

Pflanzenkläranlagen

Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung
TBW GmbH Frankfurt
Juli 2000

Technical Field:	
<input type="checkbox"/>	Energy / Environment (E)
<input checked="" type="checkbox"/>	Water / Sanitation (W)
<input type="checkbox"/>	Agriculture (A)
<input type="checkbox"/>	Foodprocessing (F)
<input type="checkbox"/>	Manufacturing (M)
This Technical Information is available in:	
<input type="checkbox"/>	English (e)
<input type="checkbox"/>	French (f)
<input checked="" type="checkbox"/>	German (g)
<input type="checkbox"/>	Spanish (s)
<input type="checkbox"/>	Other:.....

1 EINFÜHRUNG

In ländlichen und dünn besiedelten Gebieten der Nordhemisphäre und in den meisten Entwicklungsländern ist die zentrale Abwasserreinigung mit konventionellen Methoden (bspw. Belebungs- und Tropfkörperverfahren) als problematisch anzusehen. Dabei führen lange Anschlussleitungen und ein gemessen an der Bevölkerungsdichte großer technischer und personeller Aufwand zu vergleichsweise hohen Behandlungskosten. Im ländlichen Raum liegt der Planungsschwerpunkt nicht wie in städtischen Gebieten auf einer maximalen Ausnutzung des verfügbaren Raumes, eher auf dem Einsatz wartungsarmer Technologien (extensive Systeme im Gegensatz zu intensiven Systemen). Auch in Europa haben sich dabei inzwischen zunehmend häufiger Teich- und Pflanzenkläranlagen durchgesetzt, auch für Gemeinschaftsanschlüsse. In dem deutschen Bundesland Bayern z.B. sind mehr als 50% aller Kläranlagen dezentrale Teich- und Pflanzenkläranlagen. Der im Verhältnis zu konventionellen Systemen erforderliche höhere Flächenbedarf kann im ländlichen Raum meist problemlos zur Verfügung gestellt werden. Auch in Ländern Afrikas, Asiens und Lateinamerikas haben sich diese Anlagen in den letzten Jahren vermehrt durchgesetzt.

Die Ablaufqualität von nach dem Stand der Technik gebauten Pflanzenkläranlagen erreicht i.d.R. die in den einschlägigen Normen vorgeschriebenen Werte zur Ableitung des gereinigten Abwassers in einen Vorfluter, wobei in Entwicklungslän-

dern gesetzliche Regelungen bzw. deren Kontrolle oft fehlen.

Auf der Südhemisphäre (vor allem Australien) und in Entwicklungsländern übernehmen extensive Systeme auch die Abwasserreinigung ganzer Städte, solange der Flächenbedarf keine Probleme bereitet. Dabei spielt auch die höhere Abbauleistung von Pflanzenkläranlagen in warmen Klimata eine Rolle. Häufig erlaubt zudem sowohl der Stand der Technik als auch das fehlende Know-how nicht den Einsatz technisch aufwändiger aerober Systeme. Auch die Kosten spielen eine entscheidende Rolle, die bei Landpreisen unter 10 US\$/m² zumindest kurzfristig eher naturnahe Systeme (Teichanlagen und Pflanzenkläranlagen) begünstigen. Die extensiven Systeme zeichnen sich durch einen geringen Energieaufwand aus, der gerade bei unsicherer Energieversorgung zum entscheidenden Kriterium werden kann. Zu bedenken sind allerdings über den Flächenbedarf hinaus die vergleichsweise höheren Geruchs- und Klimagasemissionen (Methan), die aber vor allem mit der Entstehung anaerober Zonen bei tiefen und höher belasteten Teichen zusammenhängen und bei gut geführten Pflanzenkläranlagen kaum zu erwarten sind. Durch das 21-fach höhere Treibhauspotential des CH₄ ist dieses bei gleichen Emissionsmengen deutlich schwerwiegender als beispielsweise CO₂-Emissionen aus fossilen Energiequellen.

2 Allgemeine Charakteristika von Pflanzenkläranlagen

2.1 Flächenbedarf

Pflanzenkläranlagen haben im Vergleich zu anderen dezentralen Reinigungsverfahren einen verhältnismäßig geringen Flächen- bzw. Raumbedarf.

Wie Tab. 1 zeigt, sind die Reinigungsleistungen pro Fläche in tropischen Gegenden deutlich höher als in kalten Klimata.

Tab. 1: Flächenbedarf von extensiven Abwasserbehandlungsverfahren

Verfahren	Mittlerer Flächenbedarf [m ² /EGW*]
Pflanzenkläranlage	3-10 in gemäßigten Breiten 1-3 in tropischen Breiten
Unbelüfteter Abwasserteich	10-20 in gemäßigten Breiten 1,5-3 in tropischen Breiten
Rieselfeld	10-50
Verregnung	350

* Einwohnergleichwert

Quellen:

TBW GmbH: *Projet d'assainissement des eaux usées, pluviales et des déchets solides de la ville de Ruhengeri (Rwanda), 1994*; TBW GmbH: *Projet d'alimentation en eau potable et d'assainissement des eaux usées et pluviales de la ville de Rumonge (Burundi), 1996*; TBW GmbH: *Drinking water supply and wastewater treatment of the town of Kisoro (Uganda), 1999*; [6]

2.2 Reinigungswirkung

Die Wirkungsmechanismen der Abwasserbehandlung im Pflanzenbeet sind durch komplexe physikalische, chemische und biologische Vorgänge gekennzeichnet, die sich aus dem Zusammenwirken von Boden, Mikroorganismen, Pflanzen und Abwasser ergeben. Der Reinigungsprozess selbst wird wesentlich vom Bodenkörper und seinem Aufbau beeinflusst, da die biologischen Abbauvorgänge auf der Oberfläche der Bodenpartikel und der Wurzeln stattfinden. Dort sitzen die Mikroorganismen, die sich von den gelösten Stoffen im Abwasser ernähren. Daneben spielen Filtrations- und Anlagerungsvorgänge eine wesentliche Rolle. Die Pflanzen unterstützen die Abbauleistung des Bodenfilters auf vielfältige Weise:

- Aufwuchsfläche für Mikroorganismen
- Erhöhung der Bodendurchlässigkeit durch Schaffung von Sekundärporen
- Verhinderung von Verstopfungen des Bodenfilters durch Wurzel- und Stengelwachstum
- Steigerung der Reinigungsleistung durch Schaffung von Mikrolebensräumen für Bakterien durch Rhizom- und Wurzelwachstum
- Förderung der Aktivität der Mikroorganismen durch Abgabe von chemischen Substanzen (Wurzelexudaten)
- Eintrag von Luftsauerstoff in den Boden über das Luftleitgewebe (Aerenchym)
- Verminderung der Temperaturschwankungen im Bodenkörper (für gemäßigte Breiten) durch Beschattung im Sommer und Wärmedämmung im Winter.

2.3 Reinigungsleistung

Die Pflanzenkläranlage eignet sich vor allem zum Abbau kohlenstoffhaltiger organischer Substanzen (gemessen als chemischer (CSB) und biologischer Sauerstoffbedarf (BSB₅)), zum Abbau organischer Stickstoffverbindungen, zur Keimzahlreduktion und je nach Feinkörnigkeit der Böden auch zur chemischen Phosphatfällung an Bodenpartikel. Vertikal durchflossene Anlagen können auch den Gesamtstickstoff substantiell verringern. Die Reinigungsleistung selbst ist abhängig sowohl vom gewählten Verfahrenstyp (Bodenaufbau, Pflanzenwahl, Durchströmungsrichtung) als auch von den klimatischen Gegebenheiten. Im Durchschnitt können mit Pflanzenkläranlagen folgende Abbauraten erreicht werden:

Tab. 2: Mittlere Abbauraten für Pflanzenkläranlagen (Quelle: siehe Referenzliste)

Parameter	Abbauraten
CSB	70-95%
BSB ₅	80-95%
Gesamtstickstoff	25-40% (>60%)*
Gesamtphosphor	5-40%
Keimanzahl	> 99%

* für vertikale Anlagen

3 Verfahrensübersicht

Bei Pflanzenkläranlagen werden Pflanzenbeete als biologische Reinigungsstufe genutzt. Das Pflanzenbeet selbst besteht aus einem mit Sumpfpflanzen bewachsenen, üblicherweise sandig-kiesigen Bodenkörper.

Zusätzlich zum Herzstück, dem Pflanzenbeet, gehören noch folgende Anlagenteile zur Pflanzenkläranlage:

- Zu- und Ablaufeinrichtungen mit Kontrollschacht,
- eine Vorreinigungsanlage, z.B. Absetzbecken,
- ggf. eine Pumpanlage,
- Wartungs- und Betriebseinrichtungen.

Für Pflanzenkläranlagen existieren eine Vielzahl von Verfahrensvarianten, die sich anhand folgender Kriterien unterscheiden lassen:

A. Bodenfiltermaterial

Als Bodenmaterial kommen sowohl bindige Böden (tonig bzw. schluffig) bzw. nichtbindige Böden (Sand und Kies) zum Einsatz. Dabei sind grobkörnige Böden hinsichtlich ihrer hydraulischen Durchlässigkeit von Vorteil, dementsprechend die Gefahr der Undurchlässigkeit – und damit verbunden die Ausbildung hydraulischer Kurzschlussströmungen – wesentlich geringer. Sie sind jedoch bezüglich ihrer Reinigungsleistung als leicht ungünstiger einzustufen, da sie im Gegensatz zu feinkörnigen Böden eine geringere spezifische Oberfläche aufweisen. Beim Entwurf einer Anlage sind beide Aspekte daher abzuwägen. Stand der Technik sind allerdings nur die grobkörnigen Filtermaterialien, fallweise mit bis zu 5% feinkörnigen Anteilen. Die Nutzung rein bindiger Böden ist üblicherweise entweder auf ganz kleine Anlagen beschränkt (da der Flächenbedarf proportional zur Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit steigt), oder auf ausgebauten, bereits natürlich vorhandene Sumpfgelände (sogenannte „natural wetlands“, speziell in den USA).

B. Pflanzen

Bei der Bepflanzung kommen nur Sumpfpflanzen des Typs Schilf- und Röhrichtgewächse in Betracht, da nur sie befähigt sind, durch ihr Luftleitgewebe (Aerenchym) den für das Wurzelwachstum notwendigen Sauerstoff bereitzustellen, wenn im abwasserbeschickten Boden ein anaerobes Milieu vorherrscht. Schilf und verschiedene Binsenarten gehören dieser Gruppe an. Dabei hat Schilf den Vorteil, dass es im Gegensatz zu anderen Sumpfpflanzen bis ins Frühjahr im Boden stehen bleibt, ohne sich zu zersetzen. Dieser abgestorbene Bestand schützt dann den Boden vor Kälte.

In Entwicklungsländern kommen an die dortigen Verhältnisse angepasste, meist autochthone Pflanzenarten der gleichen Gattung (z.B. *Pennisetum purpureum*) zum Einsatz.

C. Reinigungsstufe

Grundsätzlich sind Pflanzenbeete für alle möglichen Reinigungstufen bzw. Verschmutzungsgrade vorstellbar, solange das Abwasser Charakteristika häuslichen Abwassers besitzt. Typische Anwendungsbeispiele sind Häuser, Ortschaften, Gefängnisse, Spitäler, Schulen u.ä.

Pflanzenkläranlagen sind nicht geeignet zur Reinigung gewerblicher und industrieller Abwässer, die einseitig zusammengesetzt oder hoch belastet sind und große Mengen biologisch schwer oder nicht abbaubare Stoffe, wie z.B. Schwermetalle enthalten.

Den Bodenfiltern sollte stets ein Absetzbecken vorgeschaltet sein, das grobe Schmutzstoffe entfernt und somit eine Verstopfung des Bodens (soil clogging) verhindert.

D. Strömungsrichtung

Ein wesentliches Unterscheidungskriterium bei Pflanzenkläranlagen ist die Strömungsrichtung des Wassers im Bodenfilter. Diese kann horizontal (s. Abb. 1), vertikal (s. Abb.2) oder kombiniert erfolgen. Hinsichtlich des Flächenbedarfs und der Reinigungsleistung ergeben sich daraus große Unterschiede. Anhand des horizon-

talens Filters sollen Vor- und Nachteile gegenüber vertikal durchströmten Filtern erläutert werden.

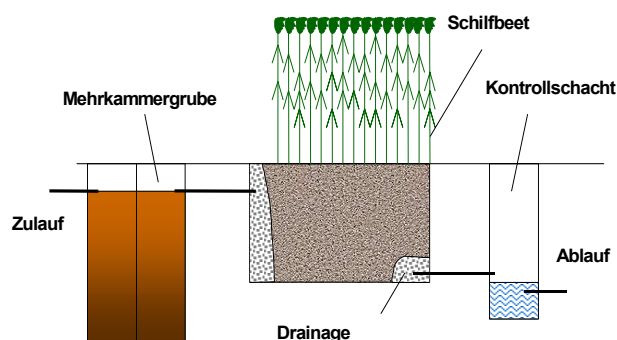


Abb. 0: Horizontale Durchströmung
(TBW-Graphik, nach [2])

Vorteile horizontal durchströmter Filter:

- ❖ geringe Geruchsbelästigung durch Einleiten des Abwassers in Untergrund
- ❖ einfache Konstruktion; kein Pumpenbedarf bei vorhandenem Gefälle

Nachteile horizontal durchströmter Filter:

- ❖ hoher Flächenbedarf (5 – 10 m²/EGW gegenüber 3 m²/EGW bei vertikaler Durchströmung)
- ❖ geringe Nitrifikationsleistung durch vorwiegend anaerobe Verhältnisse im Boden
- ❖ insgesamt niedrigere Abbauraten (siehe auch Tab. 2)

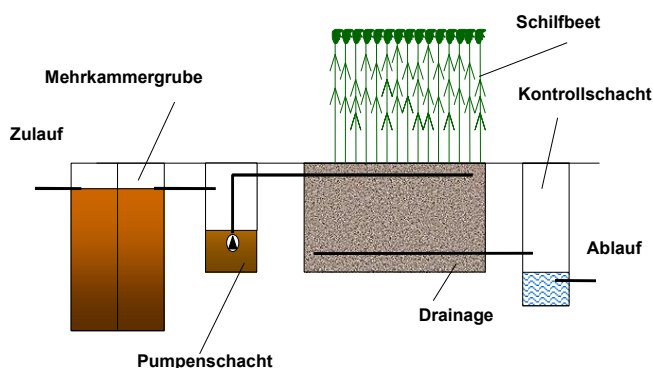


Abb. 2: Vertikale Durchströmung
(TBW-Graphik, nach [2])

4 Bemessungsgrundlagen

4.1 Kleinkläranlagen

Die Bemessung von Pflanzenkläranlagen als Kleinkläranlagen (bis maximal 1.000 EGW in Ländern gemäßigter Breiten) erfolgt anhand von drei Aspekten:

- Hydraulische Belastung des Bodenfilters
- Abbauleistung des Filters in Abhängigkeit zur Strömungsrichtung
- Geometrische Vorgaben zur Sicherstellung des Betriebs (z.B. Vermeidung von Kurzschlussströmungen)

4.1.1 Einflüsse

A. Hydraulische Belastung

Die Berechnung der hydraulischen Belastung des Bodenfilters erfolgt aufgrund der Gleichung von Darcy:

$$Q = k_f \cdot A_f \cdot I$$

Q: Durchfluß der Anlage [m³/h]

A_f: Durchflossene Querschnittsfläche [m²]

I: Strömungsgefälle [-]; ergibt sich aus dem Quotienten von durchflossener Höhe und Länge

k_f: Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]; gibt an, wie schnell das Wasser in Abhängigkeit von der Bodenkonsistenz den Filter passiert. Tab. 3 gibt Orientierungswerte für den k_f-Wert verschiedener Bodenkorngrößen wieder.

Tab. 3: Mittlere Durchlässigkeiten verschiedener Böden

Boden	k _f -Wert [m/s]
Grobkies	10 ⁻² – 10 ⁰
Fein-/Mittelkies	10 ⁻⁴ – 10 ⁻²
Kies, sandig	5*10 ⁻⁵ – 10 ⁻²
Grobsand	10 ⁻⁵ – 10 ⁻²
Mittelsand	5*10 ⁻⁶ – 10 ⁻³
Feinsand	10 ⁻⁶ – 5*10 ⁻⁴
Sand, lehmig	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁴
Schluff	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁵
Lehm	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻⁶
Ton	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁸

Quelle: verändert nach [2]

Die oft großen Intervalle bei den k_f-Werten weisen auf eine wesentliche Schwierigkeit bei der Bemessung von Pflanzenkläranla-

gen hin. Dies gilt umso mehr, als viele Böden in ihrer Zusammensetzung inhomogen sind. Zudem gestaltet sich die experimentelle Messung des k_f -Wertes schwierig. Für gleichförmige Sande kann der k_f -Wert jedoch anhand einer sogenannten Sieblinienanalyse mit nachfolgender Gleichung ermittelt werden.

$$k_f = (d_{10})^2 / 100$$

d_{10} = Korndurchmesser, der von 10 Gew.% unterschritten wird

B. Abbauleistung

Das benötigte Volumen des Bodenfilters ergibt sich aus dessen Abbauleistung. Tab. 4 verdeutlicht die bereits angesprochene erhöhte Abbaufähigkeit von Vertikalfiltern.

Tab. 4: Abbauleistung von Vertikal- und Horizontalfiltern

	BSB ₅	CSB	NH ₄ ⁺ -N	P _{ges}
Vertikal [g/m ³ *d]	20	35	4	0,2-0,5
Horizontal [g/m ² *d]	6	11	0,5	0,2-0,5

Quelle: [2]

C. Geometrische Vorgaben

Zur Vermeidung von Kurzschlussströmungen bzw. zur Sicherstellung eines ausreichenden Durchflusses (bei Vertikalfiltern) müssen die Abmessungen der Filterbeete bestimmte geometrische Vorgaben erfüllen:

Horizontalfilter

- Beettiefe ca. 60-80 cm
- Das hydraulische Gefälle zwischen Zulauf und Ablauf sollte mindestens 1% betragen.
- Die ersten 30-50 cm des Beetes sollten mit Schotter gefüllt sein, um eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers im Einlaufbereich zu gewährleisten.

Vertikalfilter

- Beettiefe mindestens 80 cm
- Die Beetoberfläche sollte so gestaltet sein, dass mindestens 15 mm Wasser

pro Pumpintervall aufgebracht werden können.

4.1.2 Bemessungsbeispiel

Anhand der vorgestellten Grundlagen lassen sich nun Anlagen dimensionieren. Dem Bemessungsbeispiel sind folgende Ausgangsdaten zugrundegelegt:

- *Anlagengröße: 500 EGW*
- *Abwasseranfall: 150 l/EGW*d*
⇒ $Q = 0,868 \text{ l/s}$
- *BSB-Zulauf: 60 g/EGW*d (400 mg/l)*
- *angestrebte BSB-Reduktion: 90 %*
- *Bodendurchlässigkeit: $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$*

Somit muss täglich folgende Fracht abgebaut werden:

$$\Delta BSB_5 = 0,9 \cdot (60 \text{ g BSB}_5 / \text{EGW} \cdot \text{d}) \cdot 500 \text{ EGW} = 27.000 \text{ g BSB}_5 / \text{d}$$

Mit den unter 4.1.1 angenommen Abbauleistungen für Bodenfilter kann damit der nötige Flächen- bzw. Raumbedarf ermittelt werden:

Horizontalfilter

$$A_{BSB} = 27.000 \text{ [gBSB}_5 / \text{d]} / 6 \text{ [gBSB}_{5\text{abgebaut}} / \text{m}^2 \cdot \text{d]} = 4.500 \text{ m}^2$$

Mit dem zuvor ermittelten Zufluss, dem Durchlässigkeitsbeiwert und dem Mindestgefälle von 1% kann die Fläche des Fließquerschnittes ermittelt werden:

$$A_f = Q / (k_f \cdot l) = 0,868 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3 / \text{s]} / (10^{-3} \text{ [m/s]} \cdot 0,01) \approx 90 \text{ m}^2$$

Mit einer Beettiefe von 0,75 m ergibt sich für die Breite des Zulaufquerschnittes:

$$B = 90 \text{ m}^2 / 0,75 \text{ m} = 120 \text{ m}$$

Mit der errechneten erforderlichen Beetfläche ergibt sich für dessen Länge:

$$L = 4.500 \text{ m}^2 / 120 \text{ m} = 37,5 \text{ m}$$

Damit wird das erforderliche Mindestgefälle (1%) eingehalten:

$$I = 0,75 \text{ m} / 37,5 \text{ m} = 2\%$$

Wie auch bei Vertikalfiltern stellt die vorgestellte Beetgeometrie nur eine Möglichkeit dar. Bei Einhaltung der Vorgaben sind auch andere Abmessungen (z.B. Beschickung an der schmalen Seite) vorstellbar.

Vertikalfilter

Für den Vertikalfilter ergibt sich folgender Raumbedarf:

$$V_{BSB_5} = 27.000 [\text{gBSB}_5/\text{d}] / 20 [\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}] = 1.350 \text{ m}^3$$

Bei einer Beettiefe von 90 cm ergibt sich die erforderliche Fläche zu:

$$A_{BSB_5} = 1.350 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} = 1.500 \text{ m}^2$$

Bei einem täglichen Zufluss von $75 \text{ m}^3/\text{d}$ ($500 \text{ EGW} \cdot 150 \text{ l}/\text{EGW} \cdot \text{d}$), ergibt sich eine aufgebrauchte Wasserhöhe zu:

$$h = 75 [\text{m}^3/\text{d}] / 1.500 \text{ m}^2 = 50 \text{ mm}/\text{d}.$$

Bei einer geforderten Mindestbeschickung von 15 mm pro Pumpvorgang sind daher maximal 3 Pumpintervalle in 24 Stunden vorzusehen.

4.2 Großkläranlagen

Die Bemessung von Pflanzenkläranlagen als Großkläranlagen (mehr als 1.000 EGW in tropischen und subtropischen Ländern) stellt andere Anforderungen, da zusätzlich klimatische Aspekte berücksichtigt werden, vor allem die Temperatur. Dafür ist die Abbauleistung meist aufgrund der Gesetzeslage vorgegeben. Insgesamt sind also drei Aspekte ausschlaggebend:

- Klimatische Einflüsse, in der Temperatur subsummiert
- Hydraulische Belastung des Bodenfilters
- Geometrische Vorgaben zur Sicherstellung des Betriebs (z.B. Vermeidung von Kurzschlussströmungen)

Auch muss darauf verwiesen werden, dass eine Vorreinigung durch Absetzung unumgänglich ist. Dafür kommen in Frage:

- Reine Absetzbecken ohne zusätzlichen Reinigungseffekt (z.B. Senkgrube, Dreikammerfaulgrube)
- Anaerob- und/oder Aerobeiche als Vorreinigungseinheiten.

4.2.1 Einflüsse

A. Klimatische Einflüsse und Abbauleistung

Die klimatischen Einflüsse berechnen sich nach:

$$C_e/C_o = e^{-k \cdot t}$$

C_o : Einlaufkonzentration in das Pflanzenbeet (nach Vorreinigung) [$\text{mg BSB}_5/\text{l}$]

C_e : Ablaufkonzentration [$\text{mg BSB}_5/\text{l}$]

k : temperaturabhängiger Beiwert, von 0,8 für Sand bis 1,1 für Kies

t : mittlere hydraulische Aufenthaltszeit [d]

Die „Stellgrößen“ des Systems sind die Einlaufkonzentration und die hydraulische Aufenthaltszeit. Mit diesen beiden kann eine gewünschte Ablaufkonzentration erreicht werden, wobei die Einleitungskonzentration durch geeignete Vorreinigungssysteme erreicht werden kann.

Die mittlere hydraulische Aufenthaltszeit beträgt ca. 2 bis 7 Tage, wobei bei Vorhandensein einer effizienten Vorreinigungsstufe dieser Wert auf 1 bis 2,5 Tage abgesenkt werden kann.

Die maximale Flächenbelastung für horizontal durchströmte Pflanzenkläranlagen sollte nicht mehr als $40 \text{ g BSB}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ betragen. Übliche Werte bewegen sich zwischen 20 und $30 \text{ g BSB}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

B. Hydraulische Belastung

Die Berechnung der hydraulischen Belastung des Bodenfilters erfolgt wie bei der Kleinkläranlage.

Als einziger Unterschied muss darauf hingewiesen werden, dass bei der Berechnung der hydraulischen Aufenthaltszeit mit dem tatsächlichen Nutzvolumen, das heißt mit dem Porenvolumen gerechnet wird. Damit verringert sich diese bei angenommenen 30% nutzbarem Porenvolumen wie folgt:

$$A_f' = A_f * 0,3$$

C. Geometrische Vorgaben

Zur Vermeidung von Kurzschlussströmungen bzw. zur Sicherstellung eines ausreichenden Durchflusses (bei Vertikalfiltern) müssen die Abmessungen der Filterbeete bestimmte geometrische Vorgaben erfüllen:

Horizontalfilter

- Beettiefe ca. 60-80 cm
- Das Verhältnis Breite zu Länge soll 1:1 bis maximal 2,5:1 betragen
- Das hydraulische Gefälle zwischen Zulauf und Ablauf sollte mindestens 1% betragen
- Die Aufbringung des Abwassers erfolgt über die gesamte Breite z.B. durch perforierte Rohre, um eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers im Einlaufbereich zu gewährleisten

Vertikalfilter

- Beettiefe mindestens 80 cm
- Beetoberfläche sollte so gestaltet sein, dass mindestens 15 mm Wasser pro Pumpintervall aufgebracht werden können

4.2.2 Bemessungsbeispiel

Anhand der vorgestellten Grundlagen lassen sich nun Anlagen dimensionieren. Dem Bemessungsbeispiel sind folgende Ausgangsdaten zugrundegelegt:

- Anlagengröße: 5.000 EGW
- Spezif. Abwasseranfall: 100 l/EGW*d
- Abwasseranfall: 500 m³/d (5,79 l/s)
- Rohabwasser: 54 g BSB₅/EGW*d (540 mg BSB₅/l)
- Abbauleistung Vorreinigungsstufe: 55%

- Einlaufkonzentration:
540 * (1-0,55) = 243 mg BSB₅/l
- Bodendurchlässigkeit: $k_f = 10^{-3}$ m/s

Horizontalfilter

Üblicherweise wird als Ablaufwert jener Wert herangezogen, der in den verschiedenen Ländern als Grenzwert für die Einleitung in einen Vorfluter erlaubt ist, oftmals 30 mg BSB₅/l.

Damit lässt sich die hydraulische Aufenthaltszeit zurückrechnen:

$$t = \ln(C_o/C_e) / k_f$$

Bei $k_f = 1,0$ ergibt sich:

$$t = \ln(243 / 30) / 1,0 = 2,09 \text{ Tage,} \\ \text{gewählt } 2,1 \text{ Tage.}$$

Die Reinigungsleistung beträgt:
(1-30 [mg BSB₅/l] / 243 [mg BSB₅/l]) = 88%

an BSB₅ wird täglich abgebaut:
(243-30 [g BSB₅/m³]) * 500 [m³/d] / 1.000 g/kg
= 106,5 kg

Damit kann der nötige Flächen- bzw. Raumbedarf ermittelt werden.

$$V = 500 [m^3/d] * 2,1 [d] / 30\% [\text{Porenanteil}] \\ V = 3.500 m^3$$

Bei einer angenommenen mittleren Wassertiefe von 0,80 m beträgt die benötigte Grundfläche:

$$A = 3.500 m^3 / 0,80 m = 4.375 m^2$$

Die hydraulische Flächenbelastung ergibt sich aus:

$$q = 500 [m^3/d] / 4.375 m^2 = \\ 0,114 m/d \text{ oder } 11,4 \text{ cm/d}$$

Mit einer angenommenen Querschnittsbelastung von 2,0 kg BSB₅ pro m² und Tag kann die Fläche des Fließquerschnittes ermittelt werden.

$$A_f = 54 * 10^{-3} [kg BSB_5/EGW*d] * 5.000 EGW / \\ 2 kg BSB_5 / m^2*d \approx 135 m^2$$

Gewählt werden 4 parallel betriebene Pflanzenbeete, somit gilt für jedes davon:

$$V_b = 3.500 / 4 = 875 \text{ m}^3$$

$$A_b = 4.375 / 4 = 1.094$$

$$A_{p,b} = 135 / 4 = 34 \text{ m}^2$$

Mit der gewählten Wassertiefe von 0,8 m ergibt sich eine mittlere Breite von:

$$b_p b = 34 / 0,8 = 43 \text{ m}$$

Die Länge für jedes Beet ist jetzt:

$$1.094 / 43 = 25,5 \text{ m}$$

Damit ist das Verhältnis Breite: Länge:

$$43 \text{ m} / 25,5 \text{ m} = 1,7 (> 1,0; < 2,5)$$

und das erforderliche Mindestgefälle (1%) wird eingehalten:

$$l = 0,80 \text{ m} / 25,5 \text{ m} = 3,1\%$$

Überprüfung der Flächenbelastung:

$$q_a = 243 \text{ [g BSB}_5\text{/m}^3\text{]} * 500 \text{ [m}^3\text{/d]} / 4.375 \text{ m}^2$$

$$= 28 \text{ g BSB}_5\text{/m}^2\text{*d}$$

Vertikalfilter

Es gibt zu wenige Beispiele für den Einsatz von vertikalen Pflanzenkläranlagen als Großanlage, sodass dafür noch keine allgemein gültigen Erfahrungen und Dimensionierungsvorgaben existieren. Daher muss die gleiche Prozedur angewendet werden, wie für Kleinkläranlagen. Für den Vertikalfilter ergibt sich folgender Raumbedarf:

$$V_{BSB5} = 106.500 \text{ [g BSB}_5\text{/d]} / 20 \text{ [g BSB}_{5\text{abgebaut}}\text{/m}^3\text{*d]} = 5.325 \text{ m}^3$$

Bei einer Beettiefe von 100 cm ergibt sich die erforderliche Fläche zu:

$$A_{BSB5} = 5.325 \text{ m}^3 / 1,0 \text{ m} = 5.325 \text{ m}^2$$

Bei einem täglichen Zufluss von 500 m³ (5.000 EGW*100 l/EGW*d) ergibt sich eine aufgebrauchte Wasserhöhe von:

$$h = 500 \text{ m}^3\text{/d} / 5.325 \text{ m}^2 * 1.000 = 94 \text{ mm/d.}$$

Bei einer geforderten Mindestbeschickung von 15 mm pro Pumpvorgang, sind daher maximal 6 Pumpintervalle in 24 Stunden vorzusehen.

5 Kosten

Wie auch bei anderen Anlagenarten, sind die Kosten von Pflanzenkläranlagen in Abhängigkeit vom jeweiligen Hersteller sowie den örtlichen Begebenheiten und Anlagengröße unterschiedlich. Eigene Erfahrungen und Informationen anderer Firmen ergeben als Durchschnittswerte für Investitionskosten ca. 500 – 1500 Euro/EGW für Anlagen < 1.000 EGW, und ca. 200 – 500 Euro/EGW für Anlagen > 1.000 EGW.

6 Zusammenfassung

Zur Kostenreduzierung stellen Pflanzenkläranlagen in ländlichen Gebieten eine Alternative zu konventionellen Abwasserreinigungsverfahren dar. Dabei werden Bodenfilter, welche horizontal oder vertikal durchströmt werden können, mit Sumpfpflanzen (Schilf, Röhricht, Flatterbinse) bepflanzt. Diese unterstützen den Reinigungsprozess, indem sie über ihre Wurzeln Sauerstoff in das oft anaerobe Milieu des Bodenfilters eintragen. Unter Verwendung von Eckdaten für den organischen Abbau, lässt sich der erforderliche Flächenbedarf (bei horizontaler Durchströmung) bzw. den Raumbedarf (bei vertikaler Durchströmung) berechnen. Wichtig ist dabei die genaue Kenntnis des Durchlässigkeitbeiwertes (k_f), welcher ein Maß dafür ist, wie schnell ein Boden durchströmt werden kann. Vertikal durchströmte Filter beanspruchen weniger Fläche, erfordern aufgrund einer notwendigen Mindestbeschickung eine zusätzliche Pumpe, die in zeitlichen Intervallen den Bodenfilter beschickt. Beide Verfahren erbringen jedoch eine ausreichende Reinigungsleistung, welche bei Investitionskosten von ca. 500 – 1.500 Euro/EGW realisiert werden können.

Pflanzenkläranlagen kommen auch als Herzstück von zentralen Abwasserreinigungsanlagen in Entwicklungsländern vor (z.B. Ruhengeri in Ruanda, Kisoro in Uganda) und bestechen sowohl durch ihre Funktionssicherheit als auch durch die guten Ablaufwerte. Die Investitionskosten belaufen sich in Abhängigkeit der örtlichen Parameter auf ca. 200 – 500 Euro/EGW.

7 Quellen und weitere Information

- [1] Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Flächendeckende Abwasserentsorgung – Lösungsvorschläge. Steiermark-Information, Graz, Österreich, 1993.
- [2] Bahlo, K.; Wach, G.: Naturnahe Abwasserreinigung. Planung und Bau von Pflanzenkläranlagen. Ökobuch-Verlag, Freiburg, Deutschland, 1992.
- [3] Bayerisches Staatsministerium für Ladesentwicklung und Umweltfragen: Pflanzenkläranlagen - ein naturnahes Verfahren zur Abwasserreinigung. München, Deutschland, 1997.
- [4] Crites, R.W.: Design criteria and practice for constructed wetlands. Water Science and Technology, Volume 29, Number 4, 1994; International Association on Water Quality, London, England, 1994.
- [5] GTZ/TBW Überregionales Sektorvorhaben „Förderung der Anaerobtechnologie zur Behandlung kommunaler und industrieller Abwässer und Abfälle“, Eschborn, Deutschland, 1998.
- [6] Griffin, P., Pamplin, C.: The advantages of a constructed reed bed based strategy for small sewage treatment works. Water Science and Technology, Volume 38, Number 3, 1998; International Association on Water Quality, London, England, 1998
- [7] Kadlek, R.H., Knight, R.L.: Treatment Wetlands; Lewish Publishers. New York, USA, 1996.
- [8] Karpiscak, M.M. et al.: Multispecies plant systems for wastewater quality improvements and habitat enhancement. Water Science and Technologies, Volume 33, Number 10-11, 1996; International Association on Water Quality, London, England, 1996.
- [9] Liénard, A. et al.: Coupling of reed bed filters and ponds: An example in France. Water Science and Technologies, Volume 28, Number 10, 1993; International Association on Water Quality, London, England, 1993.
- [10] Mandi, L. et al.: Wastewater treatment by stabilization ponds with and without macrophytes under arid climate. Water Science and Technologies, Volume 28, Number 10, 1993; International Association on Water Quality, London, England, 1993.
- [11] Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH Frankfurt: Pflanzenkläranlagen und ihre Einsatzbereiche im Überblick. Frankfurt, Deutschland, 1996.
- [12] Perfler, R., Haberl, R.: Actual experiences with the use of reed bed systems für wastewater treatment in single households. Water Science and Technology, Volume 28, Number 10, 1993; International Association on Water Quality, London, England, 1993.
- [13] Technische Universität Graz: Abwasserentsorgung bei fehlenden Vorflutern. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft; Graz, Österreich, 1997.
- [14] Thomas, P.R. et al.: An evaluation of pollutant removal from secondary treated sewage effluent using a constructed wetland system. Water

Science and Technology, Volume 32, Number 3, 1995; International Association on Water Quality, London, England, 1995.

Germany
Phone: ++49 (0)69 / 943507-0
Fax: ++49 (0)69 / 943507-11
Email: tbw@tbw-frankfurt.com

[15] Urbanc-Bercic, O., Bulc, T.: Integrated constructed wetland for small communities. Water Science and Technologies, Volume 32, Number 3, 1995; International Association on Water Quality, London, England, 1995.

[16] Yeoh, B.G.: Use of Water Hyacinth in upgrading small agroindustrial wastewater treatment plants. Water Science and Technologies, Volume 28, Number 10, 1993; International Association on Water Quality, London, England, 1993.

7.1 Nützliche Links

http://www.bayern.de/STMLU/wasser/info2_97/index.htm (Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen)

<http://www.bayern.de/STMLU/umwberat/ubbpfk.htm> (Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen)

<http://www.bml.de/forschungsreport/rep1-97/abwasser.html> (Institut für Agrartechnik Bornim e.V.)

http://www.bmwa.gv.at/extern/dunkel/mod_wasser.htm (Universität für Bodenkultur Wien)

7.2 Institutionen und Organisationen

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, German Appropriate Technology Exchange GATE Information Service

P.O. Box 5180
65726 Eschborn

Germany

Phone: ++49 (0)6196 / 79-3093

Fax: ++49 (0)6196 / 79-7352

Email: gate-id@gtz.de

Internet: <http://www.gtz.de/gate/gateid.afp>

Naturgerechte Technologien, Bau- und Wirtschaftsberatung (TBW) GmbH

Baumweg 10
60316 Frankfurt