

**Universität für Bodenkultur Wien**

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

**Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt**

Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl



# **Optimierung einer zweistufigen vertikalen Pflanzenkläranlage auf der Alpe Gamp**

**Masterarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur**

eingereicht von:  
**LUDWIG, Anna-Lena**

Betreuer: Priv.- Doz. Dipl.- Ing. Dr. nat. techn. Langergraber Günter

Matrikelnummer 0940982

02.05.2016

## **Vorwort**

Diese Arbeit wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Industriegewässerschutz und Gewässerschutz (SIG) erarbeitet. Mein Dank gilt allen Mitarbeitern, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben, sowie Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas Ertl für die Möglichkeit am Institut die Arbeit zu verfassen.

Großer Dank gehört Herrn Priv.- Doz. Dipl.- Ing. Dr. nat. techn. Günter Langergraber, der mir mit Rat und Tat die vergangenen Monate zur Seite gestanden hat und meine gelegentlich unwissenden Fragen mit Geduld ertrug.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr. Klaus König, für sein Bemühen, seine Ratschläge und dafür, dass ohne sein Engagement diese Arbeit niemals zustande gekommen wäre. Mein Dank gehört auch Frau Monika Schmieder und dem Laborteam des Umweltinstitutes Vorarlberg, für das Analysieren der Proben und dem Versuch, mir den Bereich der Abwasserchemie etwas näher zu bringen.

Danken möchte ich auch Herrn Roland Müller, für dessen Hilfe und Bemühen mir die Probenahme bei der Pflanzenkläranlage so leicht wie möglich zu machen.

Zuletzt möchte ich meinen größten Dank an meine Eltern richten. Ich danke euch für eure Unterstützung die letzten Jahre, für das Zuhören und eure Ratschläge und für eine unvergessliche Studienzeit. Einen Dank möchte ich auch noch all meinen Freunden und Studienkollegen widmen. Denn nur dank euch allen, konnte ich diese wunderschöne Zeit erleben.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Zielsetzung und Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>3. Grundlagen</b>	<b>4</b>
3.1 Pflanzenkläranlagen	4
3.2 Vertikal durchströmte Pflanzenkläranlagen	6
3.2.1 Allgemein	6
3.2.2 Vegetation	7
3.2.3 Filtermaterial	7
3.3 Makrophyten	8
3.4 Paramater zur Beurteilung der Reinigungsleistung	11
3.5 Abwasserreinigung in der Milchwirtschaft	11
3.6 Abwasserreinigung in Alpinen Lagen	12
3.6.1 Allgemein	12
3.6.2 Unterirdisch durchflossene Systeme	13
3.7 Rechtliche Grundlagen	14
<b>4. Material und Methoden</b>	<b>17</b>
4.1 Pflanzenkläranlage der Alpe Gamp	17
4.1.1 Technische Daten	17
4.2 Projektdurchführung	23
4.2.1 Probenahme	23
4.2.2 Laboranalysen	25
4.2.3 Statistische Datenauswertung	29
4.2.4 Evaluierung der Betriebsanleitung	29
<b>5. Ergebnisse</b>	<b>30</b>
<b>6. Interpretation und Diskussion</b>	<b>34</b>
6.1 Bepflanzte Bodenfilter	34
6.2 Anlagenbewertung	36
6.3 Optimierungsempfehlung	38
6.4 Evaluierung der Betriebsanleitung	39
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>42</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>44</b>
<b>9. Tabellenverzeichnis</b>	<b>47</b>
<b>10. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>48</b>
<b>11. Anhang</b>	<b>49</b>
11.1 Probenahmeprotokolle	49
11.2 Betriebsanleitung	54
<b>12. Lebenslauf</b>	<b>56</b>
<b>13. Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>58</b>

## **Abstract**

Constructed wetlands (CWs) are an affordable and environmentally sustainable alternative to existing technical wastewater treatment technologies. In Austria, vertical flow (VF) CWs with intermittent loading are used that are characterized by high removal efficiencies in terms of organic matter and ammonia. A two-stage VF wetland system has been developed that requires only half of the surface area to reach the same efficiencies in organic matter and ammonia removal, but has the advantage of a better total nitrogen removal. The present study investigates the two-stage that was implemented at the Alpe Gamp in Vorarlberg to treat wastewater from dairy farming. The system was constructed in 2013 and is operated from May to October. Due to wrong operation during the first year of operation (whey was loaded to the system by mistake), the first bed of the two-stage system got clogged resulting in poor treatment performance. The aim of the master thesis was thus to investigate the CW system during its second year of operation in which the system was operated correctly and to analyse if the system has recovered and if not, to conclude what further measures are required for system recovery. The results showed that the CW system did not recover, clogging and continuous ponding of the first stage still occurred, and the measured effluent concentrations did not fulfil the legal requirements. Recommendations for re-establishing the full treatment capacity were developed. These recommendations i) include removal of sludge from the mechanical pre-treatment to eliminate clogging, ii) operation of the first stage without impounded drainage layer until oxygen supply for nitrification is re-established, and iii) phosphorus elimination through a downstream phosphate filter. Additionally, the existing user manual for the CW system was reviewed and updated.

## **Kurzfassung**

Pflanzenkläranlagen sind eine kostengünstige und umweltverträgliche Alternative zu den bestehenden technischen Abwasserbehandlungstechnologien. In Österreich zeichnen sich vertikal durchströmte Pflanzenkläranlagen durch hohe Abbauleistungen in Bezug auf die organischen Stoffe und Ammoniak aus. Ein zweistufiges vertikal durchflossenes System wurde entwickelt, welches nur die Hälfte der Fläche erfordert und die gleichen Wirkungsgrade bezüglich dem Abbau der organischen Stoffe und Entfernung von Ammoniak hat. Diese Systeme haben zusätzlich den Vorteil eine bessere Gesamtstickstoffentfernung zu erreichen. Die vorliegende Arbeit untersucht die zweistufig vertikal durchflossene Anlage auf der Alpe Gamp in Vorarlberg, welche zur Abwasserreinigung der dort angesiedelten Sennerei verwendet wird. Die Anlage wurde im Jahr 2013 gebaut und ist von Mai bis Oktober in Betrieb. Durch falsche Bedienung während des ersten Betriebsjahres (versehentlich wurde das System mit Molke beschickt), wurde das erste Beet des zweistufigen Systems verstopft, was zu einer schlechten Reinigungsleistung führte. Das Ziel der Masterarbeit war, die Pflanzenkläranlage im zweiten Betriebsjahr zu untersuchen, in dem das System richtig bedient wurde, und zu analysieren, ob sich das System erholt hat und wenn nicht, Maßnahmen, die zur Wiederherstellung der richtigen Funktionsweise erforderlich sind, zu entwickeln. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Pflanzenkläranlage noch nicht erholt hatte, die Verstopfung im ersten Pflanzenbeet noch immer bestand und die gemessenen Abflusskonzentrationen nicht die gesetzlichen Verordnungen erfüllen, weswegen Optimierungsmaßnahmen entwickelt wurden. Diese Maßnahmen beinhalten i) die Entfernung des Schlammes aus der Vorreinigung um die Verstopfung im ersten Bodenfilter zu beseitigen, ii) den Verzicht der eingestauten Drainageschicht im ersten Bodenfilter bis die Sauerstoffzufuhr wieder hergestellt ist und iii) die Phosphorentfernung durch einen nachgeschalteten Phosphorfilter. Zusätzlich wurde die bestehende Betriebsanleitung evaluiert.

## 1. Einleitung

Weltweit ist Wasser die wichtigste Ressource und viele Menschen haben auch heute noch keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Wenig bekannt dabei ist, dass Menschen, vor allem in Entwicklungsländern, mehr an verunreinigtem Wasser als in Kriegen sterben. Denn 90 Prozent der Abwässer weltweit gelangen immer noch ungeklärt in Flüsse und Seen, die Menschen als ihre Trinkwasserquelle nutzen (EID, 2007).

Eine günstige und ökologisch nachhaltige Alternative zu den bestehenden Abwasserreinigungssystemen sind Pflanzenkläranlagen. Pflanzenkläranlagen können auch als „Treatment Wetlands“ bezeichnet werden, da sie konstruiert wurden, um die von natürlichen Feuchtgebieten gewonnenen Erkenntnisse mit technischen Methoden zu kombinieren (WISSING und HOFMANN, 2002). Feuchtgebiete haben eine höhere biologische Aktivität als andere Ökosysteme. Sie transformieren allgemeine Schadstoffe, die in konventionellem Abwasser vorkommen, in harmlose Zusatzprodukte oder Nährstoffe, die für zusätzlich biologische Produktivität genutzt werden können. Dies geschieht in Zusammenarbeit der natürlichen ökologischen Energien von Sonne, Wind, Erde, Pflanzen und Mikroorganismen. Da Pflanzenkläranlagen nach dem Schema natürlicher Feuchtgebiete aufgebaut sind, sind sie künstlich angelegte Systeme und erfüllen die spezifischen Eigenschaften der Ökosysteme der Feuchtgebiete. „Treatment Wetlands“ können verschiedene technische Ausführungen haben, die sich vor allem durch die Hydraulik unterscheiden (KADLEC und WALLACE, 2009).

Pflanzenkläranlagen werden häufig für Einzelhaushalte und kleine Ortschaften angewendet, da sie eine Vielzahl von Vorteilen liefern. Sie sind einfache natur- nahe Lösungen, die leicht zu bedienen und instand zu halten sind. Zudem besitzen sie eine hohe Prozessstabilität und Robustheit sowie eine hohe Pufferkapazität für hydraulische und organische Frachtfluktuationen (LANGERGRABER et al., 2010).

Eingeteilt werden diese Anlagen in horizontal und vertikal durchflossene Bodenfilter. Den Anfang machten die horizontal durchflossenen Pflanzenkläranlagen, aus denen sich vertikal betriebene Pflanzenkläranlagen weiterentwickelten. Durch die Nutzung aerober Bedingungen können sich vertikal durchflossene Pflanzenkläranlagen durch eine gute Nitrifikation auszeichnen. Langergraber et al. starteten 2005 ein Pilotprojekt, das sich mit dem Betrieb einer zweistufig vertikalen Anlage befasste. Diese Erweiterung einer vertikalen Pflanzenkläranlage erreicht hinsichtlich der gesetzlich geforderten Parameter dieselbe Reinigungsleistung und zusätzlich noch eine erhöhte Stickstoffentfernung von über 60% ohne Rezirkulation (LANGERGRABER et al., 2012a).

In Zusammenarbeit mit der Landesregierung Vorarlberg wurden Untersuchungen für eine Optimierung einer zweistufig errichteten vertikalen Pflanzenkläranlage angestrebt. Die Anlage gilt auch als Pilotprojekt, da eine zweistufig vertikal durchflossene Pflanzenkläranlage noch nicht dem Stand der Technik entspricht.

Zu Beginn der Arbeit war das erste ersichtliche Problem eine dauerhaft eingestaute erste Pflanzenfilterstufe. Im ersten Betriebsjahr der Anlage, 2014, wurde die Pflanzenkläranlage fälschlicherweise mit Molke beschickt. Dies sollte unbedingt vermieden werden, da Molke eine zu hohe organische Fracht besitzt und deswegen zu einer Kolmation des Bodenfilters führt. Im Jahr darauf wurde die Anlage nur noch mit Sennereiabwasser ohne Molke beschickt. Die Molke wurde zur Verfütterung der landwirtschaftlich geführten Tiere verwendet. Jedoch liegt der Verdacht nahe, dass die Anlage sich noch nicht erholt hat und eine weitere Regenerationsphase benötigt bzw. noch weitere Maßnahmen zur Wiederertüchtigung der Anlage getätigt werden müssen.

Zusätzlich zur eingestauten ersten Pflanzenfilterstufe wurden noch erhöhte Ablaufkonzentrationen für Ammonium und Phosphor gemessen, wobei die erhöhten Ammonium Ablaufkonzentrationen mit dem Einstau der ersten Pflanzenfilterstufe zusammenhängen.

Die Arbeit sollte klären, wie es zur Überstauung der ersten Pflanzenfilterstufe kam und wie dies in Zukunft vermieden werden kann. Ebenso sollten Lösungen zur Reduzierung der Werte für Ammonium und Phosphor gefunden werden. Dafür wurde im Sommer eine Beprobung der Anlage durchgeführt. Zusätzlich sollte die bestehende Betriebsanleitung evaluiert und überarbeitet werden.

## 2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Aufgrund der mangelnden Funktionsfähigkeit der Anlage stellte sich zu Beginn der Arbeit folgende Fragestellung:

- „Ist ein gut funktionierender Betrieb der Anlage möglich und können die geforderten Ablaufkonzentrationen laut AEV Milchwirtschaft eingehalten werden?“

Um die Frage beantworten zu können, sollte getestet werden, ob die Entfernung der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff die Hauptmaßnahme für eine langfristige Optimierung der Pflanzenkläranlage ist.

Zu Beginn der Arbeit wurde die Anlage im August 2015 an fünf Tagen beprobt. Es sollten die Messwerte für die wichtigsten Parameter gemessen werden. Durch den Vergleich mit der Allgemeinen Emissionsverordnung für Milchwirtschaft wurde daraufhin der Reinigungswirkungsgrad beurteilt.

Aufbauend auf dem Reinigungswirkungsgrad sollte sich schlussendlich

- eine Anlagenbewertung
- eine Optimierungsempfehlung und
- eine Evaluierung der Betriebsanleitung ergeben.

Die Evaluierung der vorliegenden Betriebsanleitung, die vom Beauftragten der Landesregierung erstellt wurde, dient dazu, eine klar formulierte und verständliche Betriebsanleitung für die Sennerei zu erhalten.

## 3. Grundlagen

### 3.1 Pflanzenkläranlagen

Die Abwasserreinigung ist heutzutage ein zentrales Thema und hat eine längere Entwicklungsgeschichte hinter sich. Schon früh beschäftigten sich Hochkulturen im vorderen Orient und in China mit dem Problem der Abwasserbeseitigung und bauten Entwässerungsanlagen, um das schmutzige Wasser aus den Städten zu leiten. Der Höhepunkt wurde mit der Errichtung des ausgedehnten Kanalisationssystems im alten Rom erreicht. Das Wissen ging mit dem Untergang des Römischen Reiches jedoch verloren. Im Mittelalter entstand die Problematik, dass der häusliche Unrat in der Gasse entsorgt wurde. Die mangelnde Hygiene führte wiederholt zu schweren Epidemien. Weiter verschärft wurde das Thema Abwasserbeseitigung im 19. Jahrhundert durch die industrielle Revolution. Nicht nur die anwachsenden Städte produzierten nicht vorhergesehene Abwassermengen, auch enthielt das Abwasser erstmals in großem Maße giftige Rückstände von industriellen Prozessen.

Im 20. Jahrhundert erfolgte die Entwicklung der mechanischen Abwasserreinigung, die sich vor allem in Deutschland durchsetzte. Hauptziel dabei war eine ästhetische Reinigung des Abwassers vor der Einleitung in ein Gewässer. Zu Beginn der biologischen Abwasserreinigung standen natürliche Verfahren wie die Landbehandlung, das weiträumige Aufbringen auf landwirtschaftlichen Flächen oder Auffangen in Abwasserteichen. Diese Reinigungsverfahren wurden dazu verwendet, die Nährstoffe des Abwassers für die Landwirtschaft nutzbar zu machen oder die in den Abwasserfischteichen lebenden Fische zu verkaufen (RUHRVERBAND, 2015).

Die Anfänge der Pflanzenkläranlage begannen mit Käthe Seidel die in den 1950er Jahren mit den ersten Anlagen experimentierte, welche sie „hydrobotanische Systeme“ nannte und in Folge in den 1960er das „Krefelder System“ entwickelte. Das Krefelder System war die erste moderne Pflanzenkläranlage, die aus mehreren Kiesbecken mit Sumpfpflanzen bestand und kaskadenförmig durchströmt wurde. Das Modell wurde über die Jahre weiterentwickelt, mehr erforscht und weltweit vielfältig erprobt, sodass die Pflanzenkläranlagen mittlerweile wie die technischen Verfahren anerkannt sind (BALLY und BITTNER, 2009).

Pflanzenkläranlagen bestehen aus ein oder mehreren abgedichteten flachen Becken, die mit speziellem Sand und ausgesuchtem Bodenmaterial gefüllt werden. Dieser Bodenkörper ist für das Abwasser durchlässig und wird unter anderem mit Schilf, Rohrkolben oder Sumpfpflanzen bepflanzt. Schwallweise wird mechanisch vorgereinigtes Abwasser ein- bis mehrmals täglich auf die Oberfläche des Bodenfilters geleitet. Es hat eine rasche Versickerung, strömt langsam durch den Bodenkörper und wird dabei gereinigt. Durch komplexe Prozesse, an denen Mikroorganismen, Pflanzenwurzeln und die Bodenmatrix beteiligt sind, erfolgt der biologische Abbau der Schmutzfracht und die Festlegung von Phosphat und anderen Stoffen (HAZARD, 1994).

Nach Kadlec und Wallace (2009) werden Treatment Wetlands in zwei Übergruppen eingeteilt, in oberflächlich durchflossene und zum Untergrund durchflossene Systeme (siehe Abbildung 3-1).

Hauptverwendung finden derzeit:

- **Abwasserteiche (Free water surface wetlands):** diese haben einen offenen Wasserbereich und gleichen in ihrer Erscheinungsform natürlichen Sümpfen.
- **Horizontal durchströmte Bodenfilter (Horizontal subsurface flow wetlands):** diese besitzen ein mit Kies gefülltes und mit Pflanzen bewachsenes Beet. Das Wasser wird unter der Oberfläche des Beetes gehalten und fließt horizontal vom Zulauf zum Ablauf.

- **Vertikal durchflossene Bodenfilter (Vertical flow wetlands):** das Wasser wird über die Oberfläche eines mit Sand oder Kies befüllten und mit Pflanzen bewachsenen Beetes verteilt. Es sickert so durch die Pflanzenwurzelzone (KADLEC und WALLACE, 2009).

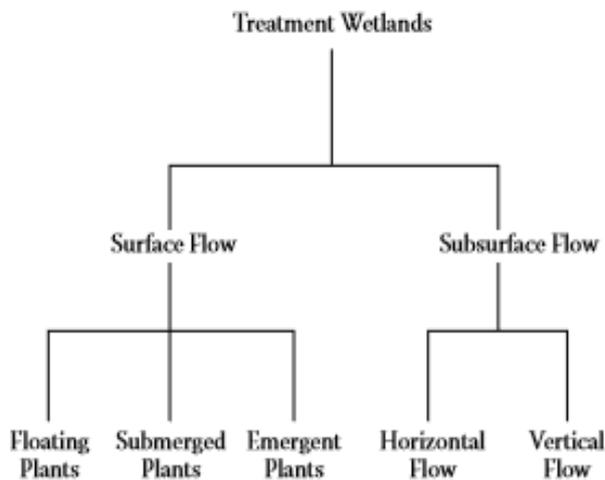


Abbildung 3-1: Einteilung der Treatment Wetlands (KADLEC und WALLACE, 2009)

Systeme mit freier Wasseroberfläche: Diese Systeme bestehen aus einer freien Wasseroberfläche, einer Wasservegetation und aufstrebenden Pflanzen. Je nach den örtlichen Bedingungen können Berme, Deiche und Buchse verwendet werden, um die Wasserströmung zu steuern. Das Abwasser wird durch die Prozesse der Sedimentation, Filtration, Oxidation, Reduktion, Absorption und Fällung behandelt (Kadlec und Wallace, 2009). Da diese Konstruktion natürlichen Feuchtgebieten ähnelt, kann sie auch eine Vielzahl an Lebewesen der Tierwelt beherbergen (NADB database, 1993; Kadlec and Knight, 1996, zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009).

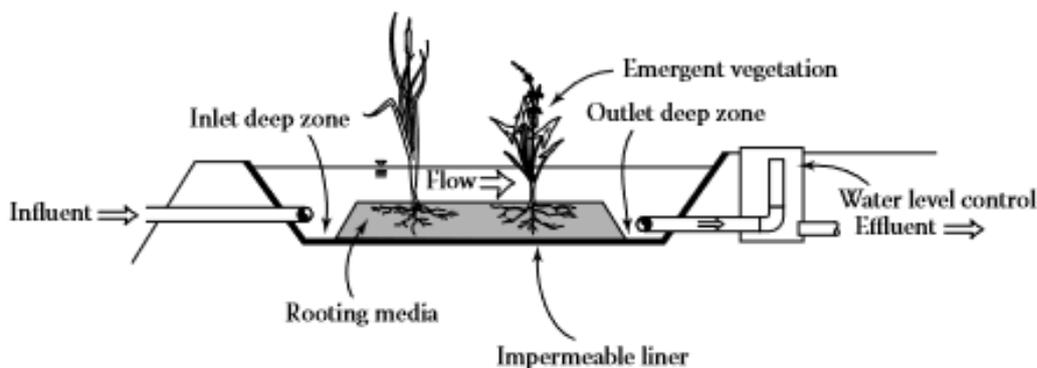


Abbildung 3-2: Grundelemente einer FSW (KADLEC und WALLACE, 2009)

Horizontal durchströmte Bodenfilter: Horizontale Pflanzenkläranlagen weisen einen aus Geröll bestehenden Zulauf und am anderen Ende einen entsprechenden Ablauf auf, wo das gereinigte Abwasser gesammelt und einem Kontrollschacht zugeführt wird.

Die Einstauhöhe wird über diesen Kontrollschacht im Boden reguliert und damit unter anderem auch die Querschnittsfläche des Bodenfilters. Zusätzlich werden Horizontalfilter kontinuierlich mit Abwasser versorgt (BALLY und BITTNER, 2009).

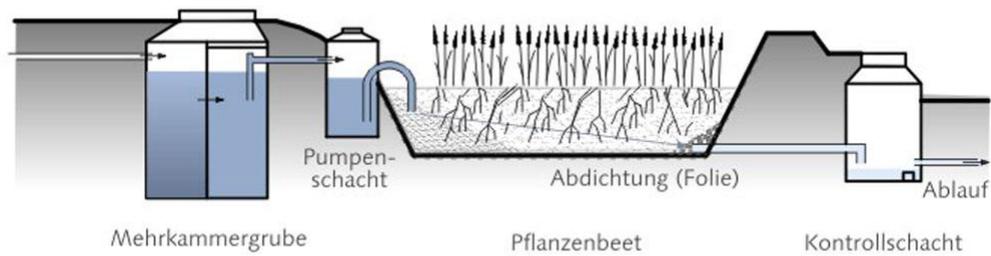


Abbildung 3-3: Horizontal durchströmter Pflanzenkläranlage (GLÜCKLICH, s.a.)

Vertikal durchströmte Bodenfilter: Im Gegensatz zu Horizontalfilter werden vertikal durchströmte Anlagen ein- bis dreimal schwallweise mit einer bestimmten Menge an Abwasser oberflächlich geflutet. Wichtig dabei ist, dass die gesamte Oberfläche in kurzer Zeit unter Wasser gesetzt wird, um zu verhindern, dass nur Teile des Bodenfilters genutzt und somit überbeansprucht werden. Innerhalb von 10-20 Minuten sollte die Wasserschicht versickern, den Sand durchwandern und dabei atmosphärischen Sauerstoff in den Sandkörper ziehen. Das gereinigte Wasser wird daraufhin in der Drainageschicht auf der Sohle des Beckens gesammelt und einem Kontrollschacht zugeführt (BALLY und BITTNER, 2009).

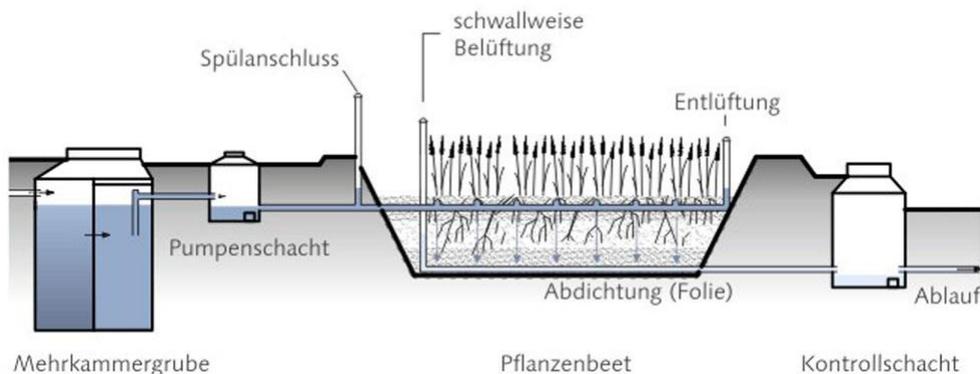


Abbildung 3-4: Vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (GLÜCKLICH, s.a.)

## 3.2 Vertikal durchströmte Pflanzenkläranlagen

### 3.2.1 Allgemein

Allgemein werden Vertikal durchflossene Systeme intermittierend beschickt. Das Wasser durchfließt das Substrat, wird von den Mikroorganismen gereinigt und durch das Drainagerohr abgeleitet.

Unterteilt werden können die Anlagen nach vier verschiedenen Typen (KADLEC und WALLACE, 2009):

- Intermittierender Durchfluss: Der Bodenkörper wird in kurzen Abständen mit Wasser beschickt, um eine erhöhte Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten und optimale Bedingungen für Mikroorganismen zu erreichen.

- Ungesättigter Durchfluss: Bei dieser Variante wird das Wasser über körniges Substrat verteilt, welches in kleinen Mengen das Substrat durchfließt. Dadurch soll eine Sättigung des Bodens und aerobe Verhältnisse vermieden werden. Die Verteilungsrohre können über dem System oder in kalten Klimabereichen in dem körnigen Filterbett verlegt werden. Oft wird dieses System auch zum mehrmaligen Durchfließen des Wassers genutzt.
- Gesättigter Durchfluss (ab- oder aufwärts): Der Boden ist mit Wasser gesättigt und die Fließrichtung ist nach oben oder unten gerichtet. Nach unten fließende Varianten werden auch als anaerobe Pflanzenkläranlagen oder alkaline Systeme bezeichnet (Younger et al., 2002; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009).
- Gezeitenfluss: Hier wird zwischen dem Befüllen und Entleeren des Bodens gewechselt. Die Pflanzenkläranlage wird vom Boden aus mit Abwasser befüllt und steht dann in Kontakt mit den Bakterien, die im Filter wachsen. Nach dieser Phase wird das Wasser entleert und Sauerstoff dringt in die Hohlräume des Bodens. Diese abwechselnden Phasen ermöglichen Redoxpotentiale, die oxidierende und reduzierende Phasen beinhalten (Maciolek und Austin, 2006; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009).

### 3.2.2 Vegetation

Die Vegetation spielt nur eine untergeordnete Rolle bei der Wasserreinigung, die Hauptarbeit erfolgt überwiegend durch Mikroorganismen. Ihre wichtigste Aufgabe besteht in der Aufrechterhaltung der Durchlässigkeit des Bodenkörpers. Meist werden heimische Sumpfpflanzen eingesetzt. Die am häufigsten verwendeten Pflanzen sind das Schilf, gefolgt von Rohrkolben, Binsen, Iris und Seggenarten (GELLER und HÖNER, 2003). Sumpfpflanzen wie das Schilfrohr (*Phragmites australis*) haben bestimmte Überlebensstrategien entwickelt und haben sich an die sauerstoffarmen oder -freien Verhältnisse des unterirdischen Teils ihres Standortes angepasst (Grosse und Schröder, 1986; zit. bei WISSING und HOFMANN, 2002). Durch ein Luftkanalsystem (Aerenchym) sind Blätter, Halm und Wurzeln miteinander verbunden. Über Blätter und Halm gelangt der Sauerstoff aus der Luft in die Wurzeln (Rhizomsystem), die somit von innen mit Sauerstoff versorgt werden. Ein Teil des Sauerstoffs wird an die Umgebung über die Rhizomwurzeln abgegeben (WISSING und HOFMANN, 2002). Die Nährstoffaufnahme hängt von der Belastung des Bodenfilters und von der eingesetzten Pflanzenart ab (GELLER und HÖNER, 2003).

Die von den Pflanzen oberirdischen Auswirkungen sind (BRISSON und CHAZARENC, 2008):

- Mikrobielles Wachstum
- Versorgung von reduzierten Kohlen- und Sauerstoff in der Rhizosphäre
- verringern die Strömungsgeschwindigkeit
- Stabilisieren die Oberfläche des Beetes
- Dichten die Oberfläche gegen Frost im Winter ab

### 3.2.3 Filtermaterial

Der Hauptreinigungsprozess des Abwassers findet größtenteils in der Hauptfilterschicht des Bewachsenen Bodenfilters statt. Das Filtermaterial sollte daher gleichmäßig durchströmt werden und eine ausreichende Aufenthaltszeit des Wassers gewährleisten. Für die gleichmäßige Durchströmung des Filtermaterials, muss dieses ausreichend durchlässig sein, ansonsten wird der Filter überströmt und nicht durchströmt.

Wichtig ist die Kornoberfläche auch für die Besiedelung der Mikroorganismen im Bodenfilter. Bei der Auswahl eines geeigneten Filtermaterials muss zwischen hoher hydraulischer Durchlässigkeit und möglicher großer Oberfläche durch feinere Bodenpartikel abgewogen werden (GELLER und HÖNER, 2003).

Es lassen sich drei Filtersubstrattypen unterscheiden (GELLER und HÖNER, 2003):

- **Kies:** Kies hat eine hohe hydraulische Durchlässigkeit, eine kleine Reaktionsfläche und deswegen ein relativ geringes Reinigungspotential. Es ist am besten geeignet, wenn hohe Ansprüche an die hydraulische Durchlässigkeit gestellt werden.
- **Sand:** Wird sowohl für Vertikal- als auch für Horizontalfilter als Standard eingesetzt und zeichnet sich durch eine hohe hydraulische Durchlässigkeit aus. Sand eignet sich vor allem für die Abwasserreinigung als auch für die Mischwasser- und Regenwasserbehandlung, da eine ausreichende Durchlässigkeit und ein hohes Reinigungspotential vorhanden sind.
- **Bindiges Filtermaterial:** Enthält einen hohen Anteil von Feinteilen der Schluff- und Tonfraktion. Das Substrat hat dadurch eine große Reaktionsfläche, aber es wird keine gute Reinigungsleistung erreicht, da der Anteil der wasserleitenden Grob- und Mittelporen eher gering ist und daher häufig eine gleichmäßige Durchströmung des Filtermaterials ausbleibt. Am ehesten verwendet wird dieses Filtermaterial bei niedriger hydraulischer Belastung oder zur Behandlung von Oberflächenwasser mit regelmäßigen Trockenphasen.

Die ÖNORM B 2505 gibt für intermittierend beschickte Bodenfilter in der Hauptschicht Sand und für die Deck-, Übergangs- und Dränschicht Kies als Filtermaterial vor. Zudem wird für die Bepflanzung tiefwurzeldes Röhrichtgewächs empfohlen (ÖNORM B 2505, 2009).

Zweistufig vertikal durchflossene Bodenfilter werden mit zwei Filterbecken konstruiert. Hinsichtlich der Nährstoffelimination und der Reduzierung organischer Verschmutzung haben sie die gleiche Reinigungsleistung wie einstufig durchflossene Systeme. Bei der ersten Pflanzenfilterstufe ist jedoch die Drainageschicht eingestaut, was zu anaeroben Bedingungen führt und deswegen eine höhere Stickstoffentfernung beinhaltet (LANGERGRABER, 2015).

### 3.3 Makrophyten

Die Pflanzen die sich für Pflanzenkläranlagen einsetzen lassen, können in zwei Gruppen unterteilt werden, die Helophyten (Sumpfpflanzen) und Hydrophyten (Wasserpflanzen). Die erste Gruppe sind Pflanzen, die auf Böden wachsen und die teilweise oder vollständige mit Wasser gesättigt sind. Diese Pflanzenarten werden in den Untergrunddruchströmungssystemen eingesetzt. Die Arten der zweiten Gruppe haben einen Vegetationskörper, der sich vollständig unter Wasser befindet oder auf der Wasseroberfläche treibt. Die Entwicklung der verschiedenen Pflanzen richtet sich nach Eigenschaften wie der Temperatur, Wasserqualität, Konkurrenzverhalten unter den verschiedenen Arten und der Wassertiefe als Hauptumweltfaktor. Hauptanwendung finden größtenteils die eingesetzten Pflanzenarten: *Phragmites australis* (Schilfrohr), *Typha latifolia* (Breitblättriger Rohrkolben), *Typha angustifolia* (Schmalblättriger Rohrkolben), *Schoenoplectus lacustris* (Gewöhnliche Teichbinse), *Juncus spp* (Binsen) (BRESCIANI et al., 2013).

Makrophyten besitzen einige wichtige Eigenschaften, welche in Tabelle 3-1 für die einzelnen „Wetlands“ zusammengefasst sind. So sind sie zum Beispiel notwendig um die Beetoberfläche zu stabilisieren oder ein Verstopfen des Bodenfilters zu verhindern.

Tabelle 3-1: Hauptfunktionen der verschiedenen konstruierten Feuchtgebiete (BRIX, 1994)

	Surface Flow	Subsurface Flow	Vertical Flow	Combined Systems
Area use	>20 m <sup>2</sup> /PE	~10 m <sup>2</sup> /PE	~5 m <sup>2</sup> /PE	2-5 m <sup>2</sup> /PE
Stabilize bed surface	+++++	+++++	+++	+++
Prevent clogging	-	-	+++++	+++++
Reduce current velocity	+++	-	-	-
Attenuate light	+++++	++	+	+++
Insulation	+++	+++	+++	+++
Attached microbes	+++++	+++	+	+
Uptake of nutrients	+++++	+	-	+
Oxygen transfer & release	+	++	+	+
Habitat for wildlife	+++++	+++	+	+
Aesthetics	+++++	+++++	+++	+++++

Aquatische Makrophyten sind unerlässlich für die Reduktion von Nährstoffen, welches durch komplexe chemische und physikalische Prozesse geschieht. Jedoch spielen auch andere Mechanismen wie Mikroorganismen, Absorption und Fällung eine tragende Rolle bei der Zersetzung von Schadstoffen. Nichtsdestotrotz sind Makrophyten wichtig für das Bereitstellen der Oberfläche und des Substrates für das Wachstum der Mikroorganismen (BRIX und SCHIERUP, 1989).

Nach BRIX und SCHIERUP (1989) existieren wie folgt folgende Wasserpflanzen:

### Auftauchende Wasserpflanzen

Diese sind die dominierende Lebensform in Feuchtgebieten und Sümpfen und wachsen innerhalb einer Grundwasserspielspannweite von 50 cm unter der Bodenoberfläche bis zu einer Wassertiefe von 150 cm oder mehr. Allgemein entwickeln sie ein Aerenchymssystem und Blätter und ein weites Wurzel- und Rhizomsystem.

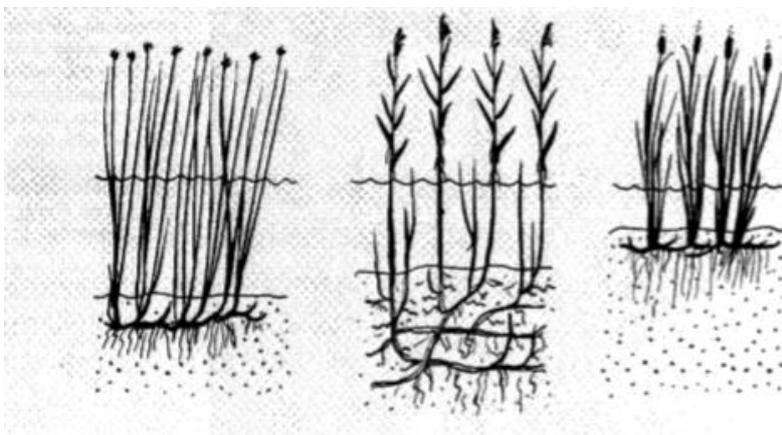


Abbildung 3-5: Auftauchende Wasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989)

### Schwimblatt Wasserpflanzen

Diese Arten sind sehr vielfältig in Form und Gewohnheit. Sie reichen von großen Pflanzen mit Rosetten von fortlaufenden und/ oder schwimmenden Blättern und gut entwickelten versunkenen Wurzeln bis zu minütlich oberflächlich schwimmenden Pflanzen mit wenigen oder keinen Wurzeln.

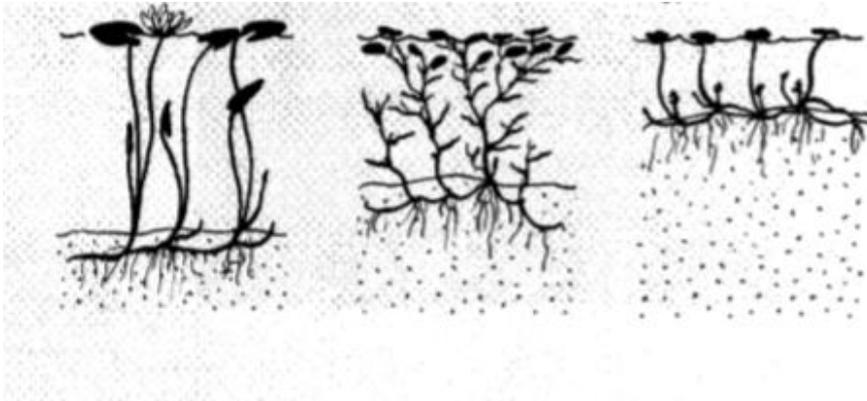


Abbildung 3-6: Schwimblatt Wasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989)

### Unterwasserpflanzen

Unterwasserpflanzen haben ihr eigenes photosynthetisches Gewebe gänzlich unter Wasser, aber in der Regel sind die Pflanzen der Atmosphäre ausgesetzt.

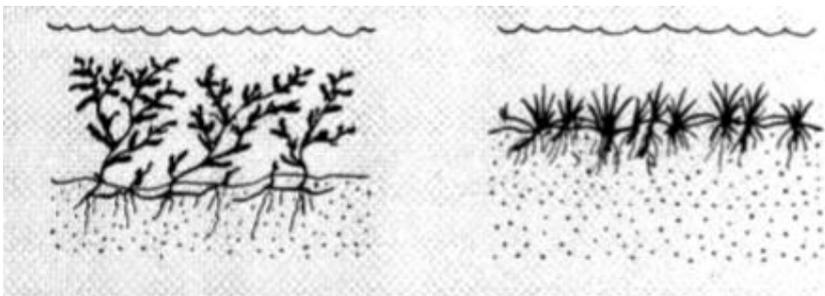


Abbildung 3-7: Unterwasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989)

Pflanzen nehmen Nährstoffe über ihr Wurzelsystem auf. Zu produktiven Zeiten kann sich eine beachtliche Menge in der Biomasse ansammeln. Jedoch ist die Menge relativ unbedeutend im Vergleich zu der Menge, die mit dem Abwasser eingetragen wird. Durch das Ernten der Biomasse kann die Menge der Nährstoffe wieder reduziert werden. Die Aufnahmekapazität von auftauchenden Wasserpflanzen reicht von 50 bis 150 kg P ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup> und 1000 und 2500 kg N ha<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup>. Die hochproduktiven Wasserhyazinthen haben generell eine höhere Aufnahmekapazität als die Unterwasserpflanzen (BRIX, 1994).

Die Rolle der Pflanzen unterscheidet sich zwischen den horizontal und vertikal durchflossenen Bodenfiltern. Bei den horizontal durchflossenen Systemen, in denen sich das Medium in gesättigter Kondition befindet, ist die Hauptfunktion der Pflanzen mithilfe der Wurzeln Sauerstoff in die tiefsten Schichten des Mediums zu liefern, um so die normalerweise anaeroben vorhandenen Bedingungen mit aeroben zu alternieren. Bevorzugt werden Pflanzen mit einem

Wurzelapparat, der eine gute Tiefe erreicht. Vertikal durchflossene Systeme, haben ein Medium, das reich an Sauerstoff ist, weswegen andere Pflanzen vorgesehen werden können, die nicht ausschließlich als „Sauerstoffpumpe“ dienen. Genauso wie bei den horizontalen Systemen fördern die Wurzeln der Pflanzen die Wiederherstellung der Wasserleitfähigkeit auf mechanische Weise, was vor allem zur Verhinderung der Kolmation in der Sandschicht notwendig ist (BRESCIANI et al., 2013).

### 3.4 Parameter zur Beurteilung der Reinigungsleistung

Für die Beurteilung der Reinigungsleistung einer Pflanzenkläranlage werden Parameterwerte herangezogen. Sie geben an, wie hoch der Anteil der Schmutzstoffe im Abwasser ist. Anhand der Werte beurteilt die Allgemeine Emissionsverordnung z.B. für Milchwirtschaft, ob das Wasser in ein Fließgewässer eingeleitet werden darf oder ob die Konzentration der Schmutzstoffe noch zu hoch ist. Die wichtigsten Parameterwerte werden hier beschrieben.

- **CSB (chemische Sauerstoffbedarf):** Dieser Wert kennzeichnet den Sauerstoffbedarf, der zur Oxidation der im Wasser enthaltenen organischen Stoffe benötigt wird.
- **BSB<sub>5</sub> (biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen):** Dieser Parameter kennzeichnet den Sauerstoffbedarf, den Bakterien und andere Kleinstlebewesen innerhalb von fünf Tagen zum Abbau der organischen Fracht im Abwasser bei einer Temperatur von 20° C benötigen (BERUFSGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT, 2016).
- **NH<sub>4</sub>-N (Ammoniumstickstoff):** Ammonium ist ein geeigneter Indikator für die Einleitung nicht oder unzureichend gereinigter häuslicher und landwirtschaftlicher Abwässer. Unter Sauerstoffverbrauch wird Ammonium von Bakterien zu Nitrit und weiter zu Nitrat oxidiert. Nitrat und Ammonium können von Pflanzen als Stickstoffquelle benutzt werden. Außerdem kann Ammonium bei einem zu hohen pH-Wert zum stark fischgiftigen Ammonium reagieren (WASSER WISSEN, 2016).
- **Gesamt-Stickstoff:** Der gesamte Stickstoff beurteilt die Gesamtbelastung eines Gewässers mit Stickstoffverbindungen. Auftreten können Stickstoffverbindungen in Ammoniak, Ammoniumsalzen, Nitriten und Nitraten. Genauso wie Phosphor ist Stickstoff ein wichtiger Bestandteil von Pflanzen und kann in einer zu hohen Konzentration zur Eutrophierung führen.
- **Gesamt-Phosphor:** Phosphor ist ein wichtiger Pflanzennährstoff. Im Wasser kommt er hauptsächlich als Orthophosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) vor. Gesamtphosphor als Summenparameter wird definiert als die Summe aller Phosphorgruppen, die in den verschiedensten Formen vorkommen. Die Wichtigkeit der Kontrolle besteht darin, da eine zu hohe Phosphorkonzentration zu Eutrophierung und in weiterer Folge zu Sauerstoffarmut und Fischsterben führt (LAR PROCESS ANALYSERS AG., 2016).

### 3.5 Abwasserreinigung in der Milchwirtschaft

Primärer Grund der Belastung von Molkereiabwässern ist die Vermischung mit organisch hochkonzentrierten Produktresten aus Reinigungsprozessen. Verwertbare Restkonzentrate und Reinigungsmittel spielen nur sekundär eine Rolle. Der überwiegende Teil sind gelöste organische Verbindungen, welche leicht abbaubar sind. Besonderheiten des Molkereiabwassers wie starke Konzentrationsschwankungen und erhöhte Temperaturen müssen dabei berücksichtigt werden.

Abwässer aus milchverarbeitenden Betrieben können unterteilt werden nach:

- Kühl- und Kondenswasser
- Sanitärabwässer

- Betriebsabwasser
  - Vorbehandlung
  - Produktverluste
  - wirtschaftlich nicht mehr verwertbare Restprodukte
  - Waschwasser
  - Reinigungslösungen
  - Reinigungs- und Spülwasser
  - Wasseraufbereitung
- Niederschlagswasser

Die organische Fracht wie hochmolekulares Eiweiß, Milchzucker, Fette und Salze, resultiert zu mehr als 90% aus Milchbestandteilen und Produktresten (ÖWAV, 1982; zit. bei STUHLBACHER et al., 2004).

Beeinflusst wird die Abwasserbelastung dabei vorwiegend vom Erzeugungsprogramm, Produktionsumfang, von den technischen Einrichtungen, der Technologie, der Art der Reinigung sowie von der Sorgfalt der Betriebsangehörigen.

### Reinigungswasser

Zur Reinigung der Produktionsgegenstände werden neben Wasser Reinigungs- und Desinfektionsmittel, wie Natronlauge und Salpetersäure, eingesetzt.

Einfluss auf Rückstände bzw. die Schmutzfracht hat die Produktbeschaffenheit. Stark erhöhte Schmutzfrachten können durch eine Multiplikation höherer Konzentrationen von viskoserer Produkten, wie Rahm, Sauermilchprodukte oder Eiscreme, auftreten, da diese dickere Rückstandfilme haben.

Neben dem Abwasser aus der Reinigung können auch andere hochkonzentrierte flüssige Reststoffe, wie z.B. Molke, anfallen. Diese Stoffe können zur Verfütterung verwendet werden oder finden Verwendung in z.B. Nahrungsmitteln oder der Hefefermentation. In manchen Fällen wird Molke auch als Abwasser mit aeroben, anaeroben oder Landbehandlungsverfahren behandelt.

### Abwasserbehandlung

Für Molkereiabwasser ist eine gute biologische Abbaubarkeit gegeben. Durch die schnelle biochemische Umsetzung der Laktose im Abwasser, ist eine schnellere BSB- Elimination als in häuslichem Abwasser vorhanden.

Zur Reinigung von Molkereiabwasser sind Pflanzenkläranlagen gut geeignet. Probleme können jedoch durch pH- Schwankungen, gelegentlichen Stickstoffmangel, starke Konzentrationsschwankungen und Blähschlamm Bildung entstehen. Der Gehalt an absetzbaren Stoffen ist im Vergleich zu häuslichem Abwasser höher, weswegen Molkereiabwasser-Schlämme ungünstigere Absetzeigenschaften im Vorklärbecken zeigen (STUHLBACHER et al., 2004).

## **3.6 Abwasserreinigung in Alpinen Lagen**

### **3.6.1 Allgemein**

Im Winter geht die Reinigungsleistung leicht zurück, da bei niedrigen Temperaturen die biologischen Prozesse im bewachsenen Bodenfilter langsamer ablaufen. Durch die niedrigen Temperaturen kann es durch das Einfrieren von Anlagenteilen zu Funktionsstörungen kommen.

Wird bei den Rohrleitungen beachtet, dass sich in frostgefährdenden Bereichen kein stehendes Wasser befindet und die Leitungen in frostfreier Tiefe verlegt werden, besteht keine Frostgefahr. Zudem tragen eine Schneedecke und Pflanzen zum Frostschutz bei (GELLER und HÖNER, 2003). Die Isolierung wirkt als Wärmeschutz der ungesättigten Oberflächenschicht (WITTGREN und MAEHLUM, 1997). Der Abbau der organischen Fracht ist auch bei niedrigen Temperaturen stabil. Stärker abhängig von der Temperatur ist die Nitrifikation, die im Winter zurückgeht (GELLER und HÖNER, 2003). Die Löslichkeit des sich im Wasser befindenden Sauerstoffs, der für die Oxidierung der organischen Fracht und der Stickstofftransformation wichtig ist, steigt mit abnehmender Temperatur (WITTGREN und MAEHLUM, 1997). Vertikalanlagen könnten den horizontal durchflossenen Anlagen gegenüber den Vorteil haben, dass sie eine höhere Sauerstoffverfügbarkeit durch die intermittierende Beschickung haben (Lemon et al., 1996; zit. bei WITTGREN und MAEHLUM, 1997).

### 3.6.2 Unterirdisch durchflossene Systeme

„Treatment Wetlands“ die in einer kalten Umgebung arbeiten, sehen sich einigen Designherausforderungen gegenüber gestellt. Bei Perioden unter dem Gefrierpunkt kann sich die Wassertemperatur nicht mehr der Umgebungstemperatur annähern und es entsteht eine Eisschicht. Die Formation einer Eisschicht reduziert die Tiefe der Wasserspalte und der Verweilzeit, außer der Wasserspiegel erhöht sich um die erwartete Dicke aufnehmen zu können. Die Eisdicke kann von Jahr zu Jahr aufgrund von Schwankungen von Schnee und Temperatur sehr unterschiedlich sein. Hauptfaktor ist die Isolierung durch die Schneedecke. Gebiete mit aufstrebenden Pflanzen sind effektiver bei der Ansammlung von Schnee als unbepflanzte Bereiche (KADLEC und WALLACE, 2009).

Um einen Schutz der Anlagen zu gewährleisten, gibt es einige Konstruktionsmöglichkeiten:

- Eine zusätzliche Isolierung die durch das Filterbeet oder abgestorbene Pflanzen unterstützt und so aus dem Wasser gehalten wird. Eine Möglichkeit wäre Mulch (Wallace et al., 2001; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009). Stroh kann verwendet werden um die abgestorbenen Pflanzen zu ergänzen.
- Abgesenkter Wasserspiegel um eine Schicht aus getrocknetem Substrat zu erhalten (Jenssen et al., 1994a; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009)
- Eisschicht auf dem trockenen Substrat. Das wird durch einen steigenden Wasserspiegel etwas oberhalb des Substrates zum Zeitpunkt des Gefrierens erreicht. Nachdem die Wasseroberfläche gefroren ist, unterschreitet der Wasserstand die Substratoberfläche und errichtet eine Trockensubstratlücke die durch Eis verschlossen ist (Jenssen et al., 1994a; Mæhlum, 1999; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009).
- Nutzung von Tiefbeeten die die Formation von Eis erlaubt und die Kapazität behält, Wasser unter dem Eis passieren zu lassen (Jenssen et al., 1996; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009).

Da die unterirdisch durchflossenen Systeme durch den Zusatz von trockenem Kies und einer Mulchschicht isoliert werden können, kann der Energiefluss modifiziert werden, um Eisformation zu verhindern (Henneck et al., 2001; Wallace et al., 2001; Kadlec, 2001b; Wallace und Knight, 2006; zit. bei KADLEC und WALLACE, 2009). Diese Schichten fügen einen Wärmeströmungswiderstand hinzu, welcher in natürlichen Feuchtgebieten vorkommt. Sie beinhalten abgestorbene Pflanzen, Streu und der gefallene Schnee in der alternden Vegetation. Diese natürlichen Isolierungseffekte können sehr wichtig sein und in der Tat auch eine der wichtigsten thermischen Funktionen der Vegetation während der Wintermonate (KADLEC und WALLACE, 2009).

Abbildung 3-7 zeigt den Querschnitt einer unterirdisch durchflossenen Anlage im Winter. Die unterste Schicht besteht aus Wasser und Kies, darauf folgt die Schicht mit trockenem Kies. Für die zusätzliche Isolierung befindet sich unter der Schneedecke eine Streu- oder Mulchlage.

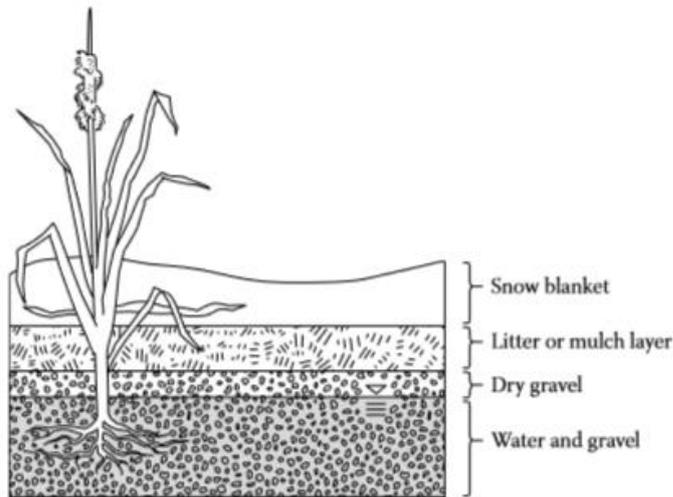


Abbildung 3-8: Querschnitt einer unterirdisch durchflossenen Anlage im Winter (Figure 4.28 aus KADLEC und WALLACE, 2009)

### 3.7 Rechtliche Grundlagen

Um einen reibungslosen Betrieb einer Pflanzenkläranlage zu ermöglichen und eine Schädigung der Fließgewässer zu vermeiden, gilt es sich während der Planung, dem Bau und Betrieb an einige Rahmenbedingungen und Normen zu halten.

Auf Bundesebene gelten die Vorschriften des Wasserrechtsgesetzes 1959 (WRG, 1959), welches sich um die Reinhaltung und Instandhaltung der Gewässer kümmert.

Die Abwässer einer Pflanzenkläranlage können entweder in eine Kanalisation oder in ein öffentliches Fließgewässer abgeleitet werden. Für die Definition eines öffentlichen Gewässers gilt § 2. (1) a) *„Öffentliche Gewässer sind die im Anhang A zu diesem Bundesgesetz namentlich aufgezählten Ströme, Flüsse, Bäche und Seen mit allen ihren Armen, Seitenkanälen und Verzweigungen“*.

Um eine Beeinträchtigung der Gewässer zu vermeiden, müssen alle Bauten und Maßnahmen dem Stand der Technik entsprechen. Dieser findet sich in § 12a. (1) und wird wie folgt definiert *„Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhender Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen“*.

Zudem gilt die Emissionsbegrenzung nach § 33b. (1) *„Bei der Bewilligung von Abwassereinleitungen in Gewässer oder in eine bewilligte Kanalisation hat die Behörde jedenfalls die nach dem Stand der Technik möglichen Auflagen zur Begrenzung von Frachten und Konzentrationen schädlicher Abwasserinhaltsstoffe vorzuschreiben“* (WRG, 1959).

Erlassen wurden auch eigene Verordnungen, die auf dem WRG 1959 beruhen. Die für die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen zuständige Verordnung ist die *Allgemeine Abwasseremissionsverordnung* (AAEV, 1996).

§ 1. (1) „Diese Verordnung gilt für die Einleitung von Abwasser, Mischwasser, Niederschlagswasser, mit welchem Schadstoffe von der Landoberfläche eines Einzugsgebietes in ein Gewässer abgeschwemmt werden, die überwiegend durch menschliche Tätigkeiten in diesem Einzugsgebiet entstanden sind“ (AAEV, 1996).

Zur AAEV gehört auch die Allgemeine Emissionsverordnung für Milchwirtschaft (AEV Milchwirtschaft, 1999), wie Tabelle 3-2 zeigt. Diese gibt die Richtwerte vor, an die sich Abwässer vor der Einleitung in ein Fließgewässer oder in eine Kanalisation halten müssen.

§1. (1) der AEV Milchwirtschaft besagt, dass „bei der wasserrechtlichen Bewilligung einer Einleitung von Abwasser aus Betrieben oder Anlagen gemäß Abs. 2 in ein Fließgewässer oder in eine öffentliche Kanalisation sind die in Anlage A festgelegten Emissionsbegrenzungen vorzuschreiben. Molke darf nicht in ein Fließgewässer oder eine öffentliche Kanalisation eingeleitet werden“.

(2) Abs. 1 gilt für Abwasser aus Betrieben oder Anlagen mit folgenden Tätigkeiten:

1. Erfassen, Lagern und/oder Umfüllen von Milch;
2. Be- und/oder Verarbeiten und Verpacken (Abfüllen) von Milch oder Milchprodukten (zB Konsum-, Mager-, Sauer-, Haltbar- oder Trockenmilch, Butter, Käse, Joghurt);
3. Weiterverarbeiten von bei der Milchbe- oder -verarbeitung anfallenden Nebenprodukten (zB Molke);
4. Reinigen von Abluft und wässrigen Kondensaten aus Tätigkeiten der Z 1 bis 3;
5. Reinigen von Betrieben oder Anlagen mit Tätigkeiten der Z 1 bis 4 einschließlich des Innenreinigens von Behältern für den An- und Abtransport von Milch oder Milchprodukten im Zuge der Tätigkeiten der Z 1 bis 3 (AEV Milchwirtschaft, 1999).

Tabelle 3-2: Emissionsbegrenzungen gemäß § 1 (Anlage A der AEV Milchwirtschaft, 1999)

		<b>Emissionsbegrenzungen gemäß § 1</b>	
		I) Anforderungen an Einleitungen in ein Fließgewässer	II) Anforderungen an Einleitungen in eine öffentliche Kanalisation
<b>A 1</b>	<b>Allgemeine Parameter</b>		
1.	Temperatur	30 °C	35 °C
2.	Absetzbare Stoffe b)	0,3 ml/l	a) 10 ml/l c)
3.	pH-Wert	6,5–8,5	6,0–10,5
<b>A 2</b>	<b>Anorganische Parameter</b>		
4.	Gesamtchlor ber. als Cl <sub>2</sub> d)	0,4 mg/l	0,4 mg/l
5.	Ammonium ber. als N e)	5,0 mg/l	f)
6.	Gesamter geb. Stickstoff TN <sub>5</sub> ber. als N g)	h)	–
7.	Phosphor – Gesamt ber. als P	2,0 mg/l	–
<b>A 3</b>	<b>Organische Parameter</b>		
8.	Gesamter org. geb. Kohlenstoff TOC ber. als C	25 mg/l	–
9.	Chemischer Sauer- stoffbedarf CSB ber. als O <sub>2</sub>	75 mg/l	–
10.	Biochemischer Sauer- stoffbedarf BSB <sub>5</sub> ber. als O <sub>2</sub>	20 mg/l	–
11.	Adsorbierbare org. geb. Halogene AOX ber. als Cl	0,1 mg/l	1,0 mg/l
12.	Direkt abscheidbare lipophile Leichtstoffe i)	10 mg/l	100 mg/l

## 4. Material und Methoden

### 4.1 Pflanzenkläranlage der Alpe Gamp

Die Pflanzenkläranlage befindet sich auf der Alpe Gamp, die auf 1564 Höhenmetern liegt. Die Alpe befindet sich im Bundesland Vorarlberg, gehört zur Gemeinde Nenzing- Beschling und liegt in der Nähe der Grenze zu Liechtenstein.

Die Anlage wurde 2013 erbaut und ist ein Pilotprojekt der Landesregierung Vorarlberg in Kooperation mit der Agrargemeinschaft Beschling. Verwendet wird die Anlage zur Reinigung der Abwässer der dort angesiedelten Sennerei. Die Sennerei ist ein Saisonbetrieb, der von Mai – Oktober betrieben wird. Danach wird die Anlage für den Winter „winterfest“ gemacht.

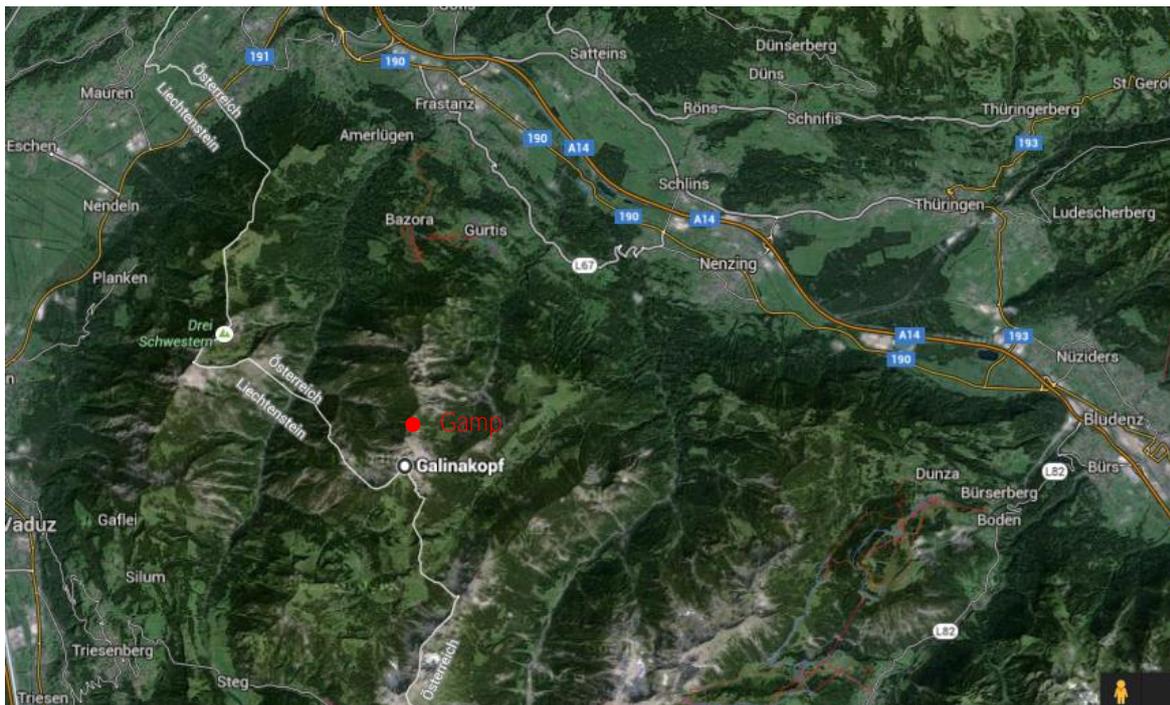


Abbildung 4-1: Alpe Gamp (©2015 www.googlemaps.com)

#### 4.1.1 Technische Daten

##### Allgemein

Nach dem Stand der Technik wird eine vollbiologische Reinigung mit einer mechanischen Vorreinigung der Abwässer verwendet. Als Vorreinigung dient eine 3- Kammer- Kläranlage.

##### Bemessung der Stofffracht

CSB <sub>5,Fracht</sub> =	120	[g/E.Tag]
BSB <sub>5,Fracht</sub> =	60	[g/E.Tag]
BSB <sub>5,Konzentration</sub>	300	[mg/l]

Tabelle 4-1: Bemessung der Stoffkonzentration (FISCHER und HERDA, 2013)

	l/Tag	BSB <sub>5</sub>		CSB	ergibt
		Konzentration	Summe	Summe	
		g/l	g/Tag	g/Tag	
Betten	800	0,3	240	480	4
Sitzplätze	600	0,3	180	360	3
Küche	500	0,3	150	300	2,5
Sennerei	3400	1,5	5100	10200	85
<b>Summen</b>	<b>5300</b>		<b>5670</b>	<b>11340</b>	<b>95</b>

Der auf der Basis 1 EW = 60g BSB<sub>5</sub>/ (E.Tag) errechnete Wert ergibt: **EW<sub>60</sub> = 95**.

**Bemessungszufluss  $Q_t = Q_h$  (häuslich) +  $Q_f$  (Fremdwasser)**

$Q_h = 5,3 \text{ m}^3 / \text{Tag}$

$Q_f = 5,3 \text{ m}^3 * 30\% = 1,6 \text{ m}^3 / \text{Tag}$

**$Q_t = 6,9 \text{ m}^3 / \text{Tag}$**

**Stündlicher Spitzenabfluss  $Q_{10} = 6,9 \text{ m}^3 / 10 = 690 \text{ l/h}$**

Das Abwasser setzt sich zusammen aus den Abwässern der Wäscherei in dem bestehenden Stallgebäude, der WC- Anlagen, der Verkaufsräumlichkeiten und Bewirtung im Hauptgebäude, sowie der angeschlossenen Sennerei.

Die gereinigten Abwässer werden südöstliche der Alpe in ein Tobel abgeführt. Das Tobel endet im Gampbach und schlussendlich in der Meng.

**Vorreinigung**

Die Vorreinigung besteht aus einer mechanischen Stufe. Verwendet wird dabei eine 3- Kammer-Kläranlage. Gemäß ÖNORM B 2505 muss der Nutzinhalt für Anlagen bis 50 EW<sub>60</sub> 0,25 m<sup>3</sup>/EW und für jeden weiteren EW mindestens 0,15 m<sup>3</sup> betragen.

*Nutzhalt 3- Kammer Kläranlage:*

$V = 50 \text{ EW} \times 0,25 \text{ m}^3 / \text{EW} + 45 \text{ EW} \times 0,15 \text{ m}^3 / \text{EW} = \mathbf{20,0 \text{ m}^3}$

*Mindestoberfläche 3- Kammer Kläranlage:*

$O_{\min} = 95 \text{ EW} \times 0,06 \text{ m}^2 / \text{EW} = 5,7 \text{ m}^2$

Die bestehende 3-Kammer-Kläranlage (V ca. 8,0 m<sup>3</sup>) an der nördlichen Seite des Hauptgebäudes wird weiterverwendet und kann in die projektierten Maßnahmen miteinbezogen werden.

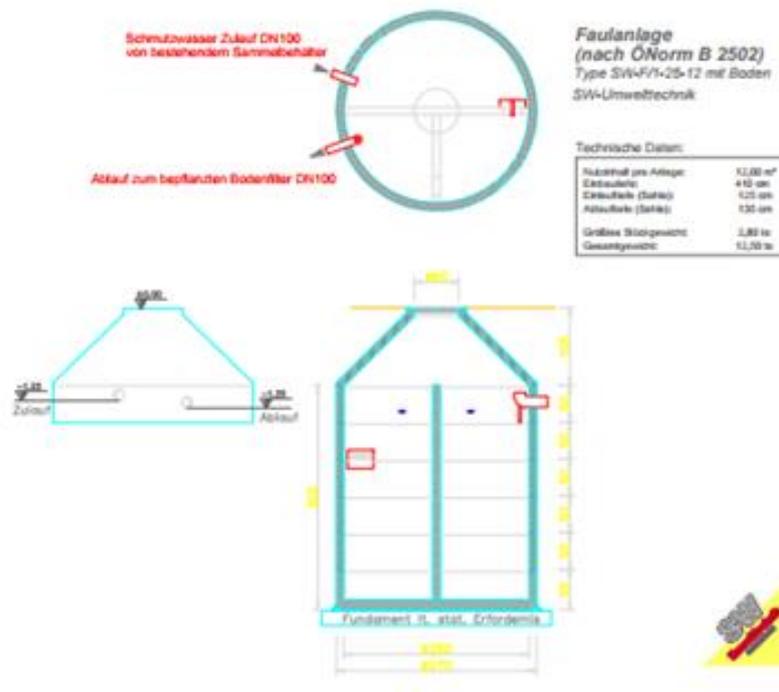


Abbildung 4-2: 3- Kammer- Kläranlage (FISCHER und HERDA, 2013)

Bei einer 3- Kammer- Kläranlage werden in der ersten Stufe die Feststoffe durch Sedimentation abgelagert. Das in einem ersten Schritt gereinigte Wasser gelangt in eine weitere Kammer und die Feststoffe werden wiederum sedimentiert. Wichtig für den Reinigungsgrad ist dabei die Verweildauer. Über einen Überlauf fließt das Wasser dann in eine Nachklärkammer von wo es schließlich abfließen oder abgepumpt werden kann. Somit gelangen keine Sedimente mehr in das geklärte Wasser (HERMANUS, 2016).

### **Biologische Stufe**

Die Pflanzenkläranlage ist nach einer ca. 110 m langen Ableitung südöstliche der Alpe situiert. Für die erforderliche Beetfläche gilt nach ÖNORM  $4 \text{ m}^2/\text{EW}$ :  $A = 95 \text{ EW} \times 4 \text{ m}^2/\text{EW} = 380 \text{ m}^2$   
Also Modell der zweistufigen Pflanzenkläranlage diente eine Anlage nach Langergraber et al. (2012, Abbildung 4-3).

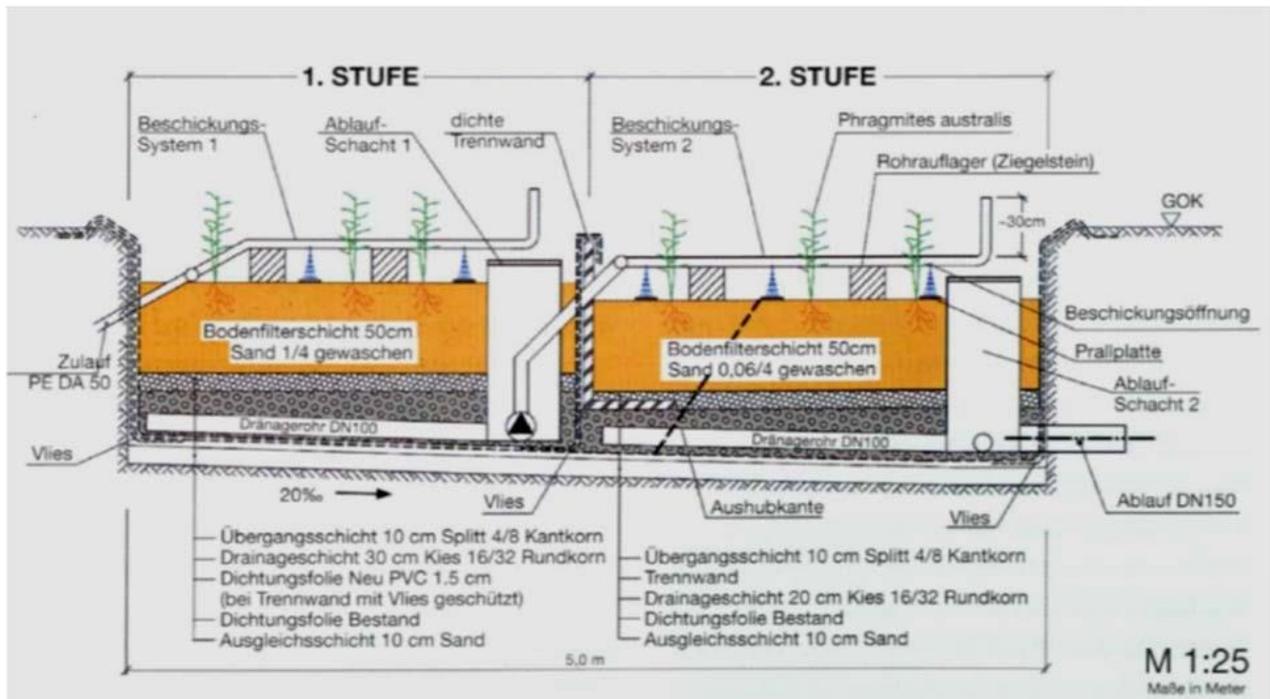


Abbildung 4-3: Aufbau einer zweistufigen Anlage (LANGERGRABER et al., 2012a)

1. Pflanzenfilterstufe:

Sand 1,0/ 4,0 mm (Alternativ: 2,0/ 3,22 mm), Drainageschicht eingestaut; Stickstoffentfernung

2. Pflanzenfilterstufe:

Sand 0,06/ 4,0 mm, Drainageschicht mit freiem Auslauf; Restnitrifikation des noch vorhandenen NH<sub>4</sub>-N und Entfernung der restlichen org. Verschmutzung

Die zweistufige Anlage führt zu einer verbesserten Stickstoffentfernung und einer niedrigeren Dimensionierung der Beetfläche auf 2 m<sup>2</sup>/ EW.

Erforderliche Beetfläche laut Langergraber et al. (2012):  $A = 95 \text{ EW} \times 2 \text{ m}^2/\text{EW} = 190 \text{ m}^2$

Aufgrund der unsicheren Ablaufbelastung der Sennerei erfolgte die Dimensionierung mit einem Sicherheitsfaktor von 1,05:

**Beetfläche  $A = 190 \text{ m}^2 \times 1,05 = 200 \text{ m}^2 (=2,1 \text{ EW}/ \text{m}^2)$**

**CSB Belastung:  $11340 \text{ g CSB}/ 200 \text{ m}^2 = 56,7 \text{ g CSB}/ \text{m}^2 \cdot \text{Tag}$**

**Hydraulische Belastung:  $6,9 \text{ m}^3/\text{d}/ 200 \text{ m}^2 = 35\text{l}/ \text{m}^2/\text{Tag}$**



Abbildung 4-4: Erste Pflanzenfilterstufe



Abbildung 4-5: Zweite Pflanzenfilterstufe

### **Beschickung und Beschickungshöhe**

Die Anlage wird regelmäßig mit 6 Intervallen pro Tag beschickt. Der Schwall-Beschickungsschacht für den Bodenfilter wird von der Vorklärung getrennt ausgeführt.

Ausgangslage:

$Q_d = 6,9 \text{ m}^3/\text{Tage}$

Beschickungsintervall:

$Q_{\text{Intervall}} = \text{ca. } 1,15 \text{ m}^3/\text{Beschickung}$

Beschickung erfolgt zuerst auf der 1. Stufe ( $100 \text{ m}^2$ ):

$Q_{\text{Beschickungshöhe}} = 1150 \text{ l} / 100 \text{ m}^2 = 11,5 \text{ l} / \text{m}^2$

Bepflanzt wurde die Anlage mit tiefwurzelnden Röhrichtgewächsen (z.B. Schilf), wobei 5 Pflanzen pro Quadratmeter vorgesehen wurden.

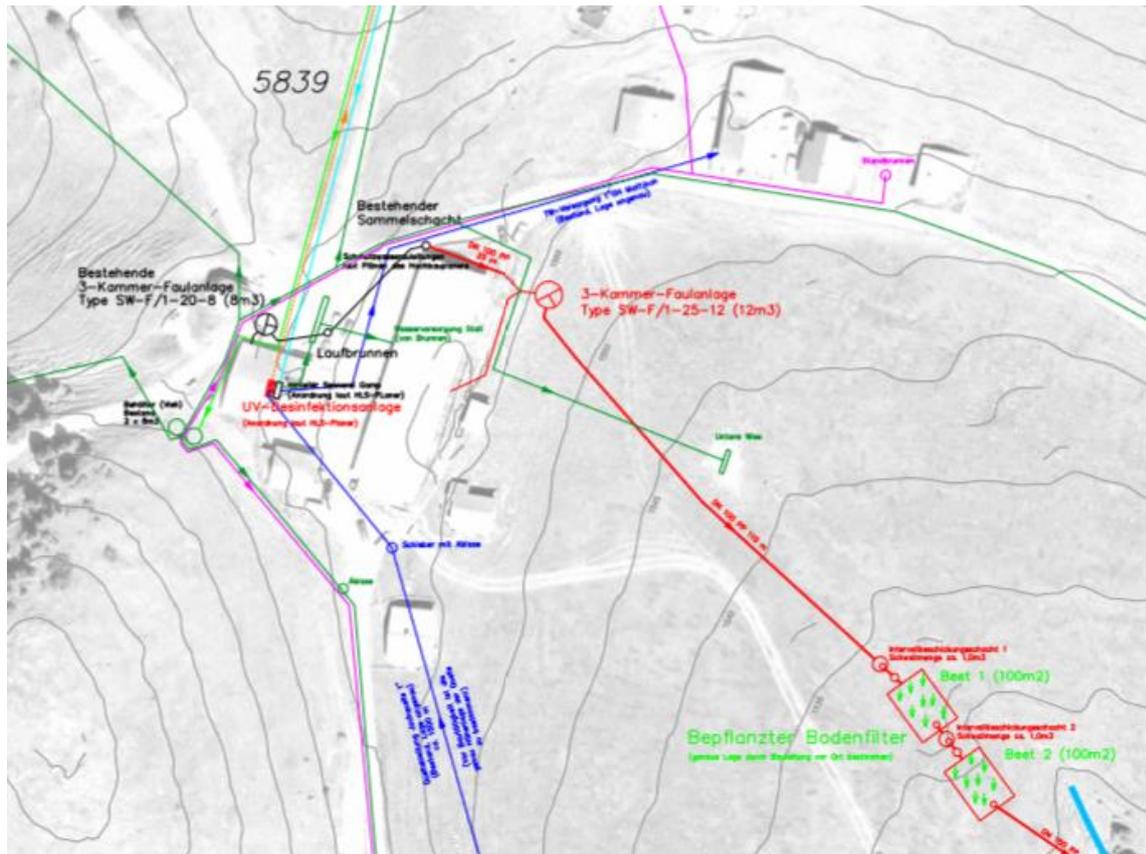


Abbildung 4-6: Lageplan der Pflanzenbeete (FISCHER und HERDA, 2013)

Die oben angeführte Abbildung zeigt die Lage der Anlage. Die bereits vor dem Beginn des Pilotprojektes bestehende 3- Kammer- Kläranlage befindet sich westlich des Gebäudes. Die rot eingefärbte Linie beschreibt die Fließrichtung des Wassers. Das Abwasser durchfließt östlich die neu konstruierte 3- Kammer- Kläranlage. Weiters wird das vorgereinigte Wasser Richtung Pflanzenbeete geleitet. Als erstes trifft es auf die 1. Pflanzenfilterstufe. Diese wird beschickt, das Wasser versickert und wird in weiterer Folge zur 2. Pflanzenfilterstufe geleitet. Diese wird wiederum beschickt und das Wasser gelangt durch den Ablauf in das Tobel.

### Wartung

Die ÖNORM B 2505 (2009) gibt untenstehendes zur Wartung vor, wird aber in der Betriebsanleitung genauer bearbeitet.

- Täglich: Betriebskontrolle (ob Anlage in Betrieb ist)
- Wöchentlich: z.B. Prüfung der Intervallbeschickung, Sichtkontrolle des Zu- und Ablaufs
- Monatlich: Kontrolle sämtlicher Anlagenteile auf die Funktionstüchtigkeit
- Pflanzenschnitt: Im Abstand von etwa 3 Jahren empfiehlt es sich, nach Saisonende die Pflanzen zu schneiden. Die Schnitthöhe der Pflanzen sollte etwa 25 cm über der Beetoberfläche liegen. Das Mähgut kann kompostiert

oder auch landwirtschaftlich verwertet werden. Eine sich zwischen den Mähperioden bildende Streuschicht kann belassen werden (FISCHER und HERDA, 2013).

## 4.2 Projektdurchführung

### 4.2.1 Probenahme

Die Probenahme fand an fünf Tagen im August 2015 statt. Aufgrund der Hauptabwasserspitzenzeiten wurde zwischen 10 und 11 Uhr beprobt. Vor Ort gemessen wurden dabei jeweils der pH- Wert, die Temperatur und die Leitfähigkeit des Abwassers. Pro Probenahmestelle wurde eine qualifizierte Mischprobe gezogen. D.h., dass jede Minute eine Probe genommen wurde, aufgeteilt auf 15 Minuten.

Tabelle 4-2: Probenahmeplan

Tag	Uhrzeit	Parameter
19. August 2015	10:30	pH, Temperatur, Leitfähigkeit
20. August 2015	11:00	pH, Temperatur, Leitfähigkeit
26. August 2015	11:00	pH, Temperatur, Leitfähigkeit
27. August 2015	11:15	pH, Temperatur, Leitfähigkeit
28. August 2015	10:45	pH, Temperatur, Leitfähigkeit

### Probenahme

Die erste Probenahmestelle war der Zulaufschacht der mechanischen Stufe (Abbildung 4-7). Ziel war es, die Zulaufkonzentrationen zu Beginn zu erhalten, um mit den Ablaufkonzentrationen die Reinigungsleistung der Anlage zu ermitteln.



Abbildung 4-7: Zulaufschacht

Durch den Zulaufschacht wird das erste Pflanzenbeet beschickt. Das Wasser versickert und wird über ein Drainagerohr dem zweiten Pflanzenbeet zugeführt. Die zweite Messstelle (Abbildung 4-8) lag deswegen genau zwischen den Beeten und war ebenso ein Schacht. Die letzte Probenahmestelle war der Ablaufschacht (Abbildung 4-9). Dieser wurde beprobt, um die Endkonzentrationen zu erhalten.



Abbildung 4-8: 1. Pflanzenfilterstufe



Abbildung 4-9: 2. Pflanzenfilterstufe (Ablauf)

### Messgeräte

Die Abbildung 4-10 zeigt die verwendeten Messgeräte vor Ort. Für die Probenahme wurden ein Handschöpfgerät und zur Öffnung der Kanaldeckel ein Metallhaken verwendet. Pro Probenahmestelle wurde ein Kunststoffgefäß vorgehsehen. Für den pH-Wert wurden Indikatorstreifen herangezogen (Abbildung 4-11). Diese wurden in die Probe gehalten und mit den auf der Packung vorhandenen Farbkonstellationen abgeglichen und bestimmt. Die elektrische Leitfähigkeit (LF) und Temperatur wurden mittels eines WTW Cond 3110 Messgerätes gemessen (Abbildung 4-12). Dabei wurde die Sonde des Gerätes direkt in den Kanal der beprobten Stufe geführt (Abbildung 4-13).



Abbildung 4-10: : Messgeräte vor Ort



Abbildung 4-11: Indikatorstreifen



Abbildung 4-12: Leitfähigkeitsmessgerät



Abbildung 4-13: Messung der Leitfähigkeit

#### 4.2.2 Laboranalysen

Die gezogenen Proben wurden nach der Messung für die Analyse in das Umweltinstitut des Landes Vorarlberg transportiert. War dies nicht sofort möglich, wurden sie über Nacht bei ungefähr 3°C gelagert. Aufgrund der Urlaubssaison konnte die Laboranalyse nicht sofort erfolgen, weswegen die Proben tiefgefroren wurden.

Die Analyse fand am 14. und 15. September 2015 im Umweltinstitut des Landes Vorarlberg statt. Tabelle 4-3 zeigt die verwendeten Parameter und die selbstanalysierten Proben, sowie die zugehörige ÖNORM oder DIN.

Tabelle 4-3: Gemessene Parameter und die zugehörige ÖNORM/ DIN des Verfahrens, sowie die selbstanalyzierten Parameter

Parameter	ÖNORM/ DIN	Selbstanalyzierte Parameter
Abfiltrierbare Stoffe	DIN 38409	Nein
BSB <sub>5</sub>	DIN EN 1899-1/ 2	Nein
CSB	ÖNORM M 6265 DIN 38409	Nein
Ammoniumstickstoff	DIN 38406-5	Nein
Gesamtstickstoff	DIN 38409-H27	Nein
Nitratstickstoff	DIN EN ISO 10304-1	Nein
Gesamtphosphor	DIN EN 1189	Ja
Chlorid, Sulfat	DIN EN ISO 10304-1	Nein
Kupfer, Chrom, Zink	DIN EN ISO 11885	Nein
Lipophile Fetter	DIN 38409 – H17	Ja

Bis auf die Proben für Ammonium und den Gesamtstickstoff wurden die Bestimmungsverfahren nach der SOP angewendet. Die SOP (Standard Operating Procedure) ist ein Einheitsverfahren zur Bestimmung von Wasser- und Abwasserwerten. So beschreibt sie z.B. den Anwendungsbereich, Störungen, Grundlage des Verfahrens, Geräte die verwendet werden oder Warn- und Sicherheitshinweise. Um ein Beispiel zu nennen, wird die SOP für den Gesamtphosphor beschrieben.

### **SOP – Gesamtphosphor**

#### **1. Anwendungsbereich**

Dieses Verfahren ist auf alle Wasser- und Abwasserarten anwendbar. Ohne Verdünnung der Proben können Phosphorkonzentrationen im Bereich von 0,08 mg/l bis 0,8 mg/l bestimmt werden. Bei höheren Konzentrationen müssen die Proben verdünnt werden. Anmerkung: Kläranlagenzuläufe werden 1:2 und Kläranlagenabläufe 1:5 verdünnt.

#### **2. Störungen**

#### **3. Definitionen**

Unter dem Gesamtphosphor versteht man alle Phosphorverbindungen die sich, mittels Aufschluss mit Persulfat, zu Orthophosphat-Ionen aufschließen lassen.

#### 4. Grundlage des Verfahrens

Diese SOP bezieht sich auf die Norm „DIN EN 1189“

Reaktionen der Orthophosphat-Ionen in saurer Lösung mit Molybdat- und Antimon-Ionen unter Bildung eines Antimon-Phosphormolybdat-Komplexes. Reduktion des Komplexes mit Ascorbinsäure zu einem stark gefärbten Molybdänblau-Komplex. Messung der Extinktion dieses zur Konzentrationsbestimmung des vorhandenen Orthophosphats.

#### 5. Reagenzien und Materialien

Für die Analyse sind nur Chemikalien des Reinheitsgrades „zur Analyse“ und deionisiertes Wasser mit einer Phosphorkonzentration, die im Vergleich zur niedrigsten zu bestimmenden Konzentration vernachlässigbar klein ist, zu verwenden.

#### 6. Prüfmittel und Laborgeräte

- Analysenwaage, Ablesbarkeit 0,1 mg
- Borosilicatschalen, 100 ml, z.B. Durangläser mit Gewinde und blauer Kappe. Graduiert mit konischen Schultern. Kappe mit Ausgießring, sterilisierbar bis 140°C.
- Kolbenhubpipetten mit variablen Volumen, z.B. Gilson Pipetman P5000 für 5 ml, Gilson Pipetman P10 ml passende Pipettenspitze, Eppendorf Multipipette plus 10 ml
- Dispenser variable 10-50 ml, z.B. Walu Genius und 1-5 ml Eppendorf varispenser plus
- Certoclav Typ CV II/16003 bar 140°C
- Ultraturrax 20000 U/min
- Andere, übliche Laborgeräte wie Spritzflaschen, Laborgläser etc.

#### 7. Warn- und Sicherheitshinweise, Entsorgung

ACHTUNG: Bei der Durchführung dieser Methode werden konzentrierte Lösungen von Schwefelsäure benötigt. Schutzbekleidung, Schutzhandschuhe und Augenschutz muss benutzt werden. Verschüttete Reagenzien werden am besten mit viel Wasser abgeschwemmt.

#### 8. Probenahme, Konservierung und Probenvorbereitung

- Probenahme

Die Laborproben in Polyethylen- oder Glasflaschen nehmen. Bei geringen Phosphatkonzentrationen Glasflaschen verwenden. Keine besonderen Vorkehrungen notwendig, da sich Gesamtphosphor nicht verändert.

- Probenvorbereitung

Die Probe mit dem Ultraturrax bei 2000 U/ min eine Minute homogenisieren.



Abbildung 4-14: Probenvorbereitung

### 9. Durchführung

- Analysenprobe

Ein Analysenprobenvolumen von höchstens 40 ml entnehmen. Dieses maximale Volumen ist geeignet für die Bestimmung von Orthophosphatkonzentrationen bis  $P = 0,8 \text{ mg/l}$ , wenn eine Küvette mit einer optischen Weglänge von 10 mm verwendet wird. Für höhere Phosphatkonzentrationen entsprechend kleine Analysenvolumina einsetzen. Bis zu 40 ml der Wasserprobe in die Borosilikatflaschen pipettieren. Wenn nötig mit Wasser auf 40 ml verdünnen. Mit 4 ml Kaliumperoxdisulfatlösung versetzen. Gläser verschließen und im Autoklaven 60 min bei  $115^\circ\text{C}$ - $120^\circ\text{C}$  aufschließen.

**Wichtig:** In den Certoklav sind  $0,5 \text{ l H}_2\text{O dest.}$  zuzugeben. Die 60 min Aufschlusszeit sind erst ab dem Zeitpunkt zu rechnen, wenn der Druck und die Temperatur erreicht sind. Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur muss der Aufschluss klar und farblos sein. Wenn das nicht der Fall ist, muss eine andere Verdünnung gemacht und nochmals aufgeschlossen werden.

- Blindwertbestimmung

Parallel mit der Bestimmung eine Blindwertbestimmung nach dem gleichen Verfahren durchführen, wobei dieselben Mengen aller Reagenzien wie bei der Bestimmung einem entsprechenden Volumen Wasser anstelle der Analysenprobe zugesetzt werden.

- Bildung des Farbstoffes

Jeder aufgeschlossenen Analysenprobe und dem Blindwert 1 ml Ascorbinsäure und nach 30 Sek. 2 ml saure Molybdatlösung II zufügen und anschließend mit 3 ml Wasser auf 50 ml auffüllen und gut mischen. Nach einer Reaktionszeit von 10 Min., spätestens 30 Min. messen.

#### **Photometrische Messung:**

**Wichtig:** das Photometer ist zur Stabilisierung mindestens 30 Min. vor Beginn der Messung einzuschalten und die Wellenlänge, bei der gemessen wird, einzustellen!

- Frühestens nach 10 Min. spätestens nach 30 Min., Extinktion bei  $880 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  in einer Durchfluss-Küvette von 1 cm Schichtdicke gegen Wasser messen, d.h. mit deionisiertem Wasser wird der „Nullabgleich“ gemacht. Hierbei wird aus einem entsprechenden Gefäß mittels „Handscharter“ am Photometer so lange Milli-Q-Wasser durch die Küvette gesaugt, bis das am Bildschirm angezeigte Signal für die Absorption stabil bleibt. In der Software wird das Icon für „Autozero“ angeklickt. Gerät ist messbereit für die Analyse
- Proben werden mittels Handscharter gemessen.

- Die Reihenfolge der gemessenen Proben ist immer:
  - 1. Messung des Blindwertes
  - 2. Kontroll-Standard
  - 3. Proben

Für jedes angewandte Verfahren, für jedes Photometer und für jede Schichtdicke einer Küvette muss eine Kalibrierfunktion ermittelt werden (SOP, s.a.).

### 4.2.3 Statistische Datenauswertung

Zur statistischen Auswertung diente das MS Excel®. Berechnet wurden der Mittelwert, die Standardabweichung, der Median und das Konfidenzintervall sowie der größte und kleinste Wert. Auf Basis dieser Daten wurden die Graphiken erstellt. Für den Vergleich der Ablaufkonzentrationen und der Reinigungsleistungen wurde der jeweilige Medianwert herangezogen. Um die Berechnung und Nachvollziehbarkeit zu erleichtern, wurden alle Werte die kleiner 1 waren, mit 1 gerechnet. Dies betrifft hauptsächlich die Nitrat- Werte des Zulaufs und der ersten Pflanzenfilterstufe. Zudem werden für eine bessere Übersicht nur die Werte der wichtigsten Summenparameter der Abwasserbewertung sowie der pH- Wert, die Leitfähigkeit und die Temperatur dargestellt. Im Anhang befinden sich die Tabellen mit den originalen Daten.

### 4.2.4 Evaluierung der Betriebsanleitung

Die bestehende Anlage wurde nach dem Erhalt und der Bewertung der Ergebnisse evaluiert, um zu ermitteln, ob sie passend für die Anlage ist. Die jährlich wechselnden Senner waren dabei auch zu bedenken. Als Hilfsmittel dienten die bisherigen Erkenntnisse und das Buch „Abwasserreinigung mit Pflanzen“ von Walter Lack. Zu finden ist der Vorschlag für eine überarbeitete Betriebsanleitung im Anhang auf Seite 52.

## 5. Ergebnisse

Um eine optimale Einschätzung des Reinigungswirkungsgrades zu gewährleisten, wurden die jeweiligen Stufen an fünf Tagen beprobt (Kapitel 4). Am wichtigsten dabei sind der Ablauf der mechanischen Stufe und der Ablauf der 2. Pflanzenfilterstufe, da daran gemessen werden kann, wie hoch der Anteil der Schmutzfracht ist und wieviel von den Pflanzenbeeten abgebaut wird. Die Anzahl der Proben richtet sich nach den fünf Probenahmetagen, bis auf den Wert des BSB<sub>5</sub>, für den nur eine Probe vorhanden ist.

### Ablauf Mechanische Stufe

Die Tabellen 5-1 und 5-2 zeigen die statistischen Ablaufkonzentrationen der mechanischen Stufe, die im August 2015 gemessen wurden. Anhand dieser Werte lässt sich erkennen, wie hoch die Anfangsbelastung des Wassers ist.

Tabelle 5-1: Vorort gemessene Parameter (Ablauf mechanische Stufe)

Parameter Einheit	pH -	Temp C°	LF µS/cm
Anzahl der Proben	5	5	5
Mittelwert	6,6	14,9	802
Median	6,5	14,7	603
Standardabweichung	0,4	0,4	46
95% Konfidenzintervall	0,4	0,4	40
Maximum	7,0	15,4	646
Minimum	6,0	14,5	518

Tabelle 5-2: Ablaufkonzentrationen mechanische Stufe in mg/l

	CSB	BSB <sub>5</sub>	TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	Pges
Anzahl der Proben	5	1	5	5	5 *	5	5
Mittelwert	421	216	28,2	6,6	<0,1	24,0	4,0
Median	415	216	26,0	7,0	<0,1	19,0	3,3
Standardabweichung	144	-	7,8	3,3	<0,1	5,3	1,1
95% Konfidenzintervall	126	-	7,0	6,1	<0,1	4,4	0,9
Maximum	662	216	41,0	11,0	<0,1	29,0	6,0
Minimum	228	216	21,0	1,0	<0,1	14,0	3,0

\* Alle Werte liegen unter dem Bestimmungswert (0,1 mg NO<sub>3</sub>-N/l)

### Ablauf 1. Pflanzenfilterstufe

Die Tabellen 5-3 und 5-4 beziehen sich auf die Ablaufkonzentrationen der 1. Pflanzenfilterstufe. Wenn diese Werte mit den Werten der mechanischen Stufen verglichen werden, kann man erkennen, dass bei den Summenparametern großteils schon ein guter Wirkungsgrad vorhanden

ist. Der Median der CSB Konzentration verringerte sich somit z.B. von 415 mg/l auf 84 mg/l. Die Konzentrationen des Gesamtstickstoffs jedoch blieben annähernd gleich (Verringerung von 26 mg/l auf 27 mg/l).

Tabelle 5-3: Vorort gemessene Parameter (Ablauf 1. Pflanzenfilterstufe)

Parameter Einheit	pH -	Temp C°	LF µS/cm
<b>Anzahl der Proben</b>	5	5	5
<b>Mittelwert</b>	6,8	13,9	690
<b>Median</b>	6,5	14	692
<b>Standardabweichung</b>	0,4	0,5	52
<b>95% Konfidenzintervall</b>	0,4	0,4	45,6
<b>Maximum</b>	7,5	14,6	761
<b>Minimum</b>	6,5	13,1	616

Tabelle 5-4: Ablaufkonzentration 1. Pflanzenfilterstufe in mg/l

	CSB	BSB <sub>5</sub>	TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	Pges
<b>Anzahl der Proben</b>	5	1	5	5	5 *	5	5
<b>Mittelwert</b>	97	93	26,8	15,0	<0,1	10,8	5,0
<b>Median</b>	84	93	27,0	15,0	<0,1	11,0	5,0
<b>Standardabweichung</b>	29	-	0,8	1,9	<0,1	1,5	0,8
<b>95% Konfidenzintervall</b>	25	-	0,9	1,8	<0,1	0,9	0,9
<b>Maximum</b>	149	93	28,0	18,0	<0,1	12,0	6,0
<b>Minimum</b>	72	93	26,0	13,0	<0,1	8,0	5,0

\* Alle Werte liegen unter dem Bestimmungswert (0,1 mg NO<sub>3</sub>-N/l)

## **Ablauf 2. Pflanzenfilterstufe**

Die Tabellen 5-5 und 5-6 geben die statistischen Kennwerte der Ablaufkonzentrationen der 2. Pflanzenfilterstufe an. Diese Werte sind unerlässlich, da sie, wie oben schon beschrieben, zeigen, wie gut die Abwasserinhaltsstoffe abgebaut werden.

Wird die mechanische Stufe mit der 2. Pflanzenfilterstufe verglichen (sh. Tabelle 5-2 und 5-6), kann man einen guten Reinigungsgrad aller Werte, bis auf jene für Ammonium- N und Phosphor- P, erkennen. Diese liegen über den zulässigen Werten der AEU Milchverordnung zur Einleitung in ein Fließgewässer (vgl. Tabelle 3-2). Auch zeigt Nitrat erhöhte Werte, die aber durch die Nitrifikation, die Umwandlung von Ammonium in Nitrat, erwünscht sind. Zudem gibt das Konfidenzintervall an, dass zu 95% die Werte bei erneuten Messungen im Bereich zwischen 8,8 und 5,2 bzw. 5,8 und 2,3 liegen würden, was immer noch zu hoch wäre.

Tabelle 5-5: Vorort gemessene Parameter (Ablauf 2. Pflanzenfilterstufe)

Parameter	pH	Temp	LF
Einheit	-	C°	µS/cm
Anzahl der Proben	5	5	5
Mittelwert	7	13,4	802
Median	7	13,3	745
Standardabweichung	0,5	0,1	118
95% Konfidenzintervall	0,4	0,1	103
Maximum	7,5	13,6	1009
Minimum	6,0	13,2	686

Tabelle 5-6: Ablaufkonzentrationen 2. Pflanzenfilterstufe in mg/l

	CSB	BSB <sub>5</sub>	TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	N <sub>org</sub>	Pges
Anzahl der Proben	5	1	5	5	5	5	5
Mittelwert	20	17	25,8	6,6	13,0	6,2	3,6
Median	20	17	21,0	7,0	10,0	8,0	4,0
Standardabweichung	6	-	10,5	2,1	10,2	9,5	1,9
95% Konfidenzintervall	5	-	9,6	1,8	8,8	8,8	1,8
Maximum	30	17	46,0	9,0	25,0	18,0	6
Minimum	13	17	18,0	3,0	1,0	-11,0	1

Abbildung 5-1 zeigt den Reinigungsverlauf des CSBs. Es lässt sich eine schöne Reduktion der organischen Fracht erkennen. Von den anfangs 415 mg/l gibt es schon einen großen Reinigungsgrad in der 1. Pflanzenfilterstufe und nochmals eine Reduktion des Wertes auf 20 mg/l in der 2. Pflanzenfilterstufe. Dazu unterscheiden sich die Werte der Stickstoffverbindungen (Abbildung 5-2). Aufgrund des fehlenden Sauerstoffs ergeben sich anaerobe Bedingungen in der 1. Filterstufe, was zu einer Transformation des organischen Stickstoffs zu Ammonium führt, weswegen die Werte für Ammonium-N steigen und für Nitrat-N gleich bleiben. Keine Reinigungsleistung sehen wir deswegen auch beim Gesamtstickstoff. In der 2. Pflanzenfilterstufe kommt es aufgrund des eingetragenen Sauerstoffes wieder zu einer Nitrifikation, weswegen sich die Werte für von Ammonium von 15 mg/l auf 7 mg/l verringern und die Nitratwerte auf 10 mg/l steigen. Ebenso wenig konnte für Phosphor ein Reinigungswirkungsgrad ermittelt werden.

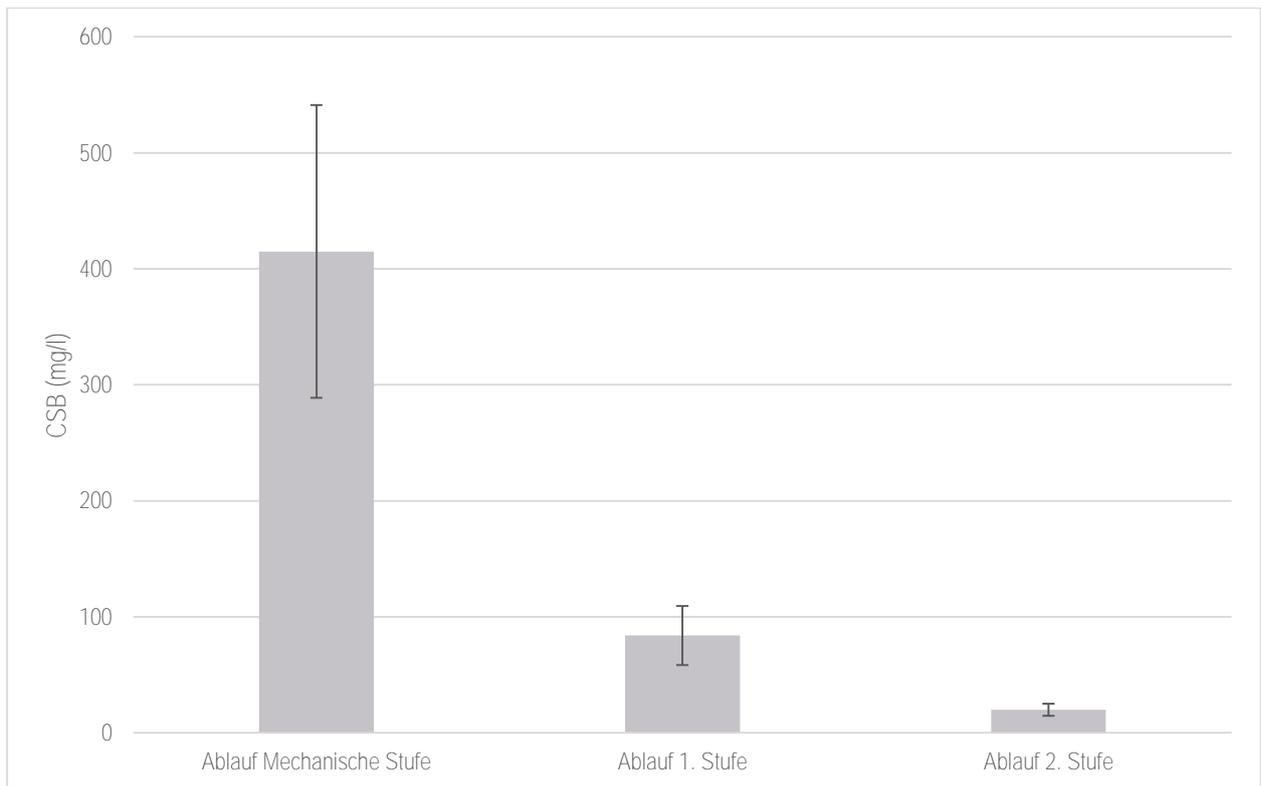


Abbildung 5-1: Median  $\pm$  Konfidenzintervall für CSB im Ablauf der mechanischen Stufe, 1. und 2. Pflanzenfilterstufe

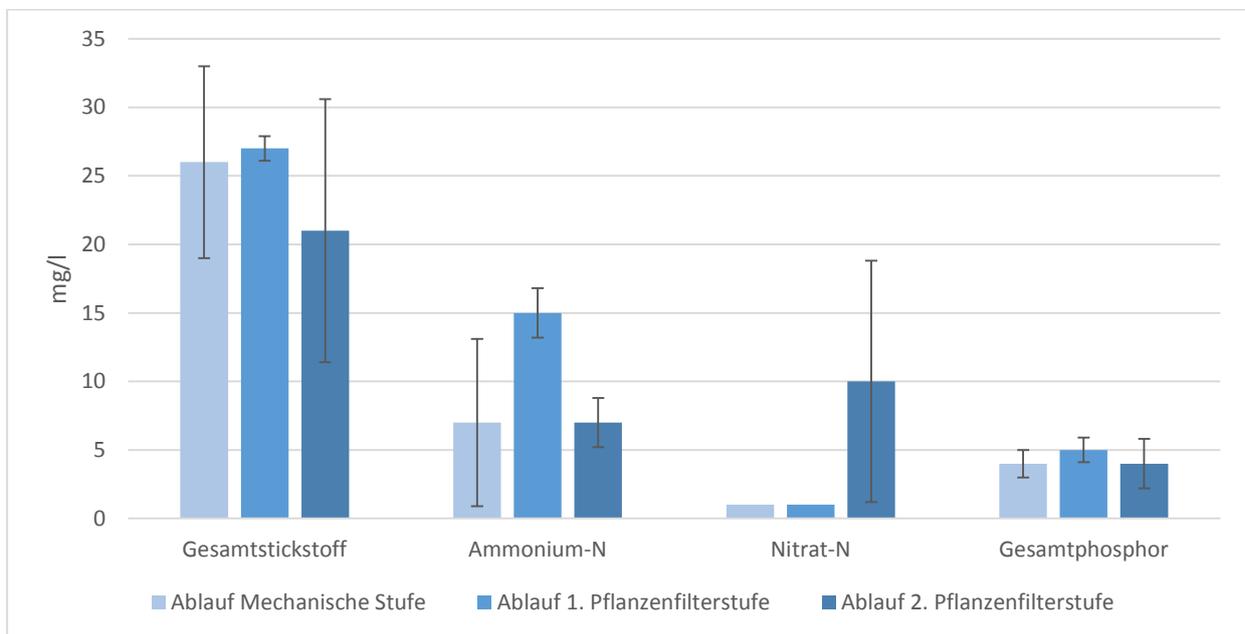


Abbildung 5-2: Median  $\pm$  Konfidenzintervall für die Parameter TN, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und Pges im Ablauf der mechanischen Stufe, 1. und 2. Pflanzenfilterstufe

## 6. Interpretation und Diskussion

### 6.1 Bepflanzte Bodenfilter

Pflanzenkläranlagen sind eine gute Alternative zu kostspieligen Abwasserreinigungsverfahren, da sie sich gut an Schmutzfrachtschwankungen anpassen und nur eine geringe, nicht spezialisierte Wartung erfordern (BRESCIANI et al., 2013). Zudem haben sie eine hohe Pufferkapazität für Schwankungen von hydraulischen und organischen Schmutzfrachten, sowie eine hohe Robustheit und Prozessstabilität (LANGERGRABER et al., 2012b).

Für die sekundär Behandlung häuslicher und urbaner Abwässer haben sich die zum Untergrund durchströmten Systeme am besten etabliert, da sie sich einfach in urbane Gebiete einfügen und weniger Oberfläche benötigen. Systeme mit freier Wasseroberfläche eignen sich überwiegend in bestehenden Kläranlagen zur tertiären Behandlung (BRESCIANI et al., 2013).

Bepflanzte Bodenfilter bieten eine Anzahl an Vorteilen:

- Bei richtiger Planung und ordnungsgemäßen Betrieb kann der biologische Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe ganzjährig erreicht werden.
- Eine Senkung der Baukosten ist durch Eigenleistung möglich.
- Durch die richtige Wartung ist langfristig ein sicherer Betrieb möglich.
- Ein Stromanschluss kann bei horizontal durchströmten Bodenfiltern entfallen. Hanglagen können für eine hydraulisch gleichmäßige Beschickung sichergestellt werden.

Aber auch Nachteile:

- Die Leistung ist wenig steuerbar.
- Der Rückhalt von Phosphor nimmt im Bodenfilter im Laufe der Betriebsjahre ab.
- Um eine Kolmation des Bodenmaterials zu vermeiden, ist eine leistungsstarke Vorbehandlung notwendig (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Um die richtige Art für den Bau einer Pflanzenkläranlage zu wählen, müssen die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Bautypen (Tabelle 6-1) gegeneinander abgewogen werden.

Tabelle 6-1: Vor- und Nachteile vertikal und horizontal durchflossener bepflanzter Bodenfiltersysteme (LUDERITZ et al., 2001)

	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Vertikales System</b>	Geringer Platzbedarf Gute Sauerstoffversorgung; gute Nitrifikation hohe Reinigungsleistung von Anfang an	Kurze Fließwege Schlechte Denitrifikation Leistungsverlust vor allem bei der Phosphorentfernung
<b>Horizontales System</b>	Lange Fließwege sind möglich, Nährstoffgradienten können etabliert werden Nitrifikation und Denitrifikation sind möglich Bildung von Huminsäuren zur Stickstoff- und Phosphorentfernung	Höherer Platzbedarf Sorgfältige Berechnung der Hydraulik sind notwendig, um eine optimale Sauerstoffversorgung zu gewährleisten

Durch die Kombination der beiden Systeme, als Hybridsystem, könnten ebenso gemeinsame Vorteile gezogen werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Untersuchungen zeigten, dass sich vertikal durchflossene Systeme mit zwei Pflanzenfilterstufen besonders für die Stickstoffentfernung eignen, die im Vergleich zu Hybridanlagen höher ist und eine Stickstoffentfernung von über 70% ohne Rezirkulation erreichen. Zudem sind die Ammoniumwerte sehr gering. Auch haben die Anlagen eine hohe Pufferkapazität bei der Abwasserbehandlung, wenn hydraulische Spitzenzeiten auftreten (LANGERGRABER et al., 2014).

Denkbar wäre auch ein Bodenfilter ohne Vegetation, jedoch ist für einen langfristig problemfreien Betrieb der Anlage eine Bepflanzung unumgänglich.

- Die Durchwurzelung stärkt die Aufrechterhaltung der Infiltrationsfähigkeit und sorgt für Sauerstoffversorgung der unteren Filterbereiche.
- Im Wurzelbereich finden sich optimale Bedingungen für eine hohe Bakteriendichte.
- Unkrautbewuchs wird durch eine Beschattung durch hohes Schilf verhindert.
- Eine Isolierschicht wird durch absterbende Pflanzenteile am Ende der Vegetationsperiode gebildet (Lack, 2006).

In kalten Regionen nimmt die Reinigungsleistung der bepflanzten Bodenfilter ab. Es verlangsamt sich durch die niedrigen Temperaturen auch die Reaktionszeit biologischer Systeme, so auch der Mikroorganismen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008). Genauso wie GELLER und HÖNER (2003) oder WITTGREN und MAEHLUM (1997) beschreiben WISSING und HOFMANN (2002) einen gleichbleibenden Abbau der organischen Fracht, da die Wirkungsgrade des CSB- und BSB<sub>5</sub>-Abbaus kaum nachlassen. Abhängig von der Wassertemperatur sind jedoch die mikrobiellen Vorgänge wie die Nitrifikation. Deutlich schwindende Leistungen sind deswegen für den Ammonium- und Phosphatabbau zu erwarten. Die Produktivität der Pflanzen ist in der kalten und lichtarmen Jahreszeit ebenfalls reduziert, wird aber bei keiner Art vollständig eingestellt. Reservestoffe, die im Sommer in den Rhizomen gespeichert wurden, liefern Energie für die sich vorwiegend unterirdisch abspielende Winter- Lebenstätigkeit der Pflanzen. Im normalen Winterbetrieb müssen keine speziellen Maßnahmen getroffen werden (WISSING und

HOFMANN, 2002). Wie KADLEC und WALLACE (2009) schon beschrieben haben, erwähnen auch WISSING und HOFMANN (2002), dass in Lagen mit sehr kalten Temperaturen ein zu Beginn der Frostperiode überstautes Becken gebildet werden kann, welches eine stabile Eisschicht bildet. Unter dieser Eisschicht bildet sich beim Ablassen des Wasserstandes eine isolierende Luftblase. Auch können Pflanzenkläranlagen so konstruiert werden, dass der Ein- und Auslauf frostsicher liegen kann (WISSING und HOFMANN, 2002).

## 6.2 Anlagenbewertung

Im Gegensatz zu horizontal durchflossenen Bodenfiltern sind vertikal durchflossene Bodenfilter dafür bekannt, dass durch die Intervallbeschickung weitgehend oxische Bedingungen im Porenvolumen realisierbar sind (KUSCHK et al., 2008). Indiz dafür ist ein guter Abbau der organischen Fracht meist schon in den oberen 20 bis 40 cm der Filterlagen (WISSING und HOFMANN, 2002) und eine gute Nitrifikation mit geringen Ablaufwerten für Ammonium. Bei der Auswertung der Daten wurde ersichtlich, dass die besten Ergebnisse bei der Entfernung von BSB<sub>5</sub> und CSB erzielt werden konnten. Verglichen mit KERN (1997) konnte hier genauso eine optimale Gesamtreinigungsleistung von über 90% bzw. eine Reinigungsleistung von über 75% für die jeweils einzelnen Pflanzenfilterstufen erzielt werden (Tabelle 6-2 und 6-3). Zu wünschen übrig lassen aber die Ergebnisse bei der Entfernung des Ammonium- Stickstoffs, bei denen mit 7,0 mg/l als Anfangs- und Endwert kein Abbau festgestellt werden konnte (Tabelle 6-4 und 6-5). Von guten Ergebnissen bei vertikal durchflossenen Anlagen erzählen beispielsweise VYMAZAL (2007) oder HARADA et al. (2015), die in ihren Berichten eine Reinigungsleistung von 84,2% bzw. durchschnittlich 80% für Ammonium angeben. Wenn die Pflanzenfilterstufen einzeln betrachtet werden, lässt sich jedoch bei der 2. Pflanzenfilterstufe auch ein Reinigungswirkungsgrad von über 50% feststellen.

Über zweistufig konstruierte Pflanzenbeete gibt es zahlreiche Berichte und Erfahrungswerte, die sich meistens jedoch auf Hybridsysteme beziehen. In Dänemark wurden zum Beispiel bei einem Projekt ein horizontal durchflossener Bodenfilter mit einem vertikal durchflossenen Bodenfilter ergänzt, da dieser eine erhöhte Phosphorentfernung und höhere Nitrifikation erlaubt, horizontale Pflanzenkläranlage aber einen Vorteil bezüglich der Denitrifikation haben (BRIX et al., 2003). Eine zweistufig vertikale Pflanzenkläranlage ist bisher weniger im Einsatz und stellt in Österreich zudem noch ein Pilotprojekt dar.

Projekte zu zweistufig durchflossenen vertikalen Bodenfiltern wurden bisher von LANGERGRABER et al. (2010, 2012) untersucht, welche auch gute Ergebnisse hinsichtlich aller Parameter, aber besonders für die Werte von BSB<sub>5</sub>, CSB und Ammonium erzielen konnten.

Um einen Vergleich für die Werte der Alpe Gamp zu erstellen, werden die gemessenen Werte den Ablaufwerten der zweistufigen Pflanzenkläranlage in Ernthofen gegenübergestellt (Tabelle 6-2 und Tabelle 6-4). Für die Parameter BSB<sub>5</sub> und CSB konnte ein ähnlich hoher Reinigungsgrad ermittelt werden (Tabelle 6-3). Zu wünschen übrig lassen die Werte für Ammonium. Während in Ernthofen mit 99,7% Ammonium zu vollständig eliminiert wurde, ließ sich in Gamp kein Reinigungsgrad ermitteln (Tabelle 6-5). Zurückzuführen sind die hohen Werte auf die erste Pflanzenfilterstufe und die mechanische Vorreinigung.

Durch die mechanische Stufe, die die abfiltrierbaren Stoffe nicht mehr richtig sedimentiert, erhöht sich deren Gehalt in der ersten Pflanzenfilterstufe. Mit einem berechneten Median von 111 mg/L übersteigen die abfiltrierbaren Stoffe den Grenzwert von 100 mg/l, was zur Verringerung der Wasserdurchlässigkeit führt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008). Ein Verstopfen der höheren Schichten des Sandfilters erhöht die durchschnittliche Wasserretentionszeit im Filter und reduziert den Bereich der Wasserinfiltration (HEALY et al., 2007).

Außerdem lässt sich durch die Werte und das Aussehen erkennen, dass die zweite Pflanzenfilterstufe (vgl. Abbildung 4-5) ordnungsgemäß funktioniert. Ein Bewuchs der Vegetation

ist möglich, der Bodenfilter ist nicht eingestaut und wird vom Wasser durchflossen, welches dann abgeleitet wird. Zu optimieren gilt nun die mechanische Vorreinigung und die erste Pflanzenfilterstufe.

Tabelle 6-2: Medianwerte der CSB und BSB<sub>5</sub> Zulauf- und Ablaufkonzentrationen in mg/l

	PKA Alpe Gamp		2-stufige PKA Ernthofen (Langergraber et al, 2010)	
	CSB	BSB <sub>5</sub>	CSB	BSB <sub>5</sub>
Zufluss	415	216	505	340
Abfluss 1. Stufe	84	93	85	38
Abfluss 2. Stufe	20	17	21	4

Tabelle 6-3: Medianwerte der CSB und BSB<sub>5</sub> Reinigungsleistungen in %.

	PKA Alpe Gamp		2-stufige PKA Ernthofen (Langergraber et al, 2010)	
	CSB	BSB <sub>5</sub>	CSB	BSB <sub>5</sub>
1. Stufe	79,8	56,9	83,1	88,9
2. Stufe	76,2	81,7	75,3	88,5
Gesamt	95,2	92,1	95,5	98,7

Tabelle 6-4: Medianwerte der TN und NH<sub>4</sub>-N Zulauf- und Ablaufkonzentrationen in mg/l

	PKA Alpe Gamp		2-stufige PKA Ernthofen (Langergraber et al, 2010)	
	TN	NH <sub>4</sub> -N	TN	NH <sub>4</sub> -N
Zufluss	26	7	74	62
Abfluss 1. Stufe	27	15	35	25
Abfluss 2. Stufe	21	7	34	0,3

Tabelle 6-5: Medianwerte der TN, NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N Reinigungsleistungen in %

	PKA Alpe Gamp		2-stufige PKA Ernsthofen (Langergraber et al, 2010)	
	TN	NH <sub>4</sub> -N	TN	NH <sub>4</sub> -N
1. Stufe	-3,8	-114	51,2	64,4
2. Stufe	22,2	53,5	2,9	98,8
Gesamt	19,2	0	53,2	99,7

### 6.3 Optimierungsempfehlung

Aufbauend auf der Anlagenbewertung wird folgende Optimierungsempfehlung abgegeben:

Als **erster Schritt** muss die Kolmation beseitigt werden. Vertikalfilter zeichnen sich durch eine gute Sauerstoffversorgung aus, die aber aufgrund der Verstopfung des Filters der ersten Pflanzenfilterstufe nicht mehr gegeben ist. Die hohen Werte der abfiltrierbaren Stoffe zeigen, dass das Nettovolumen in der Drei- Kammer- Kläranlage für ein zuverlässiges Absetzen der Sinkstoffe nicht mehr ausreicht (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

#### Lösungsschritte zur Beseitigung der Kolmation:

- Die Drei- Kammer- Kläranlage muss entschlammt werden.
- Es soll einmal jährlich mit einer Schlammspiegelmessung das Nettovolumen der mechanischen Stufe gemessen werden (vor der Alpsaison) und wenn die Schlammmenge 1/3 des Speichervolumens übersteigt, soll die Drei- Kammer- Kläranlage entschlammt werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Der **zweite Schritt** besteht aus der Eliminierung von Ammonium. Ammonium wird durch die Nitrifikation zu Nitrat transformiert. Die Nitrifikation ist an das Vorhandensein von Sauerstoff gebunden, welche durch die Verstopfung des ersten bepflanzten Bodenfilters beeinträchtigt wird.

#### Lösung zur Reduzierung von Ammonium:

- Um eine ausreichende Reinigung von Ammonium zu gewährleisten, muss alles Notwendige getan werden, um den Sauerstoffeintrag in das Abwasser zu vergrößern (WISSING und HOFMANN, 2002). Ausreichend sollte deswegen die Entfernung der Kolmation sein. Durch die Wiederherstellung der Durchgängigkeit des Wassers sollte wieder genug Sauerstoff in das Wasser eingetragen werden, um eine ausreichende Nitrifikation zu ermöglichen.

Um zusätzlich die Sauerstoffverhältnisse in der ersten Pflanzenfilterschicht zu verbessern, wird empfohlen, für ein Betriebsjahr die eingestaute Drainageschicht nicht einzustauen und so in der gesamten Anlage aerobe Bedingungen zu schaffen.

Als **dritter Schritt** müssen die Phosphorwerte reduziert werden. Phosphor wird durch die Adsorption im Bodenfilter entfernt. Die Adsorption bezieht sich auf die Bewegung von löslich anorganischem Phosphor von Bodenporenwasser zu mineralhaltigen Bodenoberflächen, wo es ohne die Bodenoberfläche zu durchdringen akkumuliert (RHUE und HARRIS, 1999; zit. bei VYMAZAL, 2007). Die anorganische Phosphoradsorption hängt entweder mit hohen Al, Fe oder Ca Mengen zusammen (RICHARDSON, 1985; zit. bei VYMAZAL, 2007). Wenn die Bodenpartikel mit Phosphor gesättigt sind und das Bodenporenwasser niedrige Konzentrationen von Phosphor enthält, kommt es zu einer Phosphorbewegung vom Boden zum Bodenporenwasser bis ein Equilibrium erreicht wird (VYMAZAL, 2007). Die Phosphorspeicherung in akkumulierten

organischen Stoffen ist ein nachhaltiger Mechanismus um Phosphor zu entfernen (VERHOEVEN und MEULEMAN, 1999; zit. bei LUEDERITZ et al., 2001).

### **Lösung zur Reduzierung von Phosphor:**

- Verwendung eines nachgeschalteten Phosphorfilters

Verwendete werden kann für eine starke Phosphoreliminierung auch Eisenkies, welches ein hohes Potential zur Phosphatfixierung hat oder es werden in den Bodenfilter Eisenspäne/-stücke/- abschnitte beigemischt (LACK, 2006). Durch die Anlagerung von Phosphor an den Bodenfilter nimmt jedoch dessen Reinigungsleistung über die Betriebsjahre hinweg ab, was zu einem aufwendigen Austausch des Bodenfilters führt. Deswegen ist ein nachgeschalteter Phosphatfilter besser geeignet.

Der **letzte Schritt** ist für den Schutz der Anlage im Winter:

- Um die Anlage im Winter zusätzlich vor Frost zu schützen, soll die Vegetation im Herbst geschnitten, die trockene Streu auf der Filteroberfläche liegen gelassen und im Frühjahr entfernt werden. Der Wasserstand sollte dabei so gering wie möglich sein (MITTERER-REICHMANN, 2012b).

## **6.4 Evaluierung der Betriebsanleitung**

Die existierende Betriebsanleitung umfasst drei Hauptpunkte: Inbetriebnahme, laufender Betrieb und Außerbetriebnahme.

Der erste Punkt der Betriebsanleitung (Inbetriebnahme, Tabelle 6-6) ist gut ausgearbeitet. Es werden alle Anlagenteile einer Sichtprüfung unterzogen und die Funktionstauglichkeit überprüft. Darüber hinaus sollten noch die Funktionsweise der Intervallbeschickung und die Höhe des Einstaus der Drainageschicht kontrolliert werden. Der Unterpunkt sollte in "Inbetriebnahme nach der Winterpause" geändert werden. Einmal jährlich wäre zusätzlich eine Schlammspiegelmessung empfehlenswert. Zudem sollte zu Beginn der Saison eine Schulung über die richtige Handhabung/ Funktionsweise der Pflanzenkläranlage und der Zusammensetzung der Abwässer durchgeführt werden, da das Sennereipersonal jährlich wechselt. Dadurch sollte ein Bewusstsein für die Wichtigkeit einer gut funktionierenden Anlage geschaffen werden.

Tabelle 6-6: Existierende Betriebsanleitung – 1. Inbetriebnahme ( KÖNIG, 2015)

**Punkt 1: Inbetriebnahme**

- **Sichtprüfung** der Abscheideanlagen (Dreikammerkläranlage/ Fettabscheider), bei Bedarf Reinigung/ Entleerung und gesetzeskonforme Verwertung/ Entsorgung
- **Sichtprüfung** der 2 Stufen der Pflanzenkläranlage, insbesondere auch der Schwallrohr-Dosierungseinrichtungen (Schächte reinigen bei Bedarf, händische Funktionsprüfung der Schwallrohr- Dosierung)
- **Sichtprüfung** der Tropfrohre, bei Bedarf (insbesondere bei Verstopfungen der Tropf-Bohrungen) Reinigung, bei Bedarf (u.a. bedingt durch Schneedruck im Winter) Nivellierung.  
**Alternative:** Neuverlegung inkl. Nivellierung der Tropfrohre nach Abbau im vorangehenden Herbst.
- **Funktionsprüfung** der Anlage z.B. durch Zulauf von Frischwasser. Dabei ist insbesondere auf die bestimmungsgemäße, ungehinderte Passage der Abscheider, den ungehinderten Ablauf zu und von den Schwallrohr- Dosierschächten sowie auf die gleichmäßige, flächige Dosierung auf die Pflanzenbeete zu achten. Ergänzend sollte auch noch der Anlagenablauf überprüft werden (ungehinderter Ablauf, Sanierung von Erosionsschäden im Bereich der Ablaufrohre etc.)

Für den laufenden Betrieb ist anzumerken, dass es ratsam wäre, einmal jährlich eine Schlammspiegelmessung durchzuführen. Dadurch soll das Schlammvolumen in der Dreikammer- Kläranlage ermittelt werden. Zusätzlich zur wöchentlichen Sichtkontrolle gibt die ÖNORM B 2505 (2009) vor, dass einmal monatlich alle Anlagenteile kontrolliert werden sollen. Zur monatlichen Überprüfung könnte noch ein Ammoniumschnelltest hinzugefügt werden. Dieser gibt rasch Hinweise auf die korrekte Funktion der Anlage (LACK, 2006). Diese Punkte fehlen in der existierenden Betriebsanleitung (Tabelle 6-7).

Tabelle 6-7: Existierende Betriebsanleitung – 2. Laufender Betrieb (KÖNIG, 2015)

**Punkt 2: Laufender Betrieb**

- **Ausdrückliche Weisung**, dass die Anlage nur Abwässern, **nicht aber mit Abfällen (u.a. Molke)** beschickt werden darf.
- **Wöchentliche Sichtkontrolle** der Gesamtanlage (insbesondere Abscheider, Schwallrohrdosierung, Tropfrohrdosierung- Verstopfungen), **bei Bedarf** Fettabscheiderreinigung (ab einer aufschwimmenden Fettschicht von ca. 10 cm) bzw. Reinigung-/Instandsetzung der Schwallrohrdosierung, Spülung der Tropfrohre (im Falle von Verstopfungen)  
**Wichtig:** Regelmäßige Nachfrage beim Alppersonal ob die Überprüfungen/ Maßnahmen tatsächlich erfolgen, die Führung eines einfachen Protokolls (z.B. Loseblatt- Ordner) wird empfohlen.

Für die Außerbetriebnahme ist die Sichtprüfung wieder ein gut ausgearbeiteter Punkt (Tabelle 6-8). Um die Anlage winterfest zu gestalten, wird empfohlen, die Rohrleitungen zu entleeren, um ein Gefrieren der Anlagenteile im Winter zu verhindern. So müssen auch die Tropfrohre nicht entfernt werden. Zusätzlich kann durch eine Mahd nach der Betriebssaison eine Isolierschicht gebildet werden, wenn die Streu auf dem Bodenfilter belassen wird. Die Streu wird dann im Frühjahr wieder entfernt.

Tabelle 6-8: Existierende Betriebsanleitung – 3. Außerbetriebnahme (KÖNIG, 2015)

**Punkt 3: Außerbetriebnahme**

- **Sichtprüfung** der Abscheideanlagen (Dreikammerkläranlage/ Fettabscheider), der Schwallrohrschächte-/ Dosierungen, der Pflanzenbeete, bei Bedarf Reinigung/ Entleerung und gesetzeskonforme Verwertung/ Entsorgung.

„**Winterfest- Aktion**“ z.B. Abbau von Anlagenteilen (Tropfrohre der Pflanzenbeete), Abmähen der Schilfpflanzen (auf 25 cm Rest- Wuchshöhe)

Zusammenfassend sollte die Betriebsanleitung um folgende Punkte ergänzt werden:

- Inbetriebnahme:
  - Änderung der Überschrift in „Inbetriebnahme nach der Winterpause“
  - Schulung des Sennereipersonals hinsichtlich Funktionsweise und Betrieb der Anlage
  - Kontrolle der Funktionsweise der Intervallbeschickung
  - Kontrolle der Höhe des Einstaus der Drainageschicht
- Laufender Betrieb:
  - Einmal jährlich Durchführung einer Schlammspiegelmessung
  - Einmal monatlich Kontrolle der gesamten Anlagenteile
  - Möglicherweise einmal monatlich Durchführung eines Ammoniumschnelltests
- Außerbetriebnahme
  - Entleerung der Rohrleitungen
  - Mahd am Ende des Saisonbetriebs für eine zusätzliche Isolierschicht

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Arbeit war zu ermitteln, ob ein Betrieb der PKA Alpe Gamp möglich ist und bei dem die Erfordernisse der AEV Milchwirtschaft eingehalten werden können. Getestet werden sollte, ob die Reduzierung der Pflanzennährstoffe Phosphor und Stickstoff den Hauptfaktor für einen langfristigen optimalen Betrieb darstellt.

Hintergrund der Arbeit war, dass die Anlage im ersten Betriebsjahr, 2014, mit Molke beschickt wurde, was aufgrund der zu hohen organischen Fracht zu einer Verstopfung der ersten Filterstufe und daher zu einer Reduzierung der Funktionstüchtigkeit der Anlage führte. 2015 wurde die Anlage nicht mehr mit Molke beschickt, welche fortan für andere Zwecke eingesetzt wird. Es stellte sich jedoch heraus, dass noch eine Kolmation der ersten Pflanzenfilterstufe bestand.

Aufgabe war es, in einem ersten Schritt den Reinigungsgrad zu ermitteln. Dadurch sollte ersichtlich werden, wie gut die einzelnen Pflanzenfilterstufen die eingebrachte Schmutzfracht abbauen können. Darauf aufbauend sollte in weiteren Schritten die Anlage bewertet und eine Optimierungsempfehlung abgegeben werden. Der letzte Teil der Aufgabenstellung umfasste die Evaluierung der bestehenden Betriebsanleitung, die nach dem Erhalt und der Beurteilung der Ergebnisse bearbeitet wurde.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass zu hohe Werte für Phosphor, Ammonium und der abfiltrierbaren Stoffe vorhanden waren. Aufgrund der Ergebnisse könnte man die Hypothese als wahr bezeichnen, jedoch zeigte sich im Laufe der Recherchetätigkeiten, dass nicht die Nährstoffe der limitierende Faktor sind, sondern der Sauerstoffeintrag.

Vertikalanlagen zeichnen sich aufgrund der Intervallbeschickung durch aerobe Bedingungen aus. Gegenüber Horizontalanlagen haben sie deshalb durch die Nitrifikation den Vorteil einer erhöhten Nährstoffelimination. Für zweistufig vertikal durchflossene Anlagen ergeben sich hinsichtlich der Nährstoffelimination gleich gute Werte, jedoch weisen sie einen besseren Abbau des Gesamtstickstoffs auf. Durch die Verstopfung des ersten Pflanzenfilters konnte kein ausreichender Sauerstoffeintrag mehr gewährleistet werden, was zu anaeroben Verhältnissen führte. Aufgrund anaerober Verhältnisse kam es zu einer Denitrifikation, weswegen sich der organische Stickstoff in der ersten Stufe zu Ammonium umwandelte, was zu erhöhten Ammoniumwerten führte. Die gleichbleibenden Anfangs- und Endwerte konnten jedoch auf eine gut funktionierende zweite Stufe zurückgeführt werden.

Die erhöhten Werte der abfiltrierbaren Stoffe haben außerdem auf eine wenig ausreichend funktionierende Sedimentation in der mechanischen Stufe hingewiesen. Deswegen wurde eine Optimierungsempfehlung für die mechanische Stufe und die erste Pflanzenfilterstufe erstellt.

Zusammengefasst besteht die Optimierungsempfehlung aus:

- Entfernung der Kolmation durch die Entschlammung der mechanischen Stufe.
- Eine bessere Elimination von Ammonium sollte sich nach Beseitigung der Kolmation von selbst einstellen. Durch die Verbesserung der Durchlässigkeit des Bodenfilters erhöht sich der Sauerstoffgehalt und eine Nitrifikation kann wieder stattfinden.
- Zusätzlich soll für ein Betriebsjahr auf das Einstauen der Drainageschicht in der ersten Pflanzenfilterstufe verzichtet werden, um eine bessere Durchlüftung zu gewährleisten.
- Reduktion der Ablaufkonzentrationen für Phosphor scheint nur durch einen nachgeschalteten Phosphorfilter realisierbar.

Vergleiche mit der Literatur zeigten, dass gut funktionierende zweistufig vertikal durchflossene Pflanzenkläranlagen möglich sind und welche Vorteile sie mit sich bringen. Aufgrund der

Auswertung der Ergebnisse und der Literaturrecherche kann die Forschungsfrage deswegen mit ja beantwortet werden. Ein langfristiger, gut funktionierender Betrieb mit optimalen Ablaufwerten ist möglich.

Außerdem hat die Evaluierung der existierenden Betriebsanleitung gezeigt, dass einige wesentliche Punkte, die für den sicheren Betrieb der Anlage nötig sind, fehlen. Die Betriebsanlage sollte daher um diese Punkte ergänzt werden.

Für die Zukunft ist es nun wichtig, der Sennerei die Wichtigkeit eines richtigen Betriebes der Pflanzenkläranlage begreiflich zu machen. Wird die Anlage richtig betrieben, regelmäßig gewartet und die Kolmation beseitigt, kann eine leistungsstarke Anlage mit einer langen Lebenszeit gewährleistet werden.

## 8. Literatur

- AAEV, 1996. Verordnung: Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen. BGBl. 186/1996. Wien: BMLFUW.
- AEV Milchwirtschaft, 1999. Verordnung: Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Milchbearbeitung und Milchverarbeitung. BGBl. II Nr. 11/1999. Wien: BMLFUW.
- BALLY, A. und BITTNER, K., 2009. Pflanzenkläranlagen – Die ökologische Alternative zur technischen Kleinkläranlage. *Ingenieurbiologie*, 4/09, 80-85.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008. Bepflanzte Bodenfilter zur Reinigung häuslichen Abwassers in Kleinkläranlagen. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.
- BERUFGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT, 2016. Chemischer Sauerstoffbedarf und Biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen. Verfügbar in: <http://www.bgbau.de/gisbau/lehrgang/a-z/csb.htm> [Abfrage am 11. Februar 2016]
- BRESCIANI, R., MARTINUZZI, N., MASI, F. und GALLINO, B., 2013. Richtlinien für die Anwendung natürlicher Klärsysteme in der alpinen Umwelt. Italien: Naturpark Marguareis Iridra s.r.l., 5-51.
- BRISSON, J. und CHAZARENC, F., 2008. Maximizing pollutant removal in constructed wetlands: Should we pay more attention to macrophyte species selection. *Science of the total environment*, 407 (2009), 3923-3930.
- BRIX, H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science Technology*, 4, 71-78.
- BRIX, H. und SCHIERUP, H-H., 1989. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio* 18, 100-107.
- BRIX, H., ARIAS, C. A. und JOHANSEN, N-H., 2003. Experiments in a two- stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal. In: VYMAZAL, J. Hrsg. Wetlands – nutrients, metals and mass cycling, 237-258.
- EID, U., 2007. Wasser ist Leben. Rundbrief: Bildungsauftrag Nord-Süd, 57, 1-2.
- FISCHER, M. und HERDA, R., 2013. Technischer Bericht – Wasserver- und entsorgung Sennerei Gamp. Hohenems: Wasserplan.
- GELLER, G. und HÖNER, G., 2003. Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen. Berlin: Springer Verlag.
- GLÜCKLICH, D., s.a. Grundlagen des Ökologischen Bauens. Verfügbar in: <http://www.ecobine.de/print.php?SESSID=5d7092d85d384778d6c3226dcb5d3204&id=3.5.2.2&kurs=11&l=de> [Abfrage am 07. Dezember 2015]
- HARADA, J., INOUE, T., KATO, K, URAIE, N. und SAKURAGI, H., 2015. Performance evaluation of hybrid treatment wetland for six years of operation in cold climate. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 12861-12869.
- HAZARD, B., 1994. Bepflanzte Bodenfilter zur Abwasserreinigung – Funktion und Einsatzbereiche sogenannter „Pflanzenkläranlagen“. *GAIA*, 3, 359-363.
- HEALY, M.G., RODGERS, M. und MULQUEEN, J., 2007. Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters. *Bioresource Technology*, 98, 2268-2281.
- HERMANUS, A., 2016. 3 Kammer Klärgrube – Funktionsweise. Verfügbar in: <http://www.hausjournal.net/3-kammer-klargrube-funktionsweise> [Abfrage am 21. Februar 2016]
- KADLEC, R. und WALLACE, S., 2009. Treatment Wetlands. 2. Auflage. New York: CRC Press.

- KERN, J., 1997. Pflanzenkläranlagen zur Behandlung landwirtschaftlicher Abwässer. *Landtechnik*, 3/97, 146-147.
- KÖNIG, K., 2015. Alpsennerei Gamp Betriebsanleitung. Land Vorarlberg: Abteilung Wasserwirtschaft.
- KUSCHK, P., WIESSNER, A., PAREDES, D., KÄSTNER, M., MÜNCH, CH. und MÜLLER, R. A., 2008. Pflanzenkläranlagen – Zukunftspotenzial und Forschungsbedarf. *Chemie Ingenieur Technologie*, 12, 1785-1793.
- LACK, W., 2006. Abwasserreinigung mit Pflanzen. Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag.
- LANGERGRABER, G., 2015. Neue Entwicklung bei Pflanzenkläranlagen. In: LANGERGRABER, G. und WEISSENBACHER, N., Hrsg. Wiener Mitteilungen – Abwasserwirtschaft im ländlichen Raum. Band 238. Wien: Universität für Bodenkultur, H1-H12.
- LANGERGRABER, G., PRESSL, A., LEROCH, K., ROHRHOFER, R. und HABERL, R., 2010. Comparison of a single-stage and a two-stage vertical flow constructed wetland systems for different load scenarios. *Water Science & Technology*, 61.5, 1341-1348.
- LANGERGRABER, G., PRESSL, A. und HABERL, R., 2012a. Entwicklung eines neuen Designs für 2- stufige vertikal durchströmte bepflanzte Bodenfilter. Springer Verlag, 1-2, 253-258.
- LANGERGRABER, G., LECHNER, M. und MÜLLEGGER, E., 2012b. Treatment wetlands – Editorial. *Sustainable Sanitation Practice* 12 (July 2012), 3. Verfügbar in: <http://www.ecosan.at/ssp> [Abfrage am 30. April 2016]
- LANGERGRABER, G., PRESSL, A. und HABERL, R., 2014. Experiences from the full- scale implementation of a new two-stage vertical flow constructed wetland design. *Water Science & Technology*, 69.2, 335-342.
- LAR PROCESS ANALYSERS AG, 2016. Summenparameter: Gesamt- Phosphor und Gesamt gebundener Stickstoff. Verfügbar in: <http://www.lar.com/de/produkte/csb-analyse.html> [Abfrage am 11. Februar 2016]
- LUDERITZ, V., ECKERT, E., LANGE-WEBER, M., LANGE, A. und GERSBERG, R. M., 2001. Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 18, 157-171.
- MITTERER-REICHMANN, G., 2012. Treatment wetlands in Austria: Practical experiences in planning, construction and maintenance. *Sustainable Sanitation Practice* 12 (July 2012), 4-8. Verfügbar in: <http://www.ecosan.at/ssp> [Abfrage am 30. April 2016]
- ÖNORM B 2505, 2009. Kläranlagen – intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“). Wien: Austrian Standards Institute.
- RUHRVERBAND, 2015. Die Entwicklung der Abwasserreinigung. Verfügbar in: <http://www.ruhrverband.de/abwasser/klaeranlagen/historischer-rueckblick/> [Abfrage am 06. Dezember 2015]
- SOP, s.a. Bestimmung von Gesamtphosphor in Wasser und Abwasser. Umweltinstitut des Landes Vorarlberg: Abteilung Umweltanalytik.
- STUHLBACHER, A., BERGHOLD, H., REINHOFER, M., BRUNNER, C. und TAFERNER, K., 2004. Pflanzenkläranlagen für die Kreislaufschließung und Reinigung industrieller Prozesswässer. Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme – JOINTS. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.
- WASSER WISSEN, 2016. Ammonium. Verfügbar in: <http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon/a/ammonium.htm> [Abfrage am 20. April 2016]
- WISSING, F. und HOFMANN, K., 2002. Wasserreinigung mit Pflanzen. 2. Auflage. Stuttgart: Ulmer GmbH & Co.

WITTGREN, H. B. und MAEHLUM; T., 1997. Wastewater treatment wetlands in cold climates. *Water Science & Technology*, 35.5, 45-53.

WRG 1959. (i.d.g.F.). *BMLFUW - Wasserrechtsgesetz 1959, zuletzt geändert mit BGBl. I Nr. 97/2013*. Wien: BMLFUW.

VYMAZAL, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 380, 48-65.

## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Hauptfunktionen der verschiedenen konstruierten Feuchtgebiete (BRIX, 1994) .....	9
Tabelle 3-2: Emissionsbegrenzungen gemäß § 1 (Anlage A der AEV Milchwirtschaft, 1999) ...	16
Tabelle 4-1: Bemessung der Stoffkonzentration (FISCHER und HERDA, 2013) .....	18
Tabelle 4-2: Probenahmeplan .....	23
Tabelle 4-3: Gemessene Parameter und die zugehörige ÖNORM/ DIN des Verfahrens, sowie die selbstanalytierten Parameter .....	26
Tabelle 5-1: Vorort gemessene Parameter (Ablauf mechanische Stufe).....	30
Tabelle 5-2: Ablaufkonzentrationen mechanische Stufe in mg/l.....	30
Tabelle 5-3: Vorort gemessene Parameter (Ablauf 1. Pflanzenfilterstufe).....	31
Tabelle 5-4: Ablaufkonzentration 1. Pflanzenfilterstufe in mg/l.....	31
Tabelle 5-5: Vorort gemessene Parameter (Ablauf 2. Pflanzenfilterstufe).....	32
Tabelle 5-6: Ablaufkonzentrationen 2. Pflanzenfilterstufe in mg/l.....	32
Tabelle 6-1: Vor- und Nachteile vertikal und horizontal durchflossener bepflanzter Bodenfiltersystem (LUDERITZ et al., 2001).....	35
Tabelle 6-2: Medianwerte der CSB und BSB <sub>5</sub> Zulauf- und Ablaufkonzentrationen in mg/l .....	37
Tabelle 6-3: Medianwerte der CSB und BSB <sub>5</sub> Reinigungsleistungen in %. .....	37
Tabelle 6-4: Medianwerte der TN und NH <sub>4</sub> -N Zulauf- und Ablaufkonzentrationen in mg/l .....	37
Tabelle 6-5: Medianwerte der TN, NH <sub>4</sub> -N und NO <sub>3</sub> -N Reinigungsleistungen in %.....	38
Tabelle 6-6: Existierende Betriebsanleitung – 1. Inbetriebnahme ( KÖNIG, 2015).....	40
Tabelle 6-7: Existierende Betriebsanleitung – 2. Laufender Betrieb (KÖNIG, 2015) .....	40
Tabelle 6-8: Existierende Betriebsanleitung – 3. Außerbetriebnahme (KÖNIG, 2015) .....	41

## 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Einteilung der Treatment Wetlands (KADLEC und WALLACE, 2009).....	5
Abbildung 3-2: Grundelemente einer FSW (KADLEC und WALLACE, 2009) .....	5
Abbildung 3-3: Horizontal durchströmter Pflanzenkläranlage (GLÜCKLICH, s.a.) .....	6
Abbildung 3-4: Vertikal durchströmte Pflanzenkläranlage (GLÜCKLICH, s.a.).....	6
Abbildung 3-5: Auftauchende Wasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989).....	9
Abbildung 3-6: Schwimmblatt Wasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989) .....	10
Abbildung 3-7: Unterwasserpflanzen (BRIX und SCHIERUP, 1989).....	10
Abbildung 3-8: Querschnitt einer unterirdisch durchflossenen Anlage im Winter (Figure 4.28 aus KADLEC und WALLACE, 2009) .....	14
Abbildung 4-1: Alpe Gamp (©2015 www.googlemaps.com) .....	17
Abbildung 4-2: 3- Kammer- Kläranlage (FISCHER und HERDA, 2013).....	19
Abbildung 4-3: Aufbau einer zweistufigen Anlage (LANGERGRABER et al., 2012a).....	20
Abbildung 4-4: Erste Pflanzenfilterstufe    Abbildung 4-5: Zweite Pflanzenfilterstufe .....	21
Abbildung 4-6: Lageplan der Pflanzenbeete (FISCHER und HERDA, 2013) .....	22
Abbildung 4-7: Zulaufschacht .....	23
Abbildung 4-8: 1. Pflanzenfilterstufe    Abbildung 4-9: 2. Pflanzenfilterstufe (Ablauf).....	24
Abbildung 4-10: : Messgeräte vor Ort    Abbildung 4-11: Indikatorstreifen.....	24
Abbildung 4-12: Leitfähigkeitsmessgerät    Abbildung 4-13: Messung der Leitfähigkeit.....	25
Abbildung 4-14: Probenvorbereitung .....	28
Abbildung 5-1: Median $\pm$ Konfidenzintervall für CSB im Ablauf der mechanischen Stufe, 1. und 2. Pflanzenfilterstufe.....	33
Abbildung 5-2: Median $\pm$ Konfidenzintervall für die Parameter TN, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N und Pges im Ablauf der mechanischen Stufe, 1. und 2. Pflanzenfilterstufe .....	33

## 11. Anhang

### 11.1 Probenahmeprotokolle

#### Alpe Gamp

Probenahme am: 19.8.2015

Uhrzeit: 10:30

Vor Ort gemessen: pH- Wert, Leitfähigkeit, Temperatur

Auswertung: Umweltamt Vorarlberg, am 14.-15. 9. 2015

Wetter: regnerisch und kalt

	<b>Mechanische Stufe</b>	<b>1. Pflanzenfilterstufe</b>	<b>2. Pflanzenfilterstufe</b>
<b>pH</b>	6,5	6,5	6,0
<b>Leitfähigkeit</b>	603 mS/s	761 mS/s	745 mS/s
<b>Temperatur</b>	15,4°	14°	13,2°
<b>CSB</b>	228 mg/l	84 mg/l	21 mg/l
<b>Ammonium-N</b>	6 mg/l	18 mg/l	8 mg/l
<b>Gesamtphosphor</b>	3 mg/l	7 mg/l	4 mg/l
<b>Gesamtstickstoff</b>	21 mg/l	27 mg/l	18 mg/l
<b>Chlorid</b>	29 mg/l	21 mg/l	20 mg/l
<b>Nitrat-N</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	4 mg/l
<b>Sulfat</b>	89 mg/l	24 mg/l	21 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	71 mg/l	41 mg/l	20 mg/l

**Alpe Gamp**

Probenahme am: 20.8.2015

Uhrzeit: 11:00

Vor Ort gemessen: pH- Wert, Leitfähigkeit, Temperatur

Auswertung: Umweltamt Vorarlberg, am 14.-15. 9. 2015

Wetter: heiter und wolkig

	<b>Mechanische Stufe</b>	<b>1. Pflanzenfilterstufe</b>	<b>2. Pflanzenfilterstufe</b>
<b>pH</b>	6,0	6,5	7,0
<b>Leitfähigkeit</b>	518 mS/s	692 mS/s	686 mS/s
<b>Temperatur</b>	14,7°	13,1°	13,3°
<b>CSB</b>	415 mg/l	149 mg/l	30 mg/l
<b>BSB<sub>5</sub></b>	216 mg/l	93 mg/l	17 mg/l
<b>Ammonium-N</b>	1 mg/l	13 mg/l	9 mg/l
<b>Gesamtphosphor</b>	3 mg/l	5 mg/l	6 mg/l
<b>Gesamtstickstoff</b>	21 mg/l	26 mg/l	18 mg/l
<b>Chlorid</b>	14 mg/l	20 mg/l	21 mg/l
<b>Nitrat-N</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	1 mg/l
<b>Sulfat</b>	86 mg/l	17 mg/l	17 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	130 mg/l	30 mg/l	26 mg/l

**Alpe Gamp**

Probenahme am: 26.8.2015

Uhrzeit: 11:00

Vor Ort gemessen: pH- Wert, Leitfähigkeit, Temperatur

Auswertung: Umweltamt Vorarlberg, am 14.-15. 9. 2015

Wetter: sonnig und warm

	<b>Mechanische Stufe</b>	<b>1. Pflanzenfilterstufe</b>	<b>2. Pflanzenfilterstufe</b>
<b>pH</b>	6,5	6,5	7,5
<b>Leitfähigkeit</b>	583 mS/s	616 mS/s	716 mS/s
<b>Temperatur</b>	14,5°	14,6°	13,3°
<b>CSB</b>	463 mg/l	72 mg/l	20 mg/l
<b>Ammonium-N</b>	7 mg/l	13 mg/l	7 mg/l
<b>Gesamtphosphor</b>	4 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
<b>Gesamtstickstoff</b>	32 mg/l	26 mg/l	21 mg/l
<b>Chlorid</b>	17 mg/l	18 mg/l	18 mg/l
<b>Nitrat-N</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	25 mg/l
<b>Sulfat</b>	82 mg/l	15 mg/l	39 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	125 mg/l	13 mg/l	20 mg/l

**Alpe Gamp**

Probenahme am: 27.8.2015

Uhrzeit: 11:15

Vor Ort gemessen: pH- Wert, Leitfähigkeit, Temperatur

Auswertung: Umweltamt Vorarlberg, am 14.-15. 9. 2015

Wetter: sonnig und warm

	<b>Mechanische Stufe</b>	<b>1. Pflanzenfilterstufe</b>	<b>2. Pflanzenfilterstufe</b>
<b>pH</b>	7,0	7,5	7,5
<b>Leitfähigkeit</b>	646 mS/s	651 mS/s	855 mS/s
<b>Temperatur</b>	14,6°	13,9°	13,4°
<b>CSB</b>	662 mg/l	75 mg/l	13 mg/l
<b>Ammonium-N</b>	11 mg/l	15 mg/l	6 mg/l
<b>Gesamtphosphor</b>	6 mg/l	5 mg/l	2 mg/l
<b>Gesamtstickstoff</b>	41 mg/l	27 mg/l	26 mg/l
<b>Chlorid</b>	21 mg/l	19 mg/l	17 mg/l
<b>Nitrat-N</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	10 mg/l
<b>Sulfat</b>	12 mg/l	13 mg/l	67 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	120 mg/l	36 mg/l	15 mg/l

**Alpe Gamp**

Probenahme am: 28.8.2015

Uhrzeit: 10:45

Vor Ort gemessen: pH- Wert, Leitfähigkeit, Temperatur

Auswertung: Umweltamt Vorarlberg, am 14.-15. 9. 2015

Wetter: sonnig und warm

	<b>Mechanische Stufe</b>	<b>1. Pflanzenfilterstufe</b>	<b>2. Pflanzenfilterstufe</b>
<b>pH</b>	7,0	7,0	7,0
<b>Leitfähigkeit</b>	636 mS/s	729 mS/s	1009 mS/s
<b>Temperatur</b>	15,2°	14,1°	13,6°
<b>CSB</b>	338 mg/l	106 mg/l	16 mg/l
<b>Ammonium-N</b>	8 mg/l	16 mg/l	3 mg/l
<b>Gesamtphosphor</b>	4 mg/l	5 mg/l	1 mg/l
<b>Gesamtstickstoff</b>	26 mg/l	28 mg/l	46 mg/l
<b>Lipophile Fette</b>	30 mg/l	2 mg/l	<1 mg/l
<b>Kupfer</b>	46 mg/l	95 mg/l	124 mg/l
<b>Chrom</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
<b>Zink</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	<1 mg/l
<b>Chlorid</b>	19 mg/l	19 mg/l	17 mg/l
<b>Nitrat-N</b>	<1 mg/l	<1 mg/l	25 mg/l
<b>Sulfat</b>	100 mg/l	13 mg/l	96 mg/l
<b>Abfiltrierbare Stoffe</b>	60 mg/l	23 mg/l	19 mg/l

## 11.2 Betriebsanleitung

### 1. Inbetriebnahme nach der Winterpause

- **Sichtprüfung** der Abscheideanlagen (Dreikammerkläranlage/ Fettabscheider), bei Bedarf Reinigung/ Entleerung und gesetzeskonforme Verwertung/ Entsorgung
- **Sichtprüfung** der 2 Stufen der Pflanzenkläranlage, insbesondere auch der Schwallrohr-Dosierungseinrichtungen (Schächte reinigen bei Bedarf, händische Funktionsprüfung der Schwallrohr- Dosierung)
- **Sichtprüfung** der Tropfrohre, bei Bedarf (insbesondere bei Verstopfungen der Tropf-Bohrungen) Reinigung, bei Bedarf (u.a. bedingt durch Schneedruck im Winter) Nivellierung.  
**Alternative:** Neuverlegung inkl. Nivellierung der Tropfrohre nach Abbau im vorangehenden Herbst.
- **Funktionsprüfung** der Anlage z.B. durch Zulauf von Frischwasser. Dabei ist insbesondere auf die bestimmungsgemäße, ungehinderte Passage der Abscheider, den ungehinderten Ablauf zu und von den Schwallrohr- Dosierschächten sowie auf die gleichmäßige, flächige Dosierung auf die Pflanzenbeete zu achten. Ergänzend sollte auch noch der Anlagenablauf überprüft werden (ungehinderter Ablauf, Sanierung von Erosionsschäden im Bereich der Ablaufrohre etc.)
- **Schulung des Sennereipersonals:** Erklärung der Handhabung/ Funktionsweise der Pflanzenkläranlage um ein Bewusstsein für die Wichtigkeit einer gut funktionierenden Anlage zu schaffen. Einführung in die notwendigen Betriebs- und Wartungsarbeiten. Hinweis darauf, dass keine Molke in die Anlage geleitet werden darf. Die Einschulung vor jeder Saison ist wichtig, da das Sennereipersonal jede Saison wechselt.
- **Kontrolle des Einstaus der Drainageschicht:** Es muss sichergestellt werden, dass nur die Drainageschicht eingestaut ist, nicht aber der Filterkörper.

### 2. Laufender Betrieb

- **Ausdrückliche Weisung**, dass die Anlage nur Abwässern, **nicht aber mit Abfällen (u.a. Molke)** beschickt werden darf.
- **Wöchentliche Sichtkontrolle** der Gesamtanlage (insbesondere Abscheider, Schwallrohrdosierung, Tropfrohrdosierung- Verstopfungen), **bei Bedarf** Fettabscheiderreinigung (ab einer aufschwimmenden Fettschicht von ca. 10 cm) bzw. Reinigung-/Instandsetzung der Schwallrohrdosierung, Spülung der Tropfrohre (im Falle von Verstopfungen)
- **Monatliche Sichtkontrolle** aller Anlagenteile, eventuell zusätzliche Ausführung eines Ammoniumschnelltests
- **Jährliche Schlammspiegelmessung**, zumindest 1-mal in der Saison.

**Wichtig:** Regelmäßige Kontrolle beim Alppersonal ob die Überprüfungen/ Maßnahmen tatsächlich erfolgen, die Führung eines einfachen Protokolls (z.B. Loseblatt- Ordner) zur Aufzeichnung der durchgeführten Tätigkeiten wird empfohlen.

### 3. Außerbetriebnahme

- **Sichtprüfung** der Abscheideanlagen (Dreikammerkläranlage/ Fettabscheider), der Schwallrohrschächte-/ Dosierungen, der Pflanzenbeete, bei Bedarf Reinigung/ Entleerung und gesetzeskonforme Verwertung/ Entsorgung.
- **„Winterfest- Aktion“**: z.B. Abbau von Anlagenteilen (Verteilrohre) bzw. zumindest vollständige Entleerung der Verteilrohre, Mahd des Schilfes nach Betriebssaison und Aufbringung dieses als zusätzliche Isolierschicht

## 12. Lebenslauf

### Persönliche Daten

---

Name: Anna-Lena Ludwig  
Geburtsdatum: 12.08.1989  
Geburtsort: Bregenz  
Staatsbürgerschaft: Österreich  
Familienstand: Ledig  
Wohnhaft in: Wien/ Wolfurt  
Adresse: Alserbachstraße 1/6, 1090 Wien  
E-Mail: anna-lena.ludwig@gmx.at

### Schulbildung:

---

1995 – 2000: Volksschule Mähdle, Wolfurt  
2000 – 2004: Hauptschule Strohdorf, Wolfurt  
2004 – 2009: HLW Marienberg, Bregenz

### Studium:

---

10/2009 – 11/2013 Bachelorstudium an der Universität für Bodenkultur Wien  
„Umwelt- und Bioressourcenmanagement“  
Seit 11/2013 Masterstudium an der Universität für Bodenkultur Wien  
„Umwelt- und Bioressourcenmanagement“  
Seit 10/2014 Masterstudium an der Universität für Bodenkultur Wien  
„Applied Limnology“

### Praktika

---

**Hotel Mercure** Bereich Küche und Service  
04.06.2007 – 26.08.2007  
**Doppelmayr Seilbahnen** Abteilung für Umwelt und Abfall  
04.07.2011 – 29.07.2011  
Tätigkeit: Überarbeitung des Abfallwirtschaftskonzepts

**Ferialjobs**

---

**Doppelmayr Seilbahnen** Sommerferien, 2005 – 2015

Tätigkeit: Bestellungen, Verbuchungen, Officetätigkeiten

**Greber Catering** Sommerferien, 2007 – 2014

**Sprachkenntnisse:** Englisch und Französisch durch 5- jährige Schulausbildung und Sprachkurse in England

**Besondere Kenntnisse:** Korrespondenzkenntnisse in Englisch

**Hobbies:** Reisen, Sprachen lernen, Lesen

### **13. Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

---

*Ort, Datum*

*Vorname, Nachname*

*Unterschrift*