

Abwasserreinigung und Akzeptanz von horizontalen und vertikalen Bodenfiltern mit verschiedener Bepflanzung

Diplomarbeit
für die
Diplomprüfung
zur

Erlangung des Grades: Diplom-Agraringenieurin (Dipl.-Ing.agr.)

der
Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu
Bonn

Vorgelegt am	23.08.2011
von cand.agr.	Nadine Glage
1. Prüfer:	Dr. Joachim Clemens
2. Prüfer:	Dr. Ute Arnold

Hiermit versichere ich, dass ich außer den in der Arbeit genannten Quellen keine weiteren Quellen oder unzulässige Hilfsmittel verwendet habe und das ich die Arbeit selbstständig geschrieben und erarbeitet habe. Wörtliche oder sinngemäße Zitat sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Bonn, den 23.August.2011

Unterschrift

Kurzfassung

Die biologische Abwasserreinigung besteht aus vielen Facetten. Bei der jährlichen Wartung durch einen Fachmann wird das gereinigte Abwasser im Ablaufschacht oder Kontrollschacht der Anlage beprobt und auf die gesetzlichen Werte hin überprüft. Diese Diplomarbeit bezieht sich nicht nur auf die Ablaufwerte der Anlage, sondern ebenso auf die Zulaufwerte und auf die Eliminationsleistung der Mehrkammerausfallgrube, die vor jeden Bodenfilter geschaltet ist.

In der vorliegenden Diplomarbeit wird auf die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Bauweisen von Bodenfiltern im Altersverlauf eingegangen. Die Grundlagen für diese Arbeit bieten 30 verschiedene Horizontal- und Vertikalfilter die in Bayern beprobt wurden. Zusätzlich zur Bauweise gab es noch eine Pflanzmischung, mit der sieben Anlagen bepflanzt waren. Es zeigte sich das eine Einteilung der Anlagen nach Alter sinnvoll ist, da hier am besten die Unterschiede in den abbauenden Parametern erkennbar sind.

Durch einen Fragebogen, der den Betreibern vorgelegt wurde, wurden mögliche Fehler ermittelt. So zeigte sich, dass nur bei den Anlagen die die Pflanzmischung verwendeten schlechte Anwachsrate zu finden waren, dafür war hier die Akzeptanz am höchsten. Außerdem soll ein Einblick über den Wartungs- und Betriebsaufwand gegeben werden und über die Akzeptanz der Pflanzenkläranlage bei Ihren Betreibern.

Die Wasserproben wurden vor Ort auf pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und Sauerstoff untersucht. Bei späteren Analysen wurden die Wasserproben auf die abbauenden Parameter Nitrat, Ammonium, Phosphat und chemischer Sauerstoffbedarf analysiert. Des Weiteren wurden Pflanzenproben von 0,5 m² des bewachsenen Bodenfilters genommen und auf die Parameter Phosphat, Kohlenstoff und Stickstoff analysiert.

Es zeigte sich, dass für die meisten gemessenen Parameter das Alter des Bodenfilters ein ausschlaggebendes Kriterium für die Abbauleistung war. Für den Stickstoffab- und -umbau war in erster Linie die Bauweise der entscheidende Faktor für den Prozess. An den Werten für die Nitrifikation ist jedoch erkennbar, dass auch das Alter des Bodenfilters eine wichtige Rolle spielt.

Abstract

The biological wastewater treatment consists of many facets. At the annual maintenance by a specialist, the purified wastewater in the control shaft of the plant sampled and on the legal values checked. This thesis applies not only to the end values of the system, but also to the inlet values and the elimination of performance septic tanks that sits in front of each filter.

This thesis deals with the relationships between different designs of filters in the soil age gradient. The bases for this work are 30 different horizontal and vertical filters that were sampled in Bavaria. In addition to construction, there was a plant mixture, which was planted on seven filters. It showed that a classification of filters by age makes sense, since most of the differences in the degrading parameters are identifiable.

Through a questionnaire, which was presented to the operators, should any errors be found. Moreover, an insight into the maintenance and operating costs are given and the acceptance of the wetland in your operators.

The water samples were analyzed on-site pH, temperature, conductivity and oxygen. In the subsequent analysis of water samples were analyzed for the parameters depleting nitrate, ammonium, phosphate and chemical oxygen demand. Furthermore, plant samples were collected from 0.5 m² of constructed wetland filter and analyzed for the parameters of phosphate, carbon and nitrogen.

It turned out that was for most parameters measured the age of the soil filter, a crucial criterion for the performance degradation. For nitrogen adsorption, and conversion in the first place was the deciding factor in the design of performance degradation. The value for nitrification is evident that the age of the soil filter also plays a role in the degradation efficiency.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
2	Grundlagen	3
2.1	Bauarten von Bodenfiltern und Definition der Begriffe	4
2.1.1	Horizontale Bodenfilter	4
2.1.2	Vertikale Bodenfilter	6
2.2	Vorbehandlung des Abwassers.....	7
2.2.1	Mehrkammerausfallgrube	8
2.2.2	Rottebehälter	9
2.2.3	Absetzteiche	9
2.2.4	Emscherbrunnen für kleine Kläranlagen	9
2.3	Bepflanzung und Mikroorganismen	10
2.3.1	Pflanzmischung	10
2.3.2	Mikroorganismen	11
2.4	Motivationen für die Installation von Pflanzenkläranlagen.....	14
2.4.1	Kanalanschluss	14
2.4.2	Förderung	15
2.4.3	Gesetzliche Bestimmungen und Anforderungen	15
3	Material und Methoden	18
3.1	Probennahme.....	22
3.1.1	Wasserproben	22
3.1.2	Pflanzenproben	23
3.2	Analytik	23
3.2.1	Wasserproben	23
3.2.2	Pflanzenproben	25
3.2.3	Befragung der Nutzer	27
3.3	Auswertung.....	28
3.3.1	Berechnung bei mehreren Einleitern	28
3.3.2	Statistische Auswertung der Daten.....	28
4	Ergebnisse	29
4.1	Wasserproben.....	29
4.1.1	Stickstoff.....	29
4.1.2	Phosphor	34

4.1.3	Chemischer Sauerstoffbedarf	38
4.1.4	Feldparameter	47
4.2	Pflanzenproben.....	51
4.2.1	Biomasse	51
4.2.2	Kohlenstoff	52
4.2.3	Stickstoff.....	53
4.2.4	Phosphor	54
4.3	Befragung der Nutzer	55
4.3.1	Technik.....	55
4.3.2	Management	56
4.3.3	Akzeptanz	57
5	Diskussion	59
5.1	Wasserproben.....	59
5.1.1	Stickstoff.....	60
5.1.2	Phosphor.....	62
5.1.3	Chemischer Sauerstoffbedarf	64
5.1.4	Feldparameter	65
5.2	Pflanzenproben.....	67
5.2.1	Biomasse	67
5.2.2	Kohlenstoff	67
5.2.3	Stickstoff.....	67
5.2.4	Phosphor	68
5.3	Befragung der Nutzer	68
5.3.1	Technik.....	68
5.3.2	Management	69
5.3.3	Akzeptanz	69
6	Forschungsbedarf.....	70
7	Literaturverzeichnis	71
8	Anhang.....	73

Abkürzungsverzeichnis

Kurzzeichen	Erläuterung
AbwV	Abwasserverordnung
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (mg/l O ₂)
C	Kohlenstoff
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf (mg/l O ₂)
EW	Einwohnerwert
FM	Frischmasse
g	Gramm
l	Liter
m	Meter
m ²	Quadratmeter
mg	Milligramm
N	Stickstoff
NH ₄ ⁺	Ammonium
NO ₃ ⁻	Nitrat
P	Phosphor
PO ₄ ³⁻	Orthophosphat
PKA	Pflanzenkläranlagen
TM	Trockenmasse
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Deutsche/Botanische Namen der Pflanzmischung	11
Tabelle 2:	Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 1.....	19
Tabelle 3:	Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 2.....	19
Tabelle 4:	Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 3.....	20
Tabelle 5:	Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 4.....	20
Tabelle 6:	Alternative Anlageneinteilung nach Alter, mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Alt	21
Tabelle 7:	Alternative Gruppeneinteilung nach Alter, mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Mittelalt	21
Tabelle 8:	Alternative Gruppeneinteilung nach Alter mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Jung.....	22
Tabelle 9:	Alternative Gruppeneinteilung nach Alter mit Baujahr und Alter in Monaten, Einzelanlage (sehr alt)	22
Tabelle 10:	Methoden der gemessenen Parameter der Wasserproben.....	24
Tabelle 11:	Methoden der gemessenen Parameter der Pflanzenproben.....	26
Tabelle 12:	Mittelwerte des CSB-Abbaus in der Grube, im Bodenfilter und der Gesamtabbau nach Kategorien und Alter eingeteilt	40
Tabelle 13:	Gemessene pH-Werte in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube sowie im Ablauf des Bodenfilters	48
Tabelle 14:	Kohlenstoffwerte im Pflanzenmaterial, in % C und in g C/m ² , im Mittelwert, Einteilung nach Altersgruppen	53
Tabelle 15:	Gemessene Gesamtstickstoffwerte im Pflanzenmaterial, in % und in g N/m ² , Einteilung nach Altersgruppen	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schemadarstellung eines horizontalen Bodenfilters nach K. Tempel, (2003)	6
Abbildung 2: Schemadarstellung eines vertikalen Bodenfilters nach K. Tempel, (2003)	7
Abbildung 3: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium gemessen in der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Kategorien	29
Abbildung 4: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium gemessen in der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Altersgruppen	30
Abbildung 5: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium in den Bodenfiltern, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Kategorien	31
Abbildung 6: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium in den Bodenfiltern, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Altersgruppen	32
Abbildung 7: Mittlere Ablaufwerte für Nitrat und Ammonium aus dem Bodenfilter, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Kategorie	33
Abbildung 8: Mittlere Ablaufwerte für Nitrat und Ammonium aus dem Bodenfilter, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Altersgruppen	33
Abbildung 9: Summe von Ammonium und Nitrat für die Zu- und Ablaufwerte des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Kategorien	34
Abbildung 10: Gemessenes Phosphat im Zulauf und Ablauf der Mehrkammerausfallgrube, gemessen in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Abfolge der Anlagen nach Alter	35
Abbildung 11: Gemessenes Phosphat im Zulauf und Ablauf des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Kontrollschacht des Bodenfilters, Abfolge der Anlagen nach Alter	36
Abbildung 12: Gemessenes Phosphat im Mittelwert, gemessen im Ablauf des Bodenfilters, Einteilung nach Altersgruppen	37
Abbildung 13: Phosphorhaltevermögen des Bodenfilters im Mittelwert, in %, Abfolge der Anlagen nach Alter	38

Abbildung 14: Anteilige Eliminationsleistung der Mehrkammerausfaulgrube und des Bodenfilters, angegeben in %, Abfolge der Anlagen nach Alter	41
Abbildung 15: Eliminationsleistung der gesamten Pflanzenkläranlage, bestehend aus Mehrkammerausfaulgrube und Bodenfilter, Abnahme von der ersten Kammer der Mehrkammerausfaulgrube bis zum Kontrollschacht des Bodenfilters, Lineare Trendlinie angegeben, Abfolge der Anlagen nach Alter	42
Abbildung 16: Abbau des chemischen Sauerstoffbedarfs im Bodenfilter, ausgehende von den Zulaufwerten aus der Mehrkammerausfaulgrube, Angabe in %	43
Abbildung 17: Werte für CSB in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfaulgrube, Abfolge der Anlagen nach Alter	44
Abbildung 18: CSB-Werte im Zulauf des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfaulgrube, und im Ablauf des Bodenfilters, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Abfolge der Anlagen nach Alter	45
Abbildung 19: Gemessene CSB-Werte im Ablauf, Grenzwerte als rote Linie dargestellt, Abfolge der Anlagen nach Alter	46
Abbildung 20: Mittelwerte der gemessenen CSB-Werte im Ablauf, Einteilung in Altersgruppen	47
Abbildung 21: Mittelwerte der gemessenen Leitfähigkeit, Einteilung nach Altersgruppen	49
Abbildung 22: Mittelwert für den gemessenen Sauerstoff in der Pflanzenkläranlage, gemessen in der ersten Kammer, der dritten Kammer und dem Kontrollschacht der Anlage, in %, Einteilung nach Altersgruppen	50
Abbildung 23: Trockenmasse im Mittelwert, Einteilung nach Altersgruppen	52
Abbildung 24: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial	54
Abbildung 25: Mittelwerte Phosphat im Pflanzenmaterial, Einteilung nach Altersgruppen	55

1 Einleitung und Fragestellung

Durch intensive landwirtschaftliche Nutzung und Industrie werden mehr und mehr Gewässer verschmutzt. Deshalb ist es von zentraler Bedeutung häusliches Abwasser zu behandeln; da es ungeklärt in Oberflächengewässern und dem Grundwasser hohen Schaden verursachen kann z.B. durch Eutrophierung, dem beschleunigten Wachstum von Algen infolge von Nährsalzen, insbesondere Stickstoff- und Phosphorverbindungen (Bischofsberger und Hegemann, 2005). Gerade im ländlichen Raum, sind Ortschaften und Häuser aus finanziellen oder logistischen Gründen nicht an die kommunale Kläranlage angeschlossen. In diesem Fall ist eine dezentrale, biologische Abwasserbehandlung mit ausreichender Reinigung des häuslichen Abwassers nötig. Pflanzenkläranlagen sind eine naturnahe Möglichkeit das Abwasser in ausreichendem Maße zu reinigen, um es nachfolgend weitestgehend von Schad- und Nährstoffen befreit in Gewässer oder das Grundwasser einzuleiten.

Pflanzenkläranlagen bestehen aus einer mechanischen oder teilbiologischen Vorklärung mit einer nachfolgenden biologischen Reinigungsstufe, wie dem bewachsenen Bodenfilter. Der Hauptanteil der Abwasserreinigung wird durch verschiedene Mikroorganismen übernommen, die sich im Bodenfilter ansiedeln. Diese reinigen bei einwandfreier Funktion der Anlage das Abwasser bis unter die gesetzlichen Mindestanforderungen. Die Durchwurzelung des Bodenfilters, durch geeignete Pflanzen dient hauptsächlich dazu, ein passendes Bodenmilieu zu erzeugen und den Boden aufzulockern, so dass Sauerstoff in das Wurzelreich eindringen kann und die Bakterien genügend Sauerstoff erhalten können.

Zu den Vorteilen dieser naturnahen Reinigungssysteme gehören beispielsweise eine gute Reinigungsleistung und eine optische Bereicherung der Landschaft durch Schaffung eines kleinen Ökosystems im eigenen Garten. Des Weiteren wird weniger technisches Equipment gebraucht, eine Pumpe ist nur bei fehlender Hanglage nötig. Von Nachteil ist der relativ hohe Platzbedarf. Während in ländlichen Gegenden diese Alternative gerne gewählt wird, ist diese Art der Reinigung für die Stadt, bei geringerem Platzangebot, eher weniger geschaffen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die spezifische Eliminationsleistung verschiedener abwasserrelevanter Nährstoffe in Pflanzenkläranlagen aufzuzeigen, dabei wurden die unterschiedlichen Bauweisen (horizontal oder vertikal) und die unterschiedlichen Bepflanzungen (Schilf oder Pflanzmischung) am Beispiel von 30 Anlagen miteinander

verglichen. Auf diese Weise wurden die Zulauf und Ablaufkonzentrationen gemessen und diese in eingeteilten Kategorien dem Altersverlauf nach betrachtet und allgemein die unterschiedlichen Auslastungen miteinander verglichen. Mit Hilfe eines Fragebogens wurden zusätzlich für die Nutzung und die Funktion relevante Kriterien abgefragt, so z.B. die Akzeptanz ihrer Nutzer, die Auslastung der Vorklärung und des bepflanzten Bodenfilters, die Nutzung und damit verbundenen Fehlerquellen der gesamten Anlage und die Motivation der Betreiber zum Bau einer Pflanzenkläranlage.

2 Grundlagen

Die Anfänge über die Wissenschaft der Wasserreinigung mit Hilfe von Pflanzen schuf Dr. Käthe Seidel am Max-Planck-Institut in Plön, als sie in den fünfziger Jahren ein System entwickelte, das eine hydrobotanische Reinigungsleistung aufwies, sprich die Schilf-Binsen-Anlage, dieses System wird auch „Krefelder System“ genannt. Später wurde es durch Weiterentwicklung zum „Mettmanner System“, welches den heutigen Horizontalfiltern sehr ähnlich ist. Die Schilf-Binsen-Anlage ist durch mehrere Stufen gekennzeichnet, die in bestimmter Reihenfolge vom Abwasser durchflossen werden (Wissing, 1995). Sowohl horizontal als auch vertikal durchströmte Beete sind bei diesem System zu finden. Das „Mettmanner System“ besteht aus bewachsenen, grobkörnigen, bepflanzten Bodenfilter, die horizontal vom Abwasser durchflossen werden und in verschiedene Sektionen eingeteilt sind. Weitere Forschungen auf den Grundlagen von Käthe Seidel stellte R. Kickuth an, der die sogenannte „Wurzelraumsorgung“ entwickelte. Dieses System beruht auf der Grundannahme, dass nur mit bindigem Bodenmaterial eine biochemische Fixierung des Phosphats und die bakterielle Denitrifikation erreicht werden könne (Wissing, 1995).

Beide Modellvorstellungen wurden mit den Jahren weiterentwickelt und verändert. Bis heute wurde eine Vielzahl von Bodenfilterbauarten und –modellen, mit unterschiedlichen Reinigungsleistungen entwickelt. „Die Mehrzahl der Pflanzenkläranlagen ist jedoch als Horizontalfilter ausgeführt, obwohl Vertikalfilter leistungsfähiger erscheinen.“ (Schwister, 2003).

Über diese Thematik der Pflanzenkläranlage wurden schon mehrere Arbeiten verfasst. Beispielsweise wurde von Peter Müller das Langzeitverhalten horizontal durchströmter Pflanzenkläranlagen im Jahre 2008 beschrieben. Von Tan-Tai Le wurde 2001 das Thema der differenzierten Beschreibung des Nährstoffabbaus in einer Pflanzenkläranlage mit Hilfe spezieller Methoden erarbeitet und von Katrin Hans wurde 2009 der „Einfluss der Pflanzenart auf die Wasserqualität in einem Horizontalfilter zur Abwasserreinigung in Vietnam“ beschrieben.

2.1 Bauarten von Bodenfiltern und Definition der Begriffe

Die in dieser Arbeit behandelten Pflanzenkläranlagen bestehen aus einer mechanisch-teilbiologischen Vorklärung, der Mehrkammerausfaulgrube, zur Trennung der festen Bestandteile des Abwassers und einer biologisch nachgeschalteten Stufe, dem bewachsenen Bodenfilter. Der Bodenfilter besteht aus grobkörnigem nicht bindigem Material, z.B. Kies oder Sand. Das grobkörnige Material wird in verschiedenen Körnungsschichten aufgeschüttet und vom Abwasser durchflossen. Die Mehrkammerausfaulgrube und der bewachsene Bodenfilter werden zusammengenommen als Pflanzenkläranlage bezeichnet.

In der Mehrkammerausfaulgrube wird das Abwasser vorgeklärt und von Schweb- und Sinkstoffen weitestgehend gereinigt und gelangt dann in den bewachsenen Bodenfilter, wo durch verschiedene biologische Umsetzungsprozesse das Abwasser weiter gereinigt wird. Vor dem Vorfluter oder der Versickerung ins Grundwasser fließt das gereinigte Abwasser durch einen Kontrollschacht. Aus diesem kann bei Bedarf eine Probe genommen werden, um die Abwasserqualität zu bestimmen oder um das Becken über eine mechanische Vorrichtung einzustauen.

Der Vorfluter ist jedes Gewässer, in das Abwasser eingeleitet wird (Bischofsberger und Hegemann, 2005). Unter anderem werden für die Einleitung des gereinigten Abwassers Fließgewässer genutzt, da diese in der Regel eine größere Selbstreinigungskraft haben als stehende Gewässer. Meist ist hier der Sauerstoffeintrag durch Diffusion aus der Luft, insbesondere an Stromschnellen, effizienter. Ist kein Vorfluter vorhanden, wird das gereinigte Abwasser durch Flächen-, Rohr- oder Schachtversickerung dem Unterboden zugeführt. Der Sickerschacht wird in der Regel nur bei gut durchlässigen Böden verwendet (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, 2005).

2.1.1 Horizontale Bodenfilter

Bei diesem Verfahren wird das mechanisch vorgeklärte Abwasser horizontal durch den bepflanzten Bodenfilter geleitet, siehe Abbildung 1. Zuerst durchläuft das Abwasser ein gröberes Kiesbett, um dann im weiteren Verlauf durch ein feineres Kies-Sand-Gemisch zu fließen. Das gröbere Kiesbett dient dazu, das Abwasser gleichmäßig im gesamten Beet zu verteilen, am Rande sei hier erwähnt, dass bei horizontalen Bodenfiltern in der Regel

keine Pumpe verwendet wird. Eine Minimierung von Strömungskanälen ist bei dieser Art des Bodenfilters anzustreben. Der Bodenfilter ist nach unten und zu den Seiten hin mit Teichfolie oder einer Lehmschicht abgedichtet um eine vorzeitige Versickerung des ungeklärten Abwassers in das Grundwasser zu verhindern. Der gesamte Bodenfilter hat eine Tiefe von mindestens 50 cm und ein Gefälle von 1-3 %. Bei allen Anlagen, die beprobt wurden, hat der Bodenfilter eine Tiefe von 60 cm und ein Gefälle von ca. 1 %. Eine Drainageschicht aus grobem Rollkies am Ende des Beckens fängt das gereinigte Abwasser auf und es wird über einen Kontrollschacht in den Vorfluter oder die Versickerung geleitet. Eine manuelle Stauvorrichtung kann bei Bedarf verwendet werden, um den Bodenfilter mit Abwasser zu befüllen. Der Bodenfilter wird nach der Bepflanzung meist komplett eingestaut, da die Bepflanzung aus Standard 12er Töpfen besteht und die Wurzelballen mit Wasser versorgt werden müssen. Nach dem Einstauen erfolgt, über mehrere Monate hinweg, eine Phase in der monatlich der Wasserspiegel im Bodenfilter um wenige Zentimeter verringert wird. Dies geschieht um die Pflanzen zum schnelleren wurzeln in tiefere Filterschichten anzuregen. Der Anlagenbetreiber wird eingewiesen, wann genau die Entwässerung erfolgen muss und kann diese Arbeit selbstständig erledigen. Seit Kurzem wird das Beet nicht mehr eingestaut, sondern die frisch gepflanzten Repositionspflanzen von oben mit der Gießkanne gegossen, um evtl. später auftretenden Schäden durch zu langsames minimieren des Wasserspiegels vorzubeugen. Repositionspflanzen sind Pflanzen, die vom Menschen gestörten Umweltverhältnisse teilweise zu beheben vermögen (Wissing, 1995).

In horizontalen Bodenfiltern erfolgt die Einströmung des Abwassers über eine geringe Fläche, wodurch sich sauerstoffarme Zonen im Bodenfilter bilden. Das bedeutet, dass hier guten Bedingungen für die Denitrifikation vorherrschen, aber weniger gute Bedingungen für die Nitrifikation.

Versuchsweise, und nur bei Anlagen mit ausreichendem Gefälle, werden horizontale Bodenfilter mit einem Rohrventil, einem Schwenkrohr oder einem Kippventil, im Weiteren auch Schwallbeschicker genannt, versehen, um den Sauerstoffeintrag in den Bodenfilter zu erhöhen. Schwallbeschicker sind einfache Konstruktionen, die meist aus einem biegsamen Rohr oder einer Kippvorrichtung bestehen, welche in der Lage sind auf der Wasseroberfläche zu schwimmen. Das Wasser kann in die dritte Kammer eintreten, bis das Rohr oder die Kippvorrichtung seine maximale Länge erreicht hat und dann mit einem Mal mehrere Kubikmeter Abwasser in den Bodenfilter einlässt.

Eine Größenanforderung von 5 m^2 pro Einwohner und eine Mindestfläche von 20 m^2 sind laut AWA-A262 einzuhalten. Dabei spielt es keine Rolle, ob der horizontale Bodenfilter als biologische Hauptstufe oder als zusätzliche biologische Stufe eingefügt wird. Der horizontale Bodenfilter hat insgesamt einen höheren Platzbedarf als der vertikale Bodenfilter, was daran liegt, dass nicht das gesamte Bodenvolumen des horizontalen Bodenfilters genutzt wird. Fließrinnen und Gravitation bringen das Wasser dazu, schon vor der Hälfte des Bodenkörpers abzusinken und nicht die komplette Länge zu durchfließen.

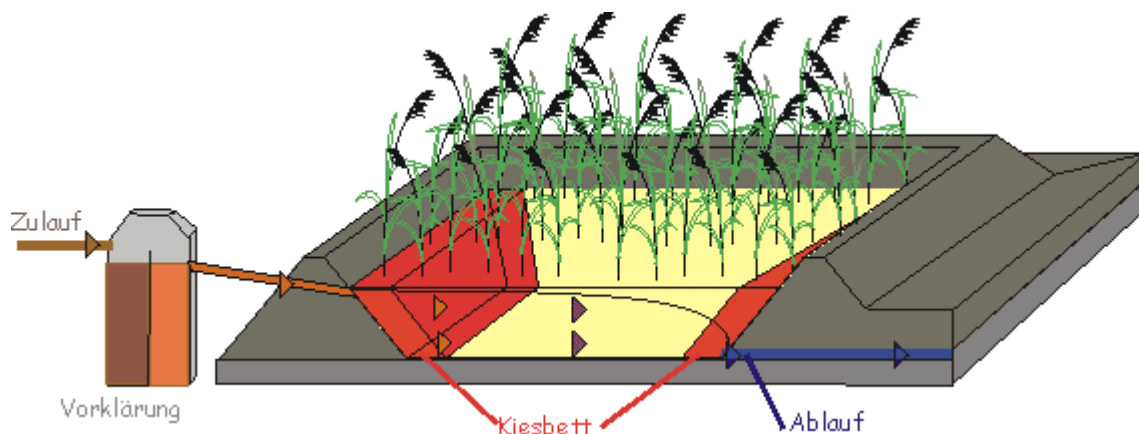


Abbildung 1: Schemadarstellung eines horizontalen Bodenfilters nach K. Tempel, (2003)

2.1.2 Vertikale Bodenfilter

Bei dem Verfahren des vertikalen Bodenfilters, siehe Abbildung 2, wird das Abwasser mittels einer Pumpe oder eines Schwallbeschickers intervallartig aus der Vorreinigung zum bepflanzten Bodenfilter transportiert und dort über gelochte Rohre oder einer Druckleitung gleichmäßig auf der Filteroberfläche ausgebracht. Das Abwasser kann so von oben nach unten, also vertikal, durch den Bodenfilter fließen. Zur Sammlung des Abwassers bildet die unterste Schicht eine 20-30 cm mächtige Drainageschicht aus grobem Rollkies. Über einen Kontrollschacht wird das gereinigte Abwasser dem Vorfluter oder der Versickerung zugeführt.

Der Platzbedarf des vertikalen Bodenfilters ist laut DWA-A262 mit 4 m^2 pro Einwohner zu berechnen, bei einer Mindestgröße von 16 m^2 mit einer Mindestdiefe von 50 cm des biologisch wirksamen Bodenfilters. Die Drainageschicht dient als Schutz vor Vernässung

des Bodenfilters (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, 2006). Bei diesem Verfahren besteht ein geringerer Platzbedarf als bei den horizontalen Bodenfiltern, da das gesamte Bodenfiltervolumen, durch großflächig ausgebrachte Rohre genutzt wird.

Auch dieses Verfahren besitzt Staurohre, mit deren Hilfe der Anlagenbetreiber den Bodenfilter unter Wasser setzen kann. Grundsätzlich ist der Sauerstoffeintrag bei diesem Verfahren höher, als der bei den horizontalen Bodenfiltern, da hier meist Pumpen mit schwallweiser Beschickung eingebaut sind und das Abwasser durch Gravitation, bei der vertikalen Durchströmung, Sauerstoff mit in die tieferen Bodenschichten trägt.

„In vertikal durchströmten Pflanzenbeeten wird eine weitergehende Nitrifikation aufgrund des verbesserten Sauerstoffeintrags erreicht. Dafür ist die Denitrifikation geringer“ (Wissing und Hofmann, 2002).Vergleiche hierzu 2.3.2.

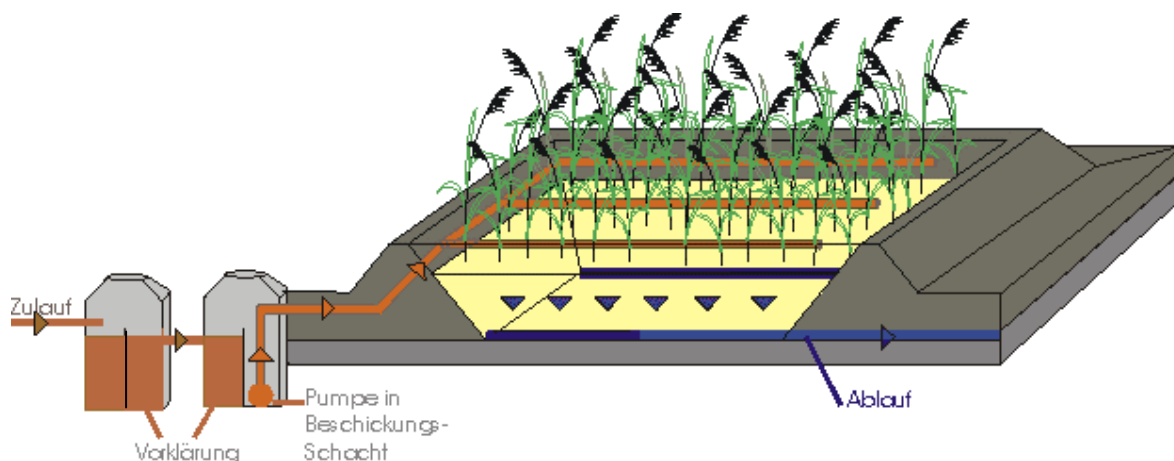


Abbildung 2: Schemadarstellung eines vertikalen Bodenfilters nach K. Tempel, (2003)

2.2 Vorbehandlung des Abwassers

Bei der Vorbehandlung des Abwassers werden die festen Bestandteile des Abwassers mechanisch zurückgehalten und gelangen nicht in den Bodenfilter. Weiterhin erfolgt eine teilbiologische Klärung durch entsprechende Verweilzeiten des Abwassers in der Grube. Dies kann bei Kleinkläranlagen in einer Mehrkammerausfallgrube oder einem Rottebehälter geschehen.

Zur Energiegewinnung bauen hier die Bakterien den Kohlenstoff aus Nahrungsmittelresten zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) um.

Neben denen im Arbeitsblatt DWA-A 262 des DWA-Regelwerks beschriebenen Vorklärungen gibt es noch eine Vielzahl weiterer Verfahren. In dieser Arbeit werden die Mehrkammerausfaulgrube, der Rottebehälter, der Absetzteich und der Emscherbrunnen beschrieben. Die Mehrkammerausfaulgrube ist für Kleinkläranlagen oder auch Hauskläranlagen mit einer Einwohnerzahl bis zu 50 Personen gedacht. Der Absetzteich und der Emscherbrunnen sind für kleine Kläranlagen gedacht, diese beginnen mit einer Einwohnerzahl von 50 bis zu 5000 Personen. Eine Kleinkläranlage, so wie sie in dieser Arbeit beschrieben wird, wird von maximal 50 Einwohnern genutzt. Die für diese Arbeit beprobten Anlagen sind alle ausschließlich mit einer Mehrkammerausfaulgrube ausgestattet.

2.2.1 Mehrkammerausfaulgrube

Die Mehrkammerausfaulgrube ist eine teilbiologische Abwasserreinigungsanlage und für Kleinkläranlagen gedacht, aber auch für kleine Kläranlagen nutzbar. Ein Großteil der festen Bestandteile wird durch Sedimentation und eine Schwimmschicht über eine Tauchwand oder ein Tauchrohr zurückgehalten. In der DIN 4261–1 (Deutsche Norm für Kleinkläranlagen) wird beschrieben, dass durch eine längere Verweilzeit des Wassers in der Mehrkammerausfaulgrube nicht nur eine mechanische Abtrennung der Feststoffe stattfindet, sondern auch noch zu einem teilweise anaeroben Abbau der organischen Substanzen im Abwasser. Dies bewirkt eine höhere Reinigungsleistung, als nur bei der mechanischen Abwasserbehandlung, da hier zusätzlich eine Schlammstabilisierung stattfindet, in der Mikroorganismen organische Bestandteile des Schlammes abbauen.

Das Nutzvolumen der Mehrkammerausfaulgrube ist laut DIN 4261 bei bis zu sechs Einwohnern mit $1,5 \text{ m}^3$ je Einwohnerwert zu berechnen, wobei hier eine Mindestgröße von 6 m^3 vorzusehen ist. Für Anlagen bis zu zehn Einwohnern ist ein zusätzliches Volumen von $0,75 \text{ m}^3/\text{EW}$ und bei Anlagen über zehn Einwohnern ist ein zusätzliches Volumen von $0,5 \text{ m}^3/\text{EW}$ zu berücksichtigen. Die Größe wird nach den Einwohnern berechnet.

Der Schlamm wird aus den Kammern entnommen, wenn die Hälfte des Nutzvolumens gefüllt ist. Bei der jährlichen Wartung der Anlage durch den Fachmann wird hierbei eine Schlammspiegelmessung durchgeführt, um nicht zu viel Schlamm zu entnehmen. Im

Schlamm befinden sich wichtige Bakterien, die für den Abbau verschiedener Stoffe notwendig sind. Eine Impfung des Klärschlammes mit Bakterien ist in den meisten Fällen nicht nötig

2.2.2 Rottebehälter

Die Feststoffe werden bei der Variante des Rottebehälters vom Abwasser getrennt, indem das Wasser gefiltert wird. Dehnbare Schläuche (Filtersackanlagen) oder eine Filterschicht aus Stroh, Kies oder Hackschnitzel werden zur Filtration eingesetzt. Regelmäßig wird zur Verbesserung der Belüftung und des C/N-Verhältnis frisches Einstreumaterial nachgestreut. „Rottebehälter dürfen nur eingesetzt werden, wenn die Lagerung, Nachrotte und Verbringung des Rottematerials hygienisch unbedenklich erfolgt [...] Rottebehälter müssen in Verbindung mit einer nachgeschalteten Mehrkammergrube nach DIN 4261-1 eingesetzt werden“ (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, 2006).

Nach dem Rottebehälter ist eine Mehrkammergrube mit einem Volumen von $0,5 \text{ m}^3$ je Einwohner nachzuschalten.

2.2.3 Absetzteiche

Im DWA-Regelwerk (2006) ist beschrieben, dass Absetzteiche für kleine Kläranlagen geeignet sind. Bei dieser Methode werden die Feststoffe aus dem Wasser entfernt, indem das Abwasser zuerst in seiner Fließgeschwindigkeit gebremst wird; dies geschieht mittels Wänden auf die das Abwasser trifft, und dann in den Teich fließt, wo die festen Bestandteile des Abwassers durch Schwerkraft abgesetzt werden. Der Absetzteich ist mit $1,5 \text{ m}^2$ pro Einwohnerwert dimensioniert. Hierbei besteht ein relativ hoher Platzbedarf.

2.2.4 Emscherbrunnen für kleine Kläranlagen

Der Emscherbrunnen ist für kleine Kläranlagen gedacht und ist eine mechanisch-biologische Vorklärung. Er besteht aus einem Absetzraum und einem Schlammammelraum. Der Absetzraum ist so zu bemessen, dass eine Mindestverweilzeit bei maximalem Zulauf des Abwassers von zwei Stunden gewährleistet ist und ein Mindestvolumen von $0,75 \text{ m}^3/\text{EW}$ hat. Die abgesetzten Feststoffe fallen in den

Schlammammelraum, seine Größe ist mit $0,7 \text{ m}^3/\text{EW}$ zu berechnen. In diesem können die Feststoffe bis zu drei Monaten ausfaulen. Das Prinzip besteht darin, dass die Absetz- und Faulungsprozesse in einem Bauwerk getrennt sind.

2.3 Bepflanzung und Mikroorganismen

„Pflanzenkläranlagen“ ist heute der meistgebrauchte Begriff für Kläranlagen, bei denen verschmutztes Wasser unter Beteiligung von Pflanzen gereinigt wird, wobei meist die Rolle der Pflanzen weniger groß ist als die des Bodens mit den auf und in diesem ablaufenden Prozessen.“ (Geller und Höner, 1993). Ähnlich wird das auch von Walter (2006) betrachtet. Er weist der Pflanze an der Gesamtreinigungsleistung einen einstelligen Prozentbereich zu. Die Bepflanzung spielt für die Abwasserreinigung nur eine sehr geringe Rolle. Bakterien und Mikroorganismen erledigen den größten Anteil des Abbaus bzw. der Umwandlung der organischen Abwasserinhaltsstoffe.

Es gibt verschiedene Einflussfaktoren, die auf die Abbauleistung der Mikroorganismen wirken. Das Bodenmilieu, das größtenteils durch die Wurzeln der sogenannten Repositions-pflanze bestimmt wird, ist ein entscheidender Faktor, aber auch die Inhaltsstoffe des Abwassers, die Temperatur und der pH-Wert spielen eine große Rolle. Es sind antibakteriell wirkende und unnötig viele Reinigungsmittel zu vermeiden, um die Mikroorganismen nicht übermäßig zu belasten.

2.3.1 Pflanzmischung

Die Pflanzen dienen zum größten Teil dazu, den Boden aufzulockern und ihn mit Sauerstoff zu versorgen, außerdem bietet eine Beschattung durch die Pflanzen Schutz vor übermäßigem Algenwachstum auf der Oberfläche des Bodenfilters. Ebenso bieten die Pflanzen im Spätherbst eine Isolierschicht, die vor dem Einfrieren der Anlage schützt, deshalb sollte das Pflanzenmaterial im Winter geschnitten werden und auf der Anlage bis zum Frühjahr verbleiben und erst dann geräumt werden. Als Alternative können die Betreiber das Pflanzenmaterial erst im Frühjahr schneiden und direkt räumen. Damit wird alles in einem Arbeitsgang erledigt.

Bei der Bepflanzung des Bodenfilters mit der Pflanzmischung, wurden in den letzten Jahren verschiedene Pflanzmischungen verwendet, welche eine Mischung aus

Monokotyledonen und Dikotyledonen darstellt. Bei den für diese Arbeit beprobten Anlagen wurden die in Tabelle 1 beschriebenen Pflanzen genutzt:

Tabelle 1: Deutsche/Botanische Namen der Pflanzmischung

<u>Deutscher Name</u>	<u>Botanischer Name</u>
Gewöhnlicher Blutweiderich	(<i>Lythrum salicaria</i>)
Echtes Mädesüß	(<i>Filipendula ulmaria</i>)
Wasserrminze	(<i>Mentha aquatica</i> L. var. <i>aquatica</i> , <u>Syn.:</u>
Flatter-Binse	(<i>Juncus effusus</i>)
Sumpf-Schwertlilie(oder auch Wasserlilie)	(<i>Iris pseudacorus</i>)
Rohrkolben	(<i>Typha latifolia</i>)
Igelkolben	(<i>Sparganium erectum</i>)
Kalmus	(<i>Acorus calmus</i>)

Für den Vertikalen Bodenfilter werden nur Schilfbepflanzungen genutzt, da diese ausreichend tief wurzeln, weil der vertikale Bodenfilter meist tiefer gebaut wird.

Von den Anlagenbetreibern, welche die oben genannte Pflanzmischung verwenden, wurde die Schönheit der Blütenpracht, welche die Pflanzen im Sommer haben, einheitlich als Grund genannt, diese Mischung zu verwenden. Eine Vielzahl an Schmetterlingen und Käfern, die durch das neu entstandene Biotop angelockt wurden, bieten eine weitere ökologische Vielfalt. Eine Vielzahl von Anlagenbetreibern gab dies im allgemeinen Teil des Fragebogens als positive Bereicherung an.

2.3.2 Mikroorganismen

Den Hauptanteil der Abwasserreinigung übernehmen die Mikroorganismen, wie z.B. Nitrosomas und Nitrobacter für den Ammonium Ab- und Umbau. So wird von ihnen der größte Teil der organischen Inhaltsstoffe des Abwassers abgebaut und umgewandelt. In verschiedenen Schritten wird das Abwasser von den Qualitätsbestimmenden Parametern gereinigt. Für die Stickstoffumwandlung werden Ammoniumverbindungen, aus Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), Harnsäure ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$) und organische gebundenem Stickstoff aus Fäkalien und Lebensmittelresten, in der Mehrkammergrube unter luftsaurestoffarmen Bedingungen zu Ammonium (NH_4^+) umgewandelt und liegt dort in gelöster Form vor. Die Umwandlung wird auch Ammonifizierung genannt. Es ist der erste Schritt der Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff in Ammonium (Vymazal, Kröpfelová, 2008).

Im Bodenfilter angekommen laufen die Nitrifikation und die Denitrifikation ab. Die Nitrifikation ist die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat mit Hilfe von sogenannten Nitrifikanten. Nitrifikanten sind Bakterien, die Ammonium zuerst zu Nitrit und dann weiter zu Nitrat umwandeln. Dieser Vorgang läuft in mehreren Schritten ab, die Bakteriengattung Nitrosomas wandeln das vorhandene Ammonium zu Nitrit um. Nitrit wird in einem weiteren Schritt von der Bakteriengattung Nitrobacter zu Nitrat umgewandelt. Nitrat selbst ist gut in Wasser löslich, d.h. alleine durch die Nitrifikation wird keine Eliminationsleistung der Stickstoffverbindungen im Abwasser erreicht, erst eine nachfolgende Denitrifikation kann den Stickstoff entfernen.

Für die Vorgänge der Nitrifikation sind höhere Temperaturen, genügend Sauerstoff, ein pH-Wert im neutralen bis leicht alkalischen Bereich und eine geringe Belastung des Abwassers mit leicht abbaubarer organischer Substanz notwendig. Das bedeutet, dass die Nitrifikation erst dann einsetzt, wenn die größte organische Verschmutzung abgebaut ist (Bahlo und Wach, 1992). Der Bodenfilter bietet durch das bereits vorgereinigte Abwasser ideale Voraussetzungen, die eine rasche Nitrifikation begünstigen.

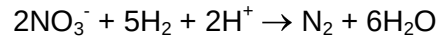
Die Gesamtreaktion der Nitrifikation lässt sich chemisch so darstellen:



Sind nicht genügend nitrifizierende Bakterien vorhanden, gelangt das Ammonium in den Vorfluter, hier können dann giftige Umwandlungsprodukte entstehen. „Ammonium selbst ist nur im neutralen und saurem Bereich (pH-Wert < 7,0) stabil. Im alkalischen Bereich, d.h. wenn der pH-Wert über 7,0 steigt, wandelt es sich in das für alle Lebewesen giftige Ammoniak um. [...] Tödlich giftig ist z.B. für die Forellenbrut schon 0,1 mg Ammoniak (NH₃)/l.“ (Bahlo und Wach, 1992).

Unter anoxischen Bedingungen, Sauerstoff liegt hier nur in der gebunden Form vor, beispielsweise als das bei der Nitrifikation entstandene Nitrat, kann das bereits nitrifizierte Abwasser eine Denitrifikation durchlaufen. Für diesen Vorgang werden unter anderem eine sauerstoffarme Umgebung und eine Kohlenstoffquelle benötigt. Die Denitrifikation kann aber selbst in gut durchlüfteten Böden stattfinden, was auf eine langsame Diffusion des Sauerstoffs durch die wasserführenden Mikroporen des Bodens zurückzuführen ist, wodurch dort eher anaerobe Bedingungen vorliegen (Scheffer und Schachtschabel, (2010). Bei dieser Reaktion wird das bei der Nitrifikation entstandene Nitrat über Nitrit zu

elementarem Stickstoff (N_2) und Lachgas (N_2O) reduziert und entweicht in die Atmosphäre (Rowell, 1997). Die Reaktion der Denitrifikation kann nach Geller und Höner (2003) chemisch so dargestellt werden:



Ein weiterer Parameter, der die Abwasserqualität bestimmt ist Phosphor. Phosphor als Element kommt in der Natur fast ausschließlich in gebundener Form vor, vor allem als Phosphat (PO_4^{3-}). Phosphor kann nicht abgebaut werden, wie verschiedene andere Verbindungen, sondern nur gebunden oder verlagert werden. So kann Phosphor z.B. physikalisch an Tonminerale gebunden werden oder von verschiedenen Metallverbindungen chemisch fixiert werden, außerdem kann es in die Biomasse der Pflanzen und Mikroorganismen eingebaut werden, bei deren Absterben diese wieder freigesetzt und so wieder dem Kreislauf zugeführt werden (Kadlec und Wallace, 2009). Phosphor kann das Wachstum von autotrophen Organismen begrenzen und gilt als Minimumfaktor. Phosphor wird als geringster aller Nährstoffe für das Wachstum von Pflanzen und Mikroorganismen benötigt. Es besteht eine direkte Abhängigkeit der Algenentwicklung in Gewässern von der Phosphorkonzentration (Mudrack und Kunst, 2003). Phosphate gelangen durch menschliche Ausscheidungen, landwirtschaftliche Düngung und Waschmittel in das Abwasser. Seit der Phosphat-Höchstmengenverordnung ist der Anteil an Phosphat in Waschmitteln erheblich zurückgegangen.

Um eine bessere Ausfällung von Phosphor im Bodenfilter erreichen zu können, wurde versuchsweise von der Firma Oberland Sonnenwasser GmbH, die Bausätze für Kleinkläranlagen anbieten, Eisenplatten mit befestigten Kupferröhrchen eingebaut. Die Eisenplatten geben, wegen der edleren Kupferröhrchen, Eisenionen (Fe^{3+}) frei, diese reagieren dann mit Phosphat (PO_4^{3-}) und fallen zu Eisenphosphat aus. Das ausgefällte Material kann dann zu Boden sinken und wird dort zurückgehalten.

„Der Schmutzgehalt des Wassers [und somit ein weiterer wichtiger Parameter für die Bestimmung der Wasserqualität] wird auch mit Hilfe des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) gemessen.“ (Schönborn, 2003).

Der chemische Sauerstoffbedarf ist ein Summenparameter der zur Ermittlung der schwer abbaubaren organischen Verbindungen im Abwasser zugrunde gelegt wird. Er gibt die Sauerstoffmenge an, die benötigt wird um nahezu alle organischen Verbindungen, auch

die schwer abbaubaren, zu Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2), mittels einer chemischen Oxidationsmittels, zu oxidieren. Für die leicht abbaubaren organischen Verbindungen wird der Summenparameter BSB_5 (biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen) genutzt, der die Sauerstoffmenge angibt, die für die mikrobiellen Stoffwechselprozesse benötigt wird.

Die Maßeinheit für CSB und BSB_5 ist mg/l O_2 . Bei der Messung des CSB-Wertes werden fast alle organische Verbindungen, auch potentiell abbaubare, z.B. synthetische Tenside und Mineralöl, gemessen.

2.4 Motivationen für die Installation von Pflanzenkläranlagen

Es gibt verschiedene Motivationsgründe für den Bau von Pflanzenkläranlagen. Unter anderem die große Entfernung zur kommunalen Kläranlage und die Förderungsmöglichkeiten bei dem Bau einer Pflanzenkläranlage. Auch wurde vielfach belegt, dass die Nutzung solcher Systeme eine gute Reinigungsleistungen bezüglich organischer Belastung, Nährstoffen und pathogenen Keimen besitzt (Kadlec und Wallace, (2009); Hagendorf und Diehl, (2001); Wissing und Hofmann, (2002)).

2.4.1 Kanalanschluss

Die Stadtwerke sind kraft des Gesetzes, für das auf dem Grundstück anfallende Schmutzwasser, abwasserbeseitigungspflichtig. Wenn eine leitungsgebundene Entsorgung, aufgrund von Kosten und Effizienz, für einen Haushalt nicht vorgesehen ist, erfolgt die Abwasserbeseitigung für das entsprechende Grundstück durch eine Kleinkläranlage.

Der sogenannte Anschlusszwang ist z.B. im ländlichen Raum, mit Ortschaften oder einzelnen Häusern, die zu weit entfernt von der kommunalen Kläranlage liegen nicht zweckmäßig. Mit einer entsprechenden Alternative, die genehmigungspflichtig ist, kann das Abwasser dezentral im eigenen Garten gereinigt werden. Hierzu gibt es einige Vorschriften und Regeln, die es zu beachten gilt.

2.4.2 Förderung

Es gibt verschiedene Förderungsmöglichkeiten für den Bau einer neuen Pflanzenkläranlage oder den Ausbau einer bereits vorhandenen Anlage. Staatliche Förderungen, die auf Grundlage von Richtlinien der einzelnen Bundesländer erteilt werden, können je nach Bundesland stark voneinander abweichen.

In Bayern, wo sich alle beprobten Pflanzenkläranlagen befinden, werden z.B. alle Reinigungsverfahren, welche die gesetzlichen Anforderungen erfüllen gefördert. Darunter zählen die mechanische Vorreinigung und der Bodenfilter. Die Förderungsanträge sind bei den Gemeinden erhältlich. Hierzu wurde vom Bayerischen Staatsministeriums für Landentwicklung und Umweltfragen eine Richtlinie für Zuwendungen zu Kleinkläranlagen veröffentlicht.

2.4.3 Gesetzliche Bestimmungen und Anforderungen

Eine Vielzahl an gesetzlichen Bestimmungen und Richtlinien, in denen Grenzwerte und Mindestanforderungen enthalten sind, müssen bei der Einleitung von geklärtem Abwasser in Gewässern eingehalten werden.

Auf der EU-Ebene gibt es folgende Richtlinie mit den entsprechenden Unterpunkten:

Gewässerschutz-Richtlinien:

- RICHTLINIE 2000/60/EG - zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- RICHTLINIE 2006/118/EG - zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung
- RICHTLINIE 98/15/EG Änderung der Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser

Auf der Bundes-Ebene (hier nur Deutschland betrachtet, da andere Länder starke Variationen haben) gibt es folgende Gesetze die beachtet werden müssen

Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Das Wasserhaushaltsgesetz ist das wohl wichtigste Gesetz zur Bestimmung der Wasserqualität von geklärtem Abwasser, laut § 8 Abs. 1 des WHG muss eine „Wasserrechtliche Erlaubnis“ von den zuständigen Behörden, den unteren

Wasserbehörden des jeweiligen Landkreises, eingeholt werden, wenn das gereinigte Abwasser in ein Oberflächengewässer oder das Grundwasser eingeleitet werden soll. Um die Erlaubnis zu erhalten ist ein privater Sachverständiger für Wasserwirtschaft erforderlich, der eine Planung erstellt und ein Gutachten erarbeitet.

Kleinkläranlagen müssen bestimmte Auflagen erfüllen, so sind von den unteren Wasserbehörden festgelegte Grenzwerte in der wasserrechtlichen Erlaubnis zu finden, die konform sind mit folgenden Ablaufklassen:

- C für Kohlenstoffabbau, festgelegte Grenzwerte für CSB sind 150 mg/l O₂ und falls BSB₅ gefordert wird, liegt der Grenzwert bei 40 mg/l O₂
- N für Nitrifizierung
- D für Denitrifizierung, festgelegter Grenzwert für CSB sind 90 mg/l O₂, für Ammonium 10 mg/l, Gesamtstickstoff (N_{ges.}) 25 mg/l und falls BSB₅ gefordert wird, liegt dieser Grenzwert bei 20 mg/l O₂
- +P für zusätzliche Phosphorelimination, Grenzwerte wie Ablaufklasse D, nur das hier zusätzlich der Gesamtphosphor nicht über 2 mg/l steigen darf.
- +H für zusätzliche Hygienisierung hier liegen Grenzwerte wie bei Ablaufklasse D vor nur das zusätzlich die Keimzahl nicht über 100 liegen darf

Alle in dieser Arbeit beprobten Kleinkläranlagen sind in der Ablaufklasse C, also geförderter Kohlenstoffabbau. In Wasserschutzgebieten oder falls das gereinigte Abwasser in Badezonen eingeleitet wird bzw. als Brauchwasser genutzt wird, wird eine höhere Klasse gefordert.

Abwasserverordnung (AbwV)

In der Abwasserverordnung (AbwV § 3 Abs.1) sind Grenzwerte enthalten, die für die Einleitung von geklärtem Abwasser in Gewässer gelten. So darf in der Größenklasse 1 der Grenzwert für die Einleitung von 150 mg/l O₂ nicht überschritten werden. Für den Parameter BSB₅ liegt der Grenzwert des gereinigten Abwassers bei unter 40 mg/l O₂. Für Gesamtstickstoff liegt dieser erst bei Größenklasse 4 (mehr als 600 bis 6000 kg BSB₅ (roh) pro Tag) eine Grenzwertbestimmung von 18 mg/l vor. Alle beprobten Anlagen zählen laut AbwV zur Größenklasse 1. Dies bedeutet, dass die täglich eingeleitete Rohfracht einen BSB₅ Wert von 60 kg nicht überschreiten darf. Regelmäßige Kontrollen stellen sicher, dass die Mindestanforderungen eingehalten werden.

Abwasserabgabegesetz

Auf der Länder-Ebene gibt es das Landeswassergesetz und die Indirekteinleiter Verordnung, die hier zu nennen sind.

3 Material und Methoden

Gesammelt wurden Proben von 30 Pflanzenkläranlagen, die laut AbwV der Größenklasse 1 entsprechen. Bis auf Anlage 17, die von der Firma Baronky, Oberndorf, gebaut wurden. Die Anlagen aus Oberbayern stehen zwischen dem nördlichen Breitengrad 48°32 und dem östlichen Längengrad 12°15.

Alle Anlagen sind nach dem Regelwerk DWA-A 262 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. gebaut.

Es wurden insgesamt 90 Wasserproben und 30 Pflanzenproben aus 30 Anlagen genommen.

Für diese Ausarbeitung wurden die Anlagen bewusst in vier Kategorien eingeteilt, nach Bautyp und Bepflanzung mit fortlaufender Nummerierung. Im Laufe der Untersuchung zeigte sich, dass Anlagen einer Altersgruppe mehr Ähnlichkeiten aufwiesen und sich daher gezielter untersuchen und auswerten lassen, wenn sie nach Alter der Anlagen sortiert sind. Daher wurden die Gruppen entsprechend geändert, die Nummerierung wurde aber beibehalten. Die Nummern der Anlagen innerhalb einer Gruppe spiegeln jetzt umso mehr wider, dass die Ergebnisse vom Typ der Anlage nahezu unabhängig waren. Andernfalls hätten sich aufeinanderfolgende Anlagennummern innerhalb einer Gruppe wiederfinden müssen.

Die ursprüngliche Einteilung der Kategorien wurde wie folgt durchgeführt:

Kategorie 1 (Tabelle 2): Vertikaler Anlagentyp, Alter der Anlagen ist zwischen 27 und 51 Monate, Bepflanzung: Gemeines Schilf (*Phragmites australis*). Diese Kategorie umfasst acht Anlagen. Der Mittelwert des Alters dieses Anlagentyps ist 36 Monate.

Tabelle 2: Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 1

Kategorie 1 (Vertikal)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
1	01.08.2006	51
2	01.09.2006	50
3	01.06.2008	28
4	01.04.2007	43
5	01.04.2008	30
6	01.04.2008	30
7	01.05.2008	29
8	01.08.2008	27
Mittelwert		36

Kategorie 2 (Tabelle 3): Horizontaler Anlagentyp, Anlage 17 ist 187 Monate alt und der Rest der Kategorie ist zwischen 49 und 52 Monate alt, Bepflanzung: Gemeines Schilf (*Phragmites australis*). Diese Kategorie umfasst neun Anlagen. Der Mittelwert dieses Anlagentyps ist 66 Monate, wobei ein Ausreißer mit 187 Monaten dabei ist. Wird dieser Ausreißer außen vor gelassen ergibt sich ein neuer Mittelwert von 51 Monate.

Tabelle 3: Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 2

Kategorie 2 (Horizontal, alt, Schilf)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
9	01.09.2006	50
10	01.07.2006	52
11	01.07.2006	52
12	01.10.2006	49
13	01.07.2006	52
14	01.08.2006	51
15	01.08.2006	51
16	01.08.2006	51
17	01.06.1995	187
Mittelwert		66

Kategorie 3 (Tabelle 4): Horizontaler Anlagentyp, Alter der Anlage zwischen 17 und 28 Monate, hier ist die Einlaufphase noch nicht abgeschlossen, Bepflanzung: Gemeines Schilf (*Phragmites australis*). In dieser Kategorie befinden sich sechs Anlagen. Der Mittelwert des Alters liegt hier bei 25 Monaten.

Tabelle 4: Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 3

Kategorie 3 (Horizontal, mittelalt, Schilf)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
18	01.08.2008	26
19	01.06.2008	28
20	01.05.2009	17
21	01.08.2008	26
22	01.07.2008	27
23	01.08.2008	26
Mittelwert		25

Kategorie 4 (Tabelle 5): Horizontaler Anlagentyp, Alter der Anlagen zwischen 13 und 15 Monaten, welches einen Mittelwert von 14 Monaten ergibt. Auch hier ist die Einlaufphase noch nicht abgeschlossen, Bepflanzung: Pflanzmischung bestehend aus acht Pflanzen die in Tabelle 1, Seite 11 zu finden sind. Diese Kategorie umfasst sieben Anlagen.

Tabelle 5: Anlageneinteilung mit Baujahr und Alter in Monaten, Kategorie 4

Kategorie 4 (Horizontal, jung Pflanzenmischung)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
24	01.08.2009	14
25	01.07.2009	15
26	01.09.2009	13
27	01.07.2009	15
28	01.09.2009	13
29	01.07.2009	15
30	01.09.2009	13
Mittelwert		14

Bei der Anlagennummerierung nach Alter wurden die Anlagen in folgende Gruppen eingeteilt:

Gruppe (Alt) (Tabelle 6) besteht aus elf Anlagen im Alter zwischen 43 und 52 Monaten. Der Mittelwert des Alters liegt bei 50 Monaten.

Tabelle 6: Alternative Anlageneinteilung nach Alter, mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Alt

Gruppe (Alt)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
13	01.07.2006	52
10	01.07.2006	52
11	01.07.2006	52
14	01.08.2006	51
15	01.08.2006	51
16	01.08.2006	51
1	01.08.2006	51
2	01.09.2006	50
9	01.09.2006	50
12	01.10.2006	49
4	01.04.2007	43
Mittelwert		50

Gruppe (Mittelalt) (Tabelle 7) besteht aus zehn Anlagen im Alter zwischen 26 und 30 Monaten. Der Mittelwert der Anlagen liegt bei 28 Monaten.

Tabelle 7: Alternative Gruppeneinteilung nach Alter, mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Mittelalt

Gruppe (Mittelalt)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
5	01.04.2008	30
6	01.04.2008	30
7	01.05.2008	29
3	01.06.2008	28
19	01.06.2008	28
8	01.07.2008	27
22	01.07.2008	27
18	01.08.2008	26
21	01.08.2008	26
23	01.08.2008	26
Mittelwert		28

Gruppe (Jung) (Tabelle 8) besteht aus acht Anlagen im Alter zwischen 13 und 17 Monaten. Der Mittelwert des Alters liegt bei 15 Monaten.

Tabelle 8: Alternative Gruppeneinteilung nach Alter mit Baujahr und Alter in Monaten, Gruppe Jung

Gruppe (Jung)	Baujahr	Monate
Anlagennummer		
20	01.05.2009	17
25	01.07.2009	15
27	01.07.2009	15
29	01.07.2009	15
24	01.08.2009	14
26	01.09.2009	13
28	01.09.2009	13
30	01.09.2009	13
Mittelwert		15

Aufgrund des weiten Abstandes des Alters zwischen Anlage Nummer 17 und der **Gruppe (Alt)** wird im nachfolgenden diese Anlage separat behandelt und **Einzelanlage (sehr alt)** (Tabelle 9) genannt.

Tabelle 9: Alternative Gruppeneinteilung nach Alter mit Baujahr und Alter in Monaten, Einzelanlage (sehr alt)

Einzelanlage (sehr alt)	Baujahr	Monate
17	01.06.1995	187

3.1 Probennahme

3.1.1 Wasserproben

Die Proben wurden im Zeitraum vom 14.10.2010 bis 28.10.2010 in Oberbayern genommen. In jeder der 30 Anlagen wurden drei Wasserproben als Stichproben genommen. Die erste und die zweite Probe erfolgten in der mechanisch-teilbiologischen Vorklärung, in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube. Die dritte Probe erfolgte in der biologisch nachgeschalteten Abwasserreinigung im Ablauf, im Kontrollschacht vor dem Vorfluter.

In der Vorklärung wurde ein Probennehmer verwendet, dessen Deckel sich teilweise öffnen lässt, um möglichst nur die flüssige Mittelschicht aus der Grube aufzunehmen. Im Ablauf wurde die Probe mittels Vierkantschüttelflaschen entnommen.

Es wurden 250 ml in Vierkantschüttelflaschen abgefüllt. Diese wurden am selben Tag bei -18 °C bis -20 °C tiefgekühlt und bis zur Probenanalyse auf dieser Temperatur gehalten. Um ein vorzeitiges Auftauen der Proben zu verhindern, wurde für den Transport ins Labor nach Bonn eine Styroporbox verwendet.

3.1.2 Pflanzenproben

Als Pflanzenprobe wurde eine repräsentative Stichprobe des Pflanzenmaterials genommen, um auch diese in weiteren Schritten zu analysieren. Der Trockensubstanzanteil wurde durch vermessen des gesamten Bodenfilters abzüglich des bewachsenen Teils des Bodenfilters bestimmt.

Bei Kategorie 4 wurde ebenfalls noch der Anteil jeder Pflanzenart gemessen und auf das gesamte Beet bezogen, so dass eine repräsentative Probe aller Arten genommen werden konnte.

Eine Pflanzenprobe von 0,5 m² wurde genommen und diese Frischprobe vor Ort gewogen. Aus technischen Gründen musste die Trocknung des Pflanzenmaterials 14 Tage ausgebreitet auf Flies bei ca. 18 °C stattfinden. Um ein Faulen des Pflanzenmaterials zu verhindern wurde die Probe täglich zweimal gewendet, später wurde die Pflanzenprobe mehrere Tage im Trockenschrank bei 60 °C getrocknet.

3.2 Analytik

3.2.1 Wasserproben

Vor Ort konnten die Parameter pH-Wert, Sauerstoff, Leitfähigkeit und Temperatur mittels WTW Multiline F / Set 3 mit der Nummer 400.327, unter der Verwendung der jeweiligen Elektroden gemessen werden. Die Temperatur wurde mit jeder genutzten Elektrode gemessen und daraus wurde ein Mittelwert gebildet. Die Standards und

Methodenvorschriften für die weiteren Analysen der Wasserproben, sowie die verwendeten Geräte und die Einheiten der Proben sind in Tabelle 10 zu finden.

Tabelle 10: Methoden der gemessenen Parameter der Wasserproben

Parameter	Bezeichnung	Vorschriften/ Messmethode	Einheit	Gerät
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	DIN 38409	mg/l	WTW PhotoLab S12
NH₄-N	Ammonium-Stickstoff	DIN 38406	mg/l	AutoAnalyzer 3
NO₃-N	Nitrat -Stickstoff	DIN 13395	mg/l	AutoAnalyzer 3
PO₄³⁻	Orthophosphat	US-Standard Methods 4500 PC	mg/l	WTW PhotoLab S12
pH	Potentia Hydrogenii	DIN 38404	Dimensionsloser Wert	Multiline F /Set 3
Temperatur	Grad Celsius	DIN 38404	°C	Multiline F /Set 3
Leitfähigkeit	Konduktivität	DIN 27888	µS/cm	Multiline F /Set 3
O₂	Sauerstoff	DIN 25814	%	Multiline F /Set 3

Chemischer Sauerstoffbedarf

Der chemische Sauerstoffbedarf wurde nach DIN 38409 gemessen. Die Probe wurde zunächst im WTW Thermoreaktor CR 3000 zwei Stunden lang bei 148 °C mit Kaliumdichromat (K₂Cr₂O₇) „aufgeschlossen“, dann, nach Vorschrift, abgekühlt und im WTW PhotoLab S12 gemessen. Dieselbe Probe wurde nach 30 Minuten erneut gemessen und aus diesen beiden Werten ein Mittelwert gebildet. Bei einigen Proben wurden stichprobenartig die Proben erneut aufbereitet und gemessen und gingen mit in den Mittelwert ein.

Nitrat und Ammonium

Nitrat und Ammonium wurden mittels AutoAnalyzer 3 und der Din Norm 13395 analysiert.

Phosphor

Phosphor wird in den Wasserproben über das Orthophosphat (PO_4^{3-}) gemessen. Die Wasserprobe wird mit schwefelsaurer Lösung versetzt. Die Orthophosphat-Ionen bilden dann mit Ammoniumvanadat und Ammoniumheptamolybdat die orangegelbe Molybdatovanadatophosphorsäure. Diese Verbindung kann mit Hilfe des Photometers gemessen werden. Es wurde der Phosphat-Test 1.14842.0001 von MERK mit der VM-Methode verwendet. Die VM-Methode ist analog zum US Standard Methods 4500-P C. Für die Analyse wurde das WTW-PhotoLab S12 verwendet.

Abfiltrierbare Stoffe

Um die abfiltrierbaren Stoffe zu messen, wurden 250 ml Wasserproben durch Filter der Firma MACHEREY-NAGEL geleitet. Die Filternummer lautet MN 619 G und hat ein phosphatfreies, langsam filtrierendes Filterpapier. Die Filter wurden vor der Filtration und nach der Trocknung gewogen. So ergeben die Differenz zwischen dem Filtergewicht vorher und nachher die abfiltrierbaren Stoffe. Diese werden dann in mg/l angegeben.

3.2.2 Pflanzenproben

Nach der mehrtägigen Trocknung im Trockenschrank wurde das Pflanzenmaterial zuerst zurückgewogen, um die Trockensubstanz zu bestimmen und dann für die weiteren Analysen homogenisiert und aufbereitet. Das stark heterogene Pflanzenmaterial wurde erst in einer Rotormühle (Brabender) grob gemahlen, weiter wurde es gemischt und mit einem Probennehmer in acht Unterteilungen verringert. Eine repräsentative Mischprobe wurde in einer Scheibenschwingmühle (Siebtechnik) zur weiteren Analyse auf eine Größe von unter 0,01 mm kleingemahlen. Getrocknet und gemahlen wurde es am Institut für Pflanzenernährung in Bonn. Die Standards und Methodenvorschriften für die Analysen der Pflanzenproben, sowie die verwendeten Geräte und die Einheiten der Proben sind in Tabelle 11 zu finden.

Tabelle 11: Methoden der gemessenen Parameter der Pflanzenprobenproben

Parameter	Bezeichnung	Vorschrift/ Messmethode	Einheit	Gerät
Gesamt N	Stickstoff	Nach Methodenhandbuch VDLUFA	%	Elementaranalysator EA 3000
Gesamt C	Kohlenstoff	Nach Methodenhandbuch VDLUFA	%	Elementaranalysator EA 3000
Gesamt P	Phosphat	Molybdänblaumethode	%	Eppendorf Ecom 6122

Phosphoranalyse

Um die Phosphorkonzentration im Pflanzenmaterial zu bestimmen wurde zuerst das fein gemahlene Pflanzenmaterial mittels Druckaufschluss nach Löffel mit Salpetersäure aufgeschlossen. Des Weiteren wurde das vorbereitete Material mit der Molybdänblaumethode angefärbt, um es dann kolometrisch am Spektralphotometer (Eppendorf ECOM 6122) bestimmen zu können. Die Phosphatgehalte wird in % angegeben.

Biomasse

Um die Biomasse der Pflanzenprobe zu bestimmen wurde das vorgetrocknete und gewogene Probenmaterial im Trockenschrank mehrere Tage bei 60 °C getrocknet, danach wurde es zurückgewogen und mit Hilfe von Microsoft Excel berechnet.

C/N-Verhältnis

Mit Hilfe des Elementaranalysator EA 3000 wurde das Pflanzenmaterial auf Kohlenstoff (C) und Gesamtstickstoff (N) analysiert. Hierzu wurde das Material in Zinnkapseln eingewogen und dann mit der Methode Callidus 2E3 analysiert. Um eine hohe Streuung zu vermeiden wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt.

3.2.3 Befragung der Nutzer

Den Anlagenbetreibern wurde ein Fragebogen mit Fragen über die Anlage vorgelegt, der wenn möglich, direkt vor Ort von den Anlagenbetreibern ausgefüllt wurde. War dies nicht möglich wurde der Fragebogen von den Betreibern zurückgesendet. Der Fragebogen besteht aus insgesamt 30 Fragen die in drei Teile unterteilt sind.

Technik

In diesem Teil werden in neun Fragen technische Details zu der Anlage abgeklärt. Gefragt wurde unter anderem: Wie viele Personen in die Anlage einleiten und auf wie viel Einwohner die Anlage ausgelegt ist, Art des Abwassers, Größe der Grube, Größe des Bodenfilters, Anlagentyp und Ablaufklasse. Es wurde auch nach schon vorhandenen Ablaufwerten gefragt, die aber nur in einzelnen Fällen genannt werden konnten.

Management

In diesem Teil geht es um Fragen zum Management und zu den Kosten der Anlage und der Wartungsarbeiten. Hier wird in acht Fragen abgeklärt, wie hoch die Kosten der Anlage waren, was die jährliche Wartung kostet, wann die Anlage gebaut wurde und ob es bisher Probleme bei der Betreibung der Anlage gab.

Akzeptanz

In diesem Teil werden Fragen zum Empfinden der Betreiber geklärt, wie z.B. ob es zu Geruchsbelästigung in der Mehrkammergrube, dem Bodenfilter oder der Dachentlüftung kam, ebenso wird in diesem Teil geklärt ob die Betreiber die Wartung der Anlage als aufwendig empfinden und wie viele Stunden jährlich für die Anlage benötigt wird. Dieser Fragenteil besteht aus 13 Fragen.

3.3 Auswertung

3.3.1 Berechnung bei mehreren Einleitern

Die rechnerische Zusammenführung der Schmutzfrachtwerte wurde bei mehreren vorhandenen Mehrkammergruben, wenn diese in nur einen vorhandenen Bodenfilter einleiten, rechnerisch wie folgt umgesetzt: Es wurde ein Durchschnittswert für die Abwassermenge von 122 l pro Person und Tag angenommen (Statistisches Bundesamt, 2009). Die Anzahl der Personen pro Grubennutzung wurde mit 122 l multipliziert, um die eingeleiteten Liter pro Mehrkammerausfallgrube zu ermitteln. Der gemessene Wert wurde dann mit der entsprechenden für diese Grube ermittelten Literzahl multipliziert. Alle so gewonnenen Werte wurden miteinander addiert und durch die Gesamtliterzahl subtrahiert. Diese Rechnung wurde getrennt, erst für die erste Kammer und dann für die dritte Kammer der Mehrkammerausfallgrube, durchgeführt. Die so gewonnenen Werte lassen sich nun mit anderen Anlagen vergleichen bei denen nur eine Mehrkammerausfallgrube vorhanden ist.

3.3.2 Statistische Auswertung der Daten

Für die statistische Auswertung und die grafische Darstellung der Ergebnisse wurde Microsoft Excel Version 2007 verwendet.

4 Ergebnisse

Alle gemessenen Parameter werden getrennt betrachtet, um sie mit vorhandenen Grenzwerten und Werten aus der Literatur zu vergleichen. Die Grafiken dienen der Veranschaulichung der zum Teil sehr komplexen Daten.

4.1 Wasserproben

4.1.1 Stickstoff

Werden die Mittelwerte des Zulaufs in der ersten Kammer nach Kategorien eingeteilt (Abbildung 3) betrachtet werden und der Einteilung nach Alter (Abbildung 4) gegenüber gestellt werden, ergeben sich keine Unterschiede. Die Zulaufwerte liegen für Ammonium zwischen 21 mg/l und 37 mg/l. Die Zulaufwerte für Nitrat sind sehr gering mit unter 1 mg/l. Nach Imhoff (1985) liegen die Zulaufwerte, für Gesamtstickstoff, für häusliches Abwasser bei kommunalen Kläranlagen bei 30 mg/l bis 80 mg/l. An den Zulaufwerten ist zu erkennen, dass die Zulaufkonzentrationen für Ammonium und Nitrat bei allen Anlagen eine ähnliche Konzentration aufweisen.

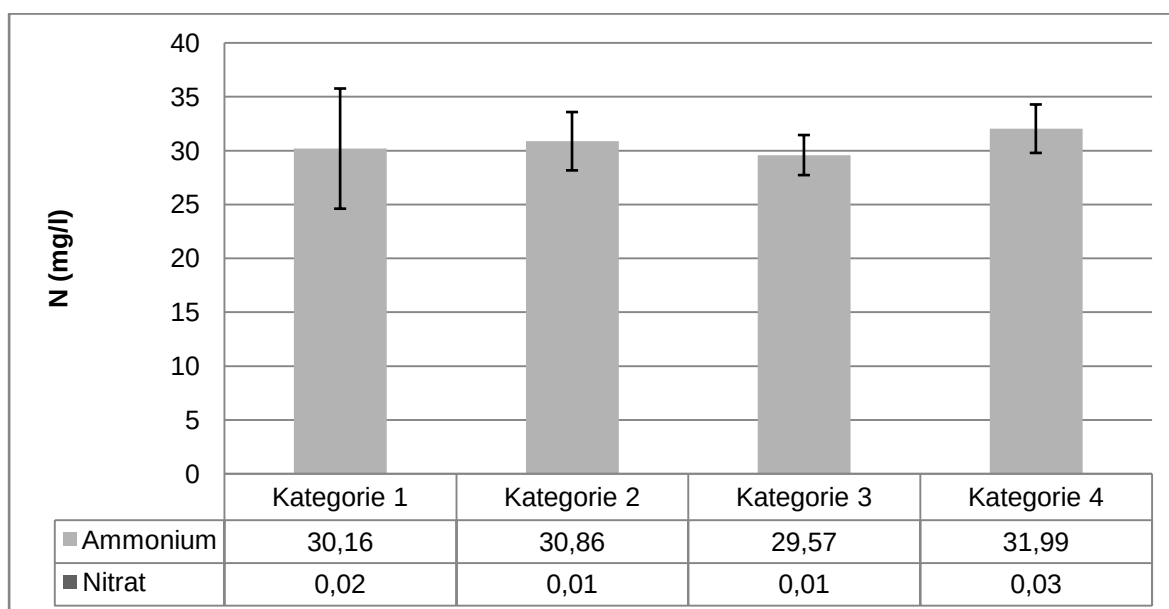


Abbildung 3: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium gemessen in der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Kategorien

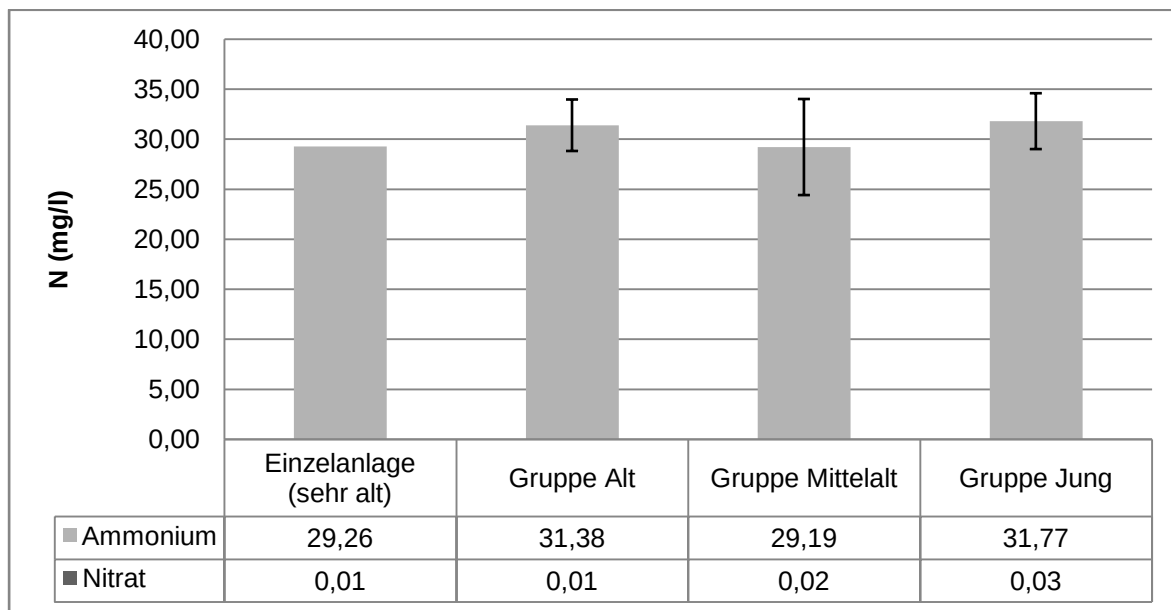


Abbildung 4: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium gemessen in der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Altersgruppen

In der Mehrkammerausfallgrube kommt es, von der ersten zur dritten Kammer, zu einer in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Ammonifizierung, bei der die Ammoniumwerte, unter Sauerstoffabwesenheit, um ein Vielfaches ansteigen. Wird der Mittelwert von Nitrat und Ammonium betrachtet ergibt sich kein Unterschied in der Einteilung nach Kategorien (Abbildung 5) oder der Einteilung nach Alter (Abbildung 5). In der dritten Kammer der Mehrkammergrube konnte eine bis zu fünfmal höhere Ammoniumkonzentration nachgewiesen werden. Die Konzentrationen reichen von etwa 24 mg/l bei Anlage 12 bis hin zu 165 mg/l bei Anlage 6. An den Zulaufwerten ist zu sehen, dass vergleichbare Prozesse in der Mehrkammerausfallgrube stattfinden.

Bei vier Anlagen konnte kein Anstieg der Ammoniumkonzentration innerhalb der Mehrkammergrube festgestellt werden, bei 24 Anlagen kam es zu einem Anstieg der Ammoniumkonzentration, um das Doppelte bis Vierfache und bei zwei Anlagen kam es zu einer Verfünffachung der Ammoniumkonzentration.

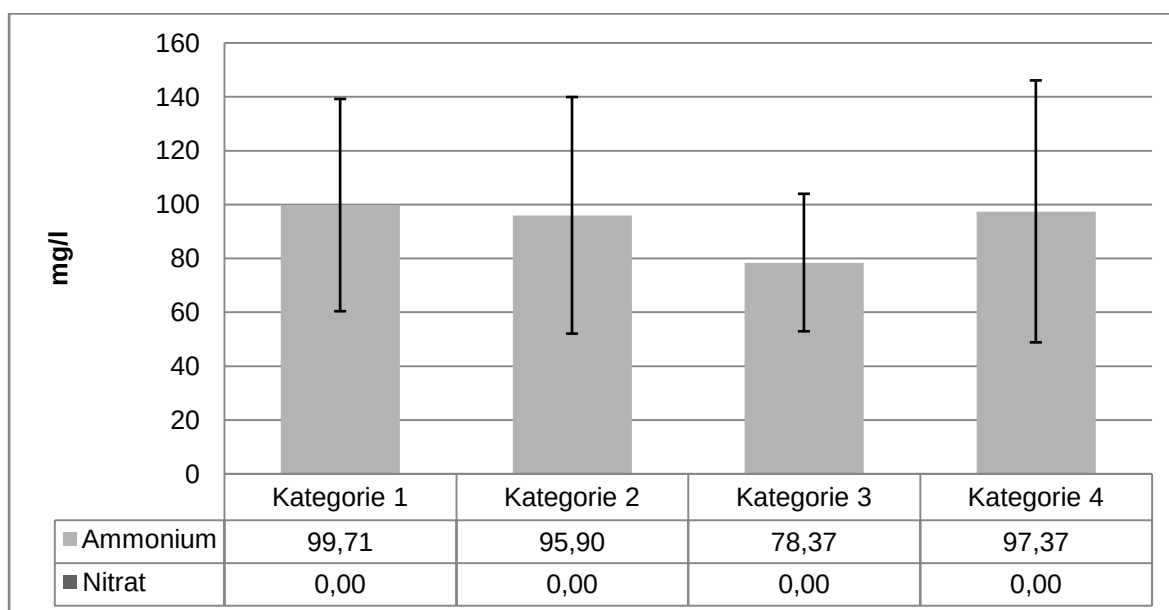


Abbildung 5: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium in den Bodenfiltern, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Kategorien

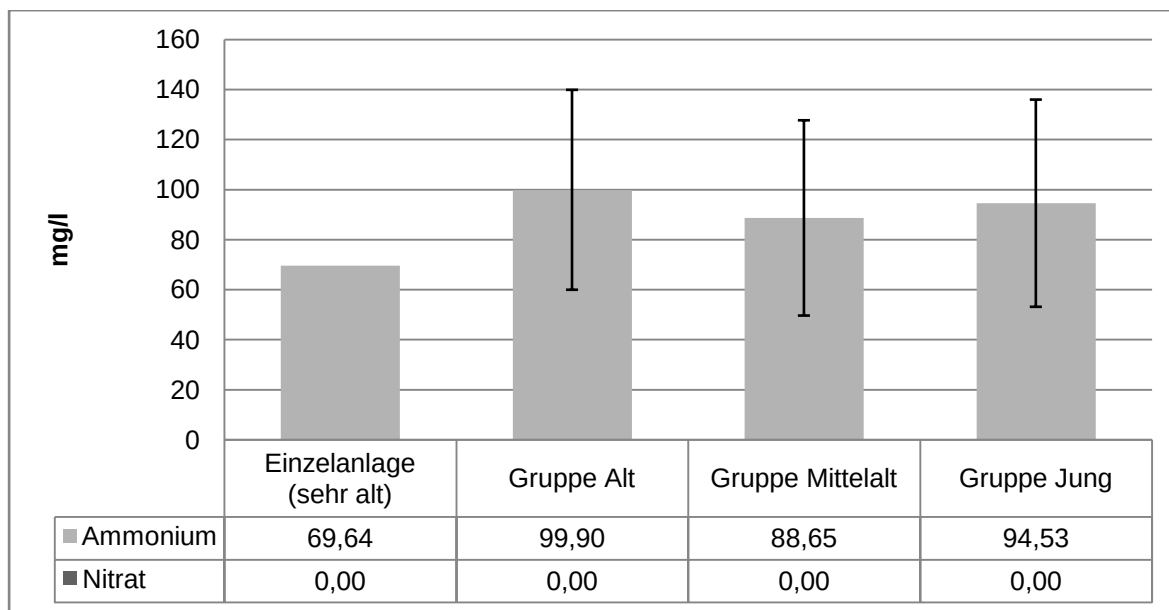


Abbildung 6: Mittlere Zulaufwerte für Nitrat und Ammonium in den Bodenfiltern, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Einteilung nach Altersgruppen

Im Bodenfilter fallen die Werte sowohl für Ammonium als auch für Nitrat sehr unterschiedlich aus und reichen bei Nitrat von <1 mg/l bis hin zu 111,59 mg/l und bei Ammonium von 2,85 mg/l bis hin zu 157,32 mg/l. Anlage 2 hat mit 111,59 mg/l den höchsten Wert für Nitrat und Anlagen 8, 12, 19, 21 und 26 haben mit unter 1 mg/l die geringsten Werte. Die höchste Ammoniumkonzentration ist bei Anlage 24 mit 157,32 mg/l zu finden, so wie die geringsten Werte mit 2,85 mg/l bei Anlage 1 und mit 2,90 mg/l bei Anlage 2 zu finden sind.

Werden die Anlagen nach Kategorien eingeteilt (Abbildung 7) betrachtet, ist zu erkennen, dass bei vertikalen Anlagen, in **Kategorie 1**, mehr Nitrat im Ablauf zu finden ist. Dies ist die Folge einer höheren Umsetzung von Ammonium zu Nitrat. Bei allen horizontalen Anlagen fielen die Werte für Nitrat geringer aus.

Werden die Ablaufwerte der Anlagen nach Alter sortiert betrachtet (Abbildung 8) so ist zu erkennen, dass die Nitratkonzentrationen bei **Gruppe (Jung)** mit maximal 10,67 mg/l sehr gering sind und bei **Gruppe (Alt)** mit Werten bis 111,59 mg/l höher liegen.

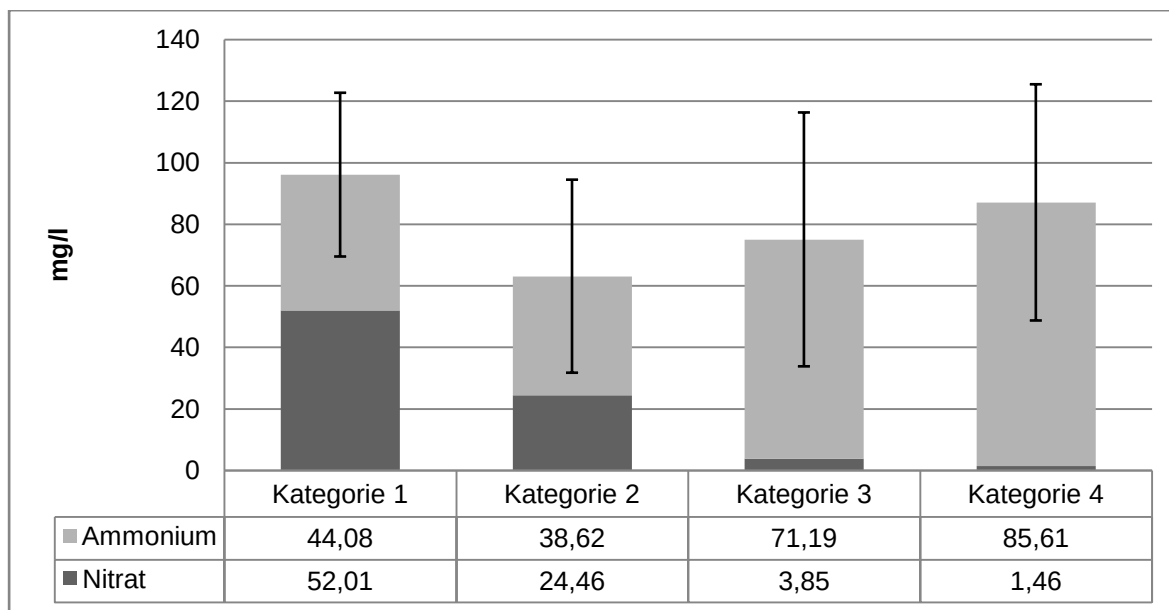


Abbildung 7: Mittlere Ablaufwerte für Nitrat und Ammonium aus dem Bodenfilter, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Kategorie

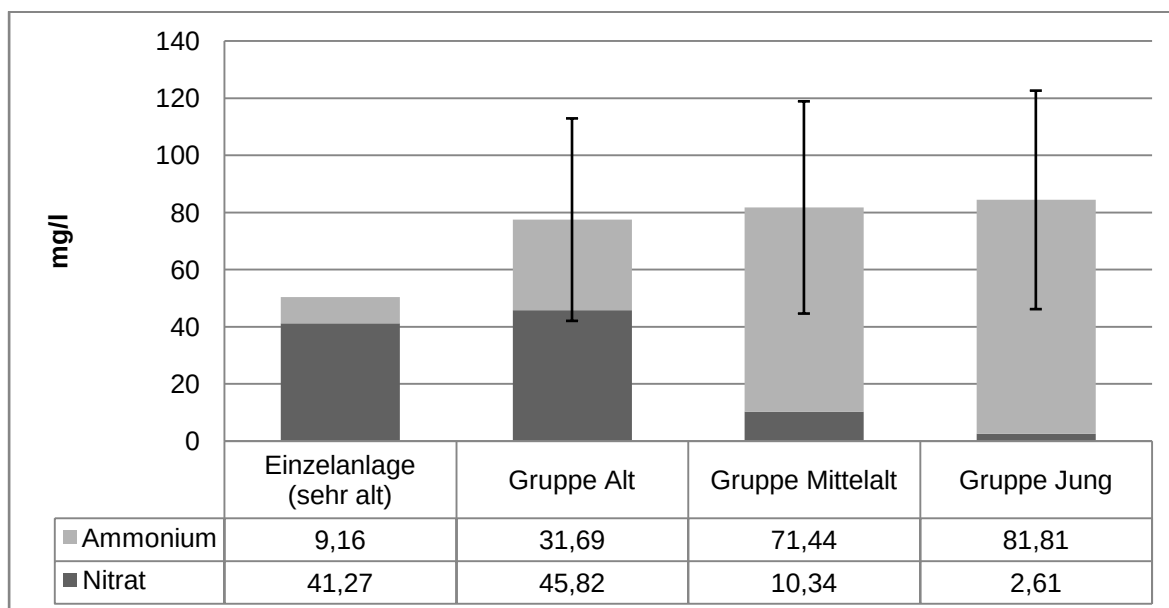


Abbildung 8: Mittlere Ablaufwerte für Nitrat und Ammonium aus dem Bodenfilter, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Altersgruppen

Um eine Tendenz der Stickstoffverluste in Form von elementarem Stickstoff ableiten zu können, werden in Abbildung 9 die Summen der gemessenen Ammonium- und Nitratwerte, sowohl im Zulauf des Bodenfilters als auch im Ablauf, betrachtet. Hierdurch

ist zu erkennen, dass bei **Kategorie 1**, also ältere vertikale Bodenfilter, kaum Stickstoffverluste auftreten. Bei **Kategorie 2** hingegen sind größere Verluste zu erkennen. Bei **Kategorie 3** und **Kategorie 4** sind die Verluste schwankend.

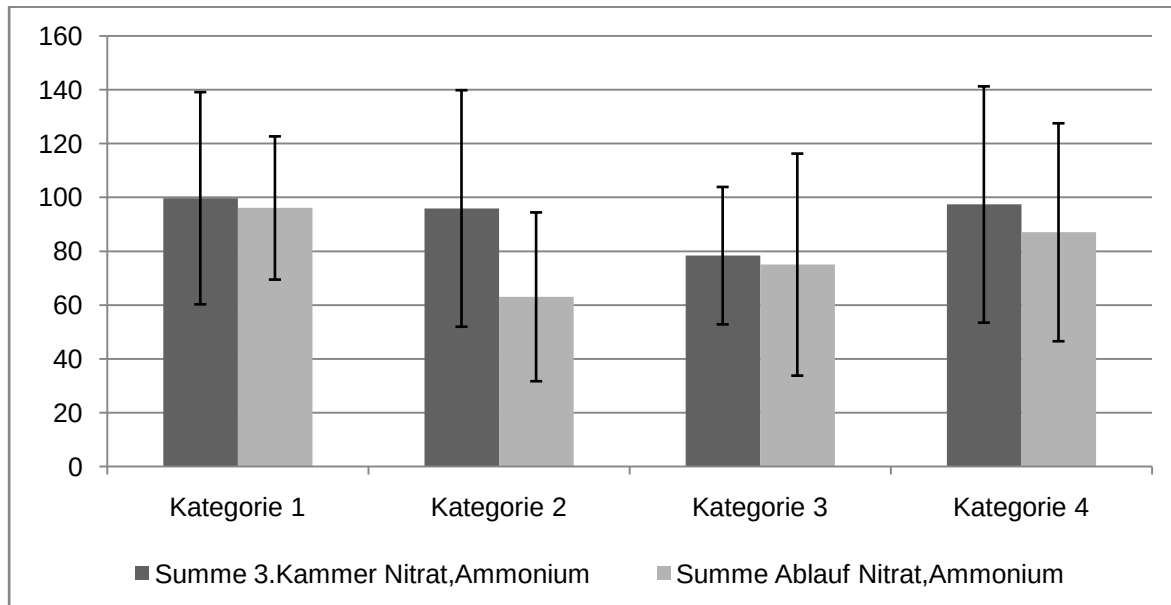


Abbildung 9: Summe von Ammonium und Nitrat für die Zu- und Ablaufwerte des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Kontrollschacht des Bodenfilters, Einteilung nach Kategorien

4.1.2 Phosphor

Für alle beprobten Anlagen liegen keine Grenzwerte für Phosphat vor, da diese erst ab Größenklasse 4 (Grenzwert 2 mg/l) oder bei gesonderter Phosphateliminierungsklasse, nötig sind.

Zunächst einmal werden in Abbildung 10 die Zulaufwerte und die Ablaufwerte für Orthophosphat der Mehrkammerausfallgrube betrachtet. Die Werte werden im Altersverlauf betrachtet, umso besser Rückschlüsse auf die Annahme, dass eine Phosphatsättigung des Bodensmaterials stattfindet, ziehen zu können.

Werden die Werte für Orthophosphat innerhalb der Mehrkammerausfallgrube betrachtet, so ist erkennbar, dass es bei einigen Anlagen zu einem Anstieg des gemessenen Wertes

kam. Andere Anlagen haben einen gleichbleibenden oder abnehmenden Wert des Phosphats.

Bei den untersuchten Anlagen kommt es zu Zulaufwerten der Mehrkammergrube, die zwischen 5 mg/l bei Anlage 23 und 28 mg/l bei Anlage 10 liegen. Die Ablaufwerte der Mehrkammergrube und somit Zulaufwerte des Bodenfilters liegen zwischen 3 mg/l bei Anlage 29 und 29 mg/l bei Anlage 26. Bei Anlage 9, 11 und 23 gibt es einen Anstieg des Phosphatwertes von der ersten zur dritten Kammer.

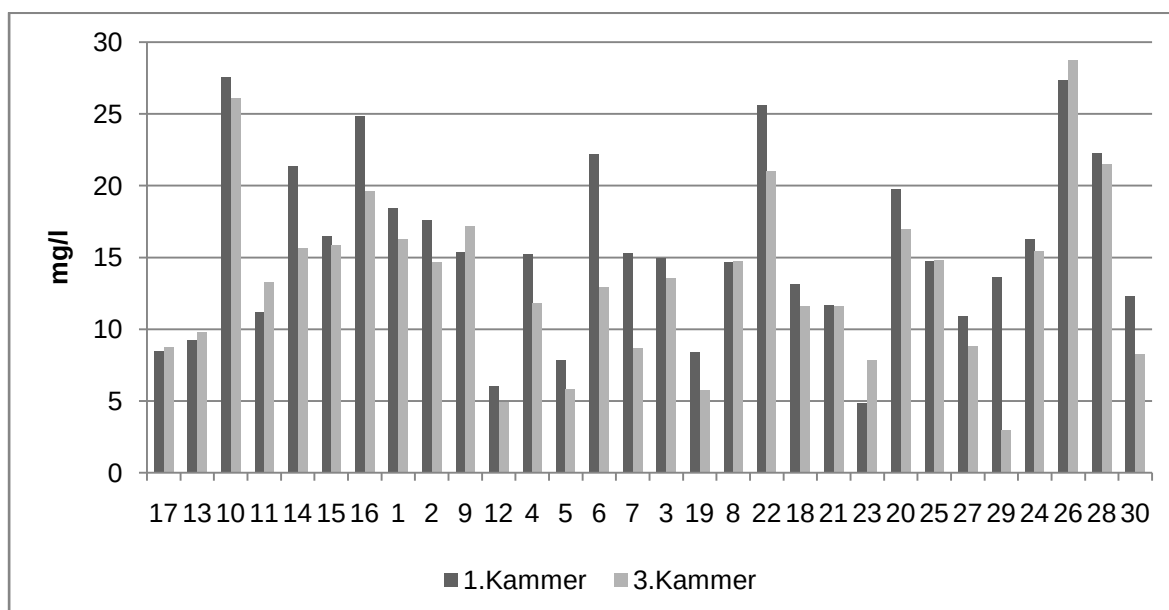


Abbildung 10: Gemessenes Phosphat im Zulauf und Ablauf der Mehrkammerausfallgrube, gemessen in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Abfolge der Anlagen nach Alter

Werden die Werte für die Rückhaltung von Phosphat im Bodenfilter in Abbildung 11 betrachtet ist zu erkennen, dass es bei 26 von 30 Anlagen zu einer Minimierung der Konzentration kam.

Die Anlagen 10, 22 und 24 haben einen Ablaufwert zwischen 15 und 16 mg/l. Sieben weitere Anlagen haben Ablaufwerte zwischen 10 und unter 15 mg/l. Alle anderen Anlagen liegen unter 10 mg/l wobei die Anlage 12, 16 und 20 mit 1 mg/l die geringsten Ablaufwerte haben.

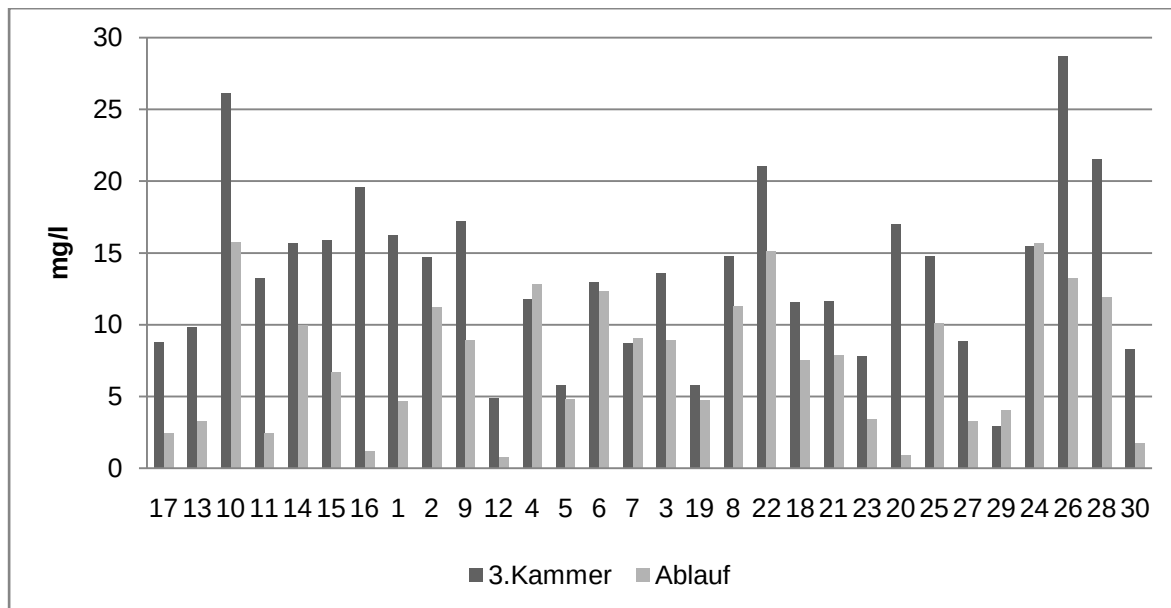


Abbildung 11: Gemessenes Phosphat im Zulauf und Ablauf des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Kontrollschacht des Bodenfilters, Abfolge der Anlagen nach Alter

Werden die mittleren Ablaufwerte für Phosphat aus dem Bodenfilter in der Einteilung nach Alter (Abbildung 12) betrachtet, so haben wir den geringsten Mittelwert für die **Einzelanlage (sehr alt)**. Die **Gruppen (Jung)** und **(Alt)** haben einen ähnlichen Wert und die **Gruppe (Mittelalt)** hat einen nicht signifikant höheren gemessenen Phosphatwert im Ablauf.

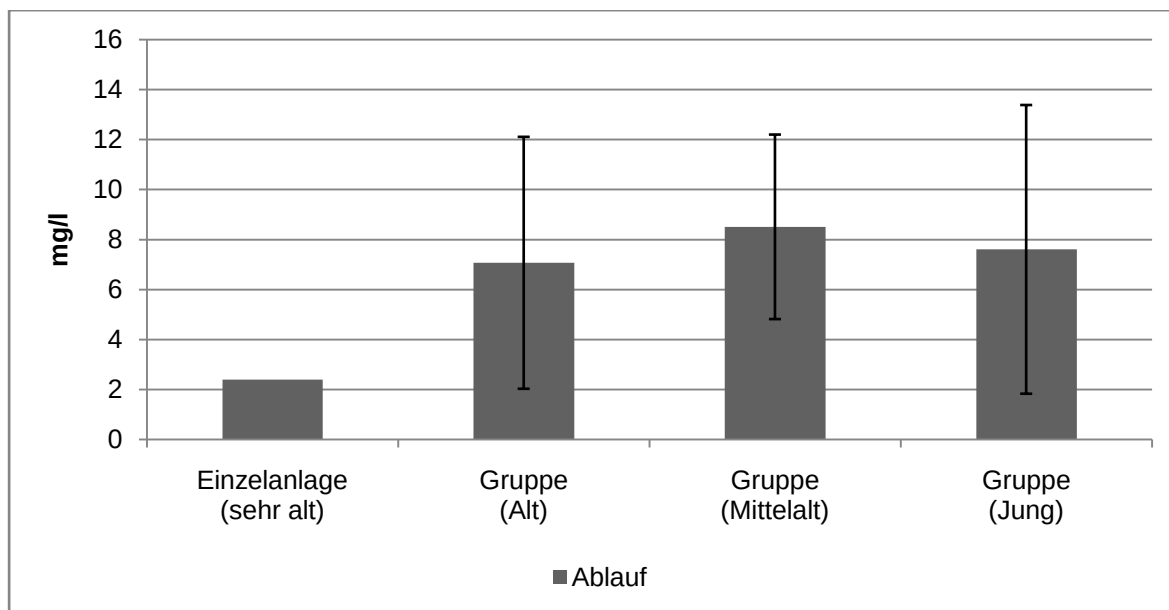


Abbildung 12: Gemessenes Phosphat im Mittelwert, gemessen im Ablauf des Bodenfilters, Einteilung nach Altersgruppen

In Abbildung 13 sind die Abbauleistungen für Phosphat der Anlagen zu sehen. Die Anlagen 12, 15, 26 und 27 weisen ein negatives Rückhaltevermögen auf und sind in der Abbildung nicht berücksichtigt. Zu sehen sind die Anlagen dem Alter nach aufgelistet und es wird deutlich, dass hier Abbauleistungen von über 90 % bei Anlage 20 und bei Anlage 16 erreicht werden können. Beide Anlagen weisen ein unterschiedliches Alter auf. Anlage 20 ist 17 Monate alt und Anlage 16 ist 51 Monate alt. Es sind auch hohe Abbauleistungen bei den Anlagen 11 und 12 mit einem Alter von 52 Monaten bzw. 49 Monaten. Eine geringe Abbauleistung mit ca. 5% hat die Anlage 6, diese ist 30 Monate alt.

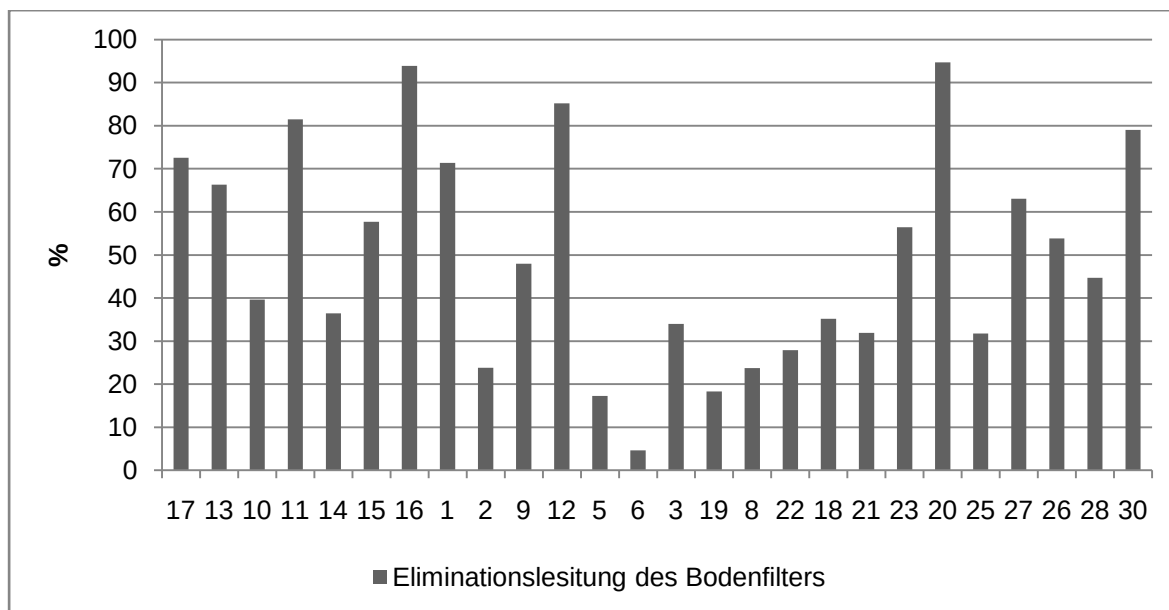


Abbildung 13: Phosphorhaltevermögen des Bodenfilters im Mittelwert, in %, Abfolge der Anlagen nach Alter

4.1.3 Chemischer Sauerstoffbedarf

Im Wasserhaushaltsgesetz wird für die Einleitung von häuslichem Abwasser in Gewässer, ein Grenzwert von 150 mg/l gefordert, der in jeder Anlage eingehalten werden muss. Sollten von den Unteren Wasserbehörden strengere Richtlinien festgelegt worden sein ist dies in der wasserrechtlichen Erlaubnis zu finden.

Zum Errechnen der prozentualen Eliminationsleistung wird folgende Formel verwendet:

$$\text{Eliminationsleistung [\%]} = 100\% - (\text{Ablaufwert}/\text{Zulaufwert} \cdot 100\%)$$

Mit dieser Formel lässt sich veranschaulichen, wie hoch die gesamte Eliminationsleistung der Pflanzenkläranlage ist.

Anteilig vom Gesamtabbau werden noch die Abbauleistung der Mehrkammerausfallgrube und die Abbauleistung des Bodenfilters angegeben.

In Tabelle 12 sind die durchschnittlichen Abbauleistungen der Mehrkammerausfaulgrube, des Bodenfilters und der Gesamtabbau zu sehen. Wird die Abbauleistung des chemischen Sauerstoffbedarfs nach Kategorien eingeteilt betrachtet, so ergibt sich, dass bei **Kategorie 1** der CSB-Wert anteilig zum Gesamtabbau in der Mehrkammerausfaulgrube von der ersten zur dritten Kammer um durchschnittlich 67 % gesenkt wurde. Um anteilige 22 % am Gesamtabbau wurde der CSB-Wert im Bodenfilter gemindert. Die Gesamtabbauleistung der Anlage, im Mittelwert, beträgt etwa 88 %.

Bei **Kategorie 2** wurde der CSB-Wert anteilig von der ersten zur dritten Kammer durchschnittlich um 31 % und von der dritten Kammer zum Ablauf um 54 % gesenkt. Gesamteliminationsleistung der Anlage liegt bei 85 %.

In **Kategorie 3** konnte der anteilige CSB-Wert von der ersten zur dritten Kammer durchschnittlich um 48 % und von der dritten Kammer zum Ablauf um durchschnittlich 32 % reduziert werden. Die Gesamteliminationsleistung der Anlage liegt bei 81 %.

Bei **Kategorie 4** wurde der anteilige CSB-Wert von der ersten bis zur dritten Kammer um 33 % und von der dritten Kammer zum Ablauf um 42 % reduziert werden. Gesamteliminationsleistung: 74 %.

Wird die Abbauleistung nach Alter eingeteilt betrachtet, so ergeben sich folgende Werte für die Abbauleistungen der gesamten Pflanzenkläranlage. In der **Gruppe (Alt)** ergibt sich ein Mittelwert für die Abbauleistung im Bodenfilter von 51 %, in der **Gruppe (Mittelalt)** eine mittlere Abbauleistung von 25 % und in der **Gruppe (Jung)** eine Abbauleistung von durchschnittlich 39 %. Die **Einzelanlage (sehr alt)** ist ein einfacher Wert und somit mit einer hohen Fehlerquelle belastet. Die Abbauleistung dieser Anlage beträgt anteilig in der Mehrkammerausfaulgrube 72 % und im Bodenfilter 24 %. Die Gesamtabbauleistung liegt bei 96 %.

Tabelle 12: Mittelwerte des CSB-Abbaus in der Grube, im Bodenfilter und der Gesamtabbau nach Kategorien und Alter eingeteilt

CSB Abbau nach Kategorien geordnet			
	Anteiliger Abbau der Mehrkammerausfaulgrube am Gesamtabbau angegeben in %	Anteiliger Abbau des Bodenfilters am Gesamtabbau angegeben in %	Gesamtabbau der Pflanzenkläranlage angegeben in %
Kategorie 1	67	22	88
Kategorie 2	31	54	85
Kategorie 3	48	32	81
Kategorie 4	33	42	74
CSB Abbau nach Alter geordnet			
Einzelanlage (sehr alt)	72	24	96
Gruppe (Alt)	35	51	86
Gruppe (Mittelalt)	57	25	82
Gruppe (Jung)	38	39	77

Die dargestellte anteilige Eliminationsleistung der Mehrkammerausfaulgrube und des Bodenfilters wurde gewählt um Zusammenhänge zwischen der Leistung der Anlage und dem Alter der Anlage zu erkennen.

Für die Berechnung der Eliminationsleistung der einzelnen Anlagen wurden Anlagen Nummer 10, 15 und 27 nicht mit einbezogen, da hier der CSB-Wert in der Grube anstieg, die Anlage 29 ließ einen Anstieg im Bodenfilter erkennen. Hier war somit ebenfalls keine Eliminationsleistung zu erkennen.

In Abbildung 14 ist die Eliminationsleistung der Mehrkammergrube zu sehen, diese lag zwischen 3 % und 85 %. Die höchste Abbauleistung zeigte sich bei Anlage 3 mit 85 %. Die geringste Eliminationsleistung ist bei Anlage 28 mit 3 % zu finden. Wird die Summenhäufigkeit der Abbauleistung der Mehrkammerausfaulgrube betrachtet, so ergibt sich, dass 19 von 26 Anlagen eine Abbauleistung von 50 % oder höher aufweisen, sieben der Anlagen weisen eine Abbauleistung von 32 % oder weniger auf.

Die anteilige Eliminationsleistung des Bodenfilters am Gesamtabbau lag zwischen 4 % und 86 %. Die höchste Abbaurate ist bei Anlage 10 mit 86 % zu finden. Die geringste Eliminationsleistung ist bei Anlage 24 mit 4 % zu finden. 21 von 26 Anlagen haben eine

Abbauleistung von unter 50 %, 6 Anlagen haben eine Abbauleistung zwischen 52 % und 65 % und eine Anlage ist mit 86 % weit oberhalb der analysierten Anlagen.

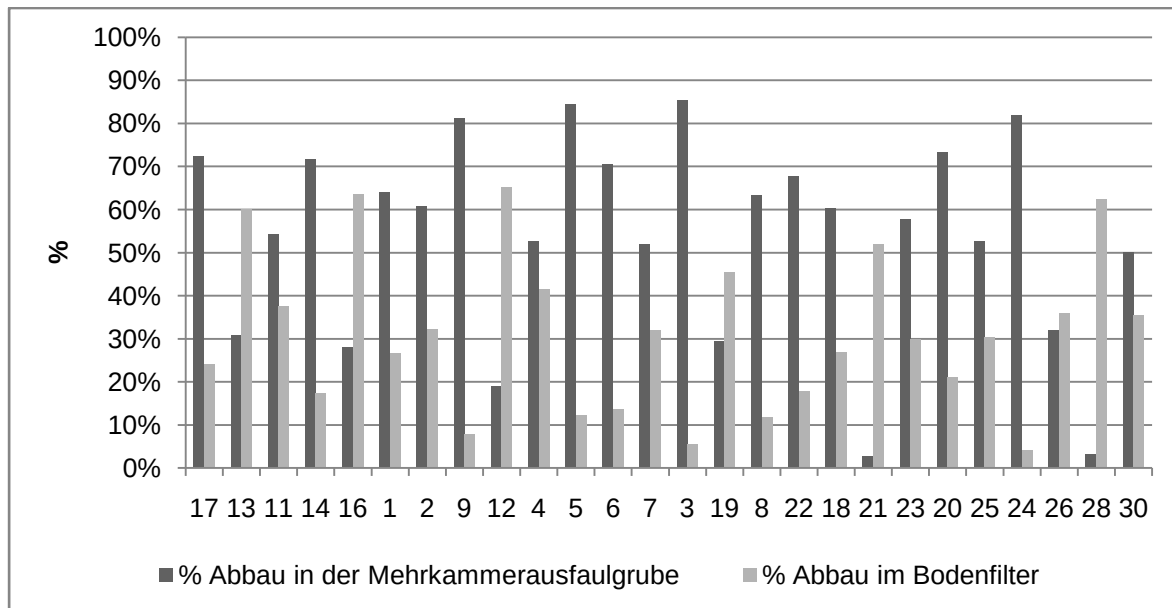


Abbildung 14: Anteilige Eliminationsleistung der Mehrkammerausfallgrube und des Bodenfilters, angegeben in %, Abfolge der Anlagen nach Alter

In Abbildung 15 ist die anteilige prozentuale Abbauleistung der Mehrkammerausfallgrube und des Bodenfilters zu sehen. Die Werte sind dem Alter nach dargestellt. Alle Anlagen zeigen insgesamt eine Abbauleistung. Es werden Abbauleistungen zwischen 48 % bei Anlage 15 und 97 % bei Anlage 5 erreicht. 29 von 30 Anlagen weisen eine Abbauleistung von über 50 % auf und nur eine Anlage liegt mit 48 % knapp unterhalb. 75 % der Anlagen weisen eine Abbauleistung von über 86 % auf.

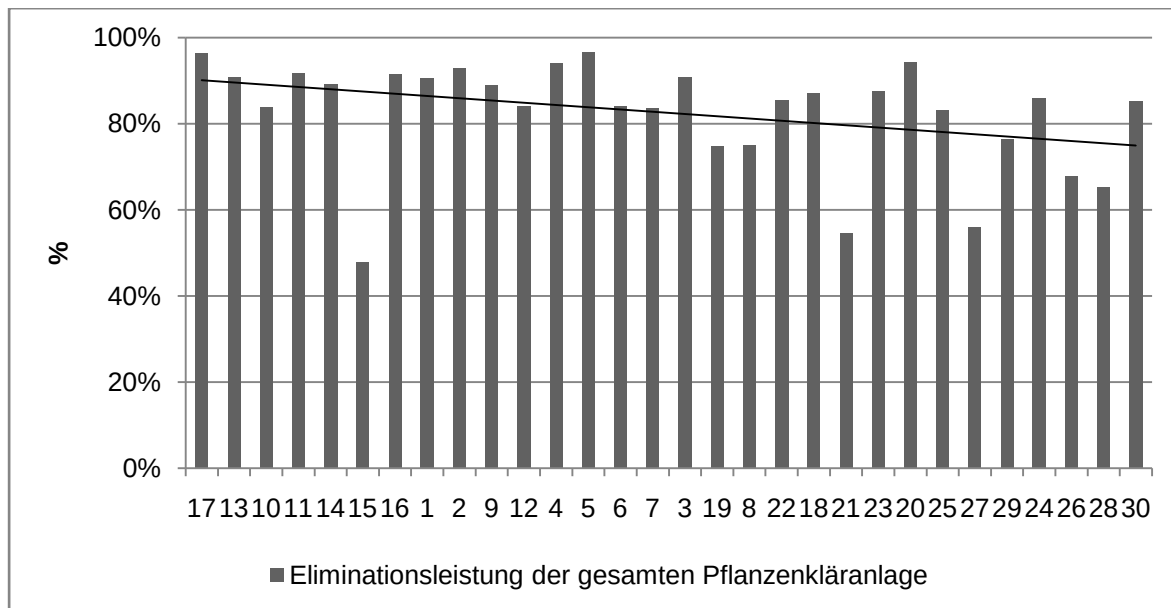


Abbildung 15: Eliminationsleistung der gesamten Pflanzenkläranlage, bestehend aus Mehrkammerausfallgrube und Bodenfilter, Abnahme von der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube bis zum Kontrollschacht des Bodenfilters, Lineare Trendlinie angegeben, Abfolge der Anlagen nach Alter

Wird nur die Abbauleistung des Bodenfilters betrachtet und die Zulaufwerte, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, mit den Ablaufwerten, gemessen im Kontrollschacht, verglichen, wie in Abbildung 16 zu sehen, so zeigt sich, dass der Bodenfilter eine Abbauleistung zwischen 22 % bei Anlage 24 und 88 % bei Anlage 16 erreichen kann. In der Grafik wurde Anlage 29 nicht mit berücksichtigt, da sich hier ein Anstieg des Wertes ergeben hat und somit keine Eliminationsleistung zu erkennen ist. Wird die Summenhäufigkeit der Eliminationsleistung im Bodenfilter betrachtet, so ergibt sich, dass 21 von 26 Anlagen eine Abbauleistung von über 50 % aufweisen und fünf Anlagen unter 50 % Abbauleistung liegen.

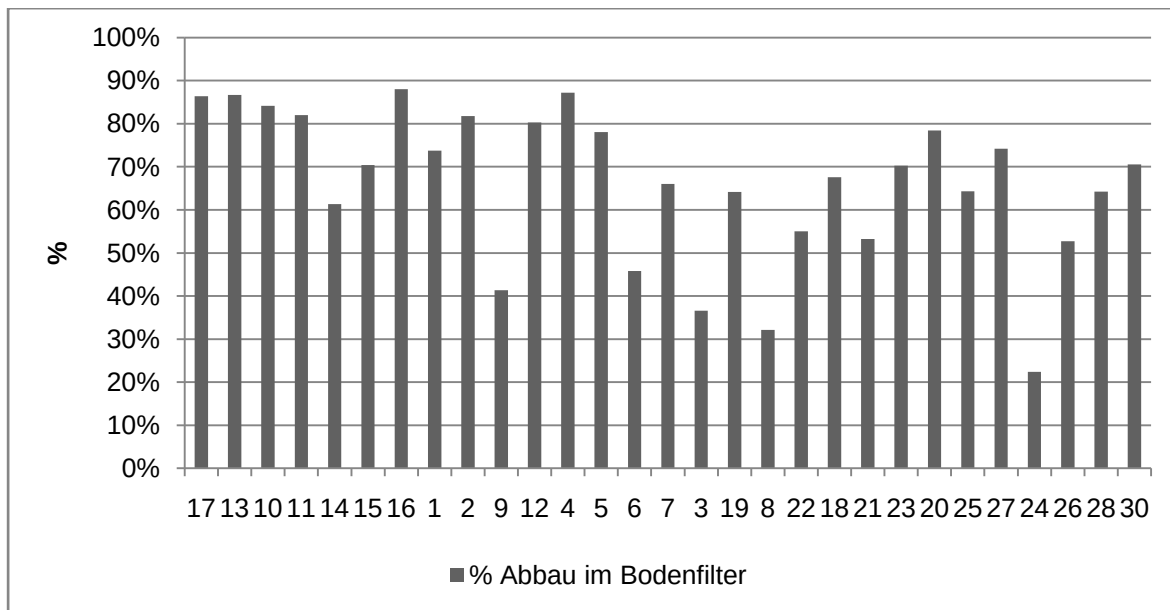


Abbildung 16: Abbau des chemischen Sauerstoffbedarfs im Bodenfilter, ausgehende von den Zulaufwerten aus der Mehrkammerausfaulgrube, Angabe in %

In Abbildung 17 sind die gemessenen CSB-Werte in der Mehrkammergrube zu sehen. Die Zulaufwerte für CSB in die Mehrkammergrube lagen zwischen 115 mg/l O₂ und 900 mg/l O₂.

Die Anlagen 5 und 22 haben mit jeweils 900 mg/l O₂ die höchsten Zulaufwerte. Anlage 27 hat mit 115 mg/l O₂ den niedrigsten Zulaufwert.

Die Anlagen 10, 15 und 27 zeigten einen Anstieg des CSB-Wertes von der ersten zur dritten Kammer. Bei Anlage 10 handelt es sich um einen Anstieg von 470 mg/l O₂ auf 480 mg/l O₂, bei Anlage 15 um einen Anstieg von 133 mg/l O₂ auf 235 mg/l O₂, was ein Anstieg von 76 % ist. Des Weiteren kann ein Anstieg von 71 % bei Anlage 27, von 115 mg/l O₂ auf 196 mg/l O₂ festgestellt werden.

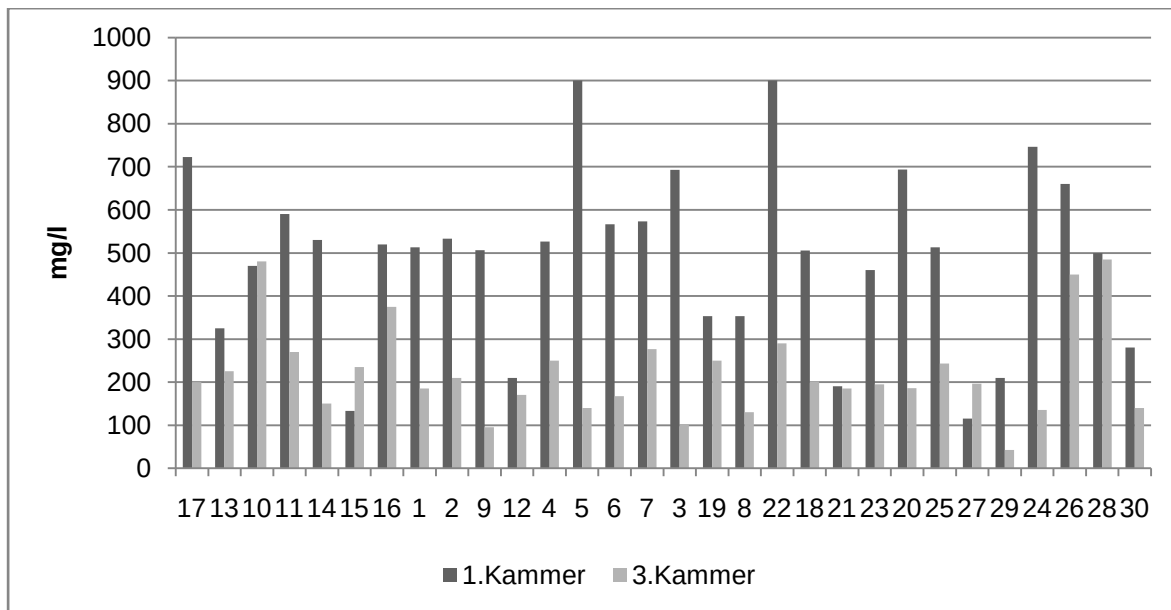


Abbildung 17: Werte für CSB in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, Abfolge der Anlagen nach Alter

In Abbildung 18 werden die gemessenen CSB-Werte im Zulauf des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, und im Ablauf, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilter, dargestellt. Es konnten Zulaufwerte von 43 mg/l bei Anlage 29 und 485 mg/l bei Anlage 28 gemessen werden. Im Durchschnitt gelangten 220 mg/l in das Pflanzenbeet. Anlage 29 zeigt einen Anstieg des CSB-Wertes von der dritten Kammer zum Ablauf.

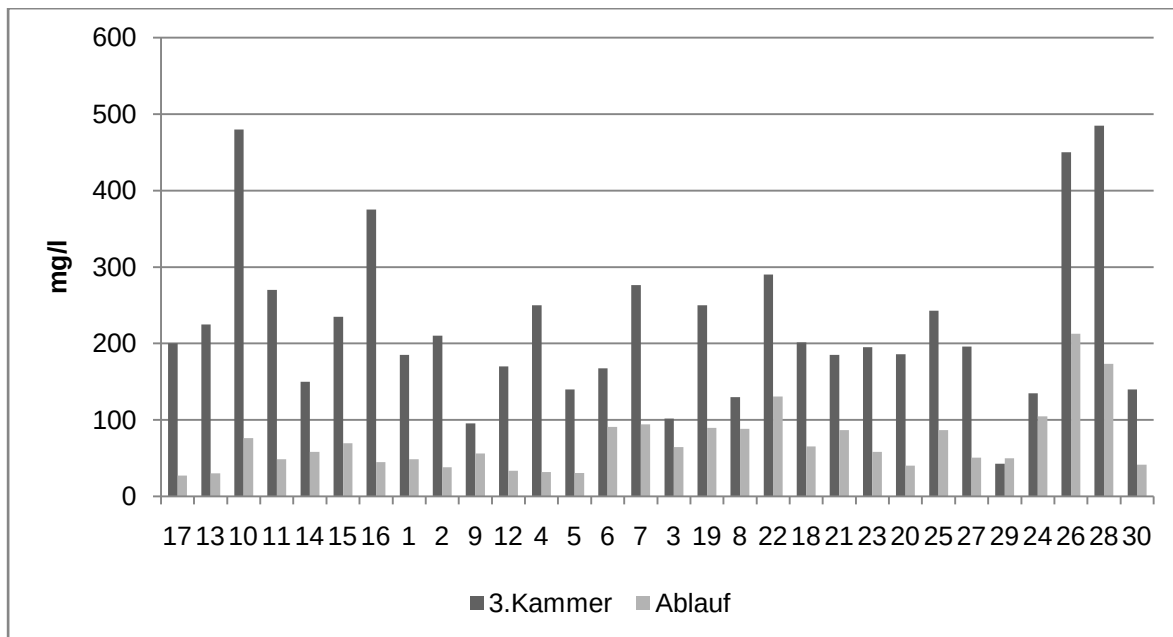


Abbildung 18: CSB-Werte im Zulauf des Bodenfilters, gemessen in der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube, und im Ablauf des Bodenfilters, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, Abfolge der Anlagen nach Alter

Die in Abbildung 19 gezeigten CSB-Werte wurden im Kontrollschacht des Bodenfilters gemessen und zeigen die Gesamtwerte, im Altersverlauf, wobei das höchste Alter auf der linken Seite dargestellt ist und nach rechts hin jünger wird. Die Ablaufwerte liegen zwischen 27 mg/l bei Anlage 17 und 213 mg/l bei Anlage 26. Die horizontale Linie bei 150 mg/l zeigt den gesetzlichen Grenzwert an. Hier ist zu sehen, dass zwei Anlagen die gesetzlichen Anforderungen nicht einhalten. Anlage 26 hat einen Ablaufwert von 213 mg/l und Anlage 28 einen Ablaufwert von 174 mg/l. Beide Anlagen haben ein Alter von 13 Monaten und sind damit in der **Kategorie (Jung)** einzuordnen.

Die Reinigungsleistung bei 28 von 30 Anlagen ist gewährleistet. Bei zwei Anlagen wird der Grenzwert überschritten.

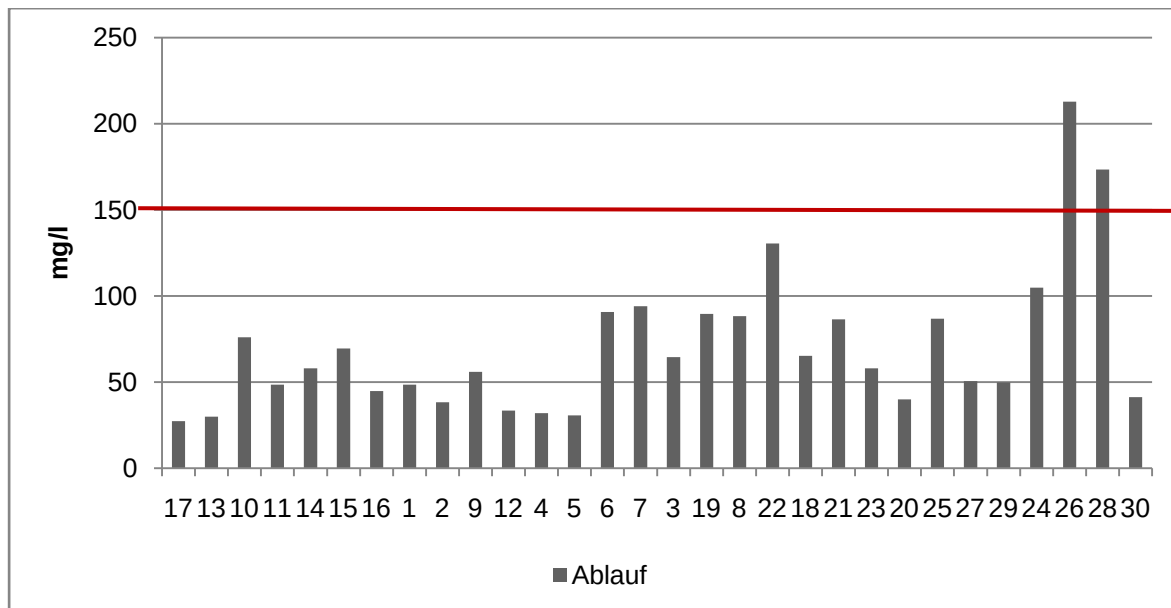


Abbildung 19: Gemessene CSB-Werte im Ablauf, Grenzwerte als rote Linie dargestellt, Abfolge der Anlagen nach Alter

Wird der Mittelwert, der gemessenen CSB Werte im Altersverlauf dargestellt (Abbildung 20) betrachtet, so ergibt sich, dass der Wert mit abnehmendem Alter ansteigt. In der **Gruppe (Alt)** ist ein Mittelwert von 49 mg/l O₂ gemessen worden, in der **Gruppe (Mittelalt)** ein Mittelwert von 80 mg/l O₂ und in der **Gruppe (Jung)** ein Mittelwert von 95 mg/l O₂.

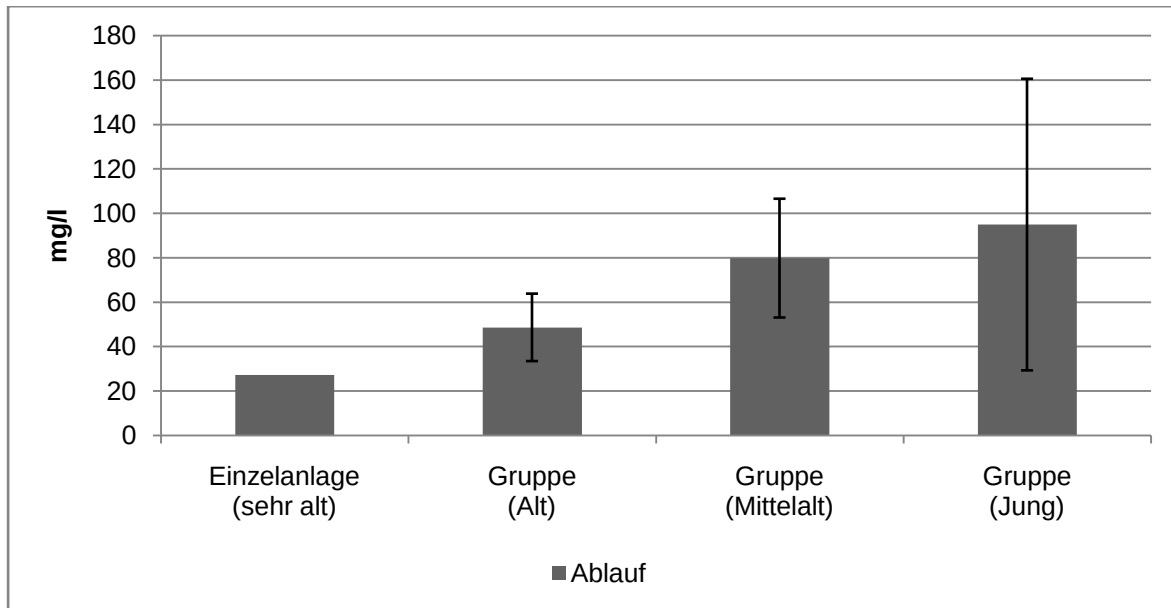


Abbildung 20: Mittelwerte der gemessenen CSB-Werte im Ablauf, Einteilung in Altersgruppen

4.1.4 Feldparameter

pH-Wert

Der pH-Wert gibt Auskunft über den Gehalt an gelösten H^+ -Ionen, der sich je nach stattfindender Stoffumsetzung verändert. In Tabelle 13 ist bei den Mittelwerten der gemessenen pH-Werte ersichtlich, dass innerhalb der Mehrkammerausfallgrube bei den meisten Anlagen der Wert leicht ansteigt und im Bodenfilter etwas sinkt beziehungsweise gleichbleibt. Der pH-Wert liegt mit Werten von 6,5 bis 8,2 bei allen Anlagen im neutralen bis leicht alkalischen Bereich.

Die Mittelwerte in der **Gruppe (Alt)** liegen in der ersten Kammer bei 7,0 für die dritte Kammer bei 7,2 und für den Ablauf bei 6,9.

Gruppe (Mittelalt) hat im Mittelwert bei Kammer 1 einen pH-Wert von 7,1, bei Kammer 3 bei 7,3 und im Ablauf bei 7,3. Hier ist im Mittelwert keine Abnahme des pH-Wertes im Bodenfilter erkennbar.

In der **Gruppe (Jung)** liegt der pH-Wert im Mittelwert in Kammer 1 bei 7,3, in Kammer 3 bei 7,5 und im Ablauf bei 7,5.

Tabelle 13: Gemessene pH-Werte in der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube sowie im Ablauf des Bodenfilters

pH-Wert			
	1.Kammer	3.Kammer	Ablauf
Einzelanlage (sehr alt)	7,0	7,0	6,9
Gruppe (Alt)	7,0	7,2	6,9
Gruppe (Mittelalt)	7,1	7,3	7,3
Gruppe (Jung)	7,3	7,5	7,5

Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit nimmt in allen beprobten Anlagen in der Gesamtheit, von der ersten Messung bis zur letzten Messung, ab. In Abbildung 21 sind die Mittelwerte in Gruppen nach Alter sortiert zu sehen. Hierbei ist zu erkennen, dass es innerhalb der Mehrkammerausfaulgrube einen etwa gleichbleibenden Wert gibt und innerhalb des Bodenfilters eine Abnahme. So wurden als Anfangskonzentration Werte zwischen 796 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 2790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Als Endkonzentration, gemessen im Kontrollschacht des Bodenfilters, wurden Werte von 993 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 2150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ festgestellt. Es ist eine leichte Tendenz dahin erkennbar, dass bei geringen Anfangskonzentrationen die Endkonzentration ebenfalls gering ist.

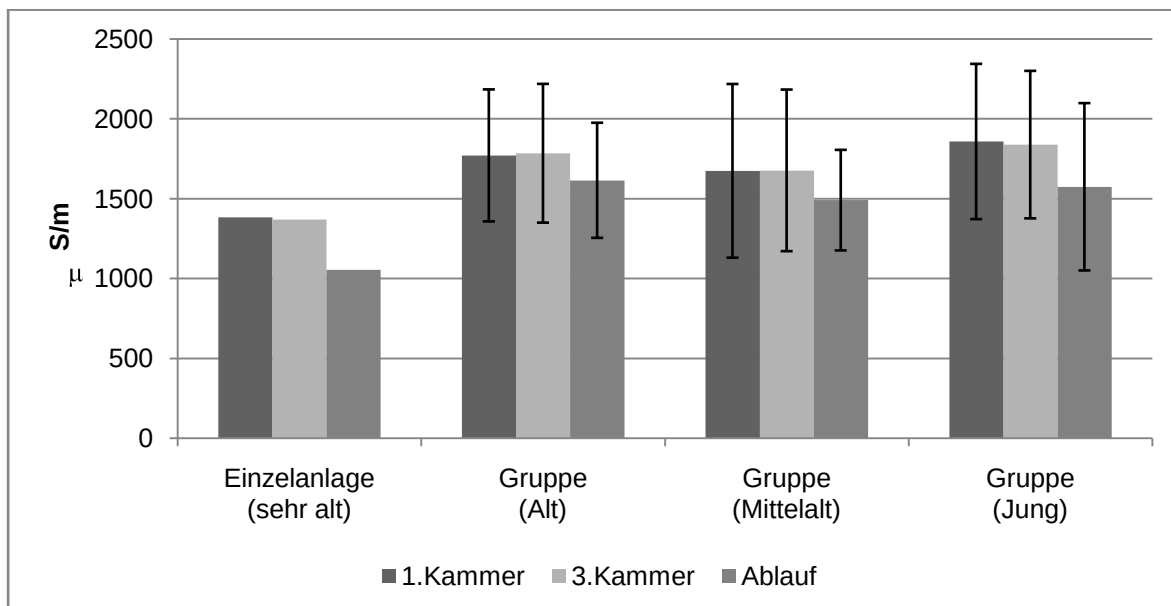


Abbildung 21: Mittelwerte der gemessenen Leitfähigkeit, Einteilung nach Altersgruppen

Sauerstoff

In der Mehrkammergrube konnte ein Anstieg des Sauerstoffgehaltes von der ersten zur dritten Kammer und von dort zum Bodenfilter gemessen werden. Bei zwei Anlagen war eine Senkung des Sauerstoffgehaltes in der Mehrkammerausfallgrube und im Falle des Bodenfilters bei drei Anlagen eine Abnahme gemessen worden.

Insgesamt konnte eine Zunahme des Sauerstoffgehaltes im Bodenfilter festgestellt werden. Die in Abbildung 22 abgezeichneten Werte zeigen, die verschiedenen Altersgruppen mit den entsprechenden Sauerstoffkonzentrationen im Mittelwert.

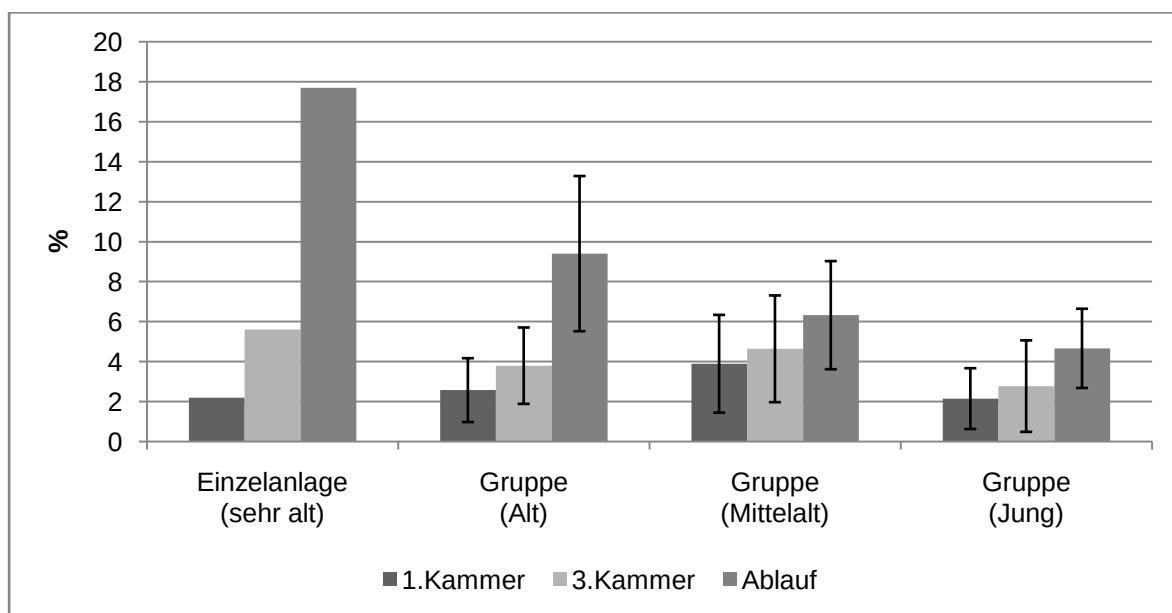


Abbildung 22: Mittelwert für den gemessenen Sauerstoff in der Pflanzenkläranlage, gemessen in der ersten Kammer, der dritten Kammer und dem Kontrollschacht der Anlage, in %, Einteilung nach Altersgruppen

Abfiltrierbare Stoffe

Die abfiltrierbaren Stoffe (AS) wurden anhand von folgender Formel, von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft (2003), errechnet:

$$AS \left[\frac{mg}{l} \right] = \frac{(Filtergewicht\ inclusive\ AS[g] - Filter\ Leergewicht[g]) * 1000 \left[\frac{mg}{g} \right]}{filtrierten\ Abwasservolumen[l]}$$

Es konnte bei Anlage 1 eine Abbaurrate von nahezu 100 % erreicht werden, jedoch liegt der Durchschnitt lediglich bei 83 % Gesamtabbaurrate. In 28 von 30 Anlagen kam es zu einer Abnahme der abfiltrierbaren Stoffe von mehr als 50 %. Nur zwei Anlagen lagen, sprich Anlage 7 mit 31 % und Anlage 9 mit 14 %, unterhalb der Abbauleistung von 50 %.

Bei einer Anlage kam es zu einem Anstieg der abfiltrierbaren Stoffe in der Mehrkammergrube und bei fünf Anlagen kam es zu einem Anstieg im Bodenfilter. Die Abnahme der abfiltrierbaren Stoffe war bei der Einteilung in Kategorien oder nach Alter eingeteilt ähnlich verteilt.

4.2 Pflanzenproben

4.2.1 Biomasse

Die Biomasse wurde berechnet indem zuerst vom gewogenen Gewicht des frischen Probenmaterials das Gewicht des getrockneten Materials subtrahiert wurde. Dieses Ergebnis wurde mit 100 multipliziert und durch das Feuchtgewicht dividiert.

Hieraus ergibt sich folgende Formel für die Feuchtigkeit des Materials in % angegeben:

$$Feuchtigkeit\ in\ \% = \frac{(A - B) * 100}{A}$$

Wenn hier die Differenz zu 100 % berechnet wird, ergibt sich der prozentuale Anteil der Trockenmasse.

Die Pflanzenproben wurden nach der Probennahme gewogen und nach der Trocknung im Trockenschrank gelagert. Es wurde der Saldo aus beiden Gewichten gezogen und auf

einen Quadratmeter hochgerechnet. Die so ermittelten Erträge pro m^2 sind im Mittelwert in Abbildung 23 zu sehen sind. Wie ebenfalls dort zu sehen ist, hat **Gruppe Jung**, im Mittelwert die geringsten Erträge pro Hektar. Den höchsten Flächenenertrag hat **Gruppe Alt** im Mittelwert. Die **Einzelanlage (sehr alt)** hat einen Ertrag von $0,35 \text{ kg/m}^2$.

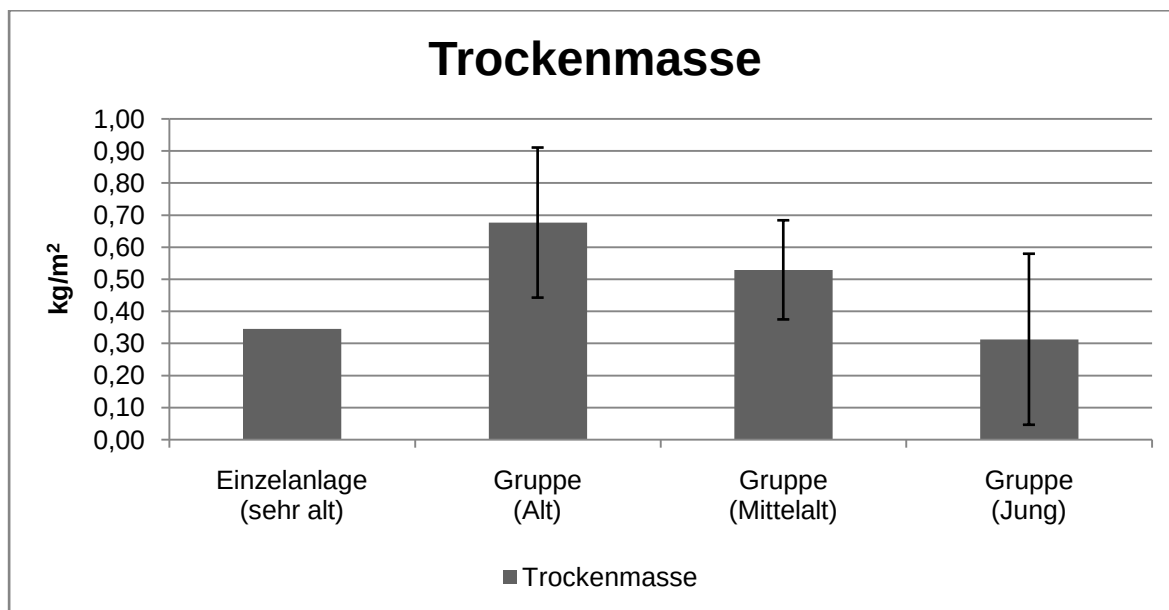


Abbildung 23: Trockenmasse im Mittelwert, Einteilung nach Altersgruppen

4.2.2 Kohlenstoff

In Tabelle 14 sind die gemessenen Kohlenstoffwerte des Pflanzenmaterials im Mittelwert zu sehen. Es sind Werte von 10 g C/m^2 bis 497 g C/m^2 gemessen worden. Die beiden höchsten Werte sind bei Anlage 1 mit 497 g C/m^2 und bei Anlage 16 mit 408 g C/m^2 zu finden, beide Anlagen sind in der **Gruppe Alt** eingeordnet. Bei Anlage 26 ist der geringste Wert mit 10 g C/m^2 gemessen worden, diese Anlage gehört zur **Gruppe (Jung)**.

Der Mittelwert der **Gruppe (Alt)** liegt bei $316,05 \text{ g C/m}^2$, der **Gruppe (Mittelalt)** bei $245,28 \text{ g C/m}^2$, der **Gruppe (Jung)** bei $143,31 \text{ g C/m}^2$ und der Wert der **Einzelanlage (sehr alt)** liegt bei $168,39 \text{ g C/m}^2$. 24 Anlagen. Es haben 80 % der Anlagen einen Kohlenstoffanteil von über 100 g C/m^2 .

Tabelle 14: Kohlenstoffwerte im Pflanzenmaterial, in % C und in g C/m², im Mittelwert, Einteilung nach Altersgruppen

	Pflanzenmaterial	
	% C	g C/m ²
Einzelanlage (sehr alt)	49	168,39
Gruppe (Alt)	47	316,05
Gruppe (Mittelalt)	47	245,28
Gruppe (Jung)	45	143,31

4.2.3 Stickstoff

Stickstoff kann aus der Anlage auch über die Pflanzen entzogen werden. In Tabelle 15 sind alle gemessenen Stickstoffwerte der Anlagen im Mittelwert angegeben zu sehen.

Es sind in der Biomasse Stickstoffwerte von 0,28 g N/m² bis 13,65 g N/m² gemessen worden. Der niedrigste Wert wurde bei Anlage 26 gemessen, diese Anlage gehört zur **Gruppe (Jung)**. Der höchste Wert wurde bei Anlage 9, **Gruppe (Alt)**, gemessen.

Die Mittelwerte der **Gruppen (Alt)** betragen 9,81 g N/m², **Gruppe (Mittelalt)** 6,72 g N/m² und **Gruppe (Jung)** 5,23 g N/m².

Der Mittelwert von **Gruppe (Alt)** beträgt für die gemessenen Gramm Stickstoff im Pflanzenmaterial 9,81 g N/m², für **Gruppe (Mittelalt)** 6,72 g N/m², für **Gruppe (Jung)** 5,23 g N/m² und der Mittelwert für die **Einzelanlage (sehr alt)** beträgt 4,59 g N/m².

Tabelle 15: Gemessene Gesamtstickstoffwerte im Pflanzenmaterial, in % und in g N/m², Einteilung nach Altersgruppen

	Pflanzenmaterial	
	% N	g N/m ²
Einzelanlage (sehr alt)	1,33	4,59
Gruppe (Alt)	1,51	9,81
Gruppe (Mittelalt)	1,26	6,72
Gruppe (Jung)	1,87	5,23

In Abbildung 24 wurden die gemessenen Kohlenstoffwerte und die gemessenen Stickstoffwerte pro m^2 abgetragen. Hier ist zu erkennen, dass mit steigendem Stickstoffanteil der Kohlenstoffanteil steigt.

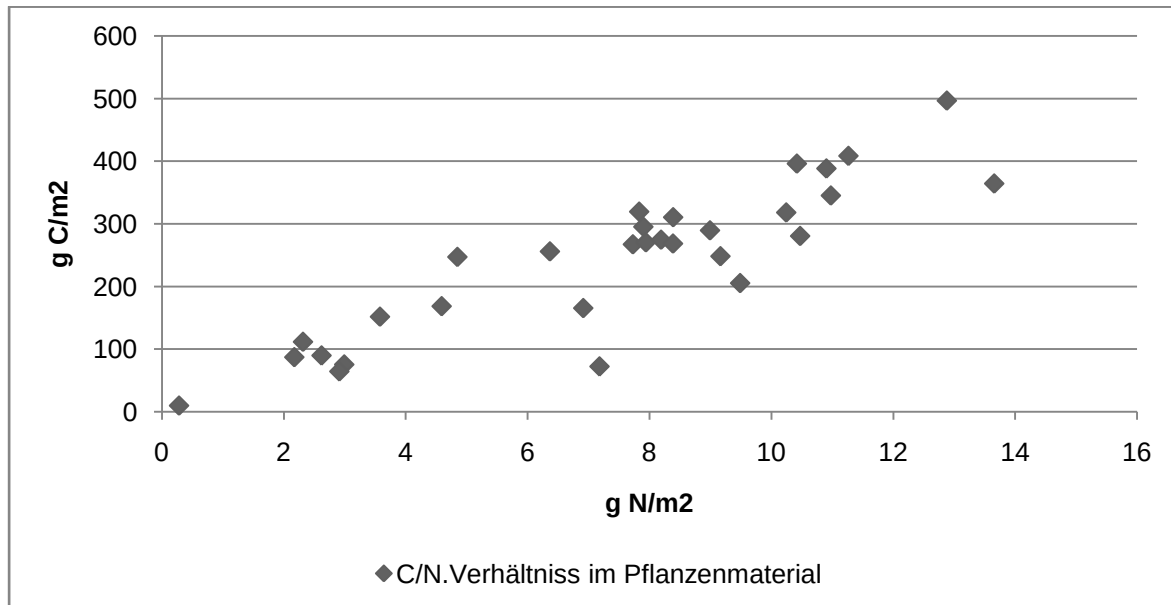


Abbildung 24: C/N-Verhältnis im Pflanzenmaterial

4.2.4 Phosphor

Der Entzug von Phosphor durch die pflanzliche Biomasse wird von Börner (1992) auf unter 3 % der Jahresbelastung geschätzt. Der Entzug von Phosphor durch die Pflanzen ist, bei den Anlagen die in dieser Arbeit betrachtet werden, mit unter 1 % verschwindend gering und bleibt unberücksichtigt in der Berechnung des Phosphatrückhaltevermögens der Anlagen, da der Entzug von Phosphor sich nur sehr gering auf den Massenstrom von Phosphor innerhalb der Anlage auswirkt. In Abbildung 25 sind die Mittelwerte der gemessenen Phosphatkonzentrationen abgebildet. In der **Einzelanlage (sehr alt)** befindet sich der höchste gemessene Wert mit $134,85 \text{ g/m}^2$, **Gruppe (Alt)** hat einen Mittelwert von $86,62 \text{ g/m}^2$, **Gruppe (Mittelalt)** von $61,85 \text{ g/m}^2$ und **Gruppe (Jung)** von $64,65 \text{ g/m}^2$.

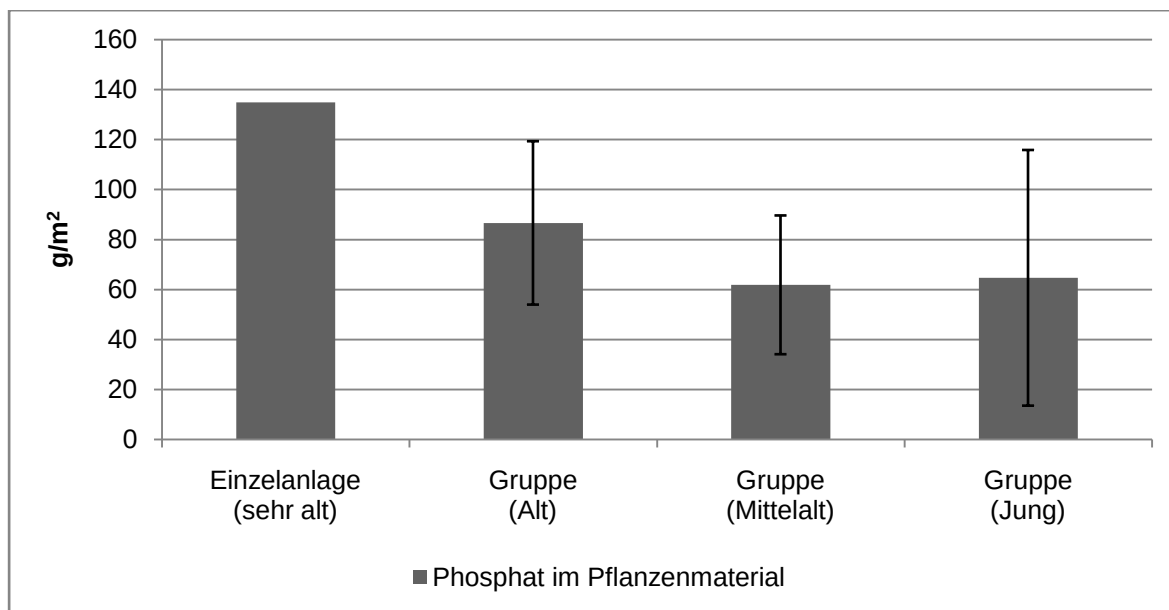


Abbildung 25: Mittelwerte Phosphat im Pflanzenmaterial, Einteilung nach Altersgruppen

4.3 Befragung der Nutzer

Die Befragung der Nutzer soll einen Einblick über den Wartungs- und Betriebsaufwand geben, über mögliche Fehler der Anlage und über die Akzeptanz ihrer Nutzer. Es konnten 28 Fragebögen ausgewertet werden.

4.3.1 Technik

In diesem Teil des Fragebogens wurden technische Fragen zur Anlage abgefragt. Es wurde nach der Nutzeranzahl mit differenzierter Geschlechtseinteilung gefragt. Eine weitere Frage war nach der Art des Abwassers, hierbei konnten die Varianten: Dusche, Waschbecken, Waschmaschine, Toilette, Geschirrspüler und Sonstiges angekreuzt werden, bei Sonstiges konnten eigene Angaben gemacht werden. Weiter wurde nach der Größe der Anlage gefragt, differenziert in Größe der Grube, Größe des Bodenfilters und ob es sich um eine Vertikale oder Horizontale Anlage handelt. Frage drei bezog sich auf die Art der Beschickung: Hier gab es die Möglichkeiten: Pumpe, Schwallbeschickung oder Weder Noch anzukreuzen. Eine weitere Frage war nach den in den Beprobungen vorher gemessenen CSB Werte und nach der Art des Vorfluters, hier konnte stehendes Gewässer (z.B. Weiher), Fließendes Gewässer (z.B. Fluss), Versickerung oberirdisch,

Versickerung in Sickerschacht, Versickerung in Sickerbeet und Sonstiges angekreuzt werden.

Die Frage nach der Art des eingeleiteten Abwassers ergab, dass alle vorliegenden Fragebögen die Antwortmöglichkeiten: Dusche, Waschbecken, Waschmaschine, Toilette und Geschirrspüler ankreuzten.

Die Frage nach der Art der Beschickung ergab, dass von acht beprobten vertikalen Anlagen eine eine Pumpe besaß und zwei weder eine Pumpe noch eine Schwallbeschickung. Bei den 22 beprobten horizontalen Anlagen fiel auf, dass 16 weder eine Pumpe noch eine Schwallbeschickung besaßen, zwei Anlagen eine Schwallbeschickung und zwei eine Pumpe. Bei zwei Anlagen lagen keine Antworten vor.

Die Frage nach bereits vorhandenen Messwerten des CSB-Wertes, um eine Änderung im Laufe der Zeit zu erkennen, ergab keinen Aufschluss. Die Daten waren nicht aussagekräftig.

Die Fragen nach Anzahl der im Haushalt lebenden Personen und die Auslegungsgrößen der Anlage und der Grube wurden zusammen mit anderen Parametern analysiert, z.B. gemessene CSB-Werte in Bezug auf die Anzahl der einleitenden Personen.

Frage Nummer 9 bezog sich auf die Art des Vorfluters. Hier gaben 16 Betreiber an, in ein fließendes Gewässer einzuleiten, 12 Betreiber ließen das gereinigte Abwasser auf Ihrem Grundstück versickern, dabei gaben 7 Betreiber an einen Sickerschacht, vier ein Sickerbeet und eine Anlage mit oberirdischer Versickerung zu verwenden.

4.3.2 Management

In diesem Fragenteil wurde nach Kosten der Anlage und der von Herrn Baronky gebauten Anlagenteile, nach den Instandhaltungskosten und nach möglicherweise aufgetretenen Fehlern der Anlage gefragt. Das Baujahr und ob die Anlage direkt in Betrieb genommen wurde, kam ebenfalls in diesen Teil des Fragebogens. Ebenso wie die Motivation zum Bau eines Bodenfilters.

Die Daten für die Kosten für den Anlagenbau und die Instandhaltungskosten waren sehr heterogen und somit nicht aussagekräftig. Für den Bau der Anlagen wurden Beträge

zwischen 4.500 € und 48.000 € genannt. Bei 13 Anlagen wurde nur der Bodenfilter von der Firma Baronky gebaut und die Beträge liegen hier zwischen 4.500 € und 25.000 €. Die Wartungskosten der Anlage pro Jahr reichten von 0 € bis 783 €.

Das Baujahr der Anlage wurde mit anderen Parametern zusammen analysiert.

Bei Frage 15 wurde nach möglichen Problemen in der Betreuung gefragt. Eine Überschreitung der Grenzwerte trat bei zwei Anlagen auf, Anlage 2 und Anlage 11. Anlage 1 und Anlage 11 gaben an, dass die Anlage innerhalb der Betriebszeit einmal verstopfte. Einen Rückstau in Grube, die Leitungen, den Bodenfilter oder in die Versickerung oder Pfützenbildung auf dem Bodenfilter hatten die Anlagen 2, 11, 14, 15 und 16 innerhalb der Betriebszeit. Alle genannten Anlagen haben ein Alter von 51 oder 52 Monaten.

Bei Anlage 19 und 24 kam es zu einem Mangel des Anwachsens der Pflanzen auf dem Bodenfilter.

Geruchsbelästigung innerhalb der Anlage trat bei Anlage 1 auf.

Bei „Sonstiges“ wurden folgende Angaben gemacht:

- Anlage 7 gab an, dass es zu einem Ausfall der Pumpe kam.
- Anlage 11 gab an, dass der Durchfluss gestört sei.
- Anlage 18 gab an, dass bei einem Unwetter die gesamte Anlage mit Schlamm überschwemmt worden sei.

Alle 28 der befragten Anlagenbetreiber gaben an, dass sie selbst, die einmal jährliche anstehende Ernte des vegetativen Pflanzenbewuchses mähen und zum Teil auch mehrfach im Jahr einem übermäßigen Bewuchs durch Ausdünnungsschnitt entgegenwirken.

4.3.3 Akzeptanz

In diesem Teil wurde nach der Akzeptanz bei den Nutzern gefragt. Subjektive Empfindungen der Geruchsbelästigung durch die Mehrkammergrube, dem Bodenfilter oder die Dachentlüftung, außerdem wurde nach dem Arbeitsaufwand der Wartung mit jährlicher Stundenabfrage gefragt. Weiter wurde nach Zufriedenheit der Anlage bei den Betreibern und außenstehenden Personen gefragt.

Der Arbeitsaufwand, angegeben in Stunden/Jahr, die für alle Tätigkeiten die mit der Anlage zu tun haben benötigt werden (wöchentliche Sichtung, monatliche Eigenkontrolle, Mähen und das Ablassen des angestauten Wassers im ersten Jahr) variiert zwischen 3 Stunden/Jahr und 40 Stunden/Jahr.

Von 14 Anlagenbetreibern wurde angegeben, dass der Arbeitsaufwand 10 Stunden/Jahr oder weniger beträgt, 12 Anlagenbetreiber gaben ein Arbeitsaufwand von 12 Stunden oder mehr an, davon nur 2 Anlagenbetreiber, die angaben 30 bzw. 40 Stunden/Jahr zu benötigen und zwei Anlagenbetreiber gaben keine Auskunft über den benötigten Aufwand. Es wurde von allen Betreibern angegeben, dass die monatliche Wartung regelmäßig durchgeführt wird und diese unkompliziert sei.

Bei der Befragung über den Anstieg der Insektenpopulation gaben die Mehrheit Anlagenbetreiber, welche eine Pflanzenmischung verwenden, an, dass es einen Anstieg der Nützlingspopulation zu verzeichnen gab. Es gab einen Anlagenbetreiber, der einen Insektenanstieg von Stechmücken angab.

Bei der Befragung zu der Durchführung der Entleerung der Mehrkammerausfaulgrube gaben 4 Betreiber an, sie selber zu entleeren, 4 Betreiber nannten einen befreundeten Landwirt als Entleerer und 18 Betreiber gaben an die Mehrkammerausfaulgrube von den städtischen Klärwerken entleeren zu lassen und bei zwei Betreibern sei eine Entleerung bisher noch nicht notwendig gewesen und diese Betreiber haben sich noch nicht entschieden wie sie entleeren lassen wollen.

5 Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die oben genannten Ergebnisse diskutiert und auf mögliche Zusammenhänge hin verglichen. Eine relativ hohe Standardabweichung lässt bei den Daten nur einen geringen Interpretationsspielraum und so lassen sich für die meisten Parameter Tendenzen erkennen, die aber aufgrund von hohen Abweichungen auch nur als solche erkannt werden können.

5.1 Wasserproben

Grundsätzlich wurden die Proben sowohl in der ersten, als auch in der dritten Kammer und im Ablauf zugleich genommen. Das heißt, das Abwasser, welches aus der Anlage läuft entspricht nicht dem, welches in die Anlage eingeleitet wurde. Es wird davon ausgegangen, dass durch das Volumen der Mehrkammergrube außergewöhnlich hohe bzw. niedrige Konzentrationen von Abwasserinhaltsstoffen angeglichen werden und somit in den meisten Fällen ein grundsätzlicher Trend der Abbauleistungen aufgezeigt werden kann. Dieser Sachverhalt erklärt allerdings auch Messwerte, welche den natürlichen Abbau- und Umwandlungsvorgängen widersprechen würden.

Die Vorgänge in der Mehrkammerausfallgrube sind vom Alter und des Typs der Anlage unabhängig, da beispielsweise beim Bau der jüngsten Pflanzenkläranlagen zum Großteil die bestehende Mehrkammerausfallgrube als Vorklärung genutzt wurde. Außerdem kommt es auf die Art des eingeleiteten Abwassers an, und darauf welche Vorgänge in der Grube stattfinden. Es kann angenommen werden, dass die Zusammensetzung des Abwassers vergleichbar ist, da alle Anlagenbetreiber, wie aus den Fragebögen zu entnehmen ist, die gleiche Art von Abwasser einleiten.

5.1.1 Stickstoff

Bei allen Abwasserreinigungsanlagen ist eine ausreichende Stickstoffelimination anzustreben, zum einen um das Gewässer in ausreichendem Maße zu schützen und zum anderen um toxische Nebenprodukte wie Ammoniak zu vermeiden.

Es wurden die Stickstoffverbindungen Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) betrachtet. Ammonium macht in häuslichem Abwasser etwa einen 60-63 %igen Anteil des Gesamtstickstoffs aus. Nitrat ist mit 1 % kaum vorhanden, es kommt nur in Gebieten mit einem hohen Nitratanteil im Trinkwasser zur Geltung. Der organische gebundene Stickstoff fällt mit 38 %igem Anteil auf (Henze und Ledin, 2001).

Aus den vorhandenen Messergebnissen für Ammonium und Stickstoff von drei verschiedenen Entnahmestellen lassen sich diverse Rückschlüsse auf die Stickstoffelimination und –umwandlung ziehen. Ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Zulaufwerten in die erste Kammer der Mehrkammerausfallgrube für Ammonium und Stickstoff in Bezug auf die einleitende Nutzerzahl konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Bei vier Anlagen konnte kein Anstieg der Werte für Ammonium innerhalb der Mehrkammerausfallgrube festgestellt werden, was mit der oben genannten zeitgleichen Probenahme zusammenhängen könnte und der Inhomogenität des Abwassers zusammenhängen. In Bayern ist es üblich Niedertarife für Schwachlastphasen durch das Energieunternehmen zu nutzen. Der Strom ist am Wochenende und in Schwachlastphase, wie z.B. in der Nacht, günstiger und so kommt es am Wochenende häufig zu einer erhöhten Nutzung der Waschmaschine. Dies könnte die unterschiedlichen Werte erklären. Es könnte ebenso möglich sein, dass aus nicht bekannten Gründen die Bakterienpopulation in diesen Anlagen nicht in ausreichendem Maße vorhanden ist und deswegen die Umwandlung nicht korrekt stattfindet.

Ammonium und Nitrat wurden gemessen und zusammengefasst betrachtet um Rückschlüsse auf das Nitrifikations- und Denitrifikationspotential der Anlage zu ermöglichen. Werden die beiden Parameter Nitrat und Ammonium als Summe betrachtet und die Zulaufwerte des Bodenfilters mit den Ablaufwerten verglichen, so kann eine Tendenz, in welchen Umfang die vorher genannten Prozesse stattfinden und in welchem Maße Stickstoff in Form von elementarem Stickstoff aus der Anlage entweicht, abgeleitet

werden. Wie bereits unter 2.3 beschrieben sind die Vorgänge der Stickstoffumwandlung und des –abbaus temperaturabhängig und bei geringeren Temperaturen eingeschränkt. Da alle beprobten Anlagen unter gleichen Temperaturbedingungen beprobt wurden ist anzunehmen, dass alle Anlagen in der Tendenz eine gleiche Verminderung der Bakterienaktivität aufweisen.

In Abbildung 9 ist eine Tendenz zu erkennen, die darauf schließen lässt, dass in vertikalen Bodenfiltern eine geringere Denitrifikation stattfindet, als in horizontalen Bodenfiltern. Da für die Denitrifikation anaerobe Verhältnisse von Vorteil sind kann darauf geschlossen werden, dass der Sauerstoffeintrag in den Bodenfilter bei vertikal Anlagen höher liegt.

Kategorie 2 hat im Mittelwert eine größere Differenz zwischen den Zulaufwerten und den Ablaufwerten. Da hier nur die beiden Parameter Nitrat und Ammonium betrachtet werden und nicht der Gesamtstickstoff, wird bei dieser Betrachtung nur eine Tendenz ersichtlich. Ältere horizontale Bodenfilter der **Kategorie 2** besitzen ein hohes Denitrifikationspotential. **Kategorie 3** und **Kategorie 4**, die ebenfalls aus horizontalen Bodenfiltern bestehen, weisen ein geringeres Denitrifikationspotential auf. Dies könnte damit erklärt werden, dass diese beiden Kategorien aus Anlagen bestehen, die jünger als 28 Monate sind und die denitrifizierenden Bakterien noch nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind und somit das Potential gesenkt ist.

In **Kategorie 1** (vertikale Anlage) aus Abbildung 7 ist zu erkennen, dass hier eine höhere Nitrifikation stattfindet, also die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat, in der **Kategorie 2** findet diese in geringerem Maße statt. Werden die Anlagen nach Kategorien eingeteilt ist zu erkennen, dass bei vertikalen Anlagen, in der **Kategorie 1**, eine erhöhte Umsetzung von Ammonium zu Nitrat stattfindet. Dies ist mit einem erhöhten Sauerstoffeintrag und somit einer erhöhten Nitrifikation, also Oxidation von Ammonium zu Nitrat, in der Anlage zu erklären. Die Nitratkonzentrationen im Mittelwert in den drei weiteren Kategorien, alle Horizontalanlagen, waren geringer. Ein direkter Vergleich von **Kategorie 1** und **Kategorie 2**, die nahezu das gleiche Alter haben, lässt darauf schließen, dass wie in der Literatur beschrieben vertikale Bodenfilter eine höhere Nitrifikationsrate haben und horizontale eine geringere. Die Nitrifikationsrate ist aber nicht nur von der Beschickungsweise des Bodenfilters abhängig sondern auch von den auf dem Bodenkörper lebenden Mikroorganismen. So zeigt sich, dass junge Anlagen, der **Gruppe (Jung)** nahezu kein Nitrifikationspotential aufweisen, bei Anlagen der **Gruppe (Mittelalt)** wurde ein etwas höheres Potential gemessen.

Der erhöhte Sauerstoffeintrag in einen vertikalen Bodenfilter lässt sich durch die oberflächliche Beschickung und der Fließrichtung des Abwassers von der Oberfläche zum Grund erklären. Außerdem sind alle vertikalen Anlagen mit Schilf bepflanzt, welches durch sein Luftkanalsystem (Aerenchym) Sauerstoff in das unterirdische Wurzel-Sprosssystem (Rhizomsystem) bringt und ein Teil davon an die Umgebung abgegeben wird (Wissing1995). Werden die drei horizontalen Kategorien miteinander verglichen, so zeichnet sich die Tendenz ab, dass bei älteren Anlagen eine höhere Nitrifikation stattfindet als bei jüngeren, dies könnte mit den nitrifizierenden Bakterien zusammenhängen, die sich in älteren Anlagen schon angesiedelt haben und in jüngeren Anlagen erst in geringem Maße vorhanden sind.

Werden die Mittelwerte der Anlagen nach Alter sortiert betrachtet (Abbildung 8), so ergibt sich eine Tendenz dahin, dass bei jüngeren Anlagen die Nitrifikation, also die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat geringer ausfällt.

Eine Tendenz ist dahin, dass in horizontalen Bodenfiltern weniger Denitrifikation stattfindet, erkennbar, wenn die jüngste Schilfanlage, der Kategorie 3, und die ältesten drei Pflanzenmischungsanlagen, aus der **Kategorie 4**, miteinander verglichen werden. Die betrachteten Anlagen haben einen Altersunterschied von zwei Monaten und befinden sich alle noch in der Einlaufphase.

5.1.2 Phosphor

„Der Bodenkörper hat ein begrenztes Phosphatfestlegevermögen, was bei Auslegung der Anlage für eine bestimmte Betriebsdauer berücksichtigt werden muss.“ (Wissing und Hofmann, 2002). Es wird also angenommen, dass das Phosphorrückhaltevermögen mit der Zeit ausgeschöpft ist.

Die Rückhaltung von Phosphor fällt bei den untersuchten Anlagen sehr unterschiedlich aus. Da Phosphor nicht wie andere Parameter von Mikroorganismen eliminiert wird oder die Anlage gasförmig verlässt, sondern lediglich eine Verlagerung oder Ausfällung stattfindet, kann das als Begründung zurande gezogen werden. In 29 von 30 Anlagen befinden sich die unter Punkt 2.3.2 beschriebene Eisenplatten zur Phosphatausfällung. Da sich in nahezu allen Anlagen solche Eisenplatten befinden, kann davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis der im Altersverlauf betrachteten Anlagen gleichbleibend ist. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass die Platten mit der Zeit an

Ausfällungskapazität verlieren. Dies konnte in den Untersuchungen jedoch nicht bestätigt werden. Es konnte weder eine Abnahme im Altersverlauf, noch eine Abnahme der Ausfällkapazität der Eisenplatten festgestellt werden. Die Annahme, dass die Phosphatrückhaltung in der Anlage mit dem Alter der Anlage abnimmt und somit mehr Phosphat in den Ablauf gelangt, konnte nicht bestätigt werden. Grundsätzlich ist bei den 30 beprobten Anlagen nicht zu erkennen, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Phosphorhaltevermögen und dem Alter der Anlage gibt. Pflanzenkläranlagen werden für 10-30 Jahre ausgelegt. Mit dem Alter der Anlage nimmt das Bindevermögen des Bodenfilters ab, da alle freien Bindungsplätze für Phosphat belegt sind. Da jedoch alle für diese Arbeit beprobten Anlagen mit einem Alter zwischen 13 und 52 Monaten, unterhalb dieser Altersgrenze liegen ist es zu früh, um eine fundierte Aussage über die Phosphatsättigung der Bodenpartikel treffen zu können und somit kann der fehlende Zusammenhang erklärt werden. Die Messwerte verglichen mit der Größe der Anlage ergaben ebenfalls keinen Zusammenhang.

Die zum Teil in der Anlage ansteigenden Phosphatwerte können dadurch erklärt werden, dass unter bestimmten Voraussetzungen, z.B. durch starke pH-Wert-Änderung und vor allem durch Sauerstoffmangel, das an die Bodenpartikel gebundene Phosphat wieder in die gelöste Form übergehen kann und somit mit dem Abwasserstrom aus der Anlage transportiert würde.

Werden die Zulaufwerte der Mehrkammerausfallgrube mit der angegebenen Nutzeranzahl verglichen, so ergibt sich kein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern. So wurden bei zwei Nutzern Zulaufwerte von 28 mg/l bei Anlage 10 und 5 mg/l bei Anlage 23 gemessen. Innerhalb der Mehrkammergrube wurde ebenso ein Anstieg wie ein Abfall der Werte gemessen. Dies kann mit den zeitgleichen Probenahmen erklärt werden. Die Zusammensetzung des Abwassers kann sich je nach Verhalten im Haushalt ändern, so kann durch eine hohe Waschmittelnutzung zu einem Zeitpunkt mehr Phosphat in die Anlage gelangen und zu einem anderen Zeitpunkt weniger.

Werden alle Anlagenmessungen der ersten Kammer der Mehrkammerausfallgrube im Mittelwert betrachtet und mit dem Mittelwert der dritten Kammer verglichen, so wird eine Tendenz der Abnahme innerhalb der Mehrkammerausfallgrube aufgezeigt.

Das Phosphatrückhaltevermögen der gesamten Anlagen befindet sich zwischen 95% bei Anlage 20 und sogar einem negativem Rückhaltevermögen, d.h. es befindet sich mehr gemessenes Phosphat im Ablauf als im Zulauf des Bodenfilters, dies ist bei vier Anlagen

der Fall. Die relativ hohen Unterschiede in den gemessenen Werte für das Rückhaltevermögen von Phosphor in den verschiedenen Anlagen sind auf die Sorptionsfähigkeit des Materials zurückzuführen und darauf, dass Phosphor nicht von Mikroorganismen eliminiert werden kann. Negatives Rückhaltevermögen kann bei Übersättigung des Bodens mit Phosphat oder Freisetzung von gebundenem Phosphor auftreten, wie bei den Anlagen 4, 7, 24 und 29 zu sehen ist.

5.1.3 Chemischer Sauerstoffbedarf

Eine Grenzwertüberschreitung der Ablaufwerte konnte bei den Anlagen 26 und 28 gemessen werden. Beide Anlagen wurden mit der Pflanzenmischung bepflanzt und sind jeweils 13 Monate alt.

Eine eindeutige Aussage über die Reinigungsleistung der Pflanzenmischung mit Dikotyledonen kann nicht getroffen werden, da alle Anlagen die mit der Pflanzenmischung bepflanzt wurden jünger als 13 Monate sind und somit die Bakterien und Pflanzen noch nicht etabliert sind, dazu kommt, dass sich alle Anlagen noch in der „Einlaufphase“, also in der Phase in der der Wasserpegel im Bodenfilter gesenkt wird. befinden.

Bei Anlage 26 könnte der erhöhte CSB-Wert auf eine mögliche Fehlfunktion innerhalb der Anlage, zum Beispiel einem ungünstigen Milieu für bestimmte Bakterien, zurückzuführen sein. In der Mehrkammerausfallgrube befand sich weißlich-durchsichtiger Schleim oberhalb der Wasserlinie, auch war der Bewuchs des Bodenfilters sehr gering.

Der Anstieg des CSB-Werts bei Anlage 29 von der dritten Kammer zum Ablauf, also im Bodenfilter, kann dadurch erklärt werden, dass das Haus und somit die Anlage nur ca. eine Woche pro Monat genutzt wird. Zudem gibt es an Wochenenden und in den Ferien eine verstärkte Nutzung der Anlage. Durch die unregelmäßige Nutzung könnte der höhere Wert im Ablauf erklärt werden. So könnte in den Wochen vor der Probennahme die Nutzung höher gewesen sein, als zum Zeitpunkt der Probennahme.

Anlagen 10, 15 und 27 zeigten einen Anstieg des CSB-Wertes innerhalb der Grube. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass zum Zeitpunkt der Probennahme eine geringere Konzentration eingeleitet wurde als vor der Verweilzeit des Abwassers in der Mehrkammerausfallgrube.

Zusammenhänge zwischen dem Abbau innerhalb der Mehrkammerausfallgrube und dem Abbau innerhalb des Bodenfilters lassen sich nicht erkennen, so konnte auch bei hohen Zulaufwerten niedrige Ablaufwerte gemessen werden.

Der Abbau der organischen Substanzen ist in der Tendenz vom Alter abhängig.

5.1.4 Feldparameter

pH-Wert

Die Tendenz des in der Mehrkammergrube steigenden pH-Wertes hängt mit der Ammonifizierung von neutralen Stickstoffverbindungen zusammen, bei der alkalisch wirkendes Ammonium entsteht.

Bei der Nitrifikation entstehen H^+ -Ionen, die den pH- Wert eines Abwassers – ohne Anwesenheit eines Puffers – erheblich absenken können (Hütter, 1994).

Bei der Aufnahme von Nährstoffen geben Pflanzenwurzeln H^+ - Ionen an die Umgebung ab, um die Nährstoffe so besser verfügbar zu machen. Da hier aber nur sehr geringe pH-Wert Änderungen zu verzeichnen sind, kann hierüber keine fundierte Aussage getroffen werden.

Es bedarf weiterer pH-Messungen im gesamten Bodenfilter, an unterschiedlichen Messpunkten, um über diese Vorgänge eine fundierte Aussage treffen zu können.

Leitfähigkeit

„Die Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit eines Abwassers in $\mu S/cm$ [...] wird als Maß für die Salzkonzentration in einem Gewässer verwendet“ (Bischofsberger und Hegemann, 2005). Der Einfluss der Pflanzen auf die quantitative Senkung der Salzfracht ist nach Wissing (1995) gering, wobei Pflanzen die Salzfracht vermindern können, da sie eine große Menge an Ionen speichern können.

Für diese Arbeit waren die Werte für die elektrische Leitfähigkeit insgesamt leicht abfallend. Die sinkende Tendenz der elektrischen Leitfähigkeit kann damit erklärt werden, dass die Pflanzen Salzionen aufnehmen. Ebenso wird von den Bodenpartikeln ein Teil der Ionen zurückgehalten und angelagert.

Sauerstoff

Die zunehmenden Sauerstoffwerte können dadurch erklärt werden, dass die Wurzeln der Pflanzen Sauerstoff in den Bodenfilter und somit in das Abwasser führen. In **Gruppe (Jung)** ist der geringste Anstieg im Mittelwert zu sehen, dies könnte einerseits durch den noch nicht etablierten Pflanzenbestand und somit dem Wurzelbestand erklärt werden und andererseits durch die Pflanzenmischung, die vorwiegend bei **Gruppe (Jung)** verwendet wurde. Die Pflanzenmischung besteht aus einer Mischung zwischen Dikotyledonen und Monokotyledonen Pflanzen. Zum Teil sind die Pflanzen nicht in der Lage in tiefere Bodenschichten zu wachsen und somit könnte dies als mögliche Erklärung dienen.

5.2 Pflanzenproben

5.2.1 Biomasse

Es zeichnet sich ab, dass die Biomasse mit zunehmendem Alter zunimmt. Dies ist durch das Alter des wachsenden Pflanzenbestands zu erklären. Die Pflanzen werden alle im Frühjahr geschnitten, doch ist zu sehen, dass bei einem bereits etablierten Pflanzenbestand das Wachstum während der Vegetationsperiode höher ist.

Dass der Anteil der Biomasse bei **Einzelanlage (sehr alt)** gering ist, kann durch den hohen Anteil an Brennesseln (*Urtica dioica*) in dieser Anlage erklärt werden. So bestand der dichte Pflanzenbestand zu 95 % aus Brennesseln. Auch in weiteren Anlagen traten Brennesseln auf, diese nahmen aber nur einen sehr geringen Teil der Anlage ein.

5.2.2 Kohlenstoff

Es ist zu erkennen, dass mit zunehmendem Alter die Kohlenstoffwerte im Pflanzenmaterial zunehmen. Dies kann ebenfalls mit dem bereits etablierten Pflanzenbestand zusammenhängen.

5.2.3 Stickstoff

Auch der Stickstoffanteil im Pflanzenmaterial nimmt mit wachsendem Anteil der Biomasse zu. Das bedeutet, dass mit zunehmendem Alter der Anlage der Biomassenanteil zunimmt und somit auch der Stickstoffanteil. Dies ist auf den in Punkt 5.2.1 beschriebenen etablierten Pflanzenbestand zurückzuführen.

Es herrscht eine wie in Abbildung 24 zu sehende positive Korrelation von Stickstoff und Kohlenstoff.

5.2.4 Phosphor

Mit unter 1 % Phosphat im Pflanzenmaterial macht dieser Entzug nur einen sehr geringen Teil des Phosphatentzugs aus dem Abwasser aus. Das Pflanzenmaterial wird geerntet und verbleibt nicht auf dem Bodenfilter, so kommt es zu den realen Entzügen. Der Phosphatentzug des Pflanzenmaterials ist in allen beprobten Anlagen auf dem gleichen Niveau, auch wenn in der **Gruppe (Alt)** der Mittelwert etwas höher ist.

5.3 Befragung der Nutzer

5.3.1 Technik

Alle Anlagen leiten die gleiche Art des Abwassers in die Pflanzenkläranlage, so dass eine Vergleichbarkeit der Daten besteht.

Wie bereits in Kapitel 2.1 und folgend beschrieben, wird bei horizontal beschickten Bodenfiltern mit ausreichender Hanglage keine Pumpe verwendet. Dass dies auch in den vorliegenden Anlagen der Fall ist, zeigt die Befragung. Bei 6 vertikal beschickten Anlagen gab es eine Pumpe, 2 verwendeten weder einen Schwallbeschicker noch eine Pumpe.

Bei 16 von 18 horizontalen Bodenfiltern wird weder eine Pumpe noch ein Schwallbeschicker verwendet und bei zwei der horizontalen Bodenfilter wird ein Schwallbeschicker verwendet.

Eine Befragung nach bereits vorhandenen Messwerten, um einen Vergleich im Altersverlauf aufzuzeigen ergab keinen Aufschluss, die Daten waren sehr heterogen und die Anlagen hatten zum Teil erst ansteigende CSB-Werte, dann fallende Werte oder umgekehrt.

Die Art des genutzten Vorfluters zeigte, dass 16 Anlagen in ein fließendes Gewässer einleiten und 12 Anlagen das gereinigte Abwasser auf Ihrem Grundstück versickern lassen. Bei den 12 Anlagen die ins Grundwasser versickern, bestand keine Möglichkeit in ein nahegelegenes Fließgewässer einzuleiten, diese Aussage ist konform zu der in Kapitel 2.1 getätigten Aussage über die Selbstreinigungskräfte von Fließgewässern.

5.3.2 Management

Die Daten für die Kosten für den Anlagenbau und die Instandhaltungskosten waren sehr heterogen und somit nicht aussagekräftig.

Probleme bei der Überschreitung der Grenzwerte und bei Verstopfung der Anlage traten nur bei älteren Anlagen auf. Die Überschreitung der Grenzwerte konnte nur ermittelt werden, da hier genügend Vergleichswerte zu finden waren.

Rückstau in die Grube, die Leitungen, den Bodenfilter oder die Versickerung traten ebenfalls nur bei Anlagen auf die mindestens 50 Monate alt sind, weil bei kürzeren Laufzeiten die Einlaufphase noch nicht abgeschlossen ist, so dass sich bei jüngeren Anlagen noch keine Fehler abzeichnen können.

Bei jüngeren Anlagen mit einem Höchstalter von 28 Monaten gab es eher Probleme mit dem Anwachsen der Pflanzen

Der Antrieb, aus dem die Anlage gebaut wurde, bestand bei den meisten Betreibern aus ökologischen Gründen und der Möglichkeit auf eine stromverbrauchende und lärmverursachende Pumpe verzichten zu können.

5.3.3 Akzeptanz

Ein Insektenanstieg von beispielsweise Steckmücken, kann nur durch eine Fehlfunktion der Anlage erklärt werden, denn die Larven von Mücken leben in stehenden Gewässern und im Bodenfilter sollte, bei einwandfreier Funktion, kein stehendes Wasser vorkommen.

Die hier zusammengetragenen Ergebnisse des Fragebogens zeigen deutlich eine erhöhte Akzeptanz der Pflanzenmischung, aber auch Skepsis von Außenstehenden, ob die Pflanzenmischung eine genauso hohe Reinigungsleistung besitzt, wie andere Bepflanzungen. Die Einstellung der Anlagenbetreiber spiegelt sich in der ökologischen Vielfalt der Bepflanzung wieder.

6 Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vertikale und horizontale Bodenfilter mit entsprechender Vorklärung untersucht. Es wurde die Materialwahl des Filtermaterials außer Acht gelassen, so ist grundsätzlich eine Optimierung des Bodenfilters durch geschickte Materialwahl möglich, aktuell stehen jedoch keine fundierten Erkenntnisse zur Materialwahl zur Verfügung. Lediglich die Fließgeschwindigkeiten des Wassers durch das Material sind in im Regelwerk DWA-A 262 festgehalten, nicht aber die Nährstoffsorption und die Zusammensetzung des entsprechenden Materials. Eine Untersuchung in diese Richtung würde den Rahmen der Abhandlung sprengen und bleibt deswegen unberücksichtigt. Weitere Untersuchungen in diese Richtung sind erstrebenswert.

Es wurden Anlagen der verschiedensten Alter untersucht, allerdings wird die Pflanzenmischung, die in horizontalen Anlagen verwendet wird erst seit sehr kurzer Zeit angewendet. Es wäre zu untersuchen, ob die Pflanzenmischung sich trotz geringer Wurzeltiefe und geringerem Sauerstoffeintrag im Langzeitversuch bewährt. Eine Überschreitung des CSB-Grenzwertes gab es nur bei Anlagen jüngerer Alters, die mit der Pflanzenmischung bepflanzt wurden. Es bleibt zu untersuchen, ob die CSB-Grenzwerte dann eingehalten werden können. Eine Untersuchung der Länge der Einlaufphase bei Bepflanzung ohne Schilf wäre ebenfalls interessant.

Eine weitere Möglichkeit, sein Grundstück auch ohne Genehmigung wasserautark zu gestalten, wäre das gesammelte Regenwasser für alle anfallenden Bewässerungen zu nutzen, ebenso wird das Abwasser über Komposttoiletten einem natürlichen auf dem Grundstück liegenden Kreislauf zurückgeführt. Dies könnte sich als rechtlich relativ schwierig zeigen, da alle zuständigen Behörden dies bewilligen müssen. Eine solche Alternative ist daher nur in sehr entlegenen Gebieten denkbar und könnte für weitere Forschungszwecke dienen, auch ob die Rückführung des genutzten gereinigten Abwassers keine gesundheitsschädigenden Inhaltsstoffe aufweisen.

7 Literaturverzeichnis

- Bahlo, K. und G. Wach. (1992). Naturnahe Abwasserreinigung - Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg/Breisgau, Deutschland.
- Bayrischen Staatsministeriums für Landentwicklung und Umweltfragen (2003). „Richtlinie für Zuwendungen zu Kleinkläranlagen (RZKKA).“ Allgemeines Ministerialblatt.
- Bischofsberger, W., und W. Hegemann (2005). Lexikon Abwassertechnik. Vulkan Verlag, Essen, Deutschland.
- Börner, T. (1992). Einflußfaktoren für die Leistungsfähigkeit von Pflanzenkläranlagen. Schriftenreihe Wasserversorgung. Band 58. Hrsg. Abwasserbeseitigung und Raumplanung Darmstadt, Deutschland.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2005) DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA A-138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V..
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2006) DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA A-262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V..
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2003), ATV-DVWK. Leitfaden 2-2, Betrieb von Abwasseranlagen; Bestimmung der Abfiltrierbaren Stoffe . Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V..
- Geller, G. (1993). „Pflanzenkläranlagen des Typs „Bewachsene Bodenfilter“ Zur Reinigung von Wässern. Erfahrungen Aus Einem 5-Jährigen Bmft-Forschungsvorhaben und der Praxis.“ Wasserreinigung durch Pflanzen. Dokumentation des Plantec-Schwerpunkts ´93: 50-66.
- Geller, G. und G. Höner (2003). Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen : Praktisches Qualitätsmanagement bei Planung, Bau und Betrieb. Springer Verlag, Berlin [u.a.], Deutschland.
- Grundmann, T. (2009). Statistisches Bundesamt Deutschland, Pressemitteilung Nr.377 vom 02.10.2009.
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/2009/10/PD09__377__322,templateId=renderPrint.psml>. eingesehen am 15.5.2011, 16:40Uhr.
- Hagendorf, D. und K. Diehl (2001). „Keimelimination in Bewachsenen Bodenfiltern.“ Wasser & Boden 3: 16-18.
- Hans, Katrin (2009): Einfluss der Pflanzenart auf die Wasserqualität in einem Horizontalfilter zur Abwasserreinigung in Vietnam, Rheinische-Friedrich-Wilhelm Universität zu Bonn

- Imhoff, K. und K.R Imhoff (1985). Taschenbuch der Stadtentwässerung. R. Oldenbourg Verlag, München, Deutschland.
- Kadlec, R.H. und S.D. Wallace (2009). Treatment Wetlands, Second Edition. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Lack, W. (2006). Abwasserreinigung mit Pflanzen, Bauanleitungen für 4 Bis 400 Einwohner. ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, Deutschland.
- Le, Tan-Tai (2001): Differenzierte Beschreibung des Nährstoffabbaus in einer Pflanzenkläranlage mit Hilfe spezieller Methoden, Universität Gesamthochschule Kassel
- Henze, M. und A. Ledin (2001). "Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewater" Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation: 57-72.
- Mudrack, K. und S. Kunst (2003). Biologie der Abwasserreinigung. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin, Deutschland.
- Müller, Peter (2006): Untersuchung des Langzeitverhaltens von horizontal durchströmten Pflanzenkläranlagen, Fachhochschule Wiesbaden, Umwelttechnik/ Umweltmesstechnik
- Rowell, D., J.C. Munch, und M. Börsch-Supan (1997). Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, Deutschland.
- Schwister, K. und V. Leven [u.a.] (2003). Taschenbuch der Umwelttechnik. Carl-Hanser Verlag, München [u.a.].
- Schönborn, W. (2003). Lehrbuch der Limnologie. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, Deutschland.
- Tempel, K. (2003). Verbundprojekt "Bewachsene Bodenfilter
<<http://www.bodenfilter.de/bodenfilter.htm>>, eingesehen am 13.05.2011, 17:20Uhr.
- Vymazal, J. und L. Kröpflová (2008). Wastewater Treatment in Constructed wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer Verlag, Dordrecht, Niederlande.
- Wissing, F. (1995). Wasserreinigung mit Pflanzen. Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Wissing, F. und K. Hofmann (2002) Wasserreinigung mit Pflanzen. Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland.

8 Anhang

Tabelle 1: Gemessene Phosphatwerte in der ersten und dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Ablauf

	Kammer 1	Kammer 3	Ablauf
	Phosphat	Phosphat	Phosphat
Kategorie 1	mg/l	mg/l	mg/l
1	18	16	5
2	18	15	11
3	15	14	9
4	15	12	13
5	8	6	5
6	22	13	12
7	15	9	9
8	15	15	11
Mittelwert	16	12	9
Standardabweichung	4	3	3
Kategorie 2			
9	15	17	9
10	28	26	16
11	11	13	2
12	6	5	1
13	9	10	3
14	21	16	10
15	17	16	7
16	25	20	1
17	9	9	2
Mittelwert	16	15	6
Standardabweichung	8	6	5
Kategorie 3			
18	13	12	8
19	8	6	5
20	20	17	1
21	12	12	8
22	26	21	15
23	5	8	3
Mittelwert	14	12	7
Standardabweichung	8	6	5
Kategorie 4			
24	16	15	16
25	15	15	10
26	27	29	13
27	11	9	3
28	22	22	12
29	14	3	4
30	12	8	2
Mittelwert	17	14	9
Standardabweichung	6	9	6

Tabelle 216: Gemessener Stickstoff (Nitrat und Ammonium) in der ersten und dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Ablauf

	Kammer 1		Kammer 3		3.Kammer	Ablauf		Ablauf
	Nitrat	Ammonium	Nitrat	Ammonium	Nitrat,Ammonium	Nitrat	Ammonium	Nitrat,Ammonium
Kategorie 1	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	0,01	31,89	0,00	105,61	105,61	109,08	2,85	111,93
2	0,02	34,30	0,00	125,14	125,14	111,59	2,90	114,49
3	0,02	22,52	0,01	97,89	97,89	12,49	56,21	68,70
4	0,01	30,50	0,00	74,66	74,66	104,43	4,44	108,87
5	0,01	20,95	0,00	27,31	27,31	6,03	37,23	43,26
6	0,01	36,50	0,00	165,45	165,45	36,17	84,96	121,13
7	0,05	33,70	0,00	101,15	101,15	36,22	64,80	101,02
8	0,02	30,93	0,00	100,50	100,50	0,04	99,23	99,27
Mittelwert	0,02	30,16	0,00	99,71	99,71	52,01	44,08	96,08
Standardabweichung	0,01	5,56	0,00	39,42	39,42	48,45	38,36	26,61
Kategorie 2								
9	0,00	31,24	0,00	111,77	111,77	31,35	50,25	81,60
10	0,00	33,60	0,00	148,92	148,92	29,55	75,91	105,46
11	0,01	31,32	0,03	107,72	107,75	27,89	45,75	73,64
12	0,01	25,86	0,00	25,04	25,04	0,09	5,25	5,34
13	0,02	28,41	0,00	45,58	45,58	10,39	29,82	40,21
14	0,01	31,65	0,00	102,36	102,36	40,58	51,32	91,90
15	0,00	31,53	0,00	93,37	93,37	26,20	52,68	78,88
16	0,02	34,84	0,00	158,72	158,72	12,84	27,42	40,26
17	0,01	29,26	0,00	69,64	69,64	41,27	9,16	50,43
Mittelwert	0,01	30,86	0,00	95,90	95,91	24,46	38,62	63,08
Standardabweichung	0,01	2,70	0,01	43,93	43,93	13,95	22,69	31,36
Kategorie 3								
18	0,01	30,14	0,00	96,96	96,96	0,15	74,08	74,23
19	0,00	27,16	0,00	39,59	39,59	0,03	50,13	50,16
20	0,00	30,16	0,00	74,67	74,67	10,67	55,23	65,90
21	0,04	30,98	0,00	96,71	96,71	0,02	114,40	114,42
22	0,01	31,55	0,00	103,97	103,97	0,13	128,50	128,63
23	0,01	27,42	0,00	58,30	58,30	12,07	4,82	16,89
Mittelwert	0,01	29,57	0,00	78,37	78,37	3,85	71,19	75,04
Standardabweichung	0,01	1,84	0,00	25,53	25,53	5,85	45,31	41,25
Kategorie 4								
24	0,03	35,96	0,00	158,22	158,22	0,14	157,32	157,46
25	0,01	30,41	0,00	92,65	92,65	3,99	75,52	79,51
26	0,01	33,69	0,00	128,81	128,81	0,00	103,98	103,98
27	-----	27,61	0,00	63,14	63,14	2,05	63,91	65,96
28	0,01	32,85	0,00	126,87	126,87	2,53	109,30	111,83
29	0,01	29,64	-----	29,70	29,70	1,05	44,42	45,47
30	0,13	33,80	0,01	82,21	82,22	0,46	44,79	45,25
Mittelwert	0,03	31,99	0,00	97,37	97,37	1,46	85,61	87,07
Standardabweichung	0,07	2,18	0,01	48,64	48,64	1,07	37,35	38,38

Tabelle 317: Gemessene CSB-Wert in der ersten Kammer der der ersten und der dritten Kammer der Mehrkammerausfallgrube und im Ablauf

	Kammer 1	Kammer 3	Ablauf	
	CSB	CSB	CSB	Gesamtabbau
Kategorie 1	mg/l	mg/l	mg/l	%
1	513	185	49	91
2	533	210	38	93
3	693	102	65	91
4	527	250	32	94
5	900	140	31	97
6	567	168	91	84
7	573	277	94	84
8	353	130	88	75
Mittelwert	582	183	61	88
Standardabweichung	159	60	27	7
Kategorie 2				
9	507	96	56	89
10	470	480	76	84
11	590	270	49	92
12	210	170	34	84
13	325	225	30	91
14	530	150	58	89
15	133	235	70	48
16	520	375	45	91
17	723	200	27	96
Mittelwert	445	245	49	85
Standardabweichung	188	118	17	14
Kategorie 3				
18	506	201	65	87
19	353	250	90	75
20	693	186	40	94
21	190	185	87	54
22	900	290	131	86
23	460	195	58	87
Mittelwert	517	218	78	81
Standardabweichung	251	43	32	14
Kategorie 4				
24	747	135	105	86
25	513	243	87	83
26	660	450	213	68
27	115	196	51	56
28	500	485	174	65
29	210	43	50	76
30	280	140	41	85
Mittelwert	432	242	103	74
Standardabweichung	236	166	67	12

Tabelle 418: Gemessene Feldparameter (pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und O₂) in der ersten und dritten Kamme der Mehrkammerausfallgrube und im Ablauf

Feldparameter	Kammer 1				Kammer 3				Ablauf			
	pH-Wert	Temperatur	Leitfähigkeit	O ₂	pH-Wert	Temperatur	Leitfähigkeit	O ₂	pH-Wert	Temperatur	Leitfähigkeit	O ₂
Kategorie 1	Einheiten	°C	µS/cm	%	Einheiten	°C	µS/cm	%	Einheiten	°C	µS/cm	%
1	6,98	13	1680	3	7,06	12	1820	4	6,68	10	1649	6
2	6,78	14	1902	5	6,99	12	1924	4	6,77	9	1806	1
3	6,95	13	1578	1	7,00	15	1586	1	7,54	10	1323	6
4	6,82	17	1739	1	7,18	17	1475	1	6,46	12	1542	9
5	7,02	15	796	7	7,26	12	962	9	7,28	10	993	1
6	6,92	12	2790	4	6,99	11	2770	5	7,29	10	2080	6
7	7,48	11	1853	7	7,98	12	1608	8	7,21	10	1583	7
8	7,15	15	1685	2	7,20	14	1693	1	7,29	11	1620	1
Mittelwert	7,01	14	1753	4	7,21	13	1730	4	7,07	10	1575	7
Standardabweichung	0,22	2	543	2	0,33	2	510	3	0,38	1	321	3
Kategorie 2												
9	7,48	13	1763	2	7,39	13	1910	3	7,25	9	1553	1
10	6,52	13	2160	1	7,00	11	2300	6	6,97	9	1910	7
11	6,71	11	1758	4	7,10	10	1790	4	6,92	9	1565	1
12	7,05	10	895	2	7,30	11	864	8	6,83	9	929	6
13	7,23	15	1390	6	7,37	14	1386	1	7,06	10	1270	6
14	7,16	—	2410	3	7,41	—	2310	3	7,30	—	2130	2
15	7,07	—	1589	2	7,42	—	1603	3	7,11	—	1367	2
16	7,06	—	2190	2	7,18	—	2220	2	6,87	—	2080	2
17	7,00	14	1384	2	7,04	14	1370	6	6,90	12	1054	1
Mittelwert	7,03	13	1727	2	7,25	12	1750	5	7,02	10	1540	1
Standardabweichung	0,28	2	476	1	0,17	2	493	3	0,17	1	432	8
Kategorie 3												
18	7,27	10	2120	4	7,59	10	2130	5	7,32	7	1586	8
19	6,89	15	1203	2	7,19	13	1222	3	7,24	9	1171	4
20	6,75	15	1486	4	6,88	13	1447	2	6,97	10	1200	5
21	7,12	12	1621	8	7,20	11	1608	8	7,39	9	1583	8
22	6,93	11	1818	4	7,13	11	1872	4	7,51	10	1732	7
23	7,08	15	1276	1	7,11	14	1318	3	7,32	9	1235	3
Mittelwert	7,01	13	1587	4	7,18	12	1600	4	7,29	9	1418	1
Standardabweichung	0,19	2	344	2	0,23	2	347	2	0,18	1	243	1
Kategorie 4												
24	7,34	14	2520	4	7,61	13	2420	5	7,60	11	2090	3
25	7,18	16	1754	1	7,40	14	1833	1	7,87	16	1739	6
26	7,06	14	2420	1	7,23	13	2410	1	7,67	9	2150	3
27	8,16	14	1180	1	8,14	10	1328	1	7,27	8	1101	6
28	7,66	12	2230	0	7,67	11	2260	1	7,85	9	2200	3
29	7,09	12	1471	3	7,36	11	1429	6	7,26	8	1104	8
30	7,36	12	1784	2	8,03	7	1578	5	7,42	8	1056	4
Mittelwert	7,41	13	1908	2	7,63	11	1894	3	7,56	10	1634	5
Standardabweichung	0,39	1	500	1	0,34	2	469	2	0,25	3	533	2

Tabelle 5: Trockenmasse des Pflanzenmaterials, Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphat im Pflanzenmaterial

Pflanzenmaterial	Trockenmasse	Stickstoff		Kohlenstoff		Phosphat	
Kategorie 1	kg/m ²	%	m2	%	m2	%	kg/m
1	1,06	1,2	0,0	46,8	0,5	0,0	0,09
2	0,16	1,8	0,0	45,9	0,0	0,1	0,03
3	0,55	1,1	0,0	46,5	0,2	0,1	0,06
4	0,59	1,3	0,0	45,2	0,2	0,1	0,09
5	0,19	1,3	0,0	46,7	0,0	0,1	0,03
6	0,68	1,2	0,0	45,5	0,3	0,1	0,07
7	0,62	1,4	0,0	46,7	0,2	0,1	0,08
8	0,32	1,1	0,0	47,9	0,1	0,1	0,03
Mittelwert	0,52	1,3	0,0	46,4	0,2	0,1	0,06
Standardabweichun	0,30	0,2	0,0	0,84	0,1	0,0	0,03
Kategorie 2							
9	0,78	1,7	0,0	46,4	0,3	0,2	0,17
10	0,84	1,2	0,0	47,3	0,4	0,0	0,07
11	0,69	1,5	0,0	46,4	0,3	0,1	0,08
12	0,68	1,1	0,0	46,8	0,3	0,1	0,08
13	0,45	2,0	0,0	45,2	0,2	0,2	0,10
14	0,60	1,7	0,0	47,1	0,2	0,1	0,10
15	0,73	1,5	0,0	47,2	0,3	0,1	0,08
16	0,86	1,3	0,0	47,5	0,4	0,0	0,08
17	0,35	1,3	0,0	48,7	0,1	0,3	0,13
Mittelwert	0,66	1,5	0,0	46,9	0,3	0,1	0,10
Standardabweichun	0,17	0,3	0,0	0,94	0,0	0,1	0,03
Kategorie 3							
18	0,62	1,2	0,0	43,3	0,2	0,1	0,06
19	0,62	1,2	0,0	47,7	0,3	0,1	0,07
20	0,19	1,1	0,0	44,9	0,0	0,1	0,03
21	0,58	1,4	0,0	47,6	0,2	0,1	0,06
22	0,51	0,9	0,0	48,0	0,2	0,0	0,03
23	0,60	1,4	0,0	44,7	0,2	0,2	0,12
Mittelwert	0,52	1,2	0,0	46,0	0,2	0,1	0,06
Standardabweichun	0,17	0,1	0,0	1,98	0,0	0,0	0,03
Kategorie 4							
24	0,24	0,9	0,0	47,3	0,1	0,1	0,03
25	0,36	1,9	0,0	45,5	0,1	0,2	0,10
26	0,02	1,3	0,0	44,9	0,0	0,1	0,00
27	0,85	1,2	0,0	45,8	0,3	0,1	0,14
28	0,15	4,6	0,0	47,0	0,0	0,1	0,02
29	0,54	1,7	0,0	46,0	0,2	0,2	0,12
30	0,15	1,9	0,0	43,6	0,0	0,2	0,03
Mittelwert	0,33	1,9	0,0	45,7	0,1	0,1	0,07
Standardabweichun	0,28	1,2	0,0	1,26	0,1	0,0	0,05

Datum: _____
Anlagennummer: _____

I. Technischer Fragenteil zur Anlage

1. Wie viele Personen leben dauerhaft in Ihrem Haushalt?
Männlich _____ davon Personen unter 12 Jahren _____
Weiblich _____ davon Personen unter 12 Jahren _____
2. Für wie viele Einwohner (EW) ist die Anlage ausgelegt? _____
3. Welche Abwässer gehen in die Anlage?
a. Dusche ☐
b. Waschbecken ☐
c. Waschmaschine ☐
d. Toilette ☐
e. Geschirrspüler ☐
f. Sonstige _____ ☐
4. Größe der Anlage
a. 3-Kammer-Grube _____ (m³)
b. Pflanzenbeet _____ (m²)
c. Pflanzenkläranlage horizontal oder vertikal? _____
5. Besitzt diese Anlage eine/n
a. Schwallbeschicker ☐
b. Pumpe ☐
c. Weder noch ☐
6. Welche Ablaufklasse hat diese Anlage?
a. Ablaufklasse C ☐
b. Ablaufklasse N ☐
c. Ablaufklasse D ☐
d. Ablaufklasse +P ☐
e. Ablaufklasse +H ☐
7. Wie sind die aktuellen Ablaufwerte?
An welchem Datum wurden Sie durchgeführt?
Datum: _____
a. CSB _____
b. pH-Wert _____
c. Temperatur _____
d. BSB₅ _____
e. NO₃ _____
f. NH₄ _____
g. Phosphor _____
8. Wie haben sich die CSB-Werte im Laufe der Zeit geändert?

	Wert	Datum der Messung
- 1.Messung	_____	_____
- 2.Messung	_____	_____
- 3.Messung	_____	_____
- 4.Messung	_____	_____
9. Wohin wird das Wasser abgeleitet?
a. stehendes Gewässer (z.B Weiher) ☐
b. Fließendes Gewässer (z.B. Fluss) ☐
c. Versickerung oberirdisch ☐
d. Versickerung in Sickerschacht, wie tief) ☐
e. Versickerung in Sickerbeet ☐
f. Sonstiges: _____ ☐

II. Technischer Fragenteil zum Management

10. Was wurde alles gebaut?
- a. Pflanzenkläranlage ☐
 - b. Grube ☐
 - c. Versickerung ☐
11. Was hat der Bau der Anlage ungefähr gekostet? (in €) _____
12. Wie hoch sind die Instandhaltungskosten? (in €) insgesamt _____
- Davon:
- a. Jährlicher Kosten
 - (1) Wartung _____
 - (2) Klärschlamm Entsorgung _____
 - (3) Gärtner _____
 - b. Sonstige Kosten _____
13. Wann wurde die PKA gebaut?(Monat/Jahr) _____
14. Wurde die Anlage gleich nach Bau in Betrieb genommen? ☐ Ja ☐ Nein
- Falls Nein, wann wurde die Anlage in Betrieb genommen? _____
15. Gab es Probleme mit der Betreibung? ☐ Ja ☐ Nein
- a. Überschreitung der Grenzwerte ☐ ☐
 - b. Verstopfung ☐ ☐
 - c. Rückstau in Grube, Leitungen, PKA oder Versickerung, Pfützenbildung auf PKA ☐ ☐
 - d. Zu wenig Pflanzen angewachsen ☐ ☐
 - e. Geruchsbelästigung aus Grube oder PKA ☐ ☐
 - f. Sonstiges _____ ☐ ☐

Was, vermuten Sie, war die Fehlerquelle, die den optimalen Ablauf der Anlage gestört hat?

- ☐ Ja ☐ Nein
16. Ist die Funktion der Anlage jetzt einwandfrei ☐ Ja ☐ Nein
- Wenn Nein, welche der oben genannten Störungen (15 a-f) treten aktuell auf? _____
17. Aus welchem Antrieb heraus haben Sie sich für eine Pflanzenkläranlage entschieden? _____

III. Allgemeiner Fragenteil

18. Gab es Geruchbelästigung
- a. Durch die 3-Kammern-Grube ☐ Ja ☐ Nein
Wenn Ja, wann (Sommer/Winter) (Viel Besuch/Wenig Besuch) _____
 - b. Durch das Beet ☐ Ja ☐ Nein
Wenn Ja, wann (z.B. Sommer/Winter, Viel Besuch/Wenig Besuch) _____
 - c. Dachentlüftung ☐ Ja ☐ Nein
Wenn Ja, wann (z.B. Sommer/Winter, Viel Besuch/Wenig Besuch) _____

19. Empfinden Sie die Wartung der Anlage als arbeitsaufwändig?

- | | Ja | Nein |
|--|--------------------------|--------------------------|
| a. Durch das Mähen | ☐ | ☐ |
| b. Durch die monatliche Eigenkontrolle | ☐ | ☐ |
| c. Durch das Abstaufen im 1. Jahr | ☐ | ☐ |
| d. Abpumpen | ☐ | ☐ |
| e. Sonstiges | ☐ | ☐ |

20. Wie viele Stunden benötigen Sie durchschnittlich für die Anlage? (Pro Jahr) _____

21. Ist Ihnen die Wartung zu kompliziert? ☐ Ja ☐ Nein
Falls ja, weshalb? _____

22. Wird die monatliche Wartung regelmäßig durchgeführt? ☐ Ja ☐ Nein
Von wem wird diese durchgeführt? _____

23. Sind viele Fremdpflanzen in der Anlage aufgetreten? ☐ Ja ☐ Nein

24. Gab es einen Anstieg der Insektenpopulation ? ☐ Ja ☐ Nein
(z.B. Steckmücken)

25. Optik (Aussehen der Anlage):
a. Sticht die Anlage aus der Umgebung optisch hervor? ☐ Ja ☐ Nein
b. Ist Sie der Umgebung angepasst? ☐ Ja ☐ Nein

26. Wie ist die Reaktion von anderen?
a. Positiv ☐
Gründe: _____
b. Negativ ☐
Gründe: _____

27. Wie gefällt Ihnen selbst die Anlage
a. Positiv ☐
Gründe: _____
b. Negativ ☐
Gründe: _____

28. Wer mäht die Anlage?
a. Sie als Betreiber ☐
b. Gartenbauunternehmen (Entgeltlich) ☐
c. Andere (z.B. Freunde, Nachbarn) (Unentgeltlich) ☐

29. Wer entleert die Mehrkammergrube?
a. Sie als Betreiber ☐
b. Ein bekannter Landwirt ☐
c. Ein professionelles Entleerungsunternehmen? ☐

Wie oft mussten Sie bisher die Mehrkammergrube entleeren? _____

30. Wieviel kostet eine Entleerung? _____

Abbildung 26: Fotos von zwei verschiedenen Schwallbeschickern



Tabelle 619:Anlagendetails mit Foto (falls dies aus Datenschutzgründen möglich ist)

Anlagennummer	1	
Baujahr (Monate)	51	
Auslegungsgröße (m ²)	276	
Auslegungsgröße (EW)	39	
Reale Nutzeranzahl	20	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	2	
Baujahr (Monate)	50	
Auslegungsgröße (m ²)	35	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	5	
Anlagentype	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	3	
Baujahr (Monate)	28	
Auslegungsgröße (m ²)	80	
Auslegungsgröße (EW)	24	
Reale Nutzeranzahl	12	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	4	
Baujahr (Monate)	43	
Auslegungsgröße (m ²)	35	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	9	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	5	
Baujahr (Monate)	30	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	6	
Reale Nutzeranzahl	3	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	6	
Baujahr (Monate)	30	
Auslegungsgröße (m ²)	49	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	10	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	7	
Baujahr (Monate)	29	
Auslegungsgröße (m ²)	21	
Auslegungsgröße (EW)	8	
Reale Nutzeranzahl	4	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	8	
Baujahr (Monate)	27	
Auslegungsgröße (m ²)	40	
Auslegungsgröße (EW)	10	
Reale Nutzeranzahl	7	
Anlagentyp	Vertikal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	9	
Baujahr (Monate)	50	
Auslegungsgröße (m ²)		
Auslegungsgröße (EW)		
Reale Nutzeranzahl		
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	10	
Baujahr (Monate)	52	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	2	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	11	
Baujahr (Monate)	52	
Auslegungsgröße (m ²)	20	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	4	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	12	
Baujahr (Monate)	49	
Auslegungsgröße (m ²)		
Auslegungsgröße (EW)		
Reale Nutzeranzahl		
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	13	
Baujahr (Monate)	52	
Auslegungsgröße (m ²)	50	
Auslegungsgröße (EW)	10	
Reale Nutzeranzahl	4	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	14	
Baujahr (Monate)	52	
Auslegungsgröße (m ²)	310,5	
Auslegungsgröße (EW)	60	
Reale Nutzeranzahl	42	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	15	
Baujahr (Monate)	51	
Auslegungsgröße (m ²)	99	
Auslegungsgröße (EW)	20	
Reale Nutzeranzahl	8	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	16	
Baujahr (Monate)	51	
Auslegungsgröße (m ²)	60,5	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	6	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	17	
Baujahr (Monate)	187	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	2	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	18	
Baujahr (Monate)	26	
Auslegungsgröße (m ²)	80	
Auslegungsgröße (EW)	16	
Reale Nutzeranzahl	8	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	19	
Baujahr (Monate)	28	
Auslegungsgröße (m ²)	60	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	5	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	20	
Baujahr (Monate)	17	
Auslegungsgröße (m ²)	40	
Auslegungsgröße (EW)	8	
Reale Nutzeranzahl	5	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	21	
Baujahr (Monate)	26	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	6	
Reale Nutzeranzahl	4	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	22	
Baujahr (Monate)	27	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	6	
Reale Nutzeranzahl	4	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	23	
Baujahr (Monate)	26	
Auslegungsgröße (m ²)	27	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	2	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	24	
Baujahr (Monate)	14	
Auslegungsgröße (m ²)	20	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	2	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	25	
Baujahr (Monate)	15	
Auslegungsgröße (m ²)	60,5	
Auslegungsgröße (EW)	12	
Reale Nutzeranzahl	7	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	26	
Baujahr (Monate)	13	
Auslegungsgröße (m ²)	30	
Auslegungsgröße (EW)	6	
Reale Nutzeranzahl	5	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	27	
Baujahr (Monate)	15	
Auslegungsgröße (m ²)	40	
Auslegungsgröße (EW)	10	
Reale Nutzeranzahl	1	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	28	
Baujahr (Monate)	13	
Auslegungsgröße (m ²)	42	
Auslegungsgröße (EW)	8	
Reale Nutzeranzahl	6	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	29	
Baujahr (Monate)	15	
Auslegungsgröße (m ²)	21	
Auslegungsgröße (EW)	4	
Reale Nutzeranzahl	3	
Anlagentyp	Horizontal	
Bepflanzung	Schilf	

Anlagennummer	30		
Baujahr (Monate)	13		
Auslegungsgröße (m ²)	30		
Auslegungsgröße (EW)	6		
Reale Nutzeranzahl	--		
Anlagentyp	Horizontal		
Bepflanzung	Schilf		