

Monitoring der Pilotphase eines bepflanzten Bodenfilters zur Reinigung gewerblicher Abwässer

Projektteam

Handler-Kunze Hanno
Dünser Lukas

Projektbetreuer HTL Dornbirn

Frau Mag. Barbara Griehser
Herr OSTR Mag. Dr. Josef Mäser

In Zusammenarbeit mit

Loacker Recycling GmbH
Betreuer: DI Marco Ortner
Umweltinstitut des Landes Vorarlberg
Betreuer: Dr. Christoph Scheffknecht
Monika Schmieder

**Textil
Chemie
Informatik
Management**

HTL Dornbirn

Vorwort

Die Abwässer der Firma Loacker Recycling GmbH wurden bis Mitte 2004 ungeklärt in einen kleinen Bach eingeleitet. Um den Schadstoffeintrag in die Umwelt zu minimieren hat die Firma beschlossen, diese Abwässer vor der Einleitung durch einen bepflanzten Bodenfilter reinigen zu lassen. Im Zuge der Projektarbeit führten wir verschiedene ökologische und chemische Untersuchungen durch, um die Wirksamkeit der bepflanzten Anlage in der Anlaufphase zu beobachten.

Danken möchten wir der Firma Loacker, im speziellen DI Marco Ortner, da sie die Durchführung unseres Projektes ermöglichten. Weiters danken wir dem Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, insbesondere Monika Schmieder, Hansjörg Kapeller und Dr. Christoph Scheffknecht.

Unser Dank gilt unseren Projektbetreuern seitens der Schule, Frau Mag. Barbara Griehser und Herrn Dr. Josef Mäser, welche uns tatkräftig beim Erreichen unserer Projektziele unterstützten.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Problemstellung	7
1.2	Zielsetzung	7
2	Theoretische Grundlagen.....	8
2.1	Schilf (<i>Phragmites australis</i>).....	8
2.1.1	Aufbau des Schilfrhizomes	8
2.1.2	Bodenfilterrelevante Funktionen des Schilfes	9
2.1.2.1	Transport von Luftsauerstoff in den Boden.....	9
2.1.2.2	Aufschluss des Bodens.....	10
2.1.2.3	Hohe Verdunstungsleistung.....	10
2.1.2.4	Kälteschutz und Winterbetrieb	10
2.1.2.5	Besonderheiten des Schilfs	10
2.2	Wasser	11
2.2.1	Abwasser	11
2.2.2	Schadstoffe	11
2.3	Abwasserreinigung mittels eines bepflanzten Bodenfilters.....	13
2.3.1	Grundlagen	13
2.3.2	Bauweisen	13
3	Bau und Inbetriebnahme der Anlage	14
3.1	Bau der Anlage	14
3.2	Bepflanzung der Anlage	16
3.3	Anlaufphase und kontinuierlicher Betrieb	17
4	Methoden	18
4.1	Chemische Analytik	18
4.1.1	Wasseranalytik	18
4.1.1.1	Probennahme	18
4.1.1.2	pH-Messung.....	18
4.1.1.3	Leitfähigkeitsmessung	18
4.1.1.4	Summe der Kohlenwasserstoffe und der lipophilen Stoffe	19
4.1.1.5	Abfiltrierbare Stoffe	19
4.1.1.6	Ammonium Stickstoff (NH ₄ – N).....	19
4.1.1.7	Schwermetalle und Phosphor.....	20

4.1.1.8	Chemischer Sauerstoffbedarf	20
4.1.2	Bodenanalytik	21
4.1.2.1	Bodenprobenahme	21
4.1.2.2	Probenaufbereitung	21
4.1.2.3	Gesamter organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	21
4.1.2.4	Summe der Kohlenwasserstoffe	22
4.1.2.5	Schwermetalle und Phosphor	22
4.1.3	Pflanzenanalytik.....	22
4.1.3.1	Probenahme	22
4.1.3.2	Probenaufbereitung	22
4.1.3.3	Gesamter organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	22
4.1.3.4	Schwermetalle und Phosphor	23
4.2	Pflanzenwachstum	23
4.2.1	Auswahl der Pflanzenhorste	23
4.2.2	Zählung und Messung wachstumsspezifischer Parameter	23
5	Ergebnisse	24
5.1	Wasseranalytik	24
5.2	Bodenanalytik	35
5.3	Pflanzenanalytik	36
5.4	Pflanzenwachstum	37
5.4.1	Wachstumsverlauf der Schilfpflanzen.....	37
5.4.2	Relative Änderung der Sprossanzahl	39
5.4.3	Relative Änderung der Blattanzahl	40
5.4.4	Absolutes Wachstum der Schilfsprosse	41
5.5	Beobachtungen	41
6	Diskussion.....	42
7	Literatur.....	43
8	Anhang.....	44
8.1	Tabellen der Analysenergebnisse	44
8.2	Lebensläufe	54
8.3	Projekttagebuch.....	56

Zusammenfassung

Die Abwässer der Firma Loacker Recycling wurden bis Mitte 2004 ungeklärt in einen kleinen Bach eingeleitet. Da aufgrund der Schadstoffbelastung die Fauna und Flora dieses Baches und der folgenden Gewässer in Mitleidenschaft gezogen wurden, hat sich die Firma Loacker zum Bau eines bepflanzten Bodenfilters entschlossen. Dieser bepflanzte Bodenfilter soll eine signifikante Reinigung des Abwassers gewährleisten und stellt ein technisches Novum im Bereich der gewerblichen Abwasserreinigung dar.

An unterschiedlichen Tagen während der Anlaufphase des bepflanzten Bodenfilters erfolgte die Probenahme von Abwasser sowie gereinigtem Abwasser der Anlage. Diese Proben dienten zur Überprüfung der Wirksamkeit der Anlage sowie zur Feststellung, ob etwaige Grenzwertüberschreitungen möglich sind. Des Weiteren wurde das Wachstum der auf dem Bodenfilter gepflanzten Schilfpflanzen überwacht, um zu überprüfen, ob die Pflanzen die Schadstoffbelastung des Wassers vertragen. Die Schadstoffanreicherung in Pflanzen und im Boden war ein weiterer Aspekt dieser Untersuchung.

Bei der Durchführung von 9 Messungen während der ersten 5 Betriebsmonate der Anlage wies das gereinigte Abwasser bei Zink und dem Summenparameter chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) jeweils eine einmalige Grenzwertüberschreitung auf. Das Kontaktwasser konnte bezüglich Summe der Kohlenwasserstoffe, Summe der lipophilen Stoffe, abfiltrierbare Stoffe, Ammonium sowie die sonstigen Metallparameter durch den Bodenkörper hinreichend gereinigt werden. Der pH-Wert blieb im schwach basischen Bereich weitgehend konstant.

Kohlenwasserstoffe, gesamter organischer Kohlenstoff, Zink und Blei zeigen nach 4,5 Monaten im Vergleich zur Referenzprobe markante Akkumulationswerte an (KW: Faktor 33; TOC: Faktor 6; Zn, Pb: Faktor 4).

In den Schilfrhizomen der Anlage reicherten sich Blei, Eisen, Aluminium und Cadmium an. Im Vergleich zum Pflanzenmaterial aus dem Rheindelta sind die Werte bei Cadmium um das knapp 4fache, bei Aluminium und Eisen um das 5fache und bei Blei um das 9fache erhöht.

Die Zählung und Messung der Sprosse, Blätter sowie der Sprosshöhe belegt ein kontinuierliches Wachstum der Schilfpflanzen. Das schwächere Wachstum des Referenzschilfes ist auf Wassermangel im Uferbereich des Vorfluters zurückzuführen.

Summary

The waste water of the company Loacker recycling was introduced to in the middle of 2004 inexplicably into a small brook. Since due to the pollution impact the fauna and Flora of this brook and following waters were pulled in, the company Loacker decided to the building of a constucted wetland. This constructed wetland is to ensure a significant cleaning of the waste water and represents a technical new fact within the range of the commercial waste water purification.

On different days during the start-up phase of the constructed wetland the sampling took place from waste water as well as cleaned waste water of the plant. These samples served the effectiveness of the plant for the examination as well as for the statement whether any limit value excesses are possible. The moreover one the growth of the reed plants planted on the soil filter was supervised, in order to examine whether the plants stood the pollution impact of the water. The pollutant concentration in plants and in the soil was a further aspect of this investigation.

In each case at the time of the execution of 9 measurements during the first 5 operating months of the plant the cleaned waste water knows a unique limit value excess with zinc and the sum parameter chemical oxygen demand (COD) up. The contact water could be cleaned concerning sum of the hydrocarbons, sum of the lipophilic materials, filter offable materials, ammonium as well as the other metal parameters by the soil body sufficiently. The pH value remained to a large extent constant in the weakly basic range.

Hydrocarbons, total organic carbon, zinc and lead show significant accumulation values on after 4.5 months in the comparison to the reference sample (HC: Factor 33; TOC: Factor 6; Zn, Pb: Factor 4). In the reed rhizome of the plant enriched themselves lead, iron, aluminum and cadmium. In the comparison to the plant material from the Rhine delta the values are with cadmium by that scarcely, increased 4times with aluminum and iron by the 5times and with lead by the 9times.

The counting and measurement of the rung, sheets as well as the branch height occupy a continuous growth of the reed plants. The weaker growth of the reference reed is to be due to a lack of water in the bank range of the receiving stream.

1 Einleitung

Der bepflanzte Bodenfilter ist ein technisches Novum zur Reinigung gewerblicher Abwässer und wurde bisher nur zur Reinigung kommunaler Abwässer in entlegeneren Regionen verwendet. Der Betrieb eines bepflanzten Bodenfilters beruht auf den Prinzipien natürlicher Feuchtgebiete und nutzt die Eigenschaften von Pflanzen und Bodenkörper zur Akkumulierung und zum Abbau der im Wasser befindlichen Schadstoffe. Da mit der Nutzung dieser Eigenschaften zur gewerblichen Abwasserreinigung Neuland betreten wurde, soll dieses Projekt Klarheit darüber schaffen, ob eine effektive Reinigung von gewerblichen Abwässern möglich ist.

1.1 Problemstellung

Da es sich bei der errichteten Anlage der Firma Loacker Recycling um die erste ihrer Art in Österreich handelt und auch sonst wenig Datenmaterial zur Reinigungsleistung bezüglich gewerblicher Abwässer vorliegen, soll dieses Projekt die Wirksamkeit der Minimierung der Schadstoffemissionen überprüfen und dokumentieren. Die Überprüfung der Wirksamkeit umfasst die Messung der abwasserrelevanten Parameter:

- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- Summe der Kohlenwasserstoffe
- Summe der lipophilen Stoffe
- Abfiltrierbare Stoffe
- Schwermetalle
- Ammonium

Diese Parameter ermöglichen eine Aussage bezüglich der Wirksamkeit der Anlage.

Des Weiteren sollen die Akkumulation von Schwermetallen in Boden und Pflanzen sowie von Kohlenwasserstoffen im Bodenkörper untersucht werden, um deren Anreicherung zu dokumentieren. Das Schilfwachstum wird überwacht um festzustellen, ob die Pflanzen, welche bei kommunalen Anlagen verwendet werden sich auch für die Nutzung im Bereich der gewerblichen Abwasserreinigung eignen.

1.2 Zielsetzung

- Überprüfung der Wirksamkeit der Anlage hinsichtlich des Schadstoffabbaus;
- Aussage hinsichtlich der Akkumulation von Schwermetallen in Boden und Pflanzenteilen und der Akkumulation von Kohlenwasserstoffen im Bodenkörper der Anlage;
- Untersuchung des Schilfwachstums während der Anlaufphase des Bodenfilters;

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Schilf (*Phragmites australis*)

2.1.1 Aufbau des Schilfrhizomes

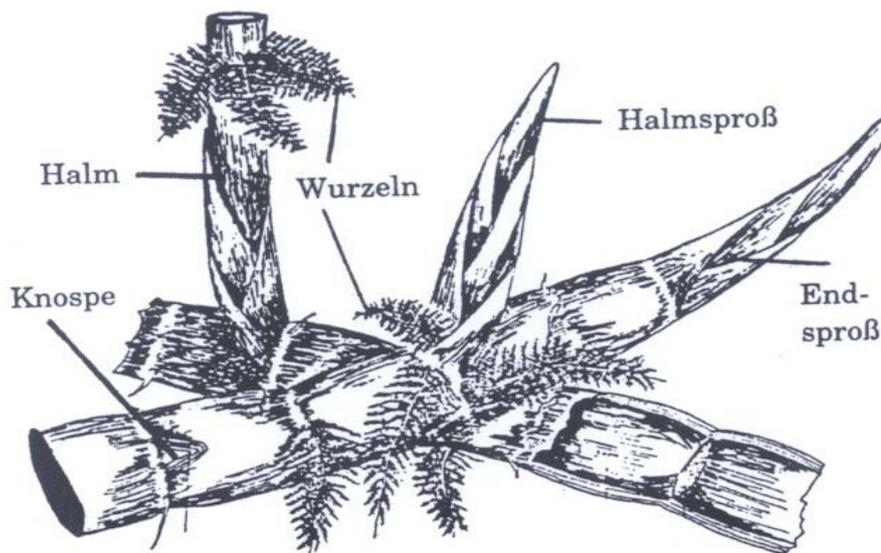


Abb. 1: Abbildung eines Schilfrhizomes (aus BAHLO & WACH 1992).

Schilf besteht aus Rhizomen – unterirdische Sprosse – aus denen die Wurzeln, Knospen und Halme wachsen. Die Wurzeln dienen zur Wasser-, Nährstoff- und Luftaufnahme, je nach dem, ob sie über der Erdoberfläche sind oder nicht. Aus dem Halmspross entwickeln sich die überirdisch sichtbaren Sprosse mit den Blütenständen.

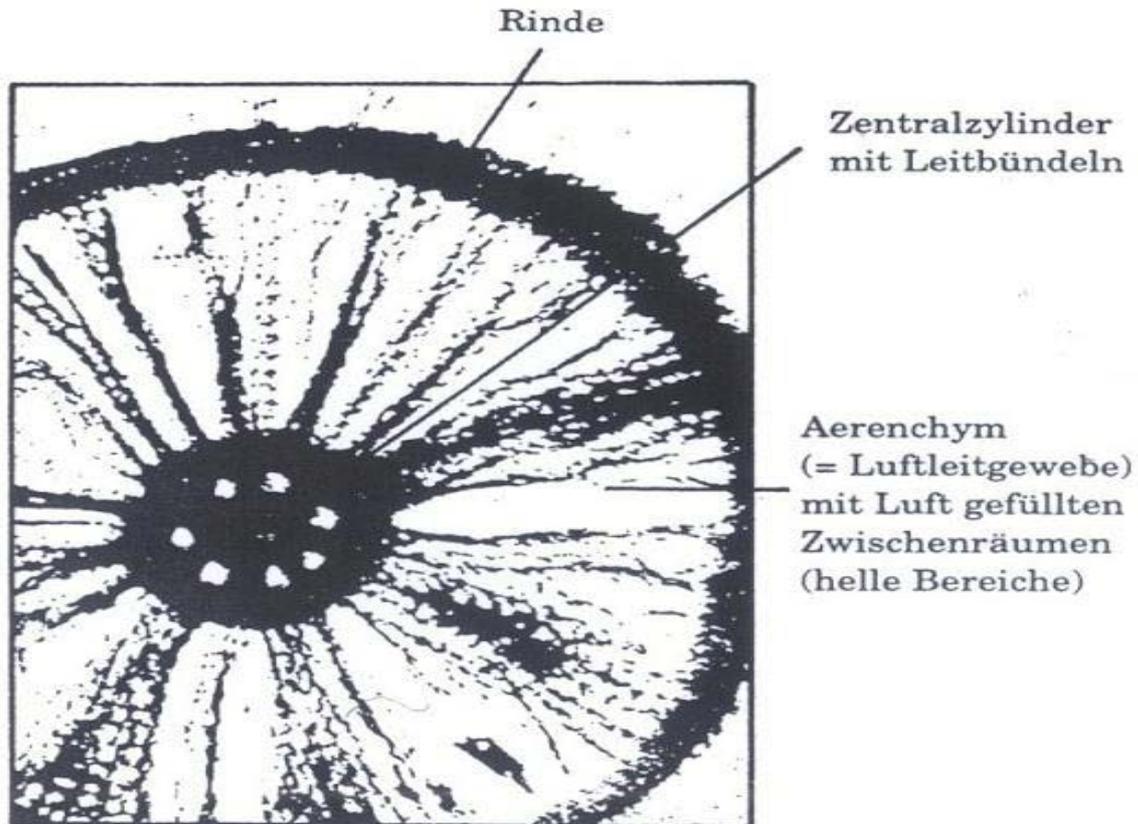


Abb. 2: Mikroskopische Aufnahme eines Querschnittes durch eine Adventivwurzel eines Wasserhalmes des Schilfes (aus BAHLO & WACH 1992).

Das Aerenchym ist das Luftleitgewebe der Schilfpflanze. In ihm wird die Luft zu den Wurzeln transportiert. An den Wurzeln haften aerobe Bakterien an, welche den Sauerstoff zum Überleben benötigen. Sie sind für den eigentlichen Abbau der organischen Schadstoffe verantwortlich.

2.1.2 Bodenfilterrelevante Funktionen des Schilfes (nach BAHLO & WACH 1992, S. 53ff)

2.1.2.1 Transport von Luftsauerstoff in den Boden

In einem mit Schilfrhizomen aufgeschlossenen Boden wird ein Sauerstoffeintrag von 5 -12 g Sauerstoff pro m² und Tag erreicht. Dies ist von wesentlicher Bedeutung für die aerophilen Bakterien, welche in großer Menge an den Wurzelhaaren des Schilfes siedeln. Diese Bakterien sind für die Nitrifikation im bepflanzt Bodenfilter verantwortlich.

2.1.2.2 Aufschluss des Bodens

Schilf ist in der Lage den Boden durch das Rhizomwachstum aufzuschließen. Dies bedeutet nichts anderes, als dass der Boden mit Rhizomen durchsetzt wird. Als Folge dieser Durchwurzelung ist eine erhöhte Reinigungsleistung zu erwarten, da der Wirkungsbereich der Abbaumechanismen so erweitert wird. Das Verhältnis von unterirdischer Rhizombiomasse zu oberirdischer Stängel- und Blattbiomasse beträgt normalerweise ca. 3:1. Ständig hohe Wasserstände im Beet verhindern ein Tiefenwachstum der Rhizome.

2.1.2.3 Hohe Verdunstungsleistung

Eine homogene Schilffläche zeigt eine Verdunstungsleistung von 800 – 1000 L Wasser pro Quadratmeter und Vegetationsperiode. Diese Werte werden in unseren Breiten durch die jährlichen Niederschlagsmengen nicht überboten. Es muss daher bei der Dimensionierung eines bepflanzten Bodenfilters bzw. einer Schilfkläranlage mit einberechnet werden, dass während des Hochsommers eine Aufkonzentrierung um ca. 30 % des ablaufenden gereinigten Abwassers aus Schilfbeeten eintritt. Zur Dimensionierung ist deshalb eine Frachtberechnung unbedingt notwendig. Im Falle des bepflanzten Bodenfilters bedeutet das, dass diese Werte erst dann zu berücksichtigen sind, wenn dieser vollständig mit Schilf bewachsen ist.

2.1.2.4 Kälteschutz und Winterbetrieb

Schilf ist eine Sumpfpflanze, welche im Herbst nicht mit dem ganzen Bestand umfällt und sich zersetzt. Rhizome und Wurzeln bleiben erhalten und die abgestorbenen Halme stehen noch bis in das späte Frühjahr. Diese abgestorbene oberirdische Biomasse schützt den Boden gegen Kälte. Die Abbaugeschwindigkeit durch die Bakterien sinkt zwar im Winter, aber aufgrund des schützenden Röhrichs und der Bodentiefe finden die Bakterien immer noch Temperaturen um +5° C vor.

2.1.2.5 Besonderheiten des Schilfs

Schilf bildet an unseren Seen und Gräben natürliche Monokulturbestände. Es ist sehr konkurrenzstark und verdrängt im Laufe der Jahre alle anderen Beikräuter und Gräser, sofern ihm genügend Nährstoffe und vor allem Wasser zur Verfügung steht. Schilf ist empfindlich gegen mechanische Belastung, insbesondere gegen Knickbeanspruchung. Schilfbestände auf Pflanzenkläranlagen sind besonders empfindlich, da das Schilf aufgrund der guten Stickstoffversorgung schnell wächst und daher eine geringe Halmfestigkeit entwickelt. Im April und Mai sollte der bepflanzte Bodenfilter möglichst nicht betreten werden, da die neuen Sprosse austreiben und bei Verletzung nicht mehr weiterwachsen. Bei hohem Einstau des Beetes ertrinken und verfaulen Schilfrhizome, wenn das Wasser in das Durchlüftungsgewebe eindringt. Schilf pflanzt sich überwiegend vegetativ durch Rhizome fort. Das Schilf blüht zwar jedes Jahr, die meisten Früchte sind jedoch steril.

2.2 Wasser

2.2.1 Abwasser (nach Allgemeine AEV)

Abwasser ist Wasser, das infolge der Verwendung in Aufbereitungs-, Veredelungs-, Weiterverarbeitungs-, Produktions-, Verwertungs-, Konsumations- oder Dienstleistungs- sowie in Kühl-, Lösch-, Reinigungs-, Desinfektions- oder sonstigen nicht natürlichen Prozessen in seinen Eigenschaften derart verändert wird, dass es Gewässer in ihrer Beschaffenheit (§ 30 WRG 1959) zu beeinträchtigen oder zu schädigen vermag.

Das bei der Firma Loacker anfallende Abwasser kann als Kontaktwasser genauer spezifiziert werden.

Kontaktwasser (nach AEV Abfallbehandlung):

Kontaktwasser ist Niederschlagswasser, welches bei der Lagerung im Rahmen der Abfallbehandlung oder bei der Abfallbehandlung selbst mit dem zu behandelnden Abfall in Berührung kommt. Es wird dem Abwasser aus der Abfallbehandlung zugerechnet.

2.2.2 Schadstoffe

Im Folgenden werden die untersuchten Schadstoffe und Schadstoffgruppen vorgestellt.

Schwebstoffe:

Schwebstoffe sind Feststoffpartikel die im Wasser schweben, da deren Dichte der des Wassers entspricht. In Zusammenhang mit Schwermetallen kommt ihnen eine Umweltrelevanz zu, da Schwermetalle sich vermehrt an ihnen anlagern.

Säuren und Basen:

Säuren und Basen haben einen wesentlichen Einfluss auf den pH-Wert im Wasser. Sowohl im basischen als auch im sauren Bereich werden Mikroorganismen geschädigt und getötet. Je nach pH-Wert können auch Schwermetalle ausgefällt werden.

Phosphat:

Phosphat ist als Nährstoff essentiell, jedoch führt es in großen Mengen zu vermehrtem Algenwachstum und damit zu Gewässereutrophierung.

Ammonium:

Das im Wasser vorkommende Ammonium ist stark pH - abhängig. Das Ammonium ist ein wichtiger Nährstoff in der Umwelt und ein Teil des Stickstoffkreislaufes. Zuviel Ammonium führt zu vermehrtem Algenwachstum und verstärktem Sauerstoffverbrauch. Dies führt wiederum zu Gewässereutrophierung.

Schwermetalle:

Einige Schwermetalle sind in geringen Mengen lebensnotwendig. Bei größeren Konzentrationen führen diese jedoch zu Wachstums- und Stoffwechselstörungen. Schwermetalle sind nicht abbaubar und adsorbieren an Schwebstoffpartikeln oder reichern sich an.

Lipophile Stoffe:

Sind wasserunlösliche, organische Verbindungen, insbesondere Fette, Wachse und Öle.

Kohlenwasserstoffe:

Kohlenwasserstoffe sind Schadstoffe weil deren Abbau im Wasser langsam erfolgt und es zu einer Akkumulation in der Umwelt kommt. Selbst geringe Mengen an Kohlenwasserstoffen im Wasser können dieses stark verunreinigen und damit die Trinkwasserhygiene gefährden. Ölschlieren auf der Wasseroberfläche verhindern die Sauerstoffzufuhr und haben deshalb einen negativen Einfluss auf das Leben im Wasser.

2.3 Abwasserreinigung mittels eines bepflanzten Bodenfilters

2.3.1 Grundlagen (nach DEPLACES et al 1995)

Pflanzenkläranlagen sind Anlagen, bei welchen das Abwasser einem mit Sumpfpflanzen besetzten Bodenkörper zugeführt wird. Das Wasser kann den Bodenkörper in horizontaler, vertikaler oder diagonaler Richtung durchfließen. Damit eine genügend hohe Reinigungsleistung erzielt wird, muss die Durchflussgeschwindigkeit kleiner 0,1 m/h sein. Die Pflanzenkläranlagen sind meist abgedichtete Konstruktionen, um ein unkontrolliertes Abfließen des Abwassers in untenliegende Bodenschichten zu vermeiden. Der Betrieb ist witterungsanfällig, d.h. im Winter entfallen die Pflanzen als Abwasserreiniger und im Sommer kann durch die Hitze Wasser verdunsten, was zum Austrocknen des Abflusses führen kann. Für die Beschaffenheit des Bodenkörpers gibt es ebenfalls verschiedene Möglichkeiten. Üblich ist die Anwendung von Kies, Sand oder bindigem Material. Häufig werden die Bodenkörper wie Sandfilter aufgebaut. Diese Anlagen haben den Namen bepflanzter Bodenfilter. Sie werden nur zum Teil oder gar nicht gestaut, um den nötigen Sauerstoffbedarf zu gewährleisten. Der Schadstoffabbau muss aerob stattfinden.

2.3.2 Bauweisen (nach DEPLACES et al 1995)

Die Bauformen von Pflanzenkläranlagen werden grundsätzlich in 2 Typen unterteilt.

Horizontal durchströmte Anlage:

Hier wird das Abwasser auf der gleichen Höhe abgezogen wie es in die Anlage einfließt. Wenn bindiges Bodenmaterial verwendet wird, besteht nebenbei die Gefahr des oberflächlichen Abfließens. Dies würde zu geringer Reinigung des Abwassers führen. Diese Bauform wird meist kontinuierlich betrieben, d.h. dass ein ständiger Wassereintrag in die Anlage vorhanden ist.

Vertikal durchströmte Anlage:

Sie sind in der Regel Sandfilter. Diese Bauform wird meist diskontinuierlich betrieben, d.h. dass die Abwasserzufuhr zur Anlage in bestimmten zeitlichen Abständen erfolgt. Bei vertikaler Durchströmung der Anlage sollte eine Vorreinigung stattfinden, damit ein Verstopfen der Anlage verhindert wird. Eine solche Verstopfung würde zum Überfließen des Bodenkörpers führen. Dies hätte einen negativen Einfluss auf den Abbau der Schadstoffe, da die Sauerstoffzufuhr abgeschnitten wird, welche zum größten Teil über die Oberfläche stattfindet.

3 Bau und Inbetriebnahme der Anlage

3.1 Bau der Anlage

Der Bau der Anlage erfolgte in mehreren Etappen. Der erste Schritt war die Aufschüttung der Anlagenböschung. Im hinteren Teil der Anlage wurde die Böschung nochmals kurzfristig abgetragen, um einen Graben für das Abflussrohr (DN 250) zu ziehen und dieses zu legen. Den Untergrund der Anlage bildet eine Grobkiesschüttung mit darüberliegendem Schutzvlies. Der bepflanzte Bodenfilter besteht aus mehreren Schichten. Eine versiegelte, 2 mm starke HDPE (high density Polyethylen) Dichtungsbahn (ÖNORM S2073) verhindert das Durchsickern des Abwassers in den Boden. Eine weitere Schutzvliessschicht schützt die Dichtungsbahn vor unbeabsichtigter Penetration. Ein im hinteren Teil der Anlage installierter Sammelschacht (DN 1500) dient als Verbindung zwischen dem Abflussrohr (DN 250) und der auf dem Schutzvlies verlegten Dränleitungen (DN150).

Diese Dränleitungen liegen in einer Dränschicht von 20 cm Mächtigkeit, bestehend aus Kies (16 mm - 32 mm Korngröße). Um das Ausschwemmen von Sandpartikeln aus den oberen Schichten des Bodenkörpers zu verhindern, ist eine weitere Schutzvliessschicht installiert worden. Die darauf aufliegende Schicht ist eine 80 cm mächtige Sand – Kies – Mischung (≤ 4 mm Korngröße). Eine oberflächige, 10 cm dicke Kiesschicht (8 mm - 16 mm Korngröße) schließt den Bodenkörper ab. Ein auf der Deckschicht der Anlage installiertes Rohrleitungssystem soll eine möglichst optimale Abwasserausbringung gewährleisten.

Außerhalb der Anlage ist ein Teil des Vorflutgrabens mit Beton und Holz vom Rest des Grabens abgetrennt worden, um dem aus dem unterirdischen Sammelbecken herausgepumpten Abwasser eine Absetzmöglichkeit bieten zu können, bevor es in den bepflanzten Bodenfilter gepumpt wird. Die Abtrennung soll weitere direkte Kontaminationen des Vorfluters vermeiden. Ein in diesem separierten Bereich installierter Betonschacht schützt die Kreiselpumpe sowie deren Stromversorgung.



Abb. 3: Erster Bauabschnitt der Anlage.



Abb. 4: Grobkiesgrundlage der Anlage.



Abb. 5: Legung der Dichtungsbahn.



Abb. 6: Legung der Dränagen.



Abb. 7: Sandschüttung in der Anlage.



Abb. 8: Anlage gefüllt mit Sand.



Abb. 9: Ausbringungsleitungen.

3.2 Bepflanzung der Anlage

Die Bepflanzung der Anlage fand in zwei Etappen statt. In der ersten Etappe wurden die Schilfpflanzen, welche in einem kleinen Weiher, welcher vor Bestehen der Anlage an deren



Platz war, in die Anlage eingesetzt. Das Einsetzen des Schilfs bestand darin, lose Schilfrohre ohne Rhizome in den Boden hineinzustecken. Diese Bepflanzung kann als Fehlschlag bezeichnet werden. Die zweite Bepflanzung erfolgte mit Schilfstöcken, welche von der ARA Dornbirn stammten. Die Bepflanzung wurde von einer Zeitarbeitsfirma durchgeführt. Von mehreren Arbeitern ist jedoch nur einer erschienen, was zu einer unvollständigen Bepflanzung der Anlage führte. Die Bepflanzung erfolgt indem der Bodenkörper, welcher mit Rhizomen durchzogen war, in ca. 20 x 20 x 20 cm Stücke geschnitten wurden und diese dann in vorher ausgehobene Löcher in der Deckschicht der Anlage gelegt wurden.

Abb. 10: Anlage nach der Bepflanzung.

Neben der Bepflanzung der Anlage wurde, mit dem gleichen Schilfmaterial die Refernzfläche bepflanzt. Hierbei wurden 10 ca. gleich große Schilfklumpen in Abständen von 1 – 2 m entlang eines Baches in eine humusreiche Erde eingegraben. Die Stellen an denen dies geschah, lagen circa 10 cm über der Wasserlinie.

3.3 Anlaufphase und kontinuierlicher Betrieb

Aufgrund geringer Niederschlagsmengen zu Beginn des Betriebes im Hochsommer konnte nur wenig Wasser in die Anlage gepumpt werden. Der Wassermangel behinderte vorerst das Pflanzenwachstum. Nach den ersten Regenperioden gelangte ausreichend Wasser in die Anlage. Es war zu beobachten, dass sich auf der oberflächigen Deckschicht eine Feinschlammsschicht absetzte. In den ersten zwei Monaten des Betriebes der Anlage passierte das Wasser ohne sich aufzustauen den Bodenkörper. Im weiteren Verlauf des Betriebes konnte man die fortlaufende Verschlammung der oberen Bodenkörperschichten beobachten. Diese Verschlammung durch den Schwebstoffeintrag des Abwassers hatte zur Folge, dass die Anlage und die Pflanzen vermehrt unter Wasser standen. Ab Dezember 2004 begann das eingepumpte Abwasser stellenweise Tümpel zu bilden.

Im Frühjahr 2005 wurde die Verschlammung und Versandung der Anlage an der Tatsache deutlich, dass die gesamte Anlagenoberfläche (940 m²) unter Wasser stand. Die Wasseroberfläche reicht in manchen Bereichen schon bis zu 20 cm an die Böschungsoberkante heran.



Abb. 11: Anlage nach Wassereintrag.



Abb. 12: Anlage nach Wassereintrag.

4 Methoden

4.1 Chemische Analytik

4.1.1 Wasseranalytik

4.1.1.1 Probennahme

Es wurde eine Zulaufprobe und eine Ablaufprobe genommen. Die Probenahme der Zulaufprobe fand direkt im unterirdischen Sammelbecken statt. Um eine geeignete Mischprobe zu erhalten, wird das Abwasser im Kreislauf gepumpt und anschließend über einen Probenahmehahn entnommen. Die Ziehung der Ablaufprobe fand am Sammelschacht des bepflanzten Bodenfilters statt. Da dieser Sammelschacht über keine Rückstauvorrichtungen verfügte, wurde von uns ein Provisorium eingesetzt. Danach erfolgte die Probenahme mit einer Vakuumpumpe, welche manuell betrieben wurde. So konnte die Höhe von 1,5 m bis zur Wasseroberfläche überbrückt werden.

4.1.1.2 pH-Messung

Die potentiometrische Bestimmung des pH-Wertes beruht auf der Messung der Potentialdifferenz zwischen einer Bezugs- und einer Glaselektrode. An der Glaselektrode bildet sich, abhängig vom Unterschied der H^+ - Ionenaktivität auf beiden Seiten einer dünnen Glasmembran, eine elektrische Spannung aus. Das Potential der Glaselektrode ist somit direkt vom pH-Wert der Untersuchungslösung abhängig.

Die Analyse erfolgte nach der Norm DIN 38404 C5.

4.1.1.3 Leitfähigkeitsmessung

Mit einer Leitfähigkeitsmesszelle wird der elektrische Strom gemessen, welcher durch die im Wasser anwesenden Ionen geleitet wird.

Die Analyse erfolgte nach der Norm EN 27888.

4.1.1.4 Summe der Kohlenwasserstoffe und der lipophilen Stoffe

Der KW - Gehalt einer Probe wird durch Mineralöle und dessen Produkte verursacht. Der Gehalt an lipophilen Stoffen besteht aus tierischen und pflanzlichen Ölen, Fetten, Mineralölen und Mineralfetten. Die Bestimmung dieser Bestandteile erfolgt durch eine IR-Messung bei den Wellenzahlen 2930 cm^{-1} , 2960 cm^{-1} und 3030 cm^{-1} nach einer Extraktion mit 1,1,2 – Trichlortrifluorethan.

Erfasst werden dabei die $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-$ und Aromaten-Schwingungsbanden. Die Messergebnisse, bezogen auf Squalan (2,6,10,15,19,23-Hexamethyl-tetracosan)/Benzol, werden in mg/L angegeben.

Die Analyse erfolgt nach den Normen DIN 38409 – H18 sowie DIN 38409 – H17. Die Ergebnisse wurden mit den in ÖNORM M 6608 – 1 angegebenen Formeln und Extinktionskoeffizienten berechnet.

4.1.1.5 Abfiltrierbare Stoffe

Abfiltrierbare Stoffe setzen sich aus organischen und anorganischen Sink-, Schweb- und Schwimmstoffen zusammen. Sie werden von einem definierten Volumen (500 mL) einer wässrigen Probe abfiltriert, getrocknet (105° C) und die Masse bestimmt.

Die Analyse erfolgte nach der Norm DIN 38409 H2.

4.1.1.6 Ammonium Stickstoff ($\text{NH}_4 - \text{N}$)

Ammonium – Stickstoff liegt zum Teil in Form von Ammoniumionen und zum Teil als Ammoniak vor. Zwischen beiden Verbindungen besteht ein pH-abhängiges Gleichgewicht. In stark alkalischer Lösung, in der praktisch nur Ammoniak existiert, erfolgt mit Hypochloritionen eine Umsetzung zu Monochloramin. Dieses bildet mit einem substituierten Phenol ein blaues Indophenol – Derivat, das photometrisch bestimmt wird.

Die Analyse erfolgte nach der Norm DIN 38406 E5.

4.1.1.7 Schwermetalle und Phosphor

Aufschluss:

25 mL Probe werden mit 5 mL HNO_3 (w = 65 %) und 2 mL H_2O_2 (w = 30 %) versetzt und nach einem bestimmten Temperaturprogramm in der Mikrowelle aufgeschlossen.

Messung:

Die Atomemissions-Spektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP – AES) ist eine Messtechnik zum Nachweis sowie zur quantitativen Bestimmung von Elementen mit Hilfe der Atomemission.

Die Messlösung wird zerstäubt und das Aerosol mit Hilfe eines Trägergases in ein induktiv gekoppeltes Plasma (ICP) transportiert. Dort werden die Elemente zur Strahlung angeregt. Diese Emission wird in einem Spektrometer spektral zerlegt. Die Intensitäten werden mit den Detektoren bei den elementspezifischen Wellenlängen gemessen.

Die Analyse erfolgte nach der Norm DIN EN ISO 11885

4.1.1.8 Chemischer Sauerstoffbedarf

Unter dem chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) eines Wassers versteht man die volumenbezogene Masse an Sauerstoff, die der Masse an Kaliumdichromat äquivalent ist, die unter den Arbeitsbedingungen des Verfahrens mit den in Wasser enthaltenen oxidierbaren Stoffen reagiert.

1 mol K_2CrO_7 entspricht 1,5 mol O_2 .

Die Analysenprobe wird mit Kaliumdichromat als Oxidationsmittel und Silbersulfat als Katalysator in stark schwefelsaurer Lösung unter definierten Bedingungen erhitzt. Die bei der Oxidation nicht verbrauchten Dichromat-Ionen werden mit Eisen(II)-Ionen maßanalytisch bestimmt.

Die Analyse wird nach den Normen ÖNORM M 6265 und DIN 38 409, Teil 41, (Gruppe H) durchgeführt.

4.1.2 Bodenanalytik

4.1.2.1 Bodenprobenahme

Probenahme:

Hierzu wurden 28 Einzelstichproben aus dem Bodenkörper der Anlage gezogen. Die Beprobungstiefe reichte bis zu 40 cm. Die gezogenen Einzelstichproben wurden auf einen Haufen geworfen und mit einem Spaten umgeschichtet und homogenisiert. Der neu entstandene Haufen der Feldprobe hatte einem Umfang von circa 300 – 400 kg. Aus dieser Feldprobe wurde mit dem Probenstecher 10 Stichproben gezogen und zu einer Mischprobe vereinigt, deren Umfang 30 kg betrug. Diese Mischprobe wurde nach dem Riffelteiler-Prinzip viermal nachhomogenisiert und in zwei Laborproben geteilt.

Probenahme der Referenzprobe:

Die Referenzprobe wurde bei der Firma Hilti in Götzis gezogen, da diese die Kiese und Sande beim Bau der Anlage lieferten. Es wurden an vier verschiedenen Stellen des gewaschenen Sand/Kies-Haufens Proben gezogen die einen Gesamtumfang von 1 kg hatten.

4.1.2.2 Probenaufbereitung

Die Probenaufbereitung der Probe und der Referenzprobe wurde im Labor durchgeführt. Die Siebung der Proben mit einem Sieb (Maschenweite 4 mm) war der erste Schritt. Zur Kohlenwasserstoff-Analyse diente der Feinanteil, wohingegen der Grobkiesanteil verworfen wurde.

Für die Analyse des gesamten organischen Kohlenstoffs und des Gesamtstickstoffs sowie für die Schwermetallanalyse war ein Trocknungsschritt notwendig.

4.1.2.3 Gesamter organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff

Für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes werden alle Carbonate vorher durch Behandlung des Bodens mit Salzsäure entfernt.

Der in der Probe verbleibende organische Kohlenstoff wird durch Aufheizen des Bodens im sauerstoffhaltigen, kohlenstoffdioxidfreien Gasstrom bei mindestens 900° C zu Kohlenstoffdioxid oxidiert. Die Menge des freigesetzten Kohlenstoffdioxids wird dann mittels Infrarotmessgerät gemessen.

Um den Stickstoffgehalt zu ermitteln wird die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Gasen genutzt. Stickstoff hat eine andere Leitfähigkeit als Kohlendioxid, als Referenzgas dient Helium.

Die Analyse erfolgte nach der Norm: DIN ISO 10694

4.1.2.4 Summe der Kohlenwasserstoffe

Es werden 20 g Bodenprobe extrahiert.

Prinzip siehe Punkt 4.1.1.4 (Wasseranalytik)

4.1.2.5 Schwermetalle und Phosphor

Aufschluss: Es werden ca. 2 g Bodenprobe eingewogen und mit 5 mL HNO_3 (w = 65 %) und 2 mL H_2O_2 (w = 30 %) versetzt und nach einem bestimmten Temperaturprogramm in der Mikrowelle aufgeschlossen.

Prinzip siehe Punkt 4.1.1.7 (Wasseranalytik)

4.1.3 Pflanzenanalytik

4.1.3.1 Probenahme

Anlagenprobenahme:

Die Probenahme für die Pflanzenanalytik vollzog sich durch das zufällige Auswählen von Pflanzenhorsten. 30 Pflanzenhorste wurden dann ausgegraben, ein Stück Rhizom entfernt und der Rest wieder eingesetzt.

Referenzprobenahme:

Die Probenahme für das Referenzmaterial fand in der Uferzone des Rheindeltas statt. Dort wurden an verschiedenen Stellen Rhizome aus dem Schilfgürtel entnommen.

4.1.3.2 Probenaufbereitung

Die Rhizomproben der Anlage als auch die Referenzproben wurden jeweils zu Mischproben vereinigt, in drei Gruppen geteilt, lyophilisiert, anschließend zerkleinert und gemahlen.

4.1.3.3 Gesamter organischer Kohlenstoff und Gesamtstickstoff

Prinzip siehe 4.1.2.3 (Bodenanalytik)

4.1.3.4 Schwermetalle und Phosphor

Aufschluss:

Es werden ca. 0,5 g zerkleinertes Schilfrhizom und mit 5 mL HNO_3 (w = 65 %) und 2 mL H_2O_2 (w = 30 %) versetzt und nach einem bestimmten Temperaturprogramm in der Mikrowelle aufgeschlossen.

Prinzip siehe 4.1.1.7 (Wasseranalytik)

4.2 Pflanzenwachstum

4.2.1 Auswahl der Pflanzenhorste

Die Auswahl der Pflanzenhorste erfolgte zufällig. So wurden innerhalb der Anlage 30 Pflanzenhorste gewählt und markiert. Die einzelnen Horste wurden von uns mit Nummern versehen um eine bessere statistische Auswertung zu ermöglichen.

Als Referenzprobe dienten zehn Pflanzenhorste die an den nahegelegenen Bach gepflanzt wurden.

4.2.2 Zählung und Messung wachstumsspezifischer Parameter

Die Ermittlung des Pflanzenwachstums erfolgte durch die Zählung und Messung folgender Parameter: Sprosshöhe, Sprossanzahl, Blattanzahl, Anzahl der toten Sprosse, Anzahl an Blüten. Diese Parameter wurden für jeden Horst einzeln erfasst.

5 Ergebnisse

5.1 Wasseranalytik

Anmerkung: Die Darstellung der jeweiligen Schadstoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage ist nur bedingt aussagekräftig, da die Verweilzeit des Wassers in der Anlage bei der Probenahme nicht berücksichtigt wurde.

Sofern Grenzwerte in den Diagrammen dargestellt wurden, so entsprechen diese dem abwasserrechtlichen Bescheid.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

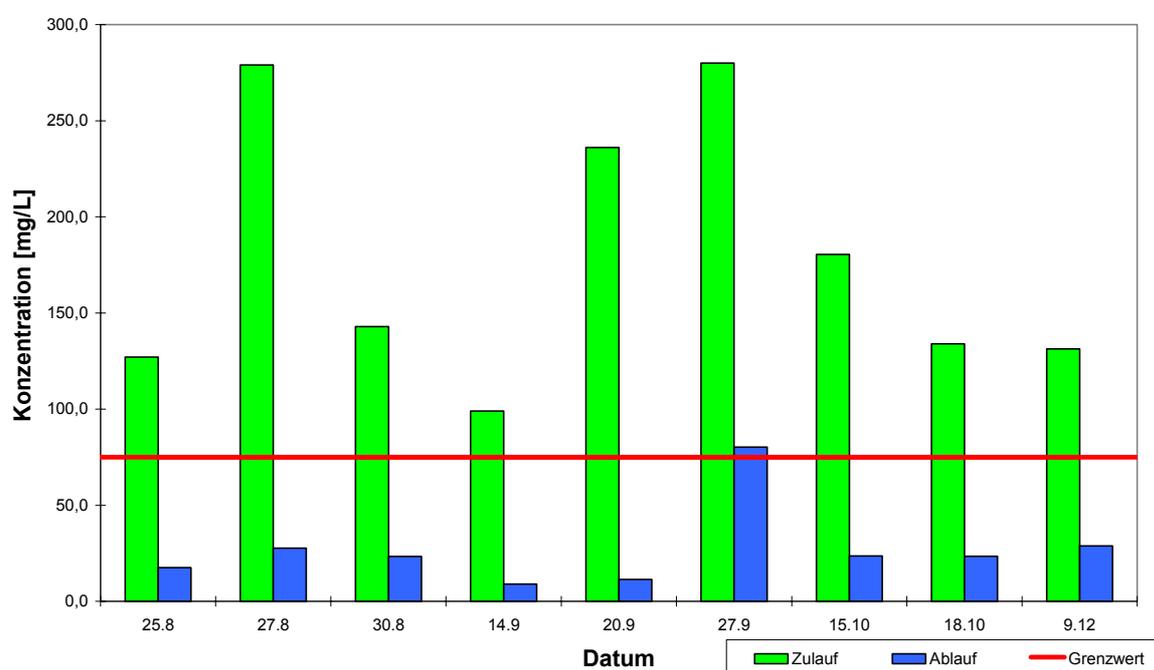


Abb. 13: Vergleich des chemischen Sauerstoffbedarfes im Zu- und im Ablauf.

Entgegen den angestellten Vermutungen, dass mehr Niederschlag die Schadstoffkonzentrationen im Ablauf der Anlage durch das Verdünnungsprinzip minimieren würde, wurden durch die größere Wassermengen mehr Schadstoffe aus dem bepflanzten Bodenfilter ausgetragen als bei wenig Niederschlag. Der eingezeichnete Grenzwert liegt bei 75 mg/L und ist über den Bescheid definiert.

Gleichzeitig erkennt man auch die hohe Reinigungsleistung des Bodenfilters, da die Konzentration an oxidierbaren Substanzen im Ablauf wesentlich geringer ist als im Zulauf. Der erhöhte Ablaufmesswert am 27. September, welcher den bescheidmäßigen Grenzwert überschreitet, ist auf sehr große Niederschlagsmengen zurückzuführen. Ebenfalls ist in Abb. 13 die große Streuung der Zu- und Ablaufkonzentrationen sichtbar.

Ammonium

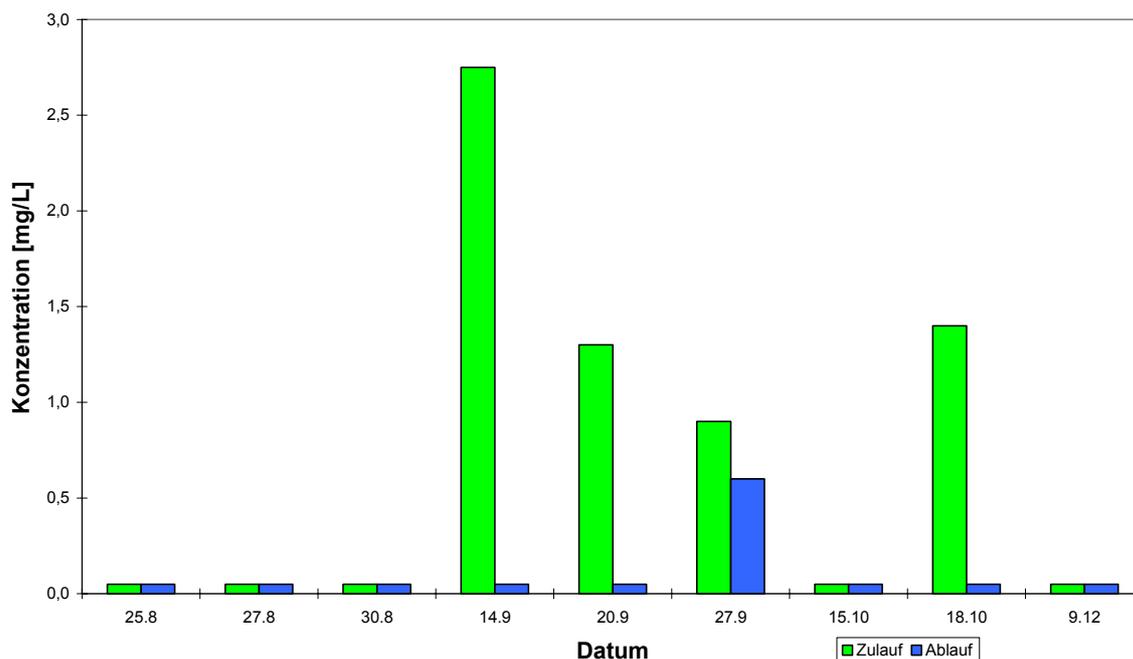


Abb. 14: Zeitlicher Verlauf der Ammoniumkonzentration im Zu- und im Ablauf

Die Ammoniumkonzentration ist sowohl im Zulauf wie im Ablauf mit Werten kleiner 0,5 mg/L an der Bestimmungsgrenze. Der Grund für die erhöhten Zulaufwerte zwischen 14.9. und 18.10. ist nicht bekannt.

Die einzig nennenswerte Ausschemmung von Ammonium, welche über der Bestimmungsgrenze liegt, fand am 27.9. statt. Hierbei wurde das Ammonium durch die großen Wassermengen aus der Anlage transportiert. An den anderen Messtagen ist, trotz eines wesentlich höheren Eintrages, die Abflussmenge unterhalb der Bestimmungsgrenze. Das Ammonium wird vom Bodenkörper zurückgehalten.

Kohlenwasserstoffe

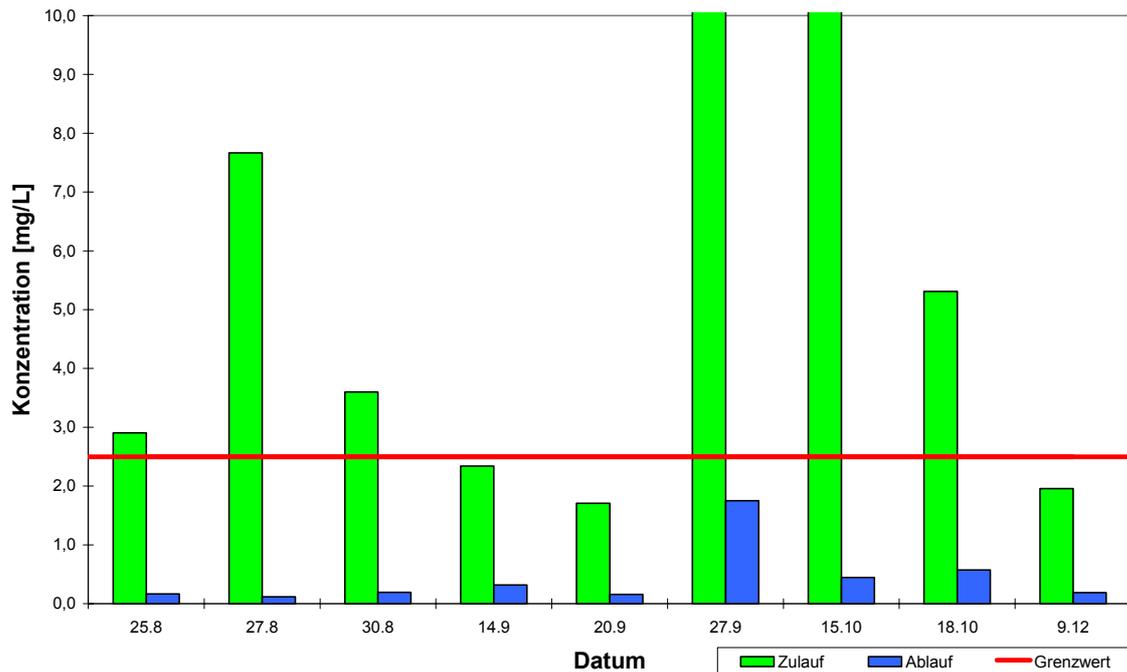


Abb. 15: Zeitlicher Verlauf der Kohlenwasserstoffkonzentrationen im Zu- und im Ablauf.

Für die Konzentrationsspitzen im Zulauf zur Anlage am 27.8., 27.9. und 15.10. sind wahrscheinlich massive Niederschläge verantwortlich, die auf dem Werksgelände eine Anreicherung des Kontaktwassers mit Schadstoffen verursachen. Jedoch ist auch ersichtlich, dass solch hohe Zulaufkonzentrationen von der Anlage bewältigt werden können. Zu bemerken ist auch, dass der Gang der Messdaten der Kohlenwasserstoffkonzentration den Analysewerten des CSB ähnelt. Die in der Anlage verbleibenden Kohlenwasserstoffe reichern sich wie in Abb. 24 ersichtlich, vermehrt im Boden der Anlage an.

Der Verlauf der Konzentration der lipophilen Stoffe (Messdaten siehe Anhang) entspricht dem der Kohlenwasserstoff.

Abfiltrierbare Stoffe

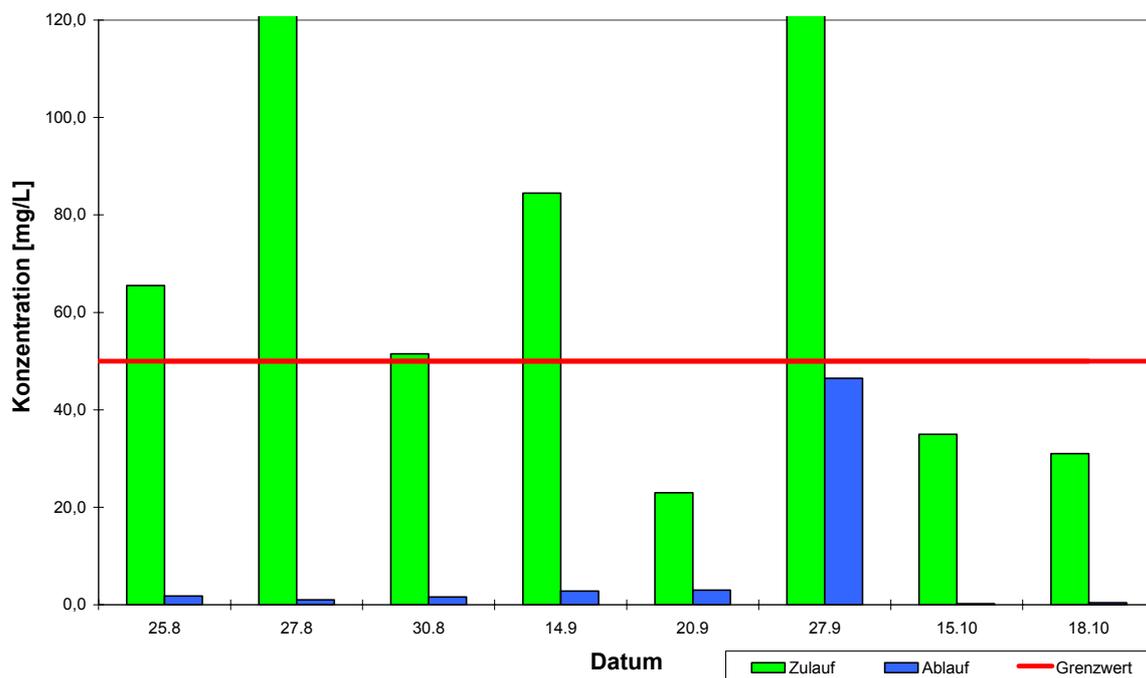


Abb. 16: Zeitlicher Verlauf der Konzentrationen von abfiltrierbaren Stoffen im Zu- und im Ablauf.

Die Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe im Zulauf der Anlage variieren stark. Die Filterleistung der Anlage ist mit bis zu maximal 97 % des Eintrages sehr beachtlich. Der Höchstwert vom 27.9.04 ist durch starke Niederschläge bedingt, welche zu einer Ausschwemmung feiner Feststoffpartikel aus dem Filterkörper führte.

Die sehr gute Abscheidung der Schwebstoffe ist an einer oberflächigen Verschlammung und Abdichtung ersichtlich. Dies führt zur Wasserstauung. Als Folge stellen sich im Wurzelhorizont anaerobe Verhältnisse ein. Das Funktionsprinzip des auf einem aeroben Milieu basierenden bepflanzten Bodenfilters ist dadurch beeinträchtigt.

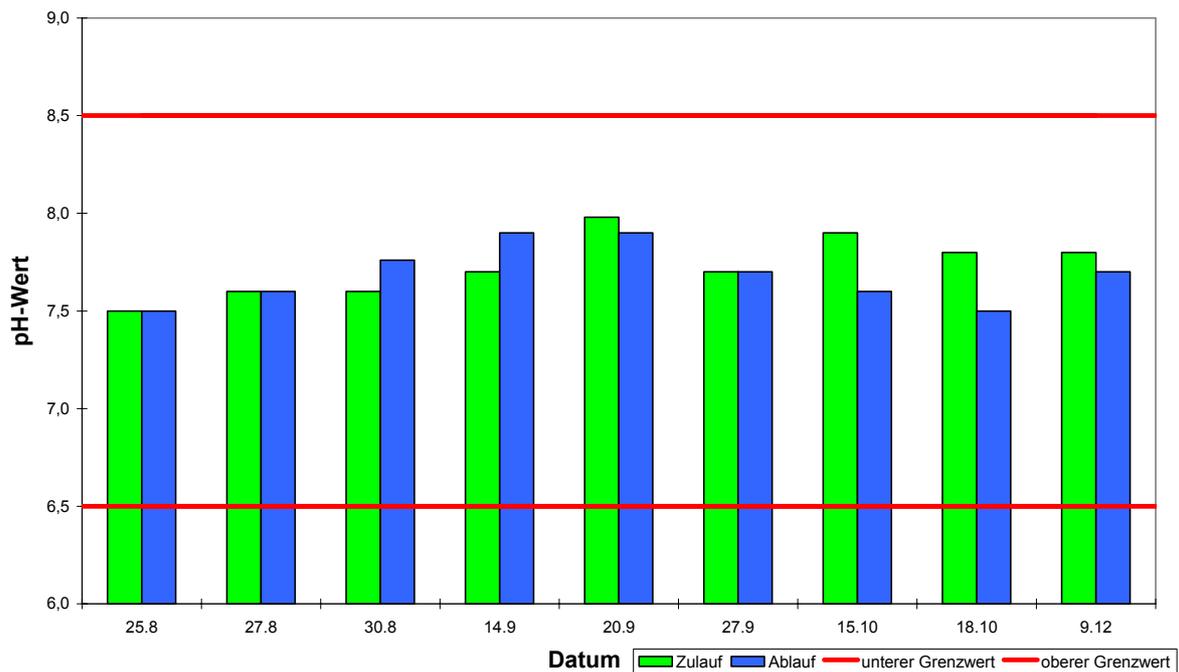
pH-Wert

Abb. 17: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte im Zu- und im Ablauf.

Abbildung 17 veranschaulicht, dass die pH-Werte während des Beobachtungszeitraumes nahezu gleich bleiben. Die pH-Werte schwanken geringfügig in einem Bereich von 7,5-8,0, wobei die Grenzwerte für direkt eingeleitetes Wasser nie unter- bzw. überschritten werden.

Phosphor

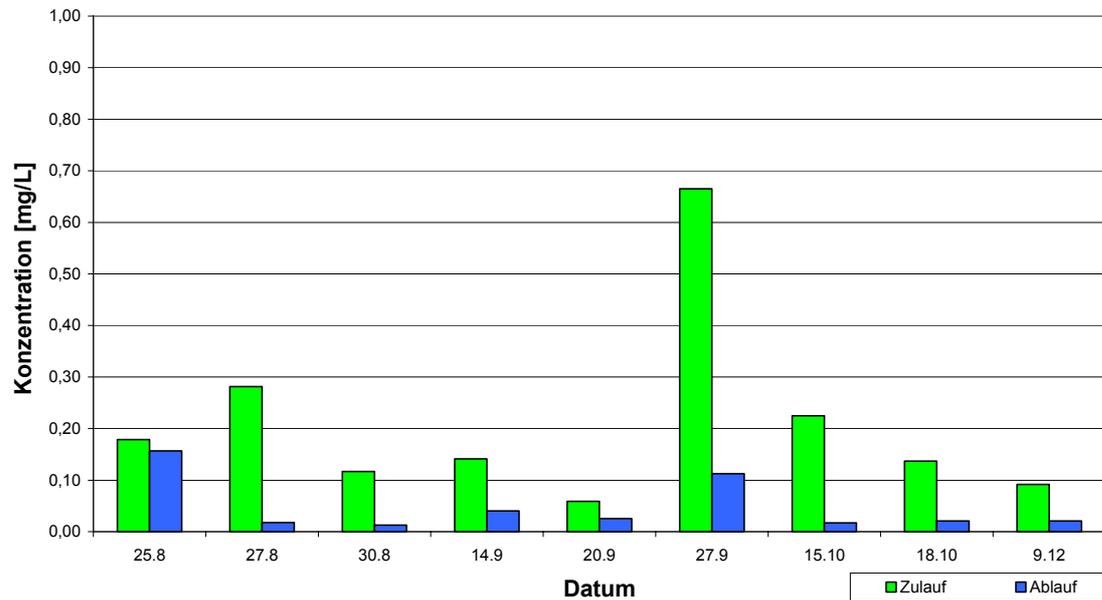


Abb. 18: Zeitlicher Verlauf der Phosphorkonzentration im Zu- und im Ablauf.

Die Spanne des Phosphorgehaltes im Zulauf liegt zwischen 0,05 und 0,66 mg/L. Im Ablauf bewegt er sich im Bereich um 0,03 mg/L. Nur am 25.8. und am 27.9. sind die Ablaufkonzentrationen erhöht.

Aluminium

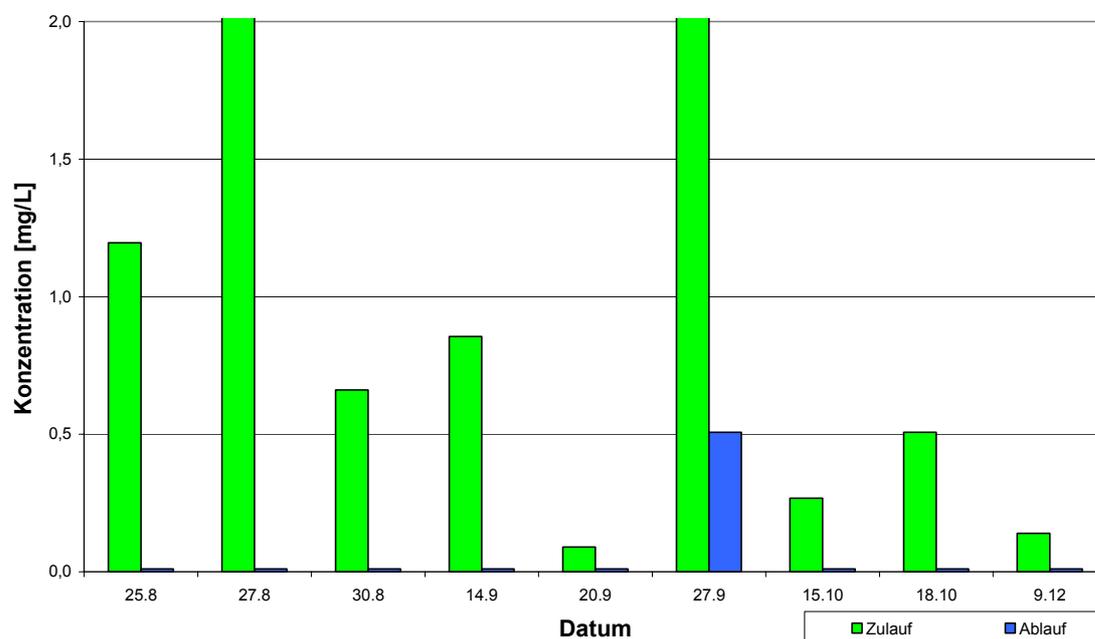


Abb. 19: Zeitlicher Verlauf der Aluminiumkonzentration im Zu- und im Ablauf.

Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,1 mg/L.

Die Konzentrationen im Zulauf zur Anlage sind höher als die Ablaufkonzentrationen. Grund für die erhöhten Einträge am 27.8. und dem 27.9. sind wie bei den Kohlenwasserstoffkonzentrationen (Abb. 15) die erhöhten Niederschläge.

Der Verlauf der Aluminiumkonzentration hängt weiters mit der Zulaufkonzentration der abfiltrierbaren Stoffe (Abb. 16) zusammen. Deren beider Verlauf weist ähnliche Tendenzen auf.

Die Chromkonzentrationen (Messdaten siehe Anhang) im Zulauf und Ablauf der Anlage sind meist unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/L. Nur am 25.8., am 27.8. und dem 27.9. sind die Zulaufkonzentrationen größer als 0,01 mg/L. Die Akkumulierung von Chrom ist hoch, da auch nach stärkeren Niederschlägen keine nachweisbare Ausschwemmung stattfindet.

Die Cadmiumkonzentrationen (Messdaten siehe Anhang) bleiben im Zu- und Ablauf im Bereich von 2 µg/L.

Nickel

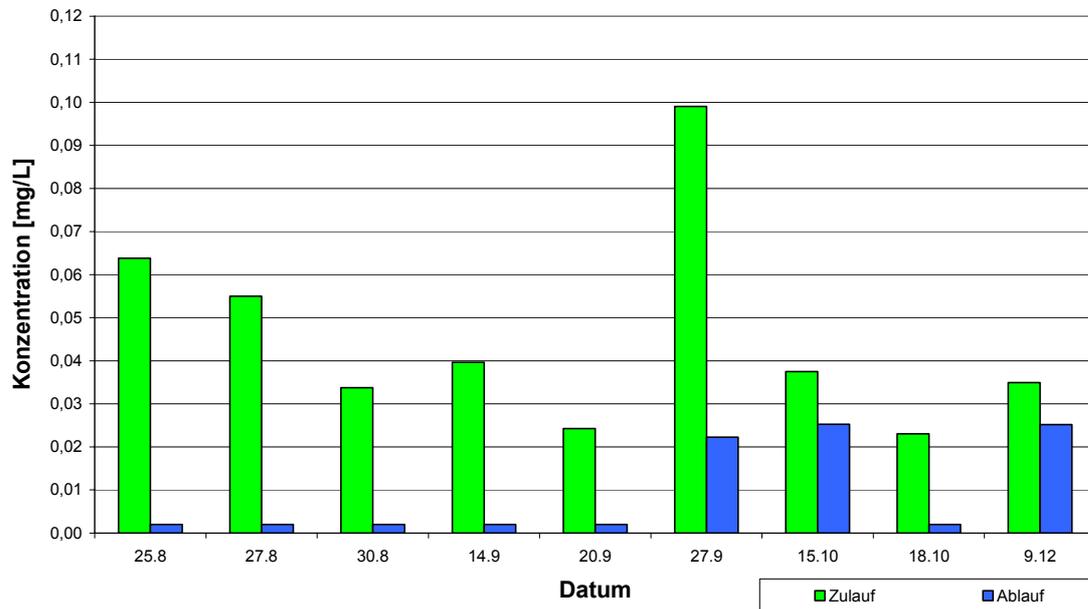


Abb. 20: zeitlicher Verlauf der Nickel-Konzentration im Zu- und Ablauf.

Die Konzentrationsskala beginnt bei der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/L. Auch bei Nickel sind die Ablaufkonzentrationen bei starken Niederschlägen erhöht. Im Allgemeinen ist jedoch die Akkumulierung von Nickel im Boden stärker als im Schilf (siehe Abb. 24 und Abb. 25).

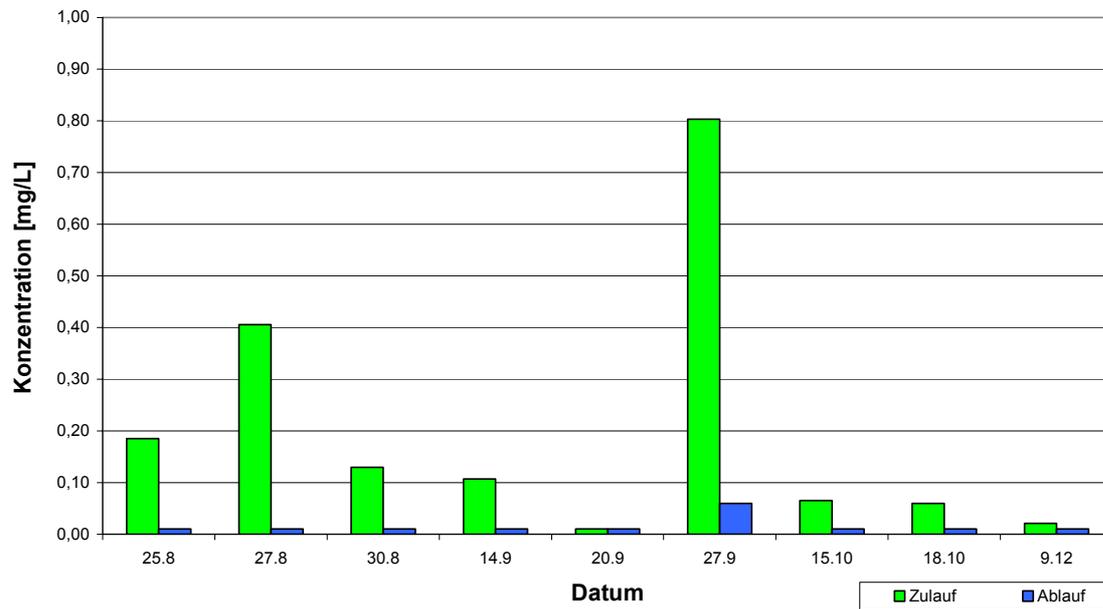
Blei

Abb. 21: Zeitlicher Verlauf der Blei-Konzentration im Zu- und Ablauf.

Die Reinigung des Kontaktwassers ist hinsichtlich Blei sehr gut. Die Ablaufkonzentrationen sind meist kleiner 0,01 mg/L. Über 90% des eingetragenen Bleis verbleiben im Bodenfilter. Nur am 27.9. ist die Ablaufkonzentration größer.

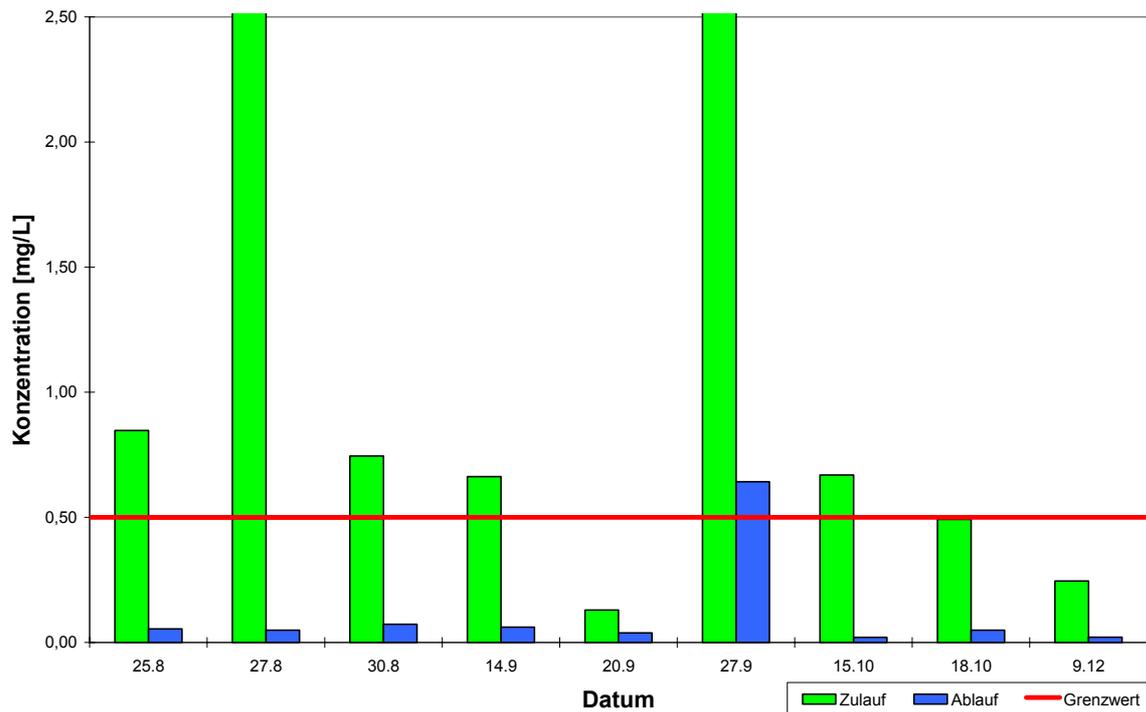
Zink

Abb. 22: Zeitlicher Verlauf der Zink-Konzentration im Zu- und Ablauf.

Die Konzentrationen von Zink im Zulauf liegen meist im Bereich von 0,5 mg/L, die des Ablaufes um 0,1 mg/L. Die Grenzwertüberschreitung am 27.9. ist auf Ausschwemmungen durch die großen Wasservolumina zurückzuführen.

Das Diagramm gleicht bezüglich der Zulaufkonzentration dem von Cadmium und Blei.

Kupfer

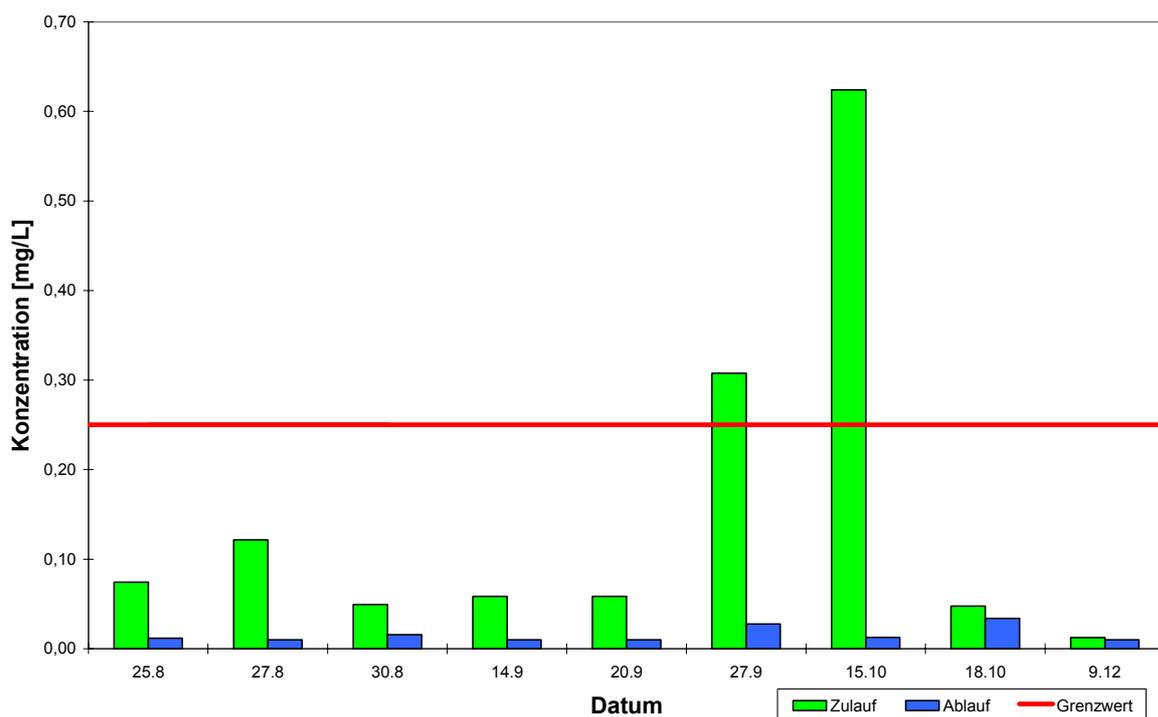


Abb. 23: Zeitlicher Verlauf der Kupferkonzentrationen von 25.8. bis 9.12.

Die Ablaufkonzentrationen sind generell kleiner als die der Zuläufe. Am 15.10. hat die Kupferkonzentration im Zulauf ihren Höhepunkt. Der derzeitige Informationsstand lässt jedoch keine Interpretation dieses Peaks zu. Die Ablaufkonzentrationen sind immer in einem Bereich $<0,05$ mg/L. Der Grenzwert wird immer weit unterschritten. Auch bei großen Niederschlagsvolumina ist die Gefahr einer Grenzwertüberschreitung nicht gegeben.

5.2 Bodenanalytik

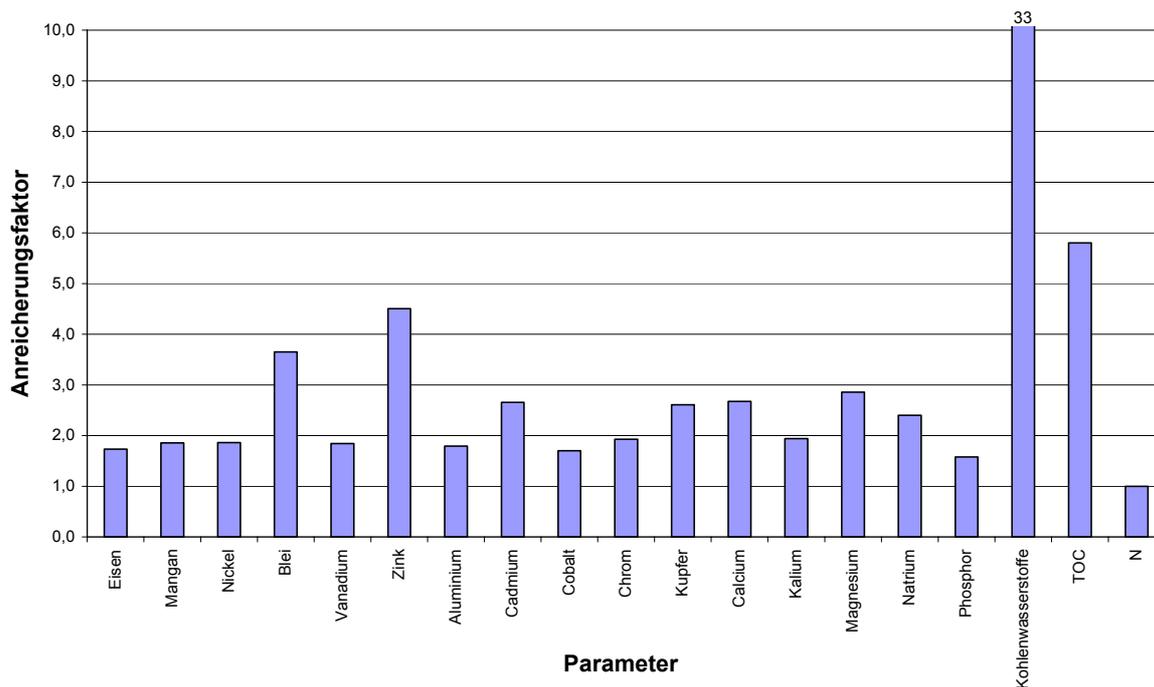


Abb. 24: Anreicherung gemessener Parameter in der Anlage.

Dieses Diagramm stellt die Anreicherung der gemessenen Parameter in dem Bodenkörper der Anlage im Laufe der ersten 4,5 Monate dar. Die Bezugsgrößen sind die Ausgangskonzentrationen, gemessen an der Referenzprobe, bei der es sich um einen reinen mineralischen Boden (gewaschener Sand und Kies der Firma Hilti) handelt.

Die Adsorption von Metallen an feste Bodenpartikel der Anlage ist auffallend hoch. Der Gehalt der meisten Parameter im Anlagenbodenkörper ist in Bezug zum Referenzboden doppelt so groß (Faktor 2) – bei Blei und Zink hat er sich jedoch nahezu vervierfacht.

Die Akkumulation von Kohlenwasserstoffen im Boden ist mit einem Wert von 33 der absolute Spitzenreiter. Die Anreicherung des TOC in der Anlage hat den Faktor 6.

Daraus resultiert ein Nährstoffverhältnis (C/N-Verhältnis) von 58:1. Ideale Nährstoffversorgung für Schilfpflanzen ist bei einem Verhältnis von 10:1 bis 15:1 gegeben.

Das C/N-Verhältnis des Referenzbodens ist 10:1.

5.3 Pflanzenanalytik

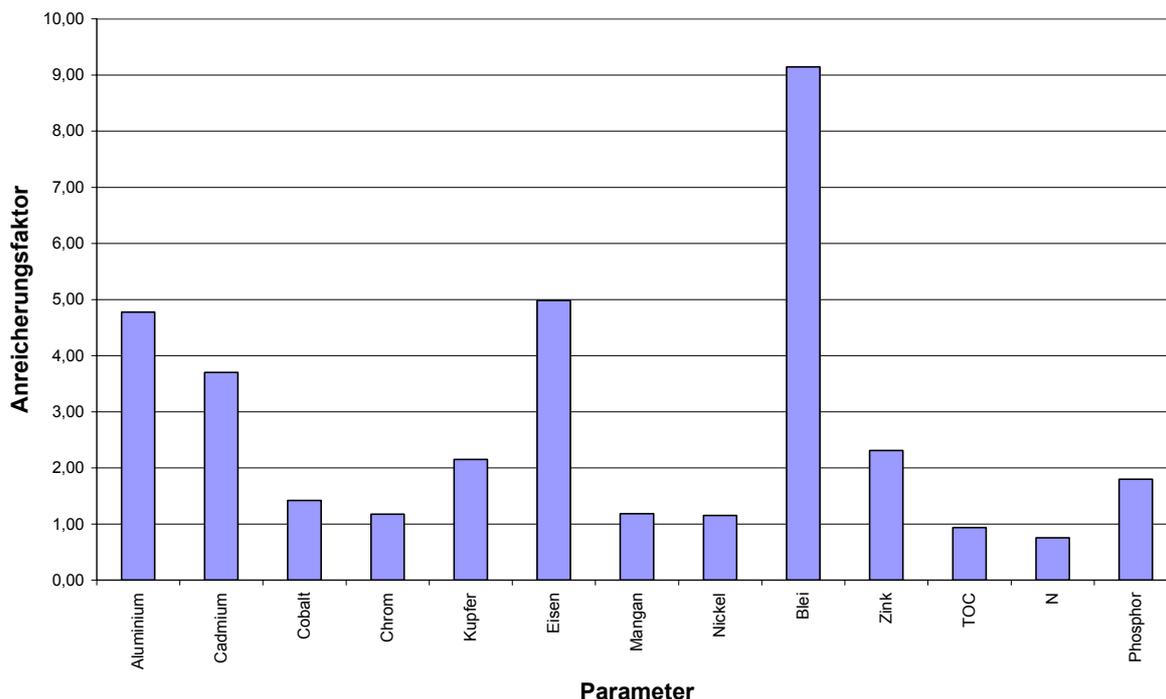


Abb. 25: Anreicherung der gemessenen Parameter in den Anlagenschilfrhizomen.

In dieser Abbildung zeigen die Balken die jeweiligen Abweichungen der gemessenen Parameter im Vergleich zu den Rhizomen aus dem Naturschutzgebiet Rheindelta.

Bei Cobalt, Chrom, Mangan und Nickel findet keine Anreicherung in den Schilfrhizomen statt, die Anreicherung von Kupfer und Zink hat bereits den Faktor 2. Besonders bei Aluminium, Cadmium, Eisen und Blei ist die Belastung gegenüber der Referenzprobe deutlich erhöht: Cadmium 3,7mal, Aluminium 5mal, Eisen 5mal sowie Blei 9mal.

Die Konzentrationen von TOC und N in den Schilfrhizomen der Anlage sind niedriger als jene der Referenzproben. Der niedrigere Stickstoffwert beim Anlagenschilf ist auf die Unterversorgung von Stickstoff aus dem festen Bodenkörper ($N = 0,05 \%$) und aus dem Bodenwasser ($NH_4 < 2,7 \text{ mg/L}$) zurückzuführen.

5.4 Pflanzenwachstum

5.4.1 Wachstumsverlauf der Schilfpflanzen

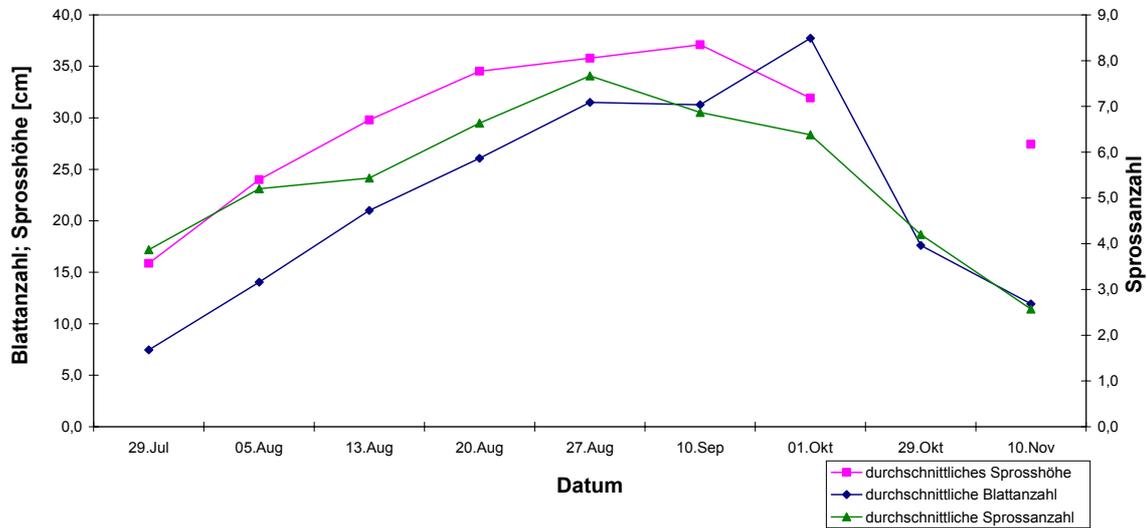


Abb. 26: Wachstumsverlauf der markierten Schilfpflanzen in der Anlage vom 29.7. bis 10.11.

Der Vergleich der einzelnen Parameter an den markierten Pflanzen in der Anlage zeigt, dass die Sprossanzahl am 27. August, die Sprosshöhe am 10. September und die Blattanzahl am 1. Oktober 2004 ihre jeweiligen Höhepunkte erreichten. Während der Pilotphase der Anlage weisen die drei Parameter eine kontinuierliche Entwicklung auf.

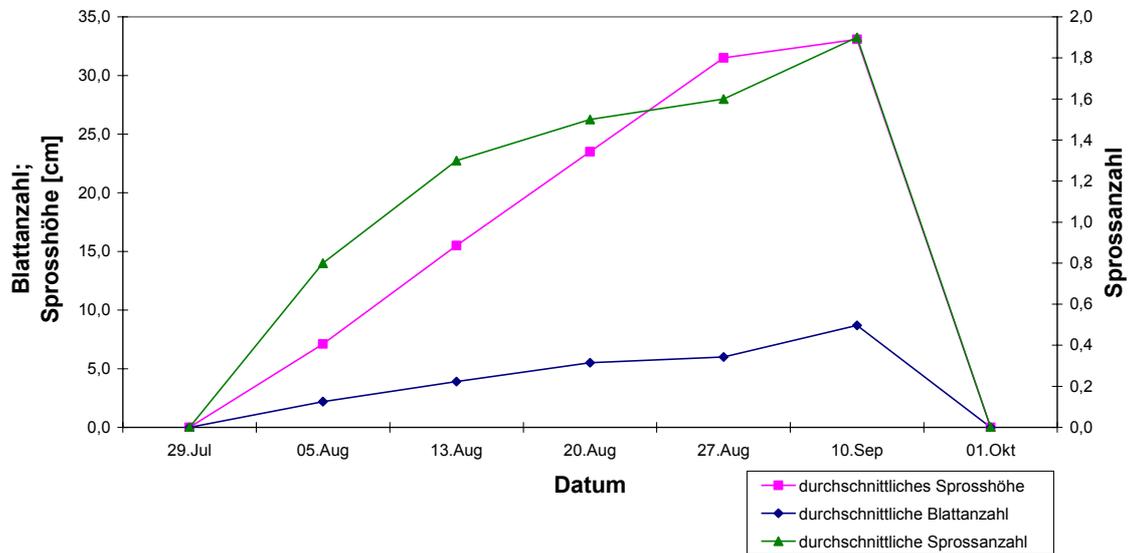


Abb. 27: Wachstumsverlauf der Referenzpflanzen vom 29.7. bis 1.10.

Der Vergleich der einzelnen Parameter an den Referenzpflanzen zeigt, dass alle drei Parameter, die Sprossanzahl, die Sprosshöhe sowie die Blattanzahl am 10. September 2004 ihren Höhepunkt hatten. Der Grund für das abrupte Abfallen der Zähl- und Messwerte am 1. Oktober liegt an der Tatsache, dass die Referenzhorste zwischen diesen Messungen von Unbekannten abgemäht wurden.

5.4.2 Relative Änderung der Sprossanzahl

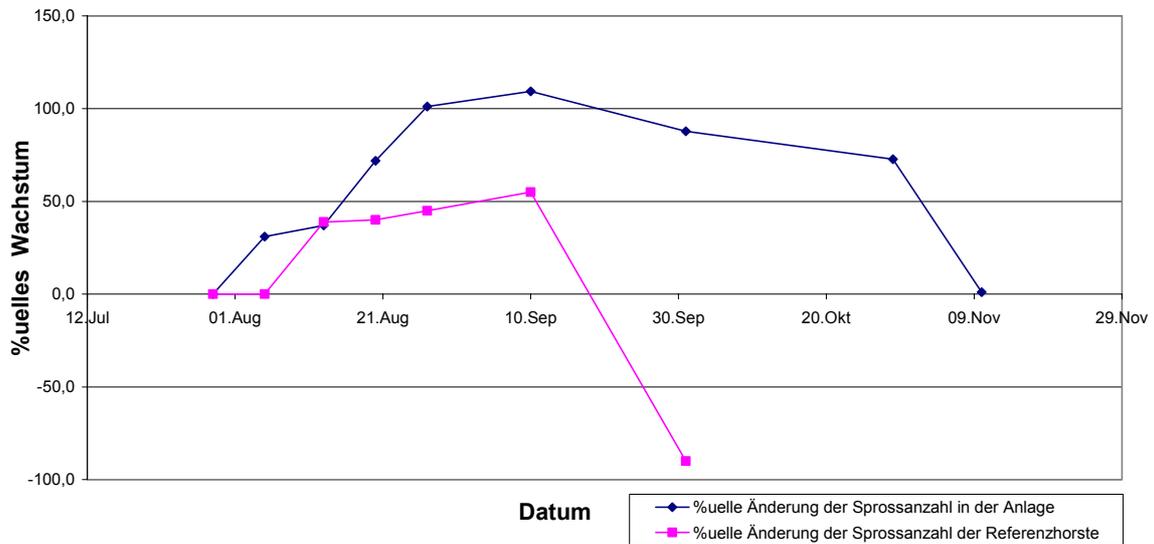


Abb. 28: Zeitlicher Verlauf der relativen Änderung der Sprossanzahl von 29.7. bis 10.11.

Der Vergleich der prozentuellen Änderung der Sprossanzahl (Anlage: 116 Sprosse; Referenz: 8 Sprosse) ist bezogen auf die erste Messung als Referenzzeitpunkt. Das Wachstum der Anlagensprosse ist ein stärkeres als das der Referenzsprosse. Das abrupte Wachstumsende der Referenzhorste gegen Ende September ist darauf zurückzuführen, dass die Referenzsprosse abgemäht wurden.

5.4.3 Relative Änderung der Blattanzahl

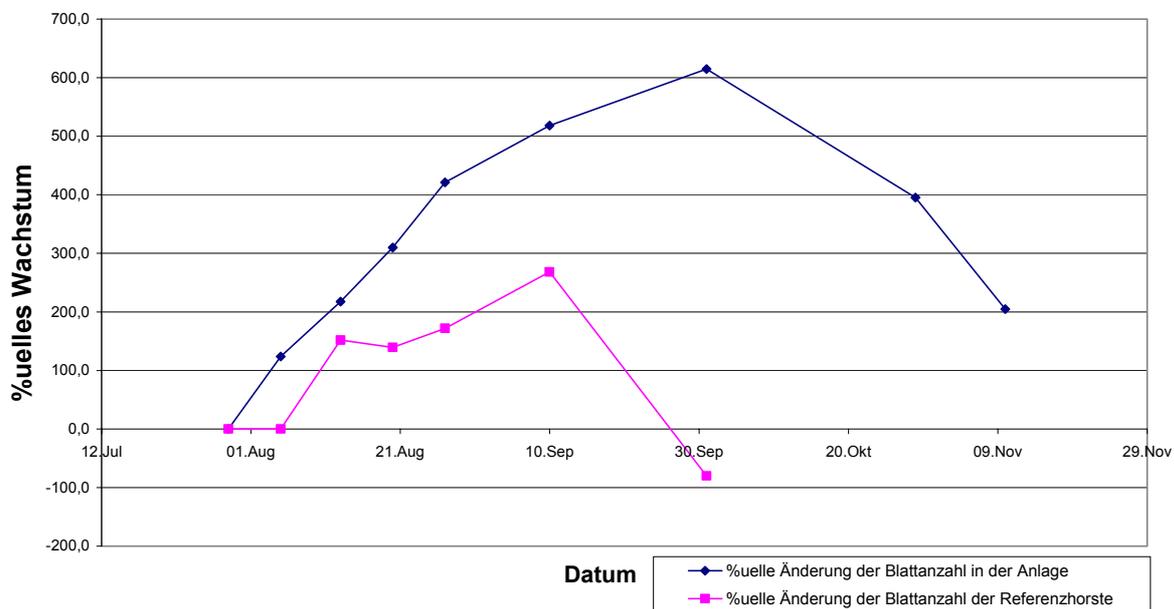


Abb. 29: Zeitlicher Verlauf der relativen Änderung der Blattanzahl von 29.7. bis 10.11.

Der Vergleich der %uellen Änderung der Blattanzahl bezieht sich auf die erste Messung als Referenzzeitpunkt (Anlage: 224 Sprosse; Referenz: 22 Blätter). Der Anstieg der Blattanzahl der Referenzhorste ist wesentlich niedriger als der der Anlagenhorste. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Anlagenhorste eine bessere Wasserversorgung hatten als die Referenzhorste, da die Referenzhorste an einem Bach gesetzt wurden, welcher im Verlauf des Sommers nahezu austrocknete.

5.4.4 Absolutes Wachstum der Schilfsprosse

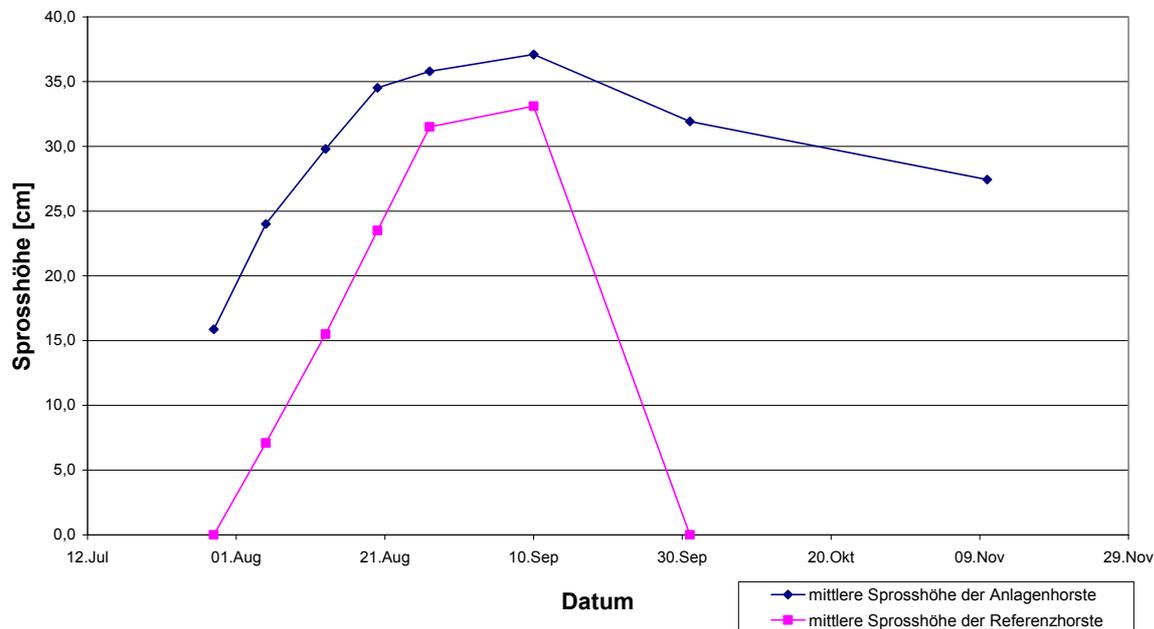


Abb. 30: Zeitlicher Verlauf des absoluten Wachstums der Schilfsprosse von 29.7. bis 10.11.

Das Diagramm stellt das absolute Sprosswachstum der Schilffhorste in der Anlage dem der Referenzhorste gegenüber.

Der Vergleich der Sprosshöhe zeigt, dass das Sprosswachstum beider Horstegruppen fast verläuft.

5.5 Beobachtungen

In der Anfangsphase war meistens zu wenig Wasser für die Pflanzen vorhanden, oder es versickerte sehr schnell.

In der anfänglichen Betriebsphase musste festgestellt werden, dass nach oder während länger andauernden Niederschlägen mehr Abwasser in die Anlage ausgebracht wurde.

Nach längerem Betrieb, verstopften die Poren des Bodens durch die Schwebstoffe, das Wasser stand bzw. steht dadurch länger in der Anlage und zusätzliche Wassermengen erhöhen somit den Wasserspiegel in der Anlage.

6 Diskussion

Die Schadstoffe, welche durch den Wassereintrag in die Anlage gelangen werden durch den bepflanzten Bodenfilter adsorbiert. Je höher die Schadstoffkonzentration im Zulauf, umso höher ist sie im Ablauf. Die Konzentrationen im Ablauf überschreiten die bescheidmäßig auferlegten Grenzwerte mit wenigen Ausnahmen nicht.

Da die Oberfläche nur unzureichend bepflanzte ist (siehe Abbildung 10), findet der Abbau organischer Schadstoffe durch das Schilf nur in einem geringen Ausmaß statt. Es können nicht ausreichend Schadstoffe in den Schilfrhizomen gebunden werden. In weiterer Folge werden sie daher durch das eingebrachte Wasser wieder ausgeschwemmt.

Die Ausbringung des belasteten Abwassers erfolgt nicht nach den Bedürfnissen der Pflanzen. Durch häufige Überflutungen, wird das Wachstum gehemmt. Außerdem ist der Makronährstoff Stickstoff im Boden nur mit 0,05 % und im Bodenwasser mit weniger als 2,7 mg/L vertreten. Um ein besseres Schilfwachstum und eine Vermehrung der aerophilen Bakterien zu fördern, sind Düngergaben zu überlegen.

Die im Rohabwasser vorhandenen Schwebstoffe verstopfen die Poren des Bodenfilters, eine weitere Aufstauung des Abwassers und die Bildung einer anaeroben Zone ist die Folge.

Die Akkumulierung der Schadstoffe im Bodenkörper der Anlage ist derart stark, dass aufgrund der starken Anreicherung von Kohlenwasserstoffen eine Deponierung auf einer Bodenaushubdeponie voraussichtlich nicht mehr möglich sein wird.

7 Literatur

BAHLO, K., WACH, G., (1992): Naturnahe Abwasserreinigung. Ökobuch-Verlag, Staufen, S. 137.

BGBI.Nr. 186/1996: Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (1996), Wien.

BGBI.Nr. 9/1999: Begrenzung von Abwasseremissionen aus der physikalisch-chemischen oder biologischen Abfallbehandlung (AEV Abfallbehandlung) (1999), Wien.

DEPLACES, G., BOLLER, M., VOIGET, Ph., (1995): Kleinläranlagen – Richtlinien für den Einsatz, die Auswahl und die Bemessung von Kleinkläranlagen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (H.G.), Zürich, S. 58.

DIN ISO 10694 (1996): Bodenbeschaffenheit: Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse).

DIN 38409 – H41 (1980): Summarische Wirkungs- und Stoffkenngößen, Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs.

DIN EN ISO 11885 (1998): Wasserbeschaffenheit: Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie.

DIN 38409 – H18 (1981): Summarische Wirkungs- und Stoffkenngößen, Bestimmung von Kohlenwasserstoffen.

DIN 38406 – E5 (1983): Kationen: Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs.

DIN 38409 – H2 (1980): Summarische Wirkungs- und Stoffkenngößen, Bestimmung des Gehaltes an abfiltrierbaren Stoffen und ihres Glühverlustes.

DIN 38404 – C5 (1984): Physikalische und physikalisch-chemische Kenngößen, Bestimmung des pH – Wert .

EN 27888 (1993): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit.

8 Anhang

8.1 Tabellen der Analyseergebnisse

Rohdaten der Wasseranalytik:

Zulauf	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Zn
Datum	[mg/L]	[µg/L]	[mg/L]								
25.Aug	1,2	1,5	<0,01	<0,01	0,07	22	0,31	0,06	0,18	0,19	0,85
27.Aug	28	3,2	<0,01	0,02	0,12	70	0,31	0,06	0,28	0,41	18
30.Aug	0,66	1,7	<0,01	<0,01	0,05	20	0,14	0,03	0,12	0,13	0,75
14.Sep	0,86	1,5	<0,01	<0,01	0,06	37	0,2	0,04	0,14	0,11	0,66
20.Sep	0,1	1	<0,01	<0,01	0,06	0,6	0,03	0,02	0,06	0,01	0,13
27.Sep	68	10	<0,01	0,06	0,31	20	0,51	0,1	0,66	0,8	38
15.Okt	0,27	1,8	<0,01	<0,01	0,62	31	0,48	0,04	0,22	0,07	0,67
18.Okt	0,51	1,6	<0,01	<0,01	0,05	27	0,25	0,02	0,14	0,06	0,49
09.Dez	0,14	1	<0,01	<0,01	0,01	19	0,27	0,03	0,09	0,02	0,25

Ablauf	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Zn
Datum	[mg/L]	[µg/L]	[mg/L]								
25.Aug	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,16	<0,01	0,05
27.Aug	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,05
30.Aug	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07
14.Sep	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,06
20.Sep	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,04
27.Sep	0,51	1,2	<0,01	<0,01	0,03	22	0,17	0,02	0,11	0,06	0,64
15.Okt	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,03	0,02	<0,01	0,02
18.Okt	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,05
09.Dez	<0,10	<1,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,39	0,12	0,03	0,02	<0,01	0,02

Zulauf	CSB	KW	lipophile	Abfiltr. Stoffe	Ammonium	pH - Wert	Leitfähigkeit
Datum	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]		[µS/cm]
25.Aug	130	2,9	6	66	<0,5	7,5	760
27.Aug	280	7,7	12	130	<0,5	7,6	610
30.Aug	140	3,6	5,7	52	<0,5	7,6	560
14.Sep	100	2,3	3,8	85	2,8	7,7	570
20.Sep	240	1,7	2,6	23	1,3	8	930
27.Sep	280	14	23	230	0,9	7,7	470
15.Okt	180	12	13	35	<0,5	7,9	1100
18.Okt	130	5,3	6,9	31	1,4	7,8	730
09.Dez	130	2	3,2	--	0	7,8	2070
mittlerer A.	180	5,7	8,5	82	0,9	7,7	870
minimaler Wert	100	1,7	2,6	31	<0,5	7,5	470
Maximaler Wert	280	14	23	230	2,6	7,9	2070

CSB....Chemischer Sauerstoffbedarf

KW... Kohlenwasserstoffe (gesamt)

	BG:	NG					
	<0,18	<0,58					
Ablauf	CSB	KW	lipophile	abfiltrierbare	Ammonium	pH	Leitfähigkeit
Datum	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	-	[µS/cm]
25.Aug	17	<0,18	<0,18	1,8	<0,50	7,5	610
27.Aug	27	<0,18	<0,18	1	<0,50	7,6	650
30.Aug	23	0,19	<0,18	1,6	<0,50	7,8	620
14.Sep	8,5	0,32	<0,18	2,8	<0,50	7,9	490
20.Sep	11	<0,18	<0,18	3	<0,50	7,9	610
27.Sep	80	1,75	2,7	46	0,6	7,7	680
15.Okt	23	0,45	<0,18	0,2	<0,50	7,6	710
18.Okt	23	0,57	<0,18	0,4	<0,50	7,5	600
09.Dez	28	0,19	<0,18	--	<0,50	7,7	790
Mittlerer Austrag	27	0,43	0,47	7,1	0,51	7,7	640
minimaler Wert	8,9	0,12	0,07	0,2	<0,50	7,5	490
Maximaler Wert	80	1,7	2,7	46	0,6	7,9	790
Grenzwert	75	10	25	50	10	6,5 - 8,5	--

Rohdaten der Bodenanalytik:

	Eisen	Mangan	Nickel	Blei	Vanadium	Zink
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Referenz	6600	120	7,8	3,8	10	16
Probe	11400	220	15	14	18	73

	Aluminium	Cadmium	Cobalt	Chrom	Kupfer
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Referenz	3400	110	2,7	9,8	5,5
Probe	6100	300	4,6	18	14

	Calcium	Kalium	Magnesium	Natrium	Phosphor
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Referenz	42600	510	13400	560	190
Probe	114000	990	38400	1300	300

	Kohlenwasserstoffe [mg/kg]	TOC	N	C:N-Verhältnis
Referenz	3,7	0,50%	0,05%	10:1
Probe	109	2,90%	0,05%	58:1

Rohdaten der Schilfanalytik:

	Aluminium	Cadmium	Cobalt	Chrom	Kupfer
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Schilf Referenz 1	780	0,10	1,3	10	4,6
Schilf Referenz 2	320	0,05	0,9	13	4,8
Schilf Referenz 3	460	0,06	2,7	66	8,4
Mittelwert	520	0,07	1,1	11	4,7
Minimum	320	0,05	0,9	10	4,6
Maximum	780	0,10	2,7	66	8,4
Schilf Probe 1	3300	0,27	1,8	12	8,9
Schilf Probe 2	1900	0,19	1,2	12	7,9
Schilf Probe 3	2300	0,32	1,6	16	13
Mittelwert	2500	0,26	1,5	13	10
Minimum	1900	0,19	1,2	12	7,9
Maximum	3300	0,32	1,8	16	13

	Eisen mg/kg	Mangan mg/kg	Nickel mg/kg	Blei mg/kg	Zink mg/kg	
Schilf Referenz 1	970	120	6,9	1,5	25	
Schilf Referenz 2	446	87	9,1	0,81	25	
Schilf Referenz 3	822	66	38	1,2	39	
Mittelwert	750	90	8,1	1,2	29	
Minimum	450	66	6,9	0,81	25	
Maximum	970	120	38	1,5	39	
Schilf Probe 1	4200	83	9,0	8,5	60	
Schilf Probe 2	3300	72	8,2	6,6	51	
Schilf Probe 3	3500	160	10	17	95	
Mittelwert	3700	106	9,2	11	69	
Minimum	3300	72	8,2	6,6	51	
Maximum	4200	160	10	17	95	

	TC [%]	TN [%]	Phosphor [%]
Referenz	44	0,87	0,04
Probe 1	41	0,61	0,08
Probe 2	41	0,66	0,08
Probe 3	42	0,70	0,08
Mittelwert	41	0,66	0,08
Minimum	41	0,61	0,08
Maximum	42	0,70	0,08

Messung der Schilfparameter in der Anlage

Horst 1A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	2	7	30	40	-	-
05.Aug	2	11	30	40	-	-
13.Aug	2	11	30	40	-	-
20.Aug	3	15	10	45	-	-
27.Aug	3	14	11	45	-	-
10.Sep	4	22	11	49	-	-
01.Okt	2	21	40	50	-	-
10.Nov	2	23	38	46	-	-

Horst 1B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	11	7		-	-	-
05.Aug	12	39	2	80	-	-
13.Aug	18	54	5	90	-	-
20.Aug	20	72	5	100	-	-
27.Aug	11	49	10	100	-	-
10.Sep	17	57	5	100	-	-
01.Okt	7	50	9	42	-	-
10.Nov	5	36	20	40	-	-

Horst 2A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	7	17	5	30	-	-
05.Aug	25	41	2	30	-	-
13.Aug	11	44	10	30	-	-
20.Aug	10	30	30	30	-	-
27.Aug	12	45	5	35	-	-
10.Sep	12	50	10	34	-	-
01.Okt	11	45	8	30	-	-
10.Nov	2	16	10	30	-	-

Horst 2B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	1	5	9	-	-
05.Aug	6	8	2	10	-	-
13.Aug	6	11	5	15	-	-
20.Aug	5	13	5	20	-	-
27.Aug	7	25	7	25	-	-
10.Sep	8	44	10	29	-	-
01.Okt	8	28	6	29	-	-
10.Nov	8	22	11	33	-	-

Horst 2C	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	4	10	5	15	-	-
05.Aug	5	15	10	20	-	-
13.Aug	8	30	10	35	-	-
20.Aug	8	39	5	45	-	-
27.Aug	12	61	5	48	-	-
10.Sep	12	67	18	52	-	-
01.Okt	9	52	8	50	-	-
10.Nov	4	26	18	46	-	-

Horst 2D	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	1	0	5	5	-	-
13.Aug	1	2	12	12	-	-
20.Aug	2	3	20	30	-	-
27.Aug	3	6	5	22	-	-
10.Sep	4	12	15	33	-	-
01.Okt	6	27	6	48	-	-
10.Nov	5	9	12	47	-	-

Horst 3A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	1	0	5	5	-	-
05.Aug	1	0	10	10	-	-
13.Aug	1	0	10	10	-	-
20.Aug	1	0	10	10	-	-
27.Aug	0	0	0	0	-	-
10.Sep	0	0	0	0	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-
10.Nov	0	0	0	0	-	-

Horst 3B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	1	0	3	3	-	-
05.Aug	1	0	7	7	-	-
13.Aug	2	1	7	7	-	-
20.Aug	4	7	15	15	-	-
27.Aug	4	12	13	16	-	1
10.Sep	4	9	12	20	-	-
01.Okt	2	7	15	20	-	2
10.Nov	0	0	0	0	-	-

Horst 3C	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	5	11	5	15	-	-
05.Aug	5	21	8	30	-	-
13.Aug	5	25	10	30	-	-
20.Aug	7	31	15	32	-	-
27.Aug	8	31	2	32	-	-
10.Sep	8	28	12	33	-	-
01.Okt	12	49	7	22	-	-
10.Nov	5	17	18	25	-	-

Horst 3D	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	7	18	2	15	-	-
05.Aug	7	25	10	15	-	-
13.Aug	10	36	10	20	-	-
20.Aug	8	42	5	35	-	-
27.Aug	14	53	4	35	-	-
10.Sep	13	63	2	39	-	-
01.Okt	13	67	10	41	-	-
10.Nov	0	0	0	0	-	-

Horst 3E	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	10	10	15	-	-
05.Aug	3	13	15	30	-	-
13.Aug	3	16	20	35	-	-
20.Aug	3	17	20	35	-	-
27.Aug	4	18	5	35	-	-
10.Sep	4	24	11	39	-	-
01.Okt	4	33	14	22	-	-
10.Nov	1	10	40	40	-	-

Horst 3F	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	2	6	15	15	-	-
05.Aug	3	10	5	20	-	-
13.Aug	4	21	10	60	-	-
20.Aug	5	24	3	90	-	-
27.Aug	7	25	8	35	-	-
10.Sep	7	30	3	34	-	-
10.Nov	2	17	25	28	-	-

Horst 3G	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	6	16	5	25	-	-
05.Aug	6	19	5	50	-	-
13.Aug	7	26	10	55	-	-
20.Aug	6	25	3	60	-	-
27.Aug	6	28	8	60	-	-
10.Sep	6	37	24	59	-	-
01.Okt	6	43	17	54	-	-
10.Nov	3	18	20	42	-	-

Horst 3H	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	5	10	2	10	-	-
05.Aug	7	17	2	25	-	-
13.Aug	4	19	20	30	-	-
20.Aug	4	25	20	30	-	-
27.Aug	7	38	10	40	-	-
10.Sep	9	48	9	42	-	-
01.Okt	8	48	7	41	-	-
10.Nov	4	10	21	38	-	-

Horst 4A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	7	4	2	10	-	-
05.Aug	5	11	3	15	-	-
13.Aug	5	18	5	20	-	-
20.Aug	7	26	5	20	-	-
27.Aug	4	20	15	25	-	-
10.Sep	5	28	10	27	-	-
01.Okt	5	41	18	29	-	-
10.Nov	3	16	10	23	-	-

Horst 4B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	2	3	5	10	-	-
05.Aug	3	7	10	20	-	-
13.Aug	3	14	20	25	-	-
20.Aug	4	17	20	25	-	-
27.Aug	3	19	5	30	-	-
10.Sep	4	19	2	29	-	1
01.Okt	4	30	5	26	-	1
10.Nov	2	13	23	25	-	-

Horst 4C	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	6	11	3	13	-	-
05.Aug	7	16	5	15	-	-
13.Aug	6	24	10	25	-	-
20.Aug	12	38	10	37	-	-
27.Aug	17	63	5	36	-	-
10.Sep	5	14	3	24	Andere Pflanzen	-
01.Okt	5	20	12	25	-	-
10.Nov	2	6	17	18	-	-

Horst 4D	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	4	9	7	10	-	-
05.Aug	7	22	3	20	-	-
13.Aug	9	35	10	20	-	-
20.Aug	12	55	10	25	-	-
27.Aug	12	62	1	31	-	-
10.Sep	14	43	3	36	-	1
01.Okt	8	27	10	25	-	-
10.Nov	2	10	20	32	-	-

Horst 4E	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	2	4	2	15	-	-
05.Aug	1	6	25	25	-	-
13.Aug	2	9	5	40	-	-
20.Aug	4	18	5	45	-	-
27.Aug	5	21	8	54	-	-
10.Sep	5	27	16	58	-	-
01.Okt	5	35	16	56	-	-
10.Nov	2	12	25	49	-	-

Horst 4F	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	4	9	4	20	-	-
05.Aug	6	14	7	40	-	-
13.Aug	4	31	15	40	-	-
20.Aug	2	8	25	50	-	-
27.Aug	3	12	5	53	-	-
10.Sep	3	15	12	52	-	1
01.Okt	3	16	13	50	-	-
10.Nov	2	9	26	47	-	-

Horst 5A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	3	2	7	-	-
05.Aug	1	3	10	10	-	-
13.Aug	1	0	5	5	-	-
20.Aug	0	0	0	0	-	1
27.Aug	0	0	0	0	-	-
10.Sep	0	0	0	0	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-
29.Okt	0	0	0	0	-	-
10.Nov	0	0	0	0	-	-

Horst 5B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	6	2	13	-	-
05.Aug	2	9	10	15	-	-
13.Aug	3	11	15	15	-	-
20.Aug	3	17	20	25	-	-
27.Aug	4	18	11	35	-	-
10.Sep	7	31	7	28	-	-
01.Okt	7	37	7	26	-	1
29.Okt	3	15	20	25	-	3
10.Nov	3	12	20	29	-	-

Horst 5C	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	7	4	20	-	-
05.Aug	3	11	20	30	-	-
13.Aug	2	9	25	30	-	-
20.Aug	3	15	25	25	-	-
27.Aug	4	18	11	35	-	-
10.Sep	4	21	18	43	-	-
01.Okt	4	24	20	31	-	-
29.Okt	3	9	18	26	-	-
10.Nov	3	7	20	23	-	-

Horst 5D	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	2	4	2	20	-	-
05.Aug	2	8	30	30	-	-
13.Aug	2	9	25	30	-	-
20.Aug	2	6	4	30	-	-
27.Aug	2	8	12	30	-	-
10.Sep	2	13	17	31	-	-
01.Okt	2	21	21	30	-	-
29.Okt	2	16	20	29	-	-
10.Nov	2	14	21	27	-	-

Horst 5E	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	8	19	1	9	-	-
05.Aug	15	31	2	20	-	-
13.Aug	21	71	5	30	-	-
20.Aug	40	121	5	37	-	-
27.Aug	51	138	3	41	-	-
10.Sep	8	33	5	29	Falsche Pflanze	-
01.Okt	7	16	13	50	-	-
29.Okt	1	3	30	30	-	4
10.Nov	2	5	8	21	-	-

Horst 6A	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	7	13	3	15	-	-
05.Aug	8	31	5	20	-	-
13.Aug	10	37	2	35	-	-
20.Aug	8	43	10	30	-	-
27.Aug	10	70	10	42	-	-
10.Sep	15	78	3	50	-	-
01.Okt	21	156	2	46	-	-
29.Okt	15	57	5	47	-	-
10.Nov	2	16	10	47	-	-

Horst 6B	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	1	2	5	5	-	-
05.Aug	1	3	13	13	-	-
13.Aug	1	5	15	15	-	-
20.Aug	1	7	20	20	-	-
27.Aug	3	14	4	24	-	-
10.Sep	4	21	6	25	-	-
01.Okt	4	36	7	24	-	-
29.Okt	4	10	8	25	-	-
10.Nov	3	0	0	0	-	-

Horst 6C	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	1	1	10	10	-	-
05.Aug	4	7	2	25	-	-
13.Aug	3	12	10	30	-	-
20.Aug	4	14	7	30	-	-
27.Aug	4	15	16	36	-	-
10.Sep	5	16	2	36	-	-
01.Okt	5	31	16	31	-	1
29.Okt	5	28	13	32	-	-
10.Nov	5	21	24	32	-	-

Horst 6D	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	9	5	15	-	-
05.Aug	3	12	15	25	-	-
13.Aug	5	27	30	30	-	-
20.Aug	6	32	25	25	-	-
27.Aug	7	42	16	37	-	-
10.Sep	12	67	2	41	-	-
01.Okt	12	108	3	40	-	-
29.Okt	9	38	12	42	-	-
10.Nov	3	13	25	35	-	-

Horst 6E	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	3	7	7	7	-	-
05.Aug	4	11	5	25	-	-
13.Aug	4	22	10	35	-	-
20.Aug	5	22	10	35	-	-
27.Aug	3	20	9	37	-	-
10.Sep	5	21	11	41	-	-
01.Okt	5	26	11	20	-	-
29.Okt	0	0	0	0	-	-
10.Nov	0	0	0	0	-	-

Messung der Referenzparameter:

Referenzhorst 1	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	1	1	8	8	-	-
13.Aug	2	10	30	30	-	-
20.Aug	1	5	40	40	-	-
27.Aug	4	8	3	45	-	-
10.Sep	5	20	10	48	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 2	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	1	2	5	5	-	-
13.Aug	4	8	10	10	-	-
20.Aug	5	13	20	20	-	-
27.Aug	3	14	15	32	-	1
10.Sep	0	0	0	0	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 3	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	2	6	5	15	-	-
13.Aug	2	7	10	60	-	-
20.Aug	3	15	20	65	-	-
27.Aug	3	14	20	75	-	-
10.Sep	6	30	29	93	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 4	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	1	0	0	8	-	-
13.Aug	0	0	0	0	-	-
20.Aug	0	0	0	0	-	-
27.Aug	0	0	0	0	-	-
10.Sep	0	0	0	0	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 5	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	0	0	0	0	-	-
13.Aug	1	4	20	20	-	-
20.Aug	1	0	10	10	-	-
27.Aug	1	2	10	10	-	-
10.Sep	1	1	12	12	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 6	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	2	11	15	25	-	-
13.Aug	1	0	5	5	-	-
20.Aug	1	3	30	30	-	-
27.Aug	2	5	20	40	-	-
10.Sep	3	12	23	47	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 7	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	0	0	0	0	-	-
13.Aug	0	0	0	0	-	-
20.Aug	1	4	20	20	-	-
27.Aug	1	5	52	53	-	-
10.Sep	2	11	19	67	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 8	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	1	2	10	10	-	-
13.Aug	2	7	10	20	-	-
20.Aug	2	10	30	30	-	-
27.Aug	1	7	35	35	-	-
10.Sep	1	7	36	36	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 9	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	0	0	0	0	-	-
13.Aug	0	0	0	0	-	-
20.Aug	0	0	0	0	-	-
27.Aug	0	0	0	0	-	-
10.Sep	0	0	0	0	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

Referenzhorst 10	Sprosse	Blätter	min. Höhe [cm]	max. Höhe [cm]	Blüten	tote Sprosse
29.Jul	0	0	0	0	-	-
05.Aug	0	0	0	0	-	-
13.Aug	1	3	10	10	-	-
20.Aug	1	5	20	20	-	-
27.Aug	1	5	25	25	-	-
10.Sep	1	6	28	28	-	-
01.Okt	0	0	0	0	-	-

8.2 Lebensläufe

Zur Person: Dünser Lukas
Brunnengasse 13a
6840 Götzis
Geb.: 12.11.1985 in Dornbirn
Ledig, keine Kinder

Eltern: Klaus Dünser
Geb.: 19.7.1950 in Feldkirch
Beruf: Sozialarbeiter

Margarete Dünser, geb. Leimser
Geb.: 13.8.1957 in Dornbirn
Beruf: Sozialarbeiterin

Geschwister: Jennifer Dünser
Geb.: 24.1.1984 in Mombasa, Kenia
Studentin

Praktika: 8.7.2002 - 4.8.2002 Praktikum beim Umweltinstitut des
Landes Vorarlberg

4.8.2003 – 7.9.2003 Praktikum bei der Fa. Sika Plastiment
im Labor der Qualitätssicherung

Schulischer Werdegang:

2000 – 2005 HTL Dornbirn für
Chemieingenieurwesen,
Ausbildungsschwerpunkt Umwelttechnik

1996 – 2000 Bundesrealgymnasium Dornbirn
Stadt

1992 – 1996 Volksschule Götzis Markt
Volksschule Götzis Moos

Interessen / Neigungen:

Musik
Lesen
Fotographieren
Fahrradfahren
Kunst

Zur Person: Hanno Handler – Kunze;
Walgastr. 6
6833 Weiler
Geb.: 12.11.1985 in Bregenz;
Ledig; keine Kinder

Eltern: Helmut Handler – Kunze
Geb.: 26.10.1950 in Wien
Beruf: Direktor der Hauptschule Haselstauden

Rosemarie Handler – Kunze, geb.: Murer
Geb.: 18.10.1954
Beruf: Sekretärin

Geschwister: Viviane Handler – Kunze
Geb.: 23.9.1976
Beruf: --

Ferialjob: 2001 Hilfsarbeiter bei Scheyer
Verpackungstechnik
2004 Hilfsarbeiter bei Loacker Recycling

Praktika: 8.7.2002 - 6.8.2002 Praktikum bei Rauch Fruchtsäfte
in Rankweil
1.7.2003 –31.7.2003 Praktikum bei OMV Raffinerie
in Wien Schwechat

Schulischer Werdegang:
2000 – 2005 HTL Dornbirn für Chemieingenieurwesen,
Ausbildungsschwerpunkt Umwelttechnik
1996 – 2000 Hauptschule Klaus
1992 – 1996 Volksschule Augasse
in Bregenz

Interessen / Neigungen:
Snwoboarden
Windsurfen
Schwimmen
Fahrradfahren
Fitnesscenter
Naturwissenschaften
Lesen, Computer

Eidesstattliche Erklärung

Monitoring der Pilotphase eines bepflanzten Bodenfilters zur Reinigung gewerblicher Abwässer

Ich versichere, dass ich die vorstehende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der im beigefügten Verzeichnis angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Dornbirn, den

Unterschrift:

Eidesstattliche Erklärung

Monitoring der Pilotphase eines bepflanzten Bodenfilters zur Reinigung gewerblicher Abwässer

Ich versichere, dass ich die vorstehende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der im beigefügten Verzeichnis angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Dornbirn, den

Unterschrift: