfolgte eine mikroskopische Differenzierung der Eier in entwicklungsfähige und nicht entwicklungsfähige Stadien. In feucht gehaltenen Petrischalen wurden die Eier bei 29 °C vier Wochen lang inkubiert. Danach erfolgte erneut eine differenzierte Auszählung der Entwicklungsfähigkeit unter dem Mikroskop. Dabei gilt die Entwicklung zum zweiten Larvenstadium als infektiös.

---

<sup>16</sup> Sefar AG, Hinterbissastraße 25 PF, Schweiz - 9410 Heiden

### 3.2.3.2 Macrolon – Prüfkörpertechnik mit Salmonellen

Die Tenazitätsuntersuchung mit Salmonellen wurde mit Hilfe einer von SCHWARZ (2003) optimierten Version der ursprünglich von RAPP (1995) entwickelten Prüfkörpertechnik durchgeführt. Die Prüfkörper bestehen aus einem Macrolonzylinder, an dessen Ende sich verschraubbare Filtrationseinheiten der Fa. Sartorius<sup>17</sup> mit einem Durchmesser von 25 mm befinden (s. Abb. 13).

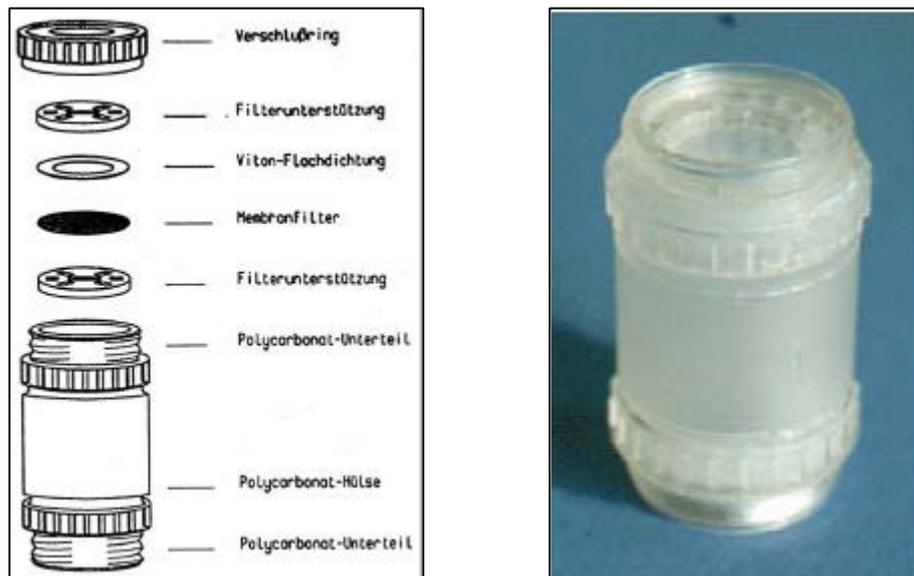


Abb. 13: Der Macrolon-Prüfkörper

Das Foto rechts in der Abb. 13 zeigt den Korpus des Prüfkörpers ohne Filteraufsätze. Links in der Abb. 13 ist der Macrolon-Prüfkörper im Aufbau skizziert. Die Teile werden entsprechend der Beschreibung zusammengesetzt..

In diese Filtrationseinheiten werden Nitrocellulosefilter (NC) mit einer Porengröße von 0,2 µm eingelegt. Diese Porengröße garantiert, dass die Keime das Innere des Prüfkörpers nicht verlassen können bei gleichzeitiger Diffusion des Außenmilieus in das Innere. Somit werden die Einflüsse, die im Außenmedium auf die Keime einwirken, ebenso im Inneren dargestellt und üben ihre keimreduzierenden oder konservierenden Eigenschaften auf die Testkeime aus.

Die Prüfkörper für die Vorklä rung wurden mit einem Äquivalent des in die Rottefilter eingebrachten Materials befüllt, welches aus 10 % Holzhäcksel, 10 % Material mit Fäkalien aus dem Rottefilter, 20 % fertigen Kompostmaterials aus einer Kompostierungsanlage, 20 % Stroh, und 40 % frischen Kompostmaterials (Blattlaub und frischer Pflanzenschnitt) bestand.

Die Prüfkörper für die Schilfbeete wurden mit wassergesättigter Schilferde gefüllt. Als Testkeime wurden die Salmonellenserovare *Salmonella Typhimurium* und *Salmonella Enteritidis* verwendet.

Zur Herstellung einer Keimsuspension wurde jeder Testkeim in je ein Liter Standard-I-Nährbouillon überimpft und für 24 Stunden bei einer Temperatur von 37 °C bei ständiger Bewegung inkubiert, bis eine Keimdichte von ca. 10<sup>7</sup> KBE/ml erreicht war. In die mit Kompostmaterial gefüllten Prüfkörper wurde je 1 ml von jeder Keimsuspension

<sup>17</sup> Filterunterstützung SM 16514/17E der Fa. Sartorius, Weender Landstraße 94-108, 37075 Göttingen

injiziert. Zuletzt wurde der Prüfkörper mit physiologischer Kochsalzlösung aufgefüllt und verschlossen. Je zwei Prüfkörper wurden als eine Probe zusammen eingebracht. In den Rottefiltern wurden die Prüfkörper unterhalb des permanenten Wasserspiegels eingebracht, um die ständige Diffusion durch die semipermeablen Membranen zu gewährleisten. In den Schilfbeeten wurden die Prüfkörper im Bereich des Wurzelraumes der Pflanzen eingegraben, welcher sich ebenfalls unterhalb des Bodenwasserspiegels befand. Die Prüfkörper wurden in einem monatlichen Rhythmus entnommen und auf noch vermehrungsfähige Salmonellen untersucht (s. Pkt. 3.2.1.2).

#### 3.2.4 Modellversuch mit Rottefiltern

Um differenziertere Aussagen über die bakteriologischen Vorgänge im Rottefilter zu erhalten, wurden diese im halbtechnischen Maßstab nachgebaut und kontinuierlich untersucht. Als Fragestellung war zu klären, ob während der einzelnen Betriebsphasen im Rottefilter eine Keimanreicherung oder -eliminierung stattfindet. Es sollte festgestellt werden, ob und wie lange der Inhalt eines Rottefilters bei einem Seuchenausbruch hygienisch bedenklich wäre. Um abschätzen zu können, was unternommen werden muss, um das Risiko der Verbreitung von in dem Rottematerial enthaltenen Zoonose- bzw. Tierseuchenerregern zu minimieren, wurden Salmonellen mit Hilfe von Prüfkörpern in die Rottefilter eingebracht (s. Pkt. 3.2.3).

Damit wurde modellhaft das Szenario einer anzeigepflichtigen Rindersalmonellose simuliert. Die für diese Untersuchung eigens konstruierten Rottefilter sind mit ähnlicher Verfahrenstechnik und vergleichbarer Größe von verschiedenen Firmen erhältlich.

##### 3.2.4.1 Beschreibung der Rottefilter

Die für diesen Versuch konstruierten Rottefilter vereinigen die technischen Erkenntnisse der verschiedenen in Betrieb befindlichen Filter (s. Abb. 14). Sie bestehen aus einem rechteckigen Metallgehäuse (1), welches nach oben offen ist und am Boden einen Ablauf besitzt. An der Außenwand befindet sich eine thermische Isolierung (8). Der Innenausbau besteht an unterster Stelle aus Filterplatten (3) mit einer Lochöffnung von 0,5 cm. Dadurch entsteht ein luftgefüllter Bereich (2), um eine allseitige Belüftung des Kompostmaterials (6) zu gewährleisten. Darüber befindet sich eine Schicht Holzhäcksel (5). Auf diese Schicht wird in definierten Intervallen kompostierbares Material (6) aufgebracht. An den Seiten befinden sich Dränagerohre (4), um einen Ablauf des Wassers zu gewährleisten. Die Beschickung mit Abwasser erfolgt kontinuierlich aus dem Zulauf einer kommunalen Kläranlage. Das Abwasser fließt nach der Filtrierung durch den Kompost wieder in den Zulauf der Kläranlage zurück.

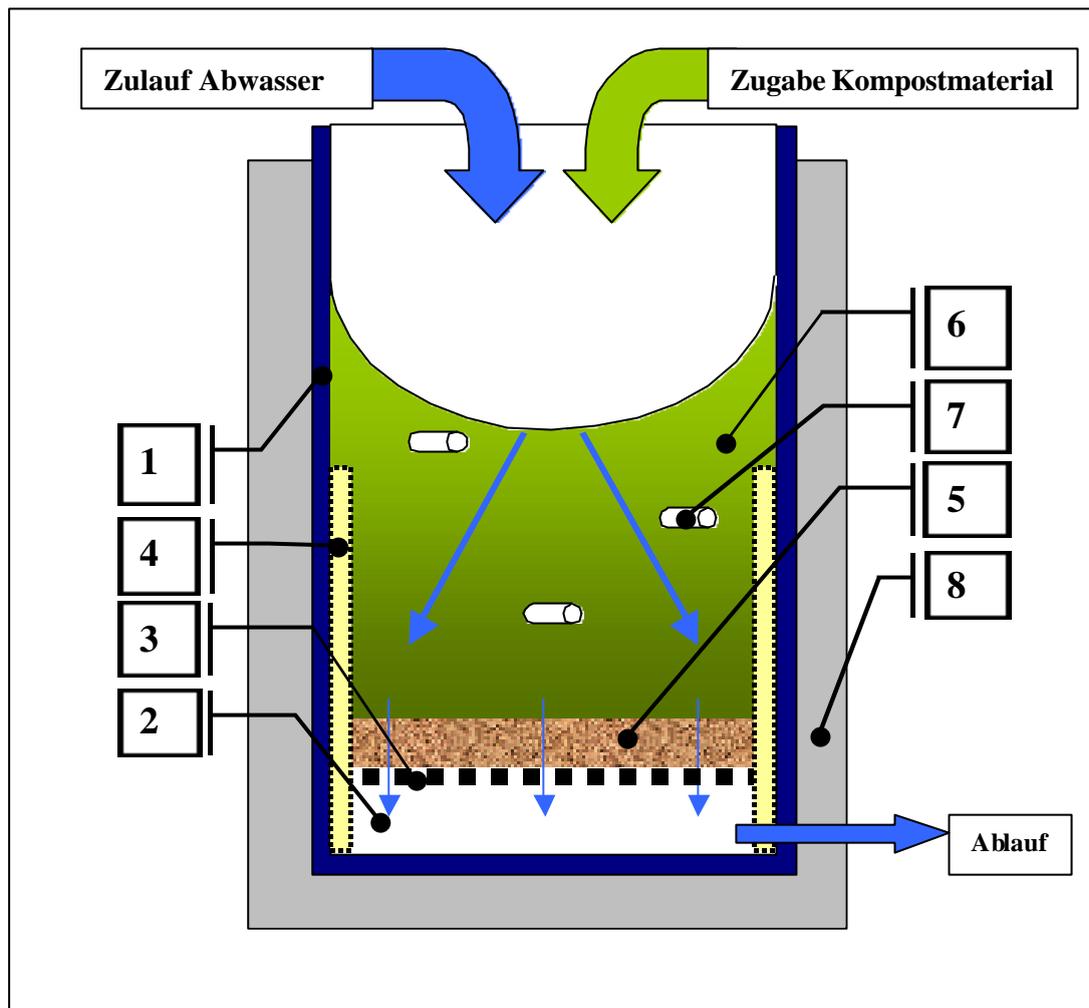


Abb. 14: Schematischer Aufbau eines Rottefilters auf einer kommunalen Kläranlage.

- |                                       |   |               |
|---------------------------------------|---|---------------|
| 1. Metallbehälter (1 m <sup>3</sup> ) | 4. Drainagerohre                        | 7. Prüfkörper |
| 2. luftgefüllter Raum                 | 5. Holzhacksel                          | 8. Isolierung |
| 3. Filterplatten aus PP               | 6. Pflanzenabfall (Bioabfall / Kompost) |               |

#### 1) Rottefilter Nr. 1 mit Bioabfall

Zur Beschickung dieses Rottefilters wurde standardisiertes Material aus einem Kompostwerk verwendet, wie es in großtechnischen Anlagen den Kompostmieten zugeführt wird. Nach der manuellen Vorsortierung wurde dort durch maschinelle Beimengung ein Strukturanteil von ca. 18 % eingestellt. Dieser Filterinhalt wurde repräsentativ für die Beschickungsmöglichkeiten eines kommunalen Betreibers wie in „Nord-1“ entworfen. Öffentliche Träger verfügen meistens entweder über Bioabfallsammelstellen, Bioabfalltonnen oder ein Gartenbauamt, bei welchem ähnliche Stoffe in ausreichender Menge regelmäßig anfallen.

## 2) Rottefilter Nr. 2 mit Pflanzenabfall

Zur Beschickung dieses Rottefilters wurde Pflanzenabfall aus den Gewächshäusern der Universität Hohenheim und den umliegenden Gärten verwendet. Die Befüllung mit diesem Filtermaterial wurde repräsentativ für private Betreiber entworfen, die einen Rottefilter mit eigenen Gartenabfällen beschicken möchten. Diese Gartenabfälle (Laub, Heckenschnitt oder Mähreste) könnten im Herbst gesammelt werden und dann im Winter nach und nach in den Rottefilter eingebracht werden. Es sollten keine groben Stoffe wie Äste oder ähnliches dabei sein, die nicht vorher mit einem Häcksler zerkleinert wurden.

## 3) Rottefilter Nr. 3 mit Strohfüllung

Zur Beschickung dieses Rottefilters wurde ausschließlich Stroh verwendet. Dieser Rottefilter wurde repräsentativ für Pflanzenkläranlagen entworfen, die häusliches Abwasser von landwirtschaftlichen Betrieben reinigen und bei denen Stroh und Heu in größeren Mengen vorhanden sind. Diese organisatorisch einfachste Form der Beschickung wurde z.B. in „Nord-2“ durchgeführt.

## 3.2.4.2 Beschreibung der Versuchsansätze

Zur Klärung der Fragestellungen wurden verschiedene Versuchsreihen durchgeführt. Es wurden während der Beschickungsphase Proben des zu- und abfließenden Wassers sowie Proben aus dem Kern des angesammelten Rottematerials mikrobiologisch untersucht. Unmittelbar vor Beendigung der Beschickung wurde eine Salmonellensuspension, wie in Pkt. 3.2.3.2 beschrieben, mit dem zufließenden Abwasser eingebracht (s. Abb. 15).

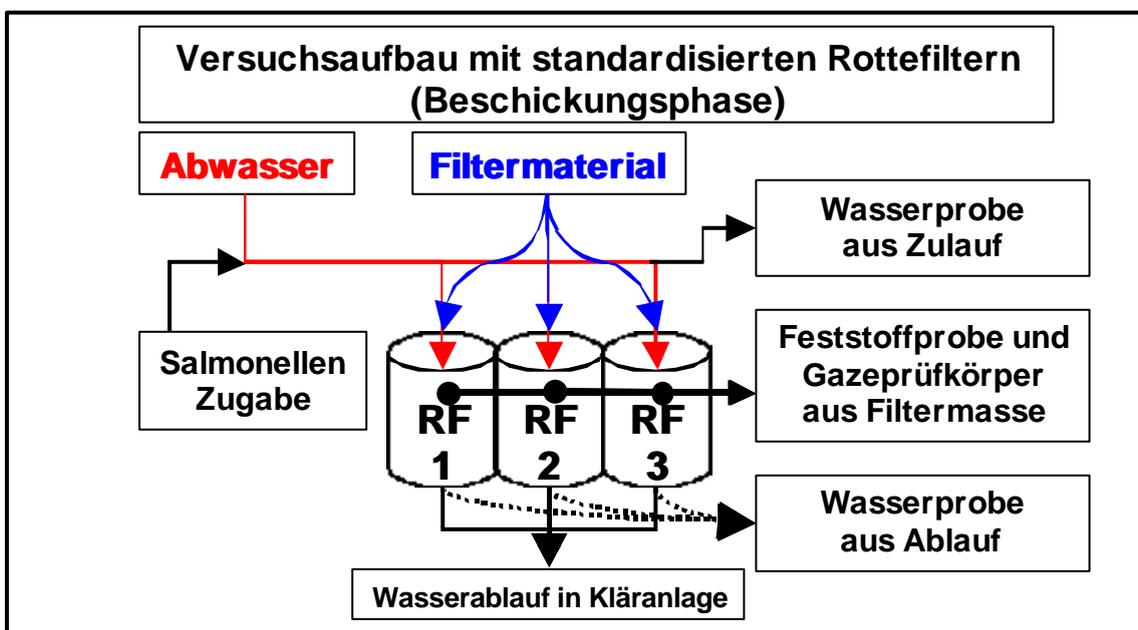


Abb. 15: Versuchsaufbau im Rotteversuch (Beschickung)

Die Abb. 15 stellt darüber hinaus das Verlaufsprinzip des Rotteversuches mit standardisierten Rottefiltern während der Beschickungsphase dar. Filtermaterial, Abwasser und Salmonellen wurden entsprechend dem Versuchsplan zugeführt. Die Probenentnahme erfolgte an den dargestellten Punkten.

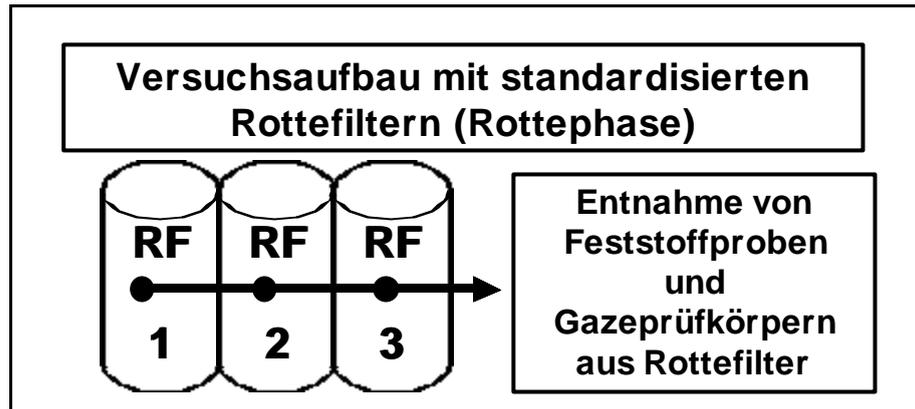


Abb. 16: Versuchsaufbau im Rotteversuch (Verrottung)

Legende zu Abb. 15 und Abb. 16:

- |                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| - Abwasser          | = | Wasserprobe aus dem Zulauf zum Rottefilter                               |
| - RF 1              | = | Probe aus dem Ablauf und des Kerns des Rottefilters 1 mit Bioabfall      |
| - RF 2              | = | Probe aus dem Ablauf und des Kerns des Rottefilters 2 mit Pflanzenabfall |
| - RF 3              | = | Probe aus dem Ablauf und des Kerns des Rottefilters 3 mit Strohfällung   |
| - Salmonellenzugabe | = | Zugabe in das einfließende Abwasser                                      |

Die Abb. 16 stellt das Verlaufsprinzip des Rotteversuches mit standardisierten Rottefiltern während der Verrottungsphase dar. Das Filtermaterial wurde entsprechend dem Versuchsplan entnommen. Die Ergebnisse dieser Versuche werden in Pkt. 4.3 beschrieben.

#### 1) Gaze – Prüfkörper

Der erste Versuchsansatz bestand aus der Einbringung von Prüfkörpern mit Spulwurmeiern. Diese Prüfkörper verblieben über den gesamten Versuchszeitraum im Kompostmaterial. Die regelmäßige Entnahme und Untersuchung ergab eine Aussage über die Tenazität der Indikatororganismen in den einzelnen Betriebsphasen des Rottefilters.

#### 2) Untersuchung des Zu- und Ablaufwassers

Der zweite Versuchsansatz bestand aus der regelmäßigen Untersuchung des Zu- und Ablaufwassers der Rottefilter und der Feststoffe auf *Enterobacteriaceae*, *E. coli*, Fäkalstreptokokken und Salmonellen. Damit konnte festgestellt werden, in welchem Maße eine Keimzahlreduktion eingetreten war und ob eine Eliminierung von im Abwasser regelmäßig nachgewiesenen Salmonellen stattfand. Mit der Aufzeichnung der Kerntemperatur wurde ersichtlich, ob bei dem Verrottungsprozess eine für eine Entseuchung nötige Temperatur erreicht wurde.

#### 3) Durchflussversuch mit *Salmonella Enteritidis*

Im diesem dritten Versuchsansatz erfolgte eine „Beimpfung“ der Rottefilter am letzten Tag der Wasserbeschickung mit einem Feldstamm von *Salmonella Enteritidis*, welcher vorher aus dem Abwasser isoliert wurde. Damit war es möglich, die Filterwirkung, das Durchfluss- oder Rückhaltevermögen und das Verteilungsmuster von Keimen in Rottefiltern bei den unterschiedlichen Filtermaterialien festzustellen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss aber beachtet werden, dass im Verlauf der Probennahme Kompostmaterial abgebaut und verdichtet wird und es sich dadurch in seinen Eigenschaften verändert.

## 4) Nachbehandlung des Filtermaterials

Nach dem Beschickungsende wurde das Material zur Nachkompostierung entnommen und in zwei Hälften geteilt. Eine Hälfte wurde der Verrottung/Kompostierung überlassen, die zweite mit Branntkalk (CaO) versetzt (s. Abb. 17). Eine mikrobiologische Untersuchung des Rottematerials beider Hälften sollte Aufschluss darüber geben, ab wann ein hygienischer Status erreicht ist, der vergleichbar wäre mit dem in der Bioabfallverordnung (BioAbfV) für Komposte. Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Klärung der Frage, welches der ausgewählten Materialien sich am besten zur Beschickung von Rottefiltern eignet (Stroh/Heu, Bio- und Pflanzenabfall) und wie sich die Struktur des Materials auf den Rottevorgang auswirkt.

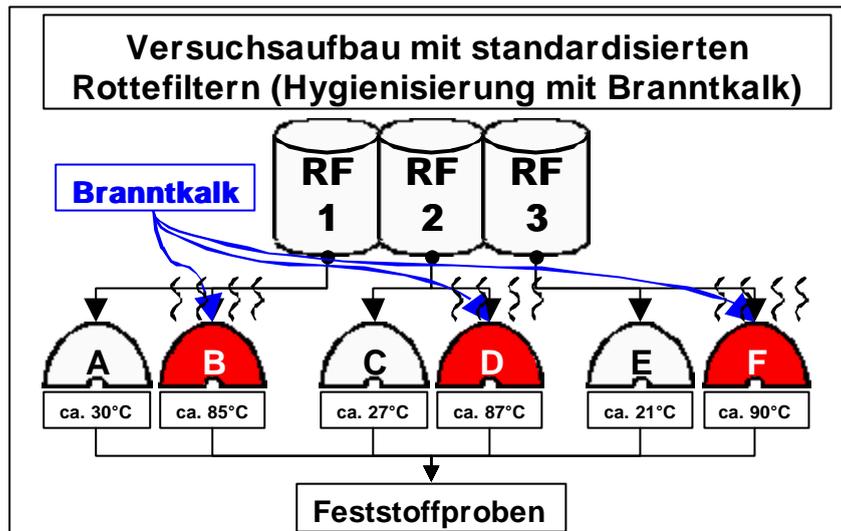


Abb. 17: Versuchsaufbau im Rotteversuch (Desinfektion)

Legende:

- RF 1 = Material aus dem Kern des Rottefilters 1 mit Bioabfall
- RF 2 = Material aus dem Kern des Rottefilters 2 mit Pflanzenabfall
- RF 3 = Material aus dem Kern des Rottefilters 3 mit Strohfällung
- Feststoffproben = Aus dem Kern der Komposthaufen
- Branntkalk = Zugabe von CaO ca. 80 kg/m<sup>3</sup>
- Komposthaufen A, C, E = Material aus RF 1, 2, 3 durch Umschichtung belüftet
- Komposthaufen B, D, F = Material aus RF 1, 2, 3 durch Umschichtung belüftet und mit Branntkalkzugabe

Es sollte weiterhin geklärt werden, ob beim Durchlauf des Abwassers durch Rottefilter eine signifikante Abnahme von Fäkalkeimen und ausgewählten pathogenen Keimen stattfindet. Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit denen des Ablaufes einer Kläranlage und einer Dreikammerausfallgrube als Alternativen zueinander wird damit möglich. Eine abschließende Frage befasste sich mit der Kompostierfähigkeit des Inhaltes des Rottefilters und seiner mikrobiologischen Beschaffenheit. Vor dem Hintergrund der Bioabfallverordnung (BioAbfV) wurde das Rottematerial entsprechend den in dieser Verordnung genannten Vorschriften zur Seuchenhygiene untersucht.

Die Abb. 17 stellt das Verlaufsprinzip des Rotteversuches mit standardisierten Rottefiltern während der Desinfektionsphase mit Branntkalk dar. Die dazugehörigen Ergebnisse werden in Pkt. 4.3 beschrieben.

### 3.2.5 Durchflussversuche

Um ein hygienisches Profil einer Pflanzenkläranlage zu erstellen sind, zusätzlich zu den Erkenntnissen der Prüfkörperversuche aus Pkt. 3.2.3.2, Aussagen über das natürliche Verteilungsverhalten von Salmonellen nötig. Deshalb wurde mit Hilfe von Durchflussversuchen getestet, wie sich künstlich eingebrachte Salmonellen in einer Pflanzenkläranlage verteilen würden. Die in definierten zeitlichen Intervallen durchgeführten Untersuchungen der aus den einzelnen Klärstufen entnommenen Wasser- und Feststoffproben dienten zur Erstellung einer Zeitkinetik. Eine praktische Anwendung würde dieser Versuchsansatz zur Darstellung eines Seuchengeschehens finden. Sollte es im Zulaufbereich einer Pflanzenkläranlage zu einem Seuchenausbruch mit Salmonellen kommen, z. B. in einem nahegelegenen Tierbestand, so kann aus diesem Verteilungsmuster eine vorläufige Gefahrenabschätzung für Anlagen ermittelt werden, die diesem Bautyp entsprechen. Es soll nachvollziehbar sein, wann in welcher Klärstufe und wie lange mit dem Auftreten von vermehrungsfähigen Salmonellen zu rechnen ist und ob Salmonellen nach Durchlaufen einer Pflanzenkläranlage in die Vorflut gelangen können. Als Testkeim wurde für diesen Versuch der Stamm *Salmonella Typhimurium* (Zoosaloral) der Fa. Impfstoffwerke Dessau<sup>18</sup> eingesetzt, welcher als Impfstoff gegen die Hühnersalmonellose eingesetzt wird. Bei diesem Stamm handelt es sich um eine für den Menschen ungefährliche Salmonellenmutante, die aber in ihrer Tenazität humanpathogenen Salmonellen entspricht. Nach der Impfung von Hühnern kommt es zu einer Vermehrung in deren Verdauungstrakt und über einen längeren Zeitraum regelmäßig zu einer Ausscheidung in die Umwelt. Zur Differenzierung der Testsalmonellen von nativen in der Anlage vorkommenden Salmonellen wurde ein von der Fa. Impfstoffwerke Dessau angebotenes Spezialmedium<sup>19</sup> verwendet.

Der Versuchsaufbau ist in den einzelnen Pflanzenkläranlagen weitgehend vergleichbar gegliedert. Zu Versuchsbeginn wurden in den Abwasserzulauf der Pflanzenkläranlage „Nord-1“ 10 Liter einer Suspension mit  $10^8$  KBE/ml Salmonellen eingebracht (s. Abb. 12). In definierten Zeitintervallen wurden nach den Rottefiltern und nach dem Schilfboot Wasserproben mit Hilfe eines automatischen Probennehmers entnommen und, wie in Punkt 3.2.1.2 beschrieben, untersucht. Für die Probenentnahme nach dem Schilfboot stand für eine kontinuierliche Probenentnahme ein zeitgesteuerter Probennehmer mit zwölf Kammern zur Verfügung. Der Versuch wurde einmal im Winter (Dezember) und einmal im Frühjahr (April) durchgeführt. Die Proben wurden in zunehmend länger werdenden Zeitintervallen so lange genommen, bis ein Nachweis der Salmonellen nicht mehr geführt werden konnte.

In der Pflanzenkläranlage „Süd-1“ wurden 10 Liter einer Salmonellensuspension mit  $10^8$  KBE/ml in die erste Kammer der Mehrkammerausfallgrube eingebracht und in täglichen Intervallen Wasserproben aus dem Ablauf der dritten Kammer sowie aus dem Überlauf am Ende des Schilfbootes entnommen.

Bei der Pflanzenkläranlage „Süd-2“ wurden 10 Liter einer Salmonellensuspension über einen Zeitraum von zwei Stunden auf die Oberfläche des Rottefilters aufgebracht. Die Probenentnahme erfolgte in täglichen Intervallen an drei Punkten aus dem Ablauf des Rottefilters, nach dem ersten und nach dem zweiten Schilfboot.

---

<sup>18</sup> Impfstoffwerke Dessau-Tornau GmbH, PF 214, 06855 Roßlau

<sup>19</sup> Bovisaloral-Zoosaloral-Diagnostikum, Fa. Impfstoffwerke Dessau-Tornau

### 3.3 Verlauf der Probennahme und der Untersuchungen

Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten wurden die Probennahmen von verschiedenen Ereignissen begleitet. Weiterhin werden verschiedene bauliche Maßnahmen an den Pflanzenkläranlagen beschrieben.

#### 3.3.1 Probennahme in der Pflanzenkläranlage „Nord-1“

Die Entnahme der Abwasserproben erfolgte aus einem Abwasserrohr am Zulauf zur Anlage unmittelbar vor dem Rottefilter (s. Abb. 4). Dort konnte eine mengenmäßigen Zulaufspitze am Morgen sowie ein geringer Wasserfluss am Nachmittag und in der Nacht festgestellt werden. Vorwiegend morgens wurden zusammenhängende Fäkalienbrocken aus der Leitung gespült und bildeten einen Haufen auf der Oberfläche des Filtermaterials im Rottefilter.

Die Ablaufproben des Rottefilters wurden aus dem Rohr entnommen, welches in die Staugrube zur Schwallbeschickung mündet. Die dem Ablauf des Schilfbeetes zugeordneten Proben wurden aus einem Rohr entnommen, das in den Teich mündet. Die Ablaufproben des Schönungsteiches wurden aus dem oberflächlichen Überlauf entnommen. Die Vorflutproben entstammen aus dem vorbeifließenden Bach, jeweils fünf Meter vor und fünf Meter hinter dem Einlauf des Teichwassers.

Die Entnahme der Feststoffproben des Rottefilters erfolgte aus der Mitte des Filtermaterials bei einer Mindestdiefe von 70 cm. Die Erdproben aus dem Schilfbeet wurden aus einer Bodentiefe von ca. 30 bis 40 cm in der Beetmitte gewonnen. Für jede Probenentnahme wurde eine andere Stelle ausgewählt. In gleicher Tiefe, aus der die Feststoffproben entnommen wurden, wurden die Prüfkörper eingebracht. Da es im Rottefilter durch die ständige Zugabe von Filtermaterial zu einer Auffüllung kam, wurden die letzten Prüfkörper aus einer Tiefe von ca. 120 bis 150 cm entnommen. Sie befanden sich bei den Entnahmen ständig innerhalb des durchnässten Bereiches des Rottefilters.

Bei einer ersten Probennahme im Oktober 1996 war der Rottefilter zu einem Drittel gefüllt. Die Auskleidung des Rottefilters bestand aus Biotetra-Steinen mit aufgeschraubten Filterplatten. Durch die Beschickung des Rottefilters mit Biomüll, Pflanzenschnitt sowie Reisig und Ästen in eigener Verantwortlichkeit wurde die vom Hersteller geforderte Zusammensetzung gewährleistet.

Bei der Probennahme im Dezember 1996 kam es nach starken Schneefällen zu Tauwetter. Ein plötzlicher starker Wasserzufluss führte zu einem Kurzschluss, bei dem das Wasser bis an den Rand des Rottefilters spritzte, eine Furche in das Kompostmaterial schnitt und seitlich direkt durch die Perforation der Filterplatten abfloss. Es wurde vermutet, dass ein Einlauf von Fremdwasser in das Sammelkanalnetz des Ortes bestand. Obwohl dieser nicht ergründet werden konnte, trat das Problem nicht mehr auf, nachdem die Anwohner darüber informiert wurden.

Im Februar 1997 kam es nach einer längeren Frostperiode zu einem Zufrieren der Verteilungsrohre. Dabei lief das Sammelbecken über und das vorgereinigte Wasser floss durch einen Kurzschluss direkt in die Vorflut, weshalb auf eine Probennahme verzichtet wurde.

Das Schilf war zu Beginn der Untersuchung 1996 ca. 1 bis 2 m hoch und in beiden Becken gleichmäßig gewachsen. Die Bildung einer Eisdecke im Winter 1996/97 führte nicht zum Einfrieren des Bodenkörpers, was an einem permanenten Wasserabfluss festgestellt werden konnte.

Im Frühjahr 1997 wurden die Prüfkörper eingebracht (s. Abb. 18). Im Juli 1997 wurde der Bodenkörper beider Schilfbeete um eine 30 cm dicke Sandschicht erweitert.

Im Mai 1997 wurde ein automatischer Probennehmer zur Entnahme von repräsentativen 24 h Durchschnittsproben installiert. Im Juni 1997 erfolgte der Ausbau und die Beschickung des zweiten Rottefilters sowie der Beginn der Verrottungsphase für den ersten Filterschacht. Der zweite Rottefilter wurde mit Filterplatten ausgekleidet und eine neue Füllung mit Holzhäcksel, Stroh und Kompost eingebracht (s. Abb. 6).

Um dies in Zukunft zu verhindern, wurde das Verteilungssystem neu konstruiert und im Juli 1997 für das Schilfbeat eine Intervallbeschickung installiert (s. Abb. 18). Hierbei wurde das aus dem Rottefilter ablaufende Wasser in einem frostsicheren Schacht gesammelt und beim Erreichen einer vorgegebenen Menge in einem Schwall mittels des Verteilungssystems gleichmäßig über das gesamte Beet verteilt. Dies hatte den Vorteil, dass erstens die Rohre die meiste Zeit leer waren und somit nicht zufrieren konnten und zweitens, dass das Wasser durch die kurzzeitige Überstauung gleichmäßig verteilt wurde und anschließend langsam versickern konnte.

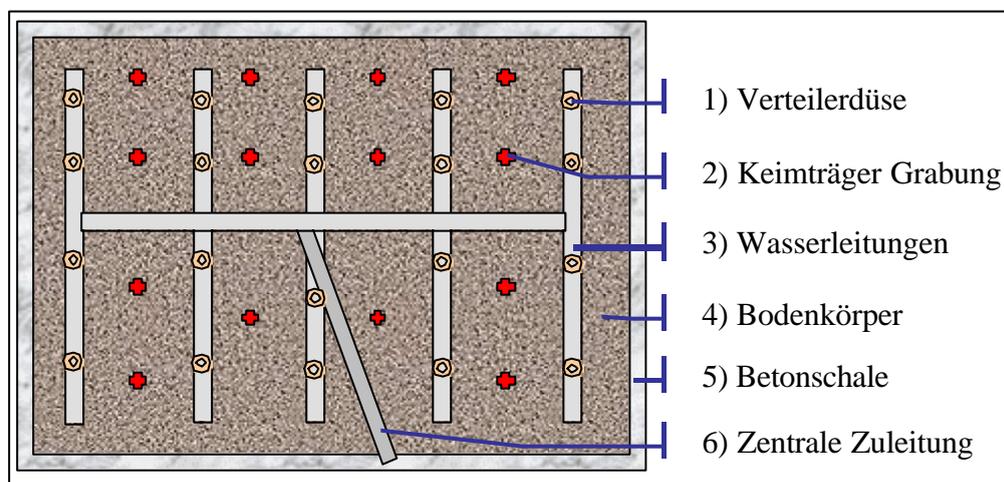


Abb. 18: Schema des Verteilungssystems im Schilfbeat „Nord-1“

Die Abb. 18 skizziert die Grabungsstellen (2) der eingebrachten Prüfkörper in „Nord-1“. Die Verteilung der Grabungsstellen ist bei allen Pflanzenkläranlagen in einem ähnlichen Schema angelegt. Das Wasser bei dem Verteilungssystem in „Nord-1“ wird über die zentrale Zuleitung (6) zu den Wasserleitungen (3) zugeführt und über die Verteilerdüsen (1) gleichmäßig über den gesamten Bodenkörper (4) verteilt, welcher gegenüber dem Boden durch eine Betonschale (5) abgedichtet ist.

Zu dem gesamten System gehörte eine zweite Rottefilteranlage, welche zwar gebaut und angeschlossen, aber nicht betrieben wurden. Durch diesen Anlagenteil kam es im Frühjahr '98 durch Regen und eindringendes Grundwasser zum Eintrag von feinem Schlamm in das Schilfbeat, welcher die Oberfläche zu verstopfen drohte. Daher wurden die Rohrleitungen gespült und die zweite Filteranlage mit Strohballen gefüllt, um die mit dem Regenwasser mitgeführten Schlammpartikel zurückzuhalten.

Daraufhin wurde im Juli 1998 der Bodenkörper des linken Schilfbeetes ausgetauscht und neu bepflanzt. Nach Abschluss der Arbeiten fanden die abschließenden Untersuchungen im September 1998 statt.

Am Schönungsteich erfolgte im Sommer 1997 eine Erweiterung der Uferbepflanzung mit Rohrkolben an der Stelle, an der sich der Überlauf zur Vorflut befindet.

### 3.3.2 Probennahme in der Pflanzenkläranlage „Nord-2“

Die Entnahme der Abwasserproben erfolgte aus dem Zulauf zu den Rottefiltern. Der kontinuierliche Abwasserstrom verstärkte sich in den Morgenstunden sowie bei starken Regenfällen erheblich. Die Wasserproben des Rottefilters wurden aus dem Zulauf zum Schilfbeet gewonnen, die Wasserproben des Schilfbeetes aus dem ca. 300 m entfernten Zulauf zum Schönungsteich. Aus dem Ende der Überlaufleitung wurden die Wasserproben des Teiches entnommen.

Ca. 10 m vor und 10 m nach dem Einlauf des Teichwassers wurden die Flusswasserproben entnommen, die als „Vorflut vor Einlauf“ und „Vorflut nach Einlauf“ in den Tabellen gekennzeichnet sind.

Das zufließende Abwasser war sehr inhomogen und Fäkalien gelangten als ganze Stücke bis auf die Oberfläche des Filtermaterials des Rottefilters. Bei der Entnahme der Feststoffproben aus der Mitte des Filtermaterials aus einer Mindesttiefe von 70 cm konnte festgestellt werden, dass durch die regelmäßige Zugabe von Stroh ein relativ einheitlicher Aufbau des Materials im Rottefilter entstanden war. In der gleichen Tiefe, aus der die Feststoffproben entnommen wurden, wurden die Prüfkörper eingebracht. Durch die ständige Zugabe von Stroh wurden die Prüfkörper am Ende des Versuches aus einer Tiefe von bis zu 120 cm entnommen. Sie lagen in dem ständig durchnässten Bereich des Filtermaterials.

Bei der ersten Besichtigung und Probennahme im Oktober 1996 befanden sich einige Zulaufkanäle noch im Bau. Die Rottefilter waren gleichmäßig durchnässt, aber nicht überstaut. Die Filterschichtdicke betrug insgesamt 50 cm. Auf Grund des geringen Abwasserzuflusses wurde das Pflanzenbeet bis Dezember 1996 zeitweise bewässert. Die Beschickung mit vorgereinigtem Abwasser erfolgte zentral durch mehrere übereinander gestapelte Filterplatten in der Mitte des linken Beetes. Das zweite Schilfbecken befand sich auf Grund der geringen Zahl angeschlossener Einwohner nicht in Betrieb.

Im August 1997 erfolgte eine zusätzliche verdichtende Bepflanzung des Schilfbeckens.

Die Teichanlage hatte am Einlauf der beiden Pflanzenkläranlagen „Nord-2“ und „Nord-3“ einen starken Schilfbewuchs. Die Probennahme im Dezember 1996 erfolgte bei Tauwetter nach starken Schneefällen. Die Probennahme im Januar 1997 fand ebenfalls bei leichtem Tauwetter nach ca. 4 Wochen Frost statt. Diesmal war nur ein geringer Zufluss von optisch klarem Wasser zu erkennen.

Um Schnee abzuhalten und ein Zufrieren zu verhindern, wurde der Rottefilter mit Strohbällen abgedeckt, welche nach und nach als Filtermaterial eingebracht wurden.

Beim Einbringen der Prüfkörper im Februar war eine regelmäßige Nachfüllung des Rottefilters erkennbar.

Im Juni 1997 wurde in dem linken Schilfbecken von der Wasserverteilung über die Filterplatten auf eine Verteilung in Form eines quer durch die Mitte laufendes Dränagerohres umgestellt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurde der Rottefilter regelmäßig gut gefüllt, so dass sich kaum Fäkalien an der Oberfläche des Filtermaterials befanden.

Das zweite Schilfbecken wurde bis zum Abschluss der Untersuchungen nicht in Betrieb genommen.

### 3.3.3 Probennahme in der Pflanzenkläranlage „Nord-3“

Die Wasserproben des Rottefilters der Pflanzenkläranlage „Nord-3“ wurden aus dem oberflächlichen Zulauf zu dem Schilfbeet entnommen. Die Entnahme der Wasserproben

des Schilfbeetes erfolgte aus dem ca. 200 m entfernten Zulauf des gemeinsam mit der Anlage „Nord-2“ genutzten Schönungsteiches.

#### 3.3.4 Probennahme in der Pflanzenkläranlage „Süd-1“

Die erste Besichtigung und Probennahme erfolgte im November 1996. Die Anlage machte einen ordentlichen und gepflegten Eindruck. Es floss genügend Abwasser in die Grube, so dass aus dem Überlauf der dritten Kammer eine gleichmäßige Beschickung des Schilfbeetes stattfand. Das Schilf stand bis maximal einen Meter hoch. In den Wintermonaten lag eine gleichmäßige Schneedecke über dem Beet. Der Boden war dabei nur oberflächlich gefroren. Im Frühjahr hatte das Schilf einen typischen Aufwuchs. Die Anlage arbeitete ohne Störungen. Es erfolgte als Wartungsarbeiten eine regelmäßige Nivellierung des Wasserstandes im Schilfbeat mittels einer Veränderung der Höhe eines Rohrstückes am Überlauf des Schilfes.

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte aus der Mitte des Wasserkörpers der ersten Kammer, aus dem Überlauf der dritten Kammer und aus dem Überlauf nach dem Schilfbeat. Bei der Probenentnahme im Winter kam es nicht zum Frost in der Grube.

Das Schilfbeat war durch eine schützende Schneeschicht bedeckt, so dass der Boden nur in einer Tiefe bis 10 cm gefroren war. Die Bodenproben konnten aus der darunterliegenden Schicht entnommen werden.

Die Prüfkörper in der Mehrkammerausfallgrube wurden an Schnüren befestigt in die Mitte des Wasserkörpers der ersten Kammer eingehängt und in den beschriebenen Abständen entnommen. Die Prüfkörper des Schilfbeetes wurden in der Mitte des Schilfbeetes verteilt in einer Bodentiefe von ca. 30 cm eingebracht.

Bei den Durchlaufversuchen erfolgte die Zugabe der Keimsuspension in die erste Kammer. Die Probenentnahme wurde aus dem Überlauf der dritten Kammer sowie aus dem Überlauf des Schilfbeetes praktiziert.

#### 3.3.5 Probennahme in der Pflanzenkläranlage „Süd-2“

Wegen der geringen Zahl angeschlossener Einwohner kam es nur zu unregelmäßigem Abwasserzufluss in die Pflanzenkläranlage. Aus diesem Grund war keine repräsentative Durchschnittsprobenentnahme des Abwassers möglich. Die Entnahme der Wasserproben für den Rottefilter erfolgte aus dem oberflächlichen Zulauf zum Schilfbeat. Weiterhin wurden Wasserproben direkt aus dem Ablauf des ersten Schilfbeetes und aus dem Überlauf des bepflanzten Sandfilters gewonnen. Die Feststoffproben aus dem Rottefilter wurden aus der Mitte des Filtermaterials gewonnen, die Feststoffproben aus dem Schilfbeat aus einer Bodentiefe von ca. 20 cm.

Die Prüfkörper für die Vorklärung wurden in die Mitte des Filtermaterials des Rottefilters, die Prüfkörper des Schilfbeetes 20 cm unterhalb der Beetoberfläche eingelegt. Die Zugabe der Keimsuspension für die Durchflussversuche erfolgte über einen Zeitraum von 2 Stunden auf die Oberfläche des Rottefilters.

Zur ersten Probennahme im November 1996 war der Rottefilter fast vollständig gefüllt. Es bot sich daher an, an dieser Anlage zu untersuchen, wie lange ein „Abwasser-Fäkalien-Rottmaterial-Gemisch“ gelagert werden muss, um eine ausreichende Hygienisierung zu erreichen. Der Rottefilter wurde zu ca. 2/3 mit Pflanzenabfällen aus dem Garten des Betreibers gefüllt.

Im Winter bedeckte eine dicke Schneeschicht die gesamte Anlage. Trotz der tiefen Temperaturen verhinderten der kontinuierliche Wasserfluss und der Schutz durch die

Schneedecke ein Einfrieren der Anlage. Nach dem Auftauen der Eisschicht im Frühjahr kam es zu einem schnellen Aufwuchs des Schilfes.

#### 3.3.6 Probennahme beim Modellversuch Rottefilter

Die Konstruktion der Rottefilter erfolgte nach den Maßgaben und Erkenntnissen verschiedener Hersteller von Rottefiltern in Originalgröße. Das Abwasser wurde aus dem Sandfang einer kommunalen Kläranlage mittels einer Tauchpumpe entnommen und entsprach bezüglich der Grobstoffe in der Beschaffenheit dem Wasser des Zulaufes zu einer Pflanzenkläranlage. Durch den kontinuierlichen Wasserfluss und die regelmäßige Nachfüllung mit dem für jeden Rottefilter bestimmten Material kam es zu einer gleichmäßigen Ablagerung von Abwassergrobstoffen in dem Filtermaterial. Nachdem die Beschickung mit Abwasser eingestellt wurde, stellte sich Pflanzenwachstum ein; insbesondere in dem Filter Nr. 1 mit Material aus einem Kompostwerk. Nach einer Verrottungsphase von ca. 6 Wochen wurde das Filtermaterial entleert, umgeschichtet und je eine Hälfte mit Branntkalk versetzt (s. Abb. 15 bis Abb. 17).