



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Fachbereich 2
Abfallwirtschaft, Bodenschutz,
Anlagentechnik Wasserwirtschaft

Pflanzenkläranlagen zur kommunalen Abwasserreinigung

(Hinweise zu Planung, Bau, Betrieb und Wartung)



Bearbeitung : Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Fachbereich 2
Abfallwirtschaft / Bodenschutz /
Anlagentechnik / Wasserwirtschaft
Reideburger Str. 47
06116 Halle (Saale)

Halle, Mai 2007

Titelfoto: Pflanzenkläranlage Golzen OT Krawinkel (LAU 2007)

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Einleitung	1
2	Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen	2
2.1	Aufbau und Funktion	2
2.2	Reinigungsleistung	4
2.3	Vor- und Nachteile	5
3	Planung von Pflanzenkläranlagen	6
3.1	Charakterisierung des Entwässerungsgebietes	6
3.2	Charakterisierung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, Standortfragen	7
4	Bemessung und verfahrenstechnische Gestaltung von Pflanzenkläranlagen	9
4.1	Gestaltungsvarianten für Pflanzenkläranlagen	9
4.2	Vorklärung	11
4.3	Bepflanzter Bodenfilter	12
5	Bau von Pflanzenkläranlagen	15
5.1	Vorklärung	16
5.2	Bepflanzter Bodenfilter (Pflanzenbeet)	17
5.2.1	Abdichtung	18
5.2.2	Horizontalfilter	20
5.2.3	Vertikalfilter	21
5.2.4	Bodenfilteraufbau	22
5.2.5	Bepflanzung	23
5.3	Nachklärung	24
5.4	Kläranlagenablauf	24
5.5	Anlagentypen	25
6	Bepflanzte Bodenfilter in Kombinationsanlagen	27
6.1	Kombinationsanlagen bepflanzter Bodenfilter	27
6.2	Kombinationsanlagen Abwasserteich/bepflanzter Bodenfilter	27
6.3	Kombinationsanlagen technische Abwasserbehandlung/bepflanzter Bodenfilter	28
7	Betrieb, Wartung und Überwachung von Pflanzenkläranlagen	28
8	Zusammenfassung	32
9	Literatur	33

1 Einleitung

Pflanzenkläranlagen gehören zu den naturnahen Abwasserbehandlungsverfahren. In Deutschland haben sich Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern seit vielen Jahren als wirtschaftliche Lösung der mechanisch-biologischen Reinigung von häuslichem und kommunalem Abwasser bewährt. Insbesondere aufgrund des geringen Betriebsaufwandes stellen Pflanzenkläranlagen auch in der Zukunft eine sinnvolle Alternative der Abwasserreinigung sowohl für einzelne private Grundstücke als auch für kleine Gemeinden dar. Pflanzenkläranlagen werden in der Regel in Ausbaugrößen unter 1.000 Einwohnerwerten (EW) betrieben.

Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenbeete), die aus sandig-kiesigem Filtersubstrat bestehen und in der Regel mit Röhrichtpflanzen bewachsen sind, bilden die biologische Hauptreinigungsstufe in Pflanzenkläranlagen. Diese horizontal oder vertikal durchströmten Bodenfilter werden auch als zusätzliche biologische Reinigungs- und Schönungsstufen nach Teichkläranlagen und technischen Kläranlagen eingesetzt.

Die folgenden Ausführungen zu Planung, Bemessung, Bau, Betrieb und Wartung beziehen sich ausschließlich auf Pflanzenkläranlagen mit horizontal oder vertikal durchströmten bepflanzten Bodenfiltern als biologische Hauptreinigungsstufe für häusliches und kommunales Abwasser. Unter Pkt. 6 wird kurz auf den Einsatz von bepflanzten Bodenfiltern in Kombinationsanlagen eingegangen.

Für alle Pflanzenkläranlagen gelten die Anforderungen des für häusliches und kommunales Abwasser geltenden Anhangs 1 der Abwasserverordnung (AbwV) für die Ausbaugröße <1.000 EW¹ → CSB: 150 mg/l; BSB₅: 40 mg/l [1], sofern nicht unter Berücksichtigung des Einleitungsgewässers Anforderungen, die über die des Anhangs 1 der AbwV hinausgehen, in der wasserrechtlichen Erlaubnis festgelegt worden sind.

Auf der Grundlage der Auswertung einschlägiger Fachliteratur sowie der vorrangig in den vergangenen 7 Jahren im Land Sachsen-Anhalt gesammelten Erfahrungen mit Pflanzenkläranlagen wurde vorliegende Fachinformation erarbeitet [2], [3]. Mit dieser soll Aufgabenträgern der Abwasserbeseitigung, Planern, Behörden und interessierten Bürgern ein Überblick über den Bau, Betrieb und die Wartung von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern gegeben werden.

¹ = Größenklasse 1 (GK 1); CSB...Chemischer Sauerstoffbedarf; BSB₅...Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen

2 Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen

2.1 Aufbau und Funktion

In Pflanzenkläranlagen (PKA) wird häusliches oder kommunales Abwasser zunächst mechanisch oder mechanisch-teilbiologisch vorgereinigt und dann in der biologischen Hauptreinigungsstufe, dem bepflanzten Bodenfilter, behandelt.

Im Einzelnen bestehen Pflanzenkläranlagen aus dem Kläranlagenzulauf und einer mechanischen Vorbehandlungsstufe, in der das Rohabwasser von Grob- und Schwimmstoffen befreit und entschlammt und je nach Art der Vorklärung ggf. auch teilweise biologisch vorbehandelt wird (siehe Abb. 1). Über die Beschickungseinrichtung, die ggf. durch einen Zwischenspeicher (Beschickungsschacht) für eine stoßweise Beschickung (z.B. Kippverteiler, Pumpe) ergänzt wird, erfolgt die Überleitung des vorbehandelten Abwassers zum bepflanzten Bodenfilter (Pflanzenbeet). Dieser kann aus einem einzigen Pflanzenbeet oder aus mehreren parallel oder hintereinander geschalteten Pflanzenbeeten bestehen, die horizontal oder vertikal durchströmt werden. Ein Ablauf- und Kontrollschacht schließt sich an die Pflanzenbeetstufe an. Hier befindet sich die ggf. für den Kläranlagenablauf erforderliche Technik (z.B. Pumpe). Der Schacht bietet die Möglichkeit zur Entnahme einer Wasserprobe für die Untersuchung des gereinigten Abwassers. Wahlweise kann vor der Einleitung in ein Gewässer (Fließgewässer, Grundwasser) und/oder für die Entnahme von Beregnungswasser ein Schönungsteich/Stapelteich dem Ablauf- und Kontrollschacht nachgeschaltet sein. Der Ablauf der Pflanzenkläranlage wird je nach vorgesehener weiterer Verfahrensweise (z.B. Einleitung in ein Fließgewässer) gestaltet (siehe Pkt. 5.4).

Falls das Gelände genügend Gefälle bietet, können technische Beschickungs- und Ablaufvorrichtungen bei günstiger Gestaltung der Pflanzenkläranlage entfallen (siehe auch Abb. 3a und Pkt. 4).

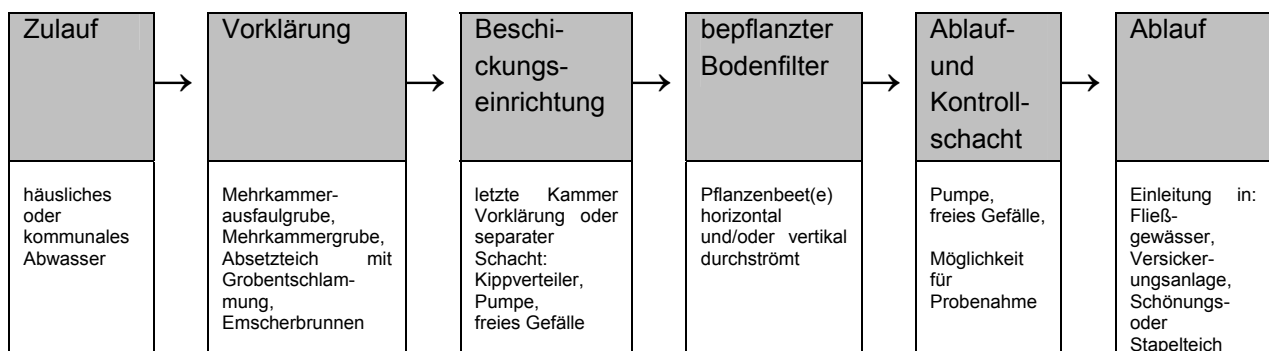


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Pflanzenkläranlage mit bepflanztem Bodenfilter

Die **Reinigungswirkung** im bepflanzten Bodenfilter wird durch das Zusammenspiel von Bodenkörper, Mikroorganismen, den Pflanzen selbst sowie die Art und Weise der Beschickung des Bodenfilters mit Abwasser erzielt (siehe Pkt. 2.2).

Das Abwasser wird im Bodenkörper durch mechanische (z. B. Filterwirkung) sowie physikalisch-chemische (u. a. Adsorption, Ionenaustausch) Prozesse gereinigt. Im Boden, in den Bodenporen sowie auf den Pflanzenwurzeln lebende Mikroorganismen bauen Abwasserinhaltsstoffe ab bzw. transformieren sie in andere chemische Verbindungen und bauen eigene Biomasse auf. Unter optimalen Bedingungen entsteht zwischen gebildeter und durch andere Organismen oder Prozesse wieder abgebauter Biomasse ein Gleichgewicht, so dass ein Zuwachsen und Verstopfen des Filtermaterials (Kolmation) nicht stattfinden kann.

Der für die Stoffwechselprozesse benötigte **Sauerstoff** kann über verschiedene Transportmechanismen in den Bodenfilter gelangen:

- Diffusion: Austausch von Gasen im Bodenfilter aufgrund des Konzentrationsgefälles der Boden- zur Außenluft
- Konvektion: Ersetzen des Luftvolumens im Filterkörper durch eine Sogwirkung des ab- oder zulaufenden Wassers
- Eintrag über die Pflanzen: Versorgung des Wurzelumfeldes mit Sauerstoff durch das Aerenchym² der Pflanzen des Filterbewuchses, konvektiver Gastransport in die Wurzeln

Wesentlich ist der Sauerstoffeintrag aus der Luft durch die Konvektion. Insbesondere über eine stoßweise Beschickung kann der Eintrag von Sauerstoff in den Boden erhöht werden.

Sowohl der Nährstoffentzug durch die Sumpfpflanzen als auch der Sauerstoffeintrag durch deren Aerenchym sind relativ unbedeutend. Dennoch tragen die Pflanzen z.B. durch ihre isolierende Wirkung im Winter und Beschattung im Sommer bzw. durch die Durchwurzelung des Bodenkörpers und die damit verbundene Verbesserung der Hydraulik sowie eine Vergrößerung der Aufwuchsflächen für Mikroorganismen und die Abgabe von chemischen Substanzen zu einer Optimierung des Gesamtsystems bei.

Eine Verringerung der Reinigungsleistung bzw. Funktionsuntüchtigkeit des bepflanzten Bodenfilters kann durch teilweise oder vollständige Verstopfung des Bodenmaterials (**Kolmation**) im Pflanzenbeet eintreten. Diese kann durch verschiedene physikalisch/mechanische, chemische und biologische Vorgänge verursacht werden [17].

Für bepflanzte Bodenfilter geht in erster Linie von folgenden Mechanismen eine Kolmationsgefahr aus:

- Ablagerung von organischen und anorganischen Partikeln auf der Bodenfilteroberfläche und in den Bodenporen (z.B. abfiltrierbare Stoffe und Schlamm aus der Vorklärung, abgestorbenes Pflanzenmaterial)
- Verstopfung der Bodenporen durch Biomassewachstum
- mechanische Verdichtung des Bodenfilters

Während die vollständige Verstopfung der Poren durch organische und anorganische Partikel sowie die mechanische Verdichtung meist nur im Rahmen umfangreicher Sanierungen zu beseitigen sind, ist die durch wachsende Biomasse (Biofilm) im Bodenfilterkörper verursachte Verstopfung der Bodenporen reversibel. Wesentlicher Bestandteil des Biofilms sind große, von Bakterien gebildete, Mengen von extrazellulären polymeren Substanzen (EPS). Durch eine Unterbrechung der Beschickung und Einhaltung einer Ruhephase (in der Regel mehrere Wochen) erfolgt eine Austrocknung und Mineralisierung des Biofilms, so dass die Bodenporen wieder frei werden und die Filterwirkung wieder hergestellt werden kann [21].

Kolmation ist mit einer erheblichen Verringerung der Infiltrationsrate des zu reinigenden Abwassers und des Sauerstoffeintrages verbunden. In erster Linie sind vertikal durchströmte

² Aerenchym: Luftspeichergewebe, das der Durchlüftung dienende Gewebe bei Sumpfpflanzen und Wasserpflanzen

Bodenfilter von der Kolmation betroffen, da hier die Beschickung über die gesamte Beetoberfläche erfolgt und das Abwasser den Bodenfilter von oben nach unten voll durchdringen muss. Dagegen ist bei horizontal durchströmten Bodenfiltern der Bereich für den größten Rückhalt an abfiltrierbaren Stoffen (Einlaufkulissee) vom Bereich der maximalen Biomasseproduktion (Filterkörper) räumlich getrennt.

2.2 Reinigungsleistung

Pflanzenkläranlagen werden in erster Linie für den **Abbau von Kohlenstoffverbindungen** bemessen. In der Regel wird ein Eliminationsgrad von mindestens 85 % für die Kohlenstoffverbindungen erreicht, die über die Kenngrößen CSB und BSB₅ erfasst werden. Für Pflanzenkläranlagen der Ausbaugrößen bis zu <1.000 EW gelten die Anforderungen des Anhangs 1 der Abwasserverordnung (AbwV) für die GK 1. Es sind danach mindestens Ablaufwerte für CSB von 150 mg/l und für BSB₅ von 40 mg/l einzuhalten. Die mechanisch-biologische Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen, die gemäß den Regeln der Technik gebaut, betrieben und gewartet werden, ermöglicht die sichere Einhaltung dieser rechtlichen Mindestvorgaben. Je niedriger die spezifische Flächenbelastung bzw. je größer die zur Abwasserbehandlung zur Verfügung stehende Fläche des bewachsenen Bodenfilters, desto höher kann die Reinigungsleistung liegen. Unter optimalen Bedingungen (optimierte Betriebsweise, sehr gute Vorreinigung, niedrige hydraulische und stoffliche Belastung, kolmationsfreier Bodenfilter) sind so Wirkungsgrade von über 95 % erzielbar [3], [27].

Neben den Kohlenstoffverbindungen werden durch Mikroorganismen sowie im Bodenfilter stattfindende Prozesse (z.B. Adsorption) auch Nährstoffe (Stickstoff- und Phosphorverbindungen) und andere Mikroorganismen (pathogene Keime, Viren) abgebaut bzw. zurückgehalten.

Der Abbau von Stickstoffverbindungen (Ammonium, Nitrit, Nitrat) wird zu ca. 95 % von Mikroorganismen vollzogen und ist daher temperaturabhängig. Niedrige Abwassertemperaturen im Winterbetrieb (z.B. < 5 °C) führen zu deutlich verminderten Stoffwechsellleistungen der Mikroorganismen.

Die Prozesse der sauerstoffabhängigen **Nitrifikation** (Oxidation von Ammonium über Nitrit zu Nitrat) und der unter Sauerstoffausschluss erfolgenden **Denitrifikation** (Abbau von Nitrat unter Bildung von Luftstickstoff) laufen sowohl in den vertikal als auch in den horizontal durchströmten Bodenfiltern ab. Vertikal durchströmte Bodenfilter bieten aufgrund der besseren Sauerstoffversorgung sehr gute Bedingungen für die Nitrifikation. Hier ist ein nahezu vollständiger Ammoniumabbau möglich. Betriebspausen bzw. ein alternierender Betrieb können sich positiv auf die Nitrifikationsleistung auswirken, wenn eine weitgehende Entleerung des Filterkörpers in den Beschickungspausen gewährleistet ist [17] (siehe auch Pkt. 2.1).

Für eine **weitergehende Stickstoffeliminierung** ist eine Nitrifikation mit anschließender Denitrifikation erforderlich. Das unter Sauerstoffverbrauch durch Nitrifikation gebildete Nitrat wird in der anaeroben Zone des Bodenfilters denitrifiziert (Nitratabbau). Über weitergehende Maßnahmen, wie z.B. die Rezirkulation des gereinigten Abwassers in die Vorklärung (siehe Abb. 3b) oder durch die Kombination von Vertikal- und Horizontalfiltern (siehe Abb. 3c) lassen sich neben einer Verbesserung der Reinigungsleistung für Kohlenstoffverbindungen Stickstoffeliminationsraten von 50 % bis 70 % erreichen [10], [28].

Phosphor wird in den Bodenfiltern überwiegend adsorptiv gebunden. Somit wird das Bodenfiltermaterial bestimmend für den Phosphorrückhalt. Hohe natürliche Anteile von Eisen- und Aluminiumhydroxiden und ggf. Kalziumkarbonat begünstigen die Festlegung des Phosphors im Filter [17]. Es werden gewöhnlich Eliminationsraten von > 60 % bis hin zu über 90 % erreicht [27]. Mit zunehmender Betriebsdauer (> 10 Jahre) kann sich die Sorptionskapazität des Filtermaterials erschöpfen. Für eine Beibehaltung der Reinigungsleistung kann dies die Nachschaltung eines separaten Filters, bestehend aus stark Phosphor-adsorbierendem Material oder den Austausch der besonders beladenen obersten Schichten des bepflanzten Bodenfilters erforderlich machen.

In bepflanzten Bodenfiltern findet neben dem Abbau von Abwasserinhaltsstoffen eine **Keimminderung** des Abwassers statt [17], [27]. Es werden in der Regel Eliminationsraten von 1,5 bis 2,5 Zehnerpotenzen erreicht. In Kombinationsanlagen erhöhen sich die Eliminationsraten auf bis zu 5 Zehnerpotenzen (siehe auch Pkt. 6). Besonders in Hinsicht auf hygienische Aspekte ist dies für Hauskläranlagen (Kleinkläranlagen auf privaten Grundstücken) von großer Bedeutung.

2.3 Vor- und Nachteile

Inwieweit eine Pflanzenkläranlage für die Reinigung des anfallenden häuslichen oder kommunalen Abwassers geeignet ist und eine wirtschaftliche Alternative zu den technisch intensivierten Verfahren darstellt, hängt von den jeweiligen Verhältnissen vor Ort ab. Insbesondere können Pflanzenkläranlagen für eine dezentrale (Kleinkläranlagen) oder semizentrale (Ortskläranlagen) Abwasserbeseitigung sinnvoll sein, wenn Abwasser aus Trennkanalisationen anfällt, bezüglich des Einleitungsgewässers keine über den Anhang 1 der AbwV hinausgehenden Anforderungen gestellt werden, saisonale Belastungen auftreten und ausreichend sowie kostengünstig Flächen zur Bebauung zur Verfügung stehen.

Die wesentlichen **Vorteile** von Pflanzenkläranlagen sind:

- einfache Bau- und Betriebsweise
- kaum technische Geräte erforderlich
- kein oder geringer Stromverbrauch
- niedrige Kosten für Betrieb und Wartung
- gute Keimminderung
- gute Anpassung an Belastungsschwankungen
- naturnahe Gestaltung mit weitgehender Anpassung an das Gelände möglich
- lange Lebensdauer

Die wesentlichen **Nachteile** von Pflanzenkläranlagen sind:

- hoher spezifischer Flächenbedarf
- Beeinflussung der Reinigungsleistung durch jahreszeitliche bzw. witterungsbedingte Veränderungen
- keine gezielt gesteuerte Abwasserreinigung möglich
- gute mechanische Vorreinigung erforderlich (Kolmationsgefahr im Bodenfilter)
- Störanfälligkeit des bewachsenen Bodenfilters gegen dauerhafte hydraulische (Abwassermenge) und stoffliche Überbelastung (Schwebstoffe, organische Verbindungen, Nährstoffe)

- Störanfälligkeit des bewachsenen Bodenfilters gegen Schadstoffe (Wasch-, Reinigungs- und Desinfektionsmittel, toxische Verbindungen)
- mögliche Geruchsemissionen bei hydraulischer Überlastung
- Anlagengröße (Kapazität) nur bis zu einer bestimmten Größe (i.d.R. bis 1.000 EW) wirtschaftlich

3 Planung von Pflanzenkläranlagen

Wesentliche Grundlagen für die Planung von Abwasseranlagen bilden die gemäß Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) zu erstellenden Abwasserbeseitigungskonzepte der Aufgabenträger (§ 151 Absatz 4) sowie die Abwasserbeseitigungspläne (§ 153) [5]. Weitergehende Hinweise zur Planung von Abwasseranlagen bzw. kleinen Kläranlagen sind u. a. im Arbeitsblatt ATV-A 200 „Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten“ [6] und im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 „Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“ [7] enthalten.

3.1 Charakterisierung des Entwässerungsgebietes

Grundsätzlich sind die für die Planung einer Kläranlage erforderlichen Entwässerungsgebietsdaten sowohl für den Ist-Stand als auch für die Prognose zu ermitteln. Ausgehend von den nachfolgend angeführten im Land Sachsen-Anhalt häufig anzutreffenden Verhältnissen, sollte bei der Planung auf vorhandenes bzw. zu erhebendes Datenmaterial bezüglich des betreffenden Entwässerungsgebietes zurückgegriffen werden. Der Ansatz pauschaler Kennziffern sollte möglichst vermieden werden. Prognosen oder Sicherheitsreserven sollten kritisch hinterfragt werden.

Insbesondere die ländlichen Gebiete Sachsen-Anhalts sind gekennzeichnet durch:

- Rückgang der Einwohnerzahlen
- sehr niedrigen Trinkwasserverbrauch
- hohe CSB-Zulaufkonzentrationen zu den Kläranlagen
- niedrige mittlere Jahresniederschlagshöhen (häufig nur etwa 60 % gegenüber anderen Bundesländern)
- vergleichsweise neue Kanalisationssysteme (Errichtung häufig erst nach 1990)
- dezentrale Niederschlagswasserbeseitigung, Entwicklung modifizierter Misch- oder Trennkanalisationen

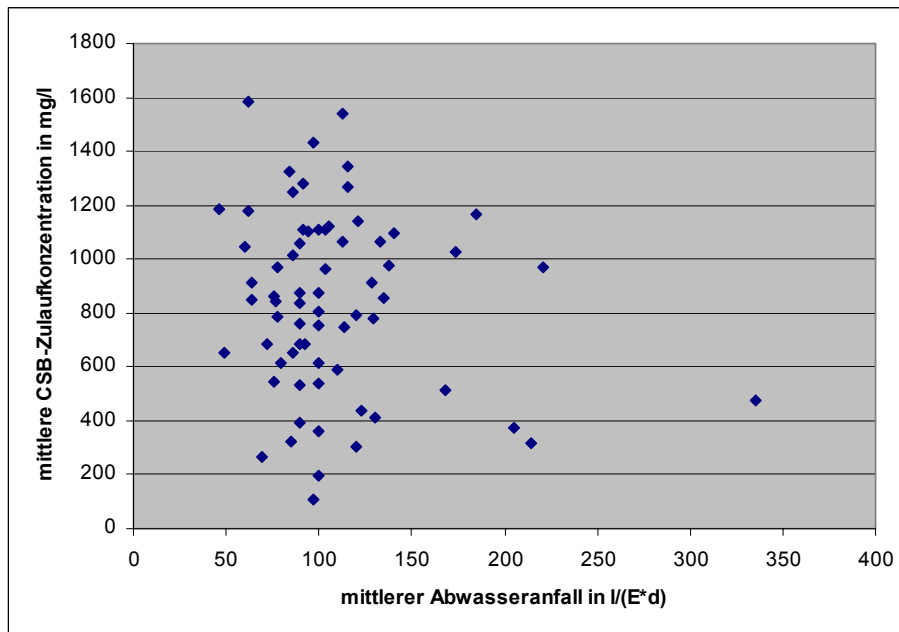


Abb. 2: Mittlere CSB-Zulaufkonzentration als Funktion des mittleren Abwasserzuflusses für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu $< 1.000\text{ EW}</math> ($n = 68$)$

In Auswertung der Ergebnisse der Eigenüberwachung des Jahres 2005 sowie dem Sonderuntersuchungsprogramm zu Pflanzenkläranlagen in Sachsen-Anhalt (1999-2006) ist in der Abbildung 2 der Abwasserzufluss in häusliche und kommunale Kläranlagen der Ausbaugröße $< 1.000\text{ EW}$ charakterisiert.

Trotz einer großen Schwankungsbreite der gemessenen CSB-Zulaufkonzentrationen, was durch verschiedene Einflussfaktoren begründet ist (z. B. Art des Kanalisationssystems, gewerblich-industrielle Indirekteinleiter, Fremdenverkehrseinrichtungen, geringe Anzahl von Messwerten, Tageszeit der Probenahme), wird die obige Charakterisierung der Verhältnisse in den ländlichen Gebieten Sachsen-Anhalts bestätigt. Über 50 % der erfassten Kläranlagen hatten mittlere CSB-Zulaufwerte von über 800 mg/l.

Der Trinkwasserverbrauch in den ländlichen Gebieten Sachsen-Anhalts liegt derzeit im Bereich von 50 bis 75 l/(E * d).

Aufgrund dieser Bedingungen werden an die Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen in Sachsen-Anhalt sehr hohe Anforderungen gestellt. Je höher die Zulaufkonzentrationen sind, desto wichtiger sind eine auf die spezifischen Anforderungen abgestimmte Planung und bauliche Auslegung (insbesondere der Vorklärung) sowie eine verfahrenstechnische Optimierung der Pflanzenkläranlagen.

3.2 Charakterisierung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, Standortfragen

Bei der Entscheidung über den Standort einer Kläranlage bzw. der Wahl des Reinigungsverfahrens gilt es eine Vielzahl überörtlicher und örtlicher Bedingungen zu berücksichtigen.

Von maßgeblicher Bedeutung für die Erstellung eines ökologisch vertretbaren und ökonomisch realisierbaren Konzeptes sind insbesondere die Merkmale des Entwässerungsgebietes, die wassergütwirtschaftliche Situation und ggf. vorliegende Nutzungsbeschränkungen und -verbote (z. B. in Wasserschutz- und Naturschutzgebieten).

Zieht man die Errichtung einer Pflanzenkläranlage zur Reinigung des häuslichen oder kommunalen Abwassers in Betracht, sind neben den o. g. noch weitere wasserwirtschaftliche Verhältnisse und Standortkriterien zu berücksichtigen (siehe auch DWA-A 262 [10]).

- **Topographie**

Für Pflanzenkläranlagen empfiehlt sich ein gut belichteter und gut durchlüfteter Standort. Ein vorhandener Höhenunterschied im Gelände ermöglicht die Minimierung des Energiebedarfes für die Beschickung der bepflanzten Bodenfilter bzw. zur Ableitung des gereinigten Abwassers.

- **Möglichkeiten der Erschließung (Straßen, Wege, Strom, Wasser)**

In Abhängigkeit von Ausbaugröße und Anlagentyp müssen bereits bei der Planung der Pflanzenkläranlage sowohl die verkehrstechnische Erschließung (z. B. im Hinblick auf die Klärschlammentsorgung) als auch die Verlegung von erforderlichen Versorgungsleitungen berücksichtigt werden.

- **Baugrundverhältnisse**

Die bepflanzten Bodenfilter müssen nach unten und an den Seiten abgedichtet sein. Generell wird eine künstliche Abdichtung der bepflanzten Bodenfilter empfohlen. Kunststoffdichtungsbahnen, Beton- oder Kunststoffwannen oder mineralische Dichtung mit tonigem Material kommen hierfür in Frage. Bei anstehenden Böden mit Durchlässigkeitsbeiwerten $k_f < 10^{-8}$ m/s kann auf diese künstliche Abdichtung verzichtet werden.

- **Grundwasserverhältnisse**

Sowohl für die Bauphase als auch für den späteren Betrieb der Pflanzenkläranlage sind die örtlichen Grundwasserverhältnisse zu erfassen und zu bewerten. Hierzu können u. a. eine Auswertung vorhandener Ergebnisse von Wasserstandsmessungen und die Erstellung von Grundwassergleichenplänen erforderlich sein. Der bepflanzte Bodenfilter darf nicht in den höchsten bekannten Grundwasserstand eintauchen [10]. Die entsprechenden Vorgaben für andere Anlagenteile (Vorklärung, Kläranlagenablauf z.B. Versickerungsanlage) sind u.a. aus der DIN 4261-1 und dem DWA-A 201 zu entnehmen [11], [20].

- **Hochwassersicherheit**

Die Funktion von Abwasseranlagen ist auch bei Hochwasserereignissen zu gewährleisten. Insofern sind für abwassertechnische Anlagen, die in hochwassergefährdeten Gebieten liegen, Hochwasserschutzkonzepte, welche u. a. einen Maßnahmenplan und einen Gefahrenabwehrplan enthalten müssen, zu erstellen. Hinweise und Hilfestellungen bei der Erstellung der Risikoanalyse und eines Hochwasserkonzeptes für Abwasseranlagen sind dem Merkblatt DWA-M 103 zu entnehmen [9].

- **Abstand zur Wohnbebauung**

Der Mindestabstand zu Wohngebäuden muss aufgrund möglicher Geruchsemissionen und aus hygienischen Gründen eingehalten werden. Empfohlen wird ein Mindestabstand von ca. 20-25 m. Die Hauptwindrichtung ist zu beachten. Der Abstand zu geplanten oder vorhandenen Wassergewinnungsanlagen muss so groß sein, dass Beeinträchtigungen nicht zu befürchten sind.

4 Bemessung und verfahrenstechnische Gestaltung von Pflanzenkläranlagen

Gemäß § 154 WG LSA sind Abwasseranlagen so zu errichten und zu betreiben, dass die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser, insbesondere nach § 13 WG LSA („Anforderungen an das Einleiten von Abwasser“), eingehalten werden. Für Bau und Betrieb von Abwasseranlagen gelten die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a. a. R. d. T.).

Grundsätze für Bemessung und verfahrenstechnische Gestaltung von Pflanzenkläranlagen sind insbesondere dem Arbeitsblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) DWA-A 262 „Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers“ (2006) [10] zu entnehmen. Für die mechanische Vorbehandlung des Abwassers sind besonders die DIN 4261 „Kleinkläranlagen – Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung“ (2002) [11], die DIN EN 12566-3 „Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW – Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser“ (2005) [12] und das DWA-A 201 [20] zu beachten.

Das Arbeitsblatt DWA-A 262 enthält, bezogen auf seine Vorgänger ATV-H 262 (1989) [13] und ATV-A 262 (1998) [14] weitergehende und konkretere Anforderungen, die auf langjährigen praktischen Erfahrungen, insbesondere zur Vorklärung, zum Flächenansatz und zur Schichtdicke des Filterkörpers, beruhen.

Sofern keine genaueren ortsspezifischen Werte bekannt sind, wird für die Bemessung von kleinen Pflanzenkläranlagen (> 50 EW bis < 1.000 EW) vorgeschlagen, für den häuslichen Schmutzwasseranfall (ohne Fremdwasser und gewerbliches Abwasser) einen Wert von $90 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ zu verwenden (siehe auch Pkt. 3.1).

4.1 Gestaltungsvarianten für Pflanzenkläranlagen

Ausgehend vom Grundaufbau für Pflanzenkläranlagen (siehe Abb. 1) gibt es zahlreiche bauliche Modifizierungen durch die Hersteller. Im Rahmen der Bestandsaufnahme von Pflanzenkläranlagen im Land Sachsen-Anhalt (2006) wurden z.B. PKA der Anlagentypen

- MUTEK-Pflanzenkläranlagen,
- PURE-Pflanzenkläranlagen,
- „Phytofilt“,
- „Launhardt-Reaktor“

registriert. Eine ausführliche Beschreibung dieser Bautypen, welche sich hauptsächlich in der jeweiligen Ausführung der biologischen Hauptreinigungsstufe der Pflanzenkläranlage, dem bepflanzten Bodenfilter, unterscheiden, ist der Fachinformation Nr. 6/2006 [4] zu entnehmen.

Häufig sind die in Sachsen-Anhalt in Betrieb befindlichen Pflanzenkläranlagen jedoch keinem spezifischen Anlagentyp zuordenbar und vielfach durch Eigenbau entstanden.

Seit einigen Jahren (2004) liegen erste bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für Kleinkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern vor. Pflanzenkläranlagen dieser zugelassenen Bautypen bieten den Vorteil, dass es sich um geprüfte, standardisierte Kleinkläranlagen handelt. Die Anforderungen des Anhangs 1 der

AbwV (GK 1) gelten hier als eingehalten, wenn die Kläranlage nach Maßgabe der Zulassung gebaut und betrieben wird.

Der Bau anderer Anlagen ist weiterhin zulässig. Für diese Anlagen gilt die o.g. Einhaltefiktion nicht. Es können zusätzliche Auflagen erforderlich werden.

Die Pflanzenbeetstufe kann aus einem bepflanzten Bodenfilter oder mehreren in Reihe oder parallel geschalteten bepflanzten Bodenfiltern bestehen. Die Pflanzenbeete können horizontal (Horizontalfilter) oder vertikal (Vertikalfilter) vom zu reinigenden Abwasser durchströmt werden. Die nachfolgenden Abbildungen 3a bis 3e stellen grob schematisch einige Varianten für die Gestaltung von Pflanzenkläranlagen dar.

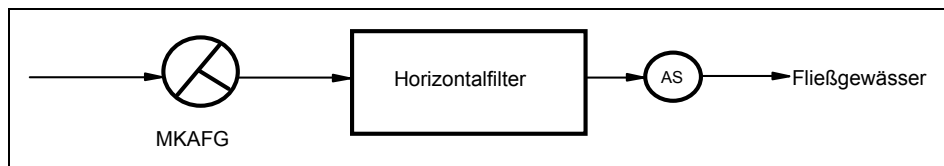


Abb. 3a: Einfache Variante für PKA mit Horizontalfilter, Beschickung und Ablauf im freien Gefälle mit Einleitung in ein Fließgewässer³

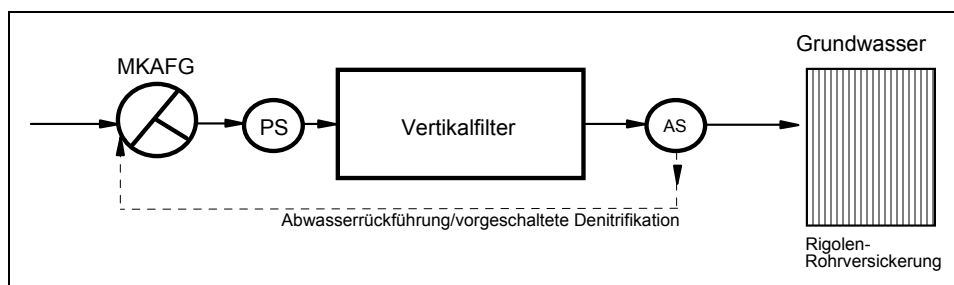


Abb. 3b: PKA mit Vertikalfilter und teilweiser Abwasserrückführung zur ersten Kammer der Vorklärung mit anschließender Abwasserversickerung

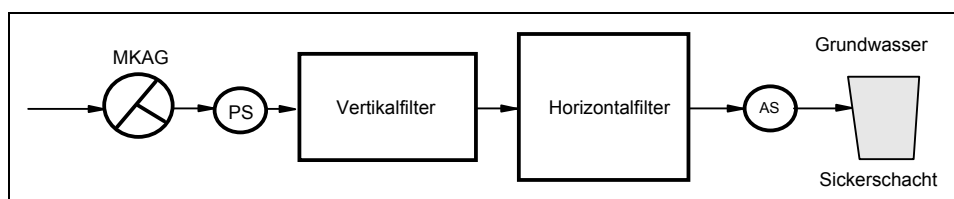


Abb. 3c: Kombinationsanlage mit Vertikal- und Horizontalfilter in Reihe mit anschließender Abwasserversickerung

³

AS... Abwassersammel- und Kontrollschacht
PS... Pumpenschacht

MKAG... Mehrkammergrube
MKAFG... Mehrkammerausfallgrube

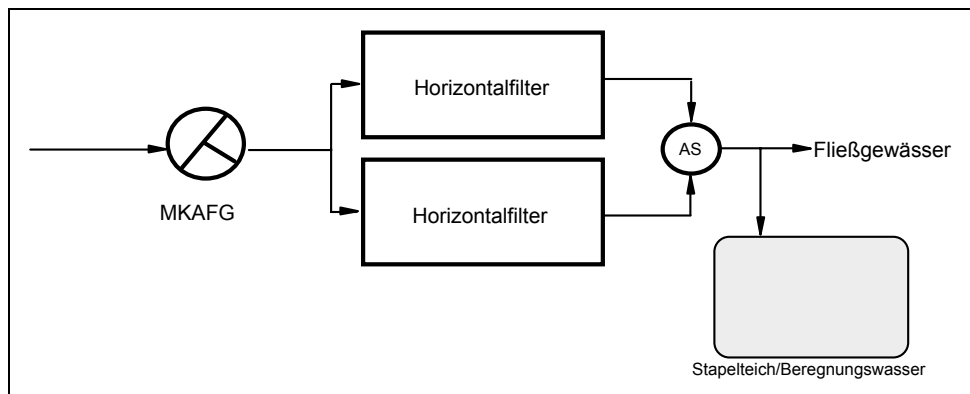


Abb. 3d: PKA mit zwei parallel geschalteten Horizontalfiltern mit wahlweiser Einleitung in ein Fließgewässer oder in einen Stapelteich zur Brauchwasserentnahme

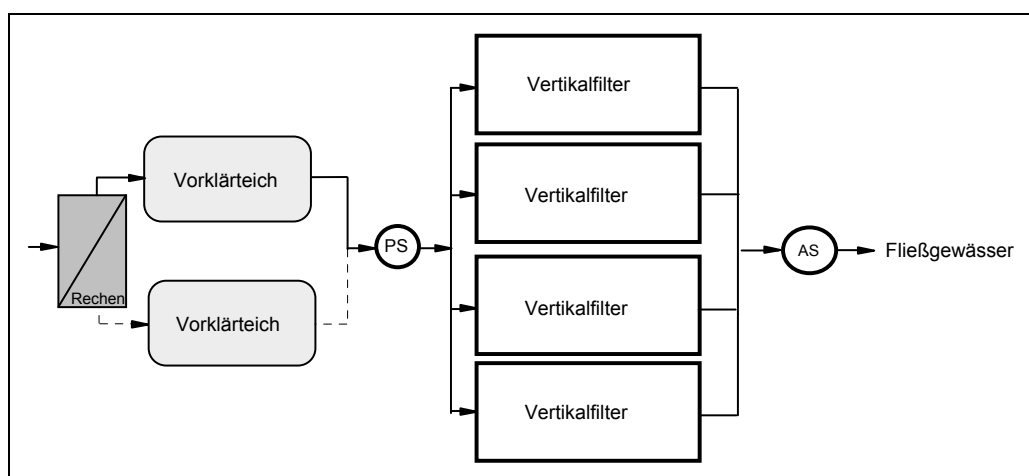


Abb. 3e: Kleine Kläranlage mit Grobentschlammung (z.B. Rechen), Absetzteichen (wechelseitiger Betrieb), 4 Vertikalfiltern im Parallelbetrieb mit Einleitung in ein Fließgewässer

4.2 Vorklärung

Die **Vorbehandlungsstufe** ist für die Entschlammung und Befreiung des Abwassers von Grob- und Schwimmstoffen erforderlich. Ohne diese mechanische Vorreinigung kommt es zu erheblichen Störungen (z.B. Auflandungen im Zulaufbereich, Verstopfungen der Einsickerungskulisse, Ungeziefer- und Geruchsbelästigungen) bei der Beschickung der Pflanzenbeete. Darüber hinaus kann es bei ungenügender mechanischer Reinigung in kurzer Zeit zur Verstopfung des Bodenmaterials im Pflanzenbeet (Kolmation) kommen.

Geeignete Vorbehandlungsmöglichkeiten für Pflanzenkläranlagen sind für Kleinkläranlagen (bis 50 EW) Mehrkammerausfallgruben, Mehrkammergruben. Bei dem Einsatz von Rottebehältern sind verschiedene Vorgaben, die sich auf die bauliche Gestaltung der Vorklärung (siehe Tab. 1) sowie auf die Einhaltung von Hygienevorschriften beziehen, zu beachten (siehe Pkt. 5.1).

Für kleine Kläranlagen (> 50 bis 1.000 EW) wird der Einsatz von Absetzteichen (nach DWA-A 201) und Emscherbrunnen empfohlen, aber auch entsprechend dimensionierte Mehrkammergruben können hier zur Vorklärung dienen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Empfehlungen der DWA zu **Vorbehandlungsmöglichkeiten und zur Dimensionierung** der Vorklärung zusammengefasst.

Tab. 1: Geeignete Vorbehandlungsmöglichkeiten für Kleinkläranlagen (bis 50 EW) und kleine Kläranlagen (> 50 < 1.000 EW) - nach DWA-A 262

Vorbehandlung	KKA ≤ 6 E	KKA 7 – 10 E	KKA 11 – 50 E	kleine Kläranlagen > 50 E
Mehrkammerausfallgruben nach DIN 4261 mit 1.500 I/E, mindestens 6 m³	←—————→			•••••▶
Mehrkammergruben nach DIN 4261 mit 9 m³ + 750 I/E über 6 E		←—————→		•••••▶
Mehrkammergruben nach DIN 4261 mit 12 m³ + 500 I/E über 10 E			←————→	
Rottebehälter (≥ 200 I/E; max. Beschickung von 1.000 I/m²*d) nur in Verbindung mit nachgeschalteter Mehrkammergrube nach DIN 4261 von mindestens 500 I/E	Hygienevorschriften beachten!			
	←-----→			
Absetzteiche mit Mindestfläche von 1,5 m²/E und vorgeschalteter Grobentschlammung (siehe auch DWA-A 201)			◀•••••	—————▶
Emscherbrunnen mit Aufenthaltszeit von ≥ 2 h und Volumen von mindestens 75 I/E für Absetzraum und mindestens 70 I/E für Schlammammelraum			◀•••••	—————▶

4.3 Bepflanzter Bodenfilter

Im **bepflanzten Bodenfilter** (auch als „Pflanzenbeet“ bezeichnet) findet die biologische, chemische und physikalisch-sorptive Reinigung des mechanisch vorbehandelten Abwassers statt. Er besteht aus einem seitlich und nach unten hin abgedichteten Beetkörper mit einem trapezförmigen Querschnitt. In der Regel ist hierfür eine Böschungsneigung von 1:1 erforderlich. Bei schwereren Böden (z.B. lehmiger Sand, Verwitterungsböden) kann die Neigung der Böschung steiler sein.

Der für die Abwasserreinigung wirksame Bodenkörper (Filterschicht) muss aus sandig-kiesigem Material oder aus anderem Material mit vergleichbaren Eigenschaften bestehen. Als Bepflanzung eignen sich Sumpfpflanzen, vor allem Schilf (Phragmites).

Vorgaben zur **Bemessung bepflanzter Bodenfilter** sind dem Arbeitsblatt DWA-A 262 [10] zu entnehmen. Insbesondere sind die hier auf der Grundlage jahrelanger praktischer Erfahrungen abgeleiteten Bemessungsvorgaben für die Filterfläche pro angeschlossenen Einwohnerwert und die Mindestoberfläche sowie die Vorgaben zur hydraulischen und zur CSB-Flächenbelastung zu beachten. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die wichtigsten Bemessungsvorgaben für Bodenfilter (biologische Hauptreinigungsstufe zur Kohlenstoffeliminierung) gem. DWA-A 262 zusammengestellt. Diese Angaben allein reichen jedoch nicht für die Bemessung/Gestaltung von Pflanzenkläranlagen aus.

Bei Horizontalfiltern ist die Grundfläche der Sohle für die Bemessung maßgebend. Flächenanteile im Bereich der Böschungen dürfen nicht mit einbezogen werden (siehe Abb. 4).

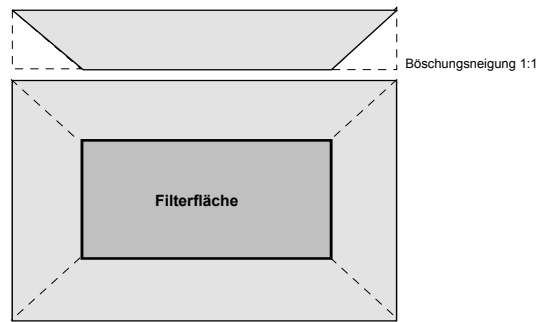


Abb. 4: Schematische Darstellung Pflanzenbeet in Seitenansicht mit einer Böschungseigung von 1:1 und in Draufsicht mit der für die Bemessung zu verwendenden gekennzeichneten Filterfläche (dunkelgrau)

Besonders bei horizontal durchströmten Bodenfiltern ist bei der Bemessung auch die hydraulische Belastung zu berücksichtigen [25]. Es muss gewährleistet werden, dass sich das zu reinigende Abwasser gleichmäßig über die gesamte Breite der Einlaufkulissee verteilt und es zu keiner Pfützenbildung oder oberflächlichem Abfluss bzw. bei unterirdischer Beschickung zu keiner Stauwasserbildung kommt.

In der Einlaufkulissee muss die gesamte Abwassermenge des Beschickungsvorganges gespeichert werden können. Für eine ausreichende Aufenthaltszeit im Bodenfilter ist i.d.R. eine mittlere Fließlänge von 5 - 6 m erforderlich.

Die erforderliche Anströmfläche A (= Höhe \times Breite der Filterschicht des Bodenfilters) im Einsickerungsbereich kann nach der folgenden Formel ermittelt werden.

$$A = \frac{2 * Q_{T,d,aM} * L}{k_{fB} * \Delta H} \quad [m^2]$$

- $Q_{T,d,aM}$... mittlerer täglicher Trockenwetterabflussvolumenstrom im Jahresmittel in m^3/d bzw. l/s
 k_{fB} ... Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Filtermaterials nach mehrjährigem Betrieb in m/s bzw. m/d (etwa um 10^{-1} kleiner als beim Einbau)
 ΔH ... = Wasserspiegel Zulauf – Wasserspiegel Ablauf in m
 L ... Fließlänge im horizontal durchströmten bepflanzten Bodenfilter in m

Bei Vertikalfiltern ist für den Nachweis der erforderlichen Fläche die Bodenfilteroberfläche maßgebend. Für eine sichere Einhaltung der Ablaufwerte gem. Anhang 1 der AbwV sollte für vertikal durchströmte bepflanzte Bodenfilter generell eine Filterfläche von $\geq 4 \text{ m}^2/E$ eingehalten werden. In praktischen Untersuchungen zeigte sich, dass ein nach heutigen Vorgaben (siehe Tab. 2) zu klein bemessener vertikaler Bodenfilter auf starke Schwankungen der Zulaufkonzentrationen mit einem Abfall der Reinigungsleistung reagiert [24].

Bei kleinen Kläranlagen mit Vertikalfilter muss die Gesamtfläche auf mehrere getrennt zu beschickende (Teil-)Flächen aufgeteilt werden, um einen alternierenden Betrieb mit ausreichenden Ruhepausen zu ermöglichen. Dabei ist die maximal zulässige CSB-Flächenbelastung zu berücksichtigen.

Bei der Anordnung der bepflanzten Bodenfilter in Reihe ist zu beachten, dass hier die jeweils nachgeschalteten Pflanzenbeete, wie z.B. in Abb. 3c dargestellt, **nicht** bei der Bemessung

berücksichtigt werden dürfen. Hier ist jedes der einzelnen Pflanzenbeete gem. den Vorgaben des DWA-A 262 (siehe auch Tab. 2) zu bemessen.

Bei Parallelschaltung der bepflanzten Bodenfilter (siehe Abb. 3d und 3e) geht dagegen die Gesamtfläche aller Beete in die Bemessung ein, da hier der Abwasserstrom gleichmäßig auf alle Beete verteilt wird. Für die parallel betriebenen bepflanzten Bodenfilter ist der Ablauf über einen gemeinsamen Ablauf- und Kontrollschacht möglich. Als zweckmäßig wird jedoch die Zuordnung eines separaten Ablauf- und Kontrollschachtes für jedes Beet erachtet (Kontrolle der einzelnen Reinigungsleistung/Funktionstüchtigkeit).

Tab. 2: Bemessungsvorgaben für bepflanzte Bodenfilter als biologische Hauptreinigungsstufe nach DWA-A 262 [10]

Bodenfilter /Bemessungskriterien	Kleinkläranlagen [♦] (<50 EW)	Kleine Kläranlagen (50 bis 1.000 EW)
Horizontalfilter*		
Gesamte Bodenfilteroberfläche	≥ 5 m ² /E	
und Mindestoberfläche	≥ 20 m ²	
und Hydraulische Flächenbelastung bei mittlerem täglichen Trockenwetterabfluss (Jahresmittel)	≤ 40 mm/d bzw. ≤ 40 l/(m ² * d)**	
biologisch wirksame Filterschicht	≥ 50 cm	
und CSB-Flächenbelastung		≤ 16 g/(m ² * d)
* Flächenanteile im Bereich der Böschungen dürfen nicht in Ansatz gebracht werden (DWA-A 262 Pkt. 3.3.2).		
** Ein hydraulischer Nachweis gem. DWA-A 262 Pkt. 3.3.2 ist erforderlich.		
Vertikalfilter		
Mindestoberfläche	≥ 16 m ²	
Hydraulische Flächenbelastung bei mittlerem täglichen Trockenwetterabfluss (Jahresmittel)	≤ 80 l/(m ² * d)	
biologisch wirksame Filterschicht und Dränschicht	≥ 50 cm + ≥ 20 cm	
pro Austrittsöffnung beschickte Fläche	≤ 5 m ²	
Spezifische Fläche	≥ 4 m ² /E	≥ 4 m ² /E [#]
oder CSB-Flächenbelastung der Gesamtfläche und CSB-Flächenbelastung der beschickten Fläche		≤ 20 g/(m ² * d) ≤ 27 g/(m ² * d) ^{##}
Sickerzeit zwischen den Beschickungen		≥ 6 Stunden
Beschickungsvolumenstrom		≥ 6 l/(m ² * min)
Beschickungshöhe		≥ 20 l/m ²
# Liegt die pro Austrittsöffnung beschickte Fläche bei ≤ 1 m ² je Loch, kann bei kleinen Kläranlagen die spezifische Fläche um 0,5 m ² /E verringert werden (DWA-A 262 Pkt. 4.5.3).		
## Gemäß DWA-A 262 Pkt. 4.4.6 muss bei kleinen Kläranlagen die Gesamtfläche auf mehrere getrennt zu beschickende (Teil-)Flächen aufgeteilt werden.		
♦ Bei Kleinkläranlagen sind die Frachten im Ablauf der Vorklärung für die Ermittlung der erforderlichen Bodenfilteroberfläche nicht bemessungsrelevant.		

Durch angepasste Schlammräumungsintervalle ist der Austrag von Grob- und Schwimmstoffen (abfiltrierbare Stoffe) aus der Vorklärung zu minimieren (siehe Pkt. 7). Um

Kolmation zu vermeiden, soll der Jahresmittelwert für abfiltrierbare Stoffe (AfS) im Zulauf zum bepflanzten Bodenfilter 100 mg/l nicht übersteigen. Eine Konzentration von maximal 60 mg/l AfS sollte angestrebt werden. Für Vertikalfilter wird eine Belastung der Gesamfilterfläche mit $<5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ AfS empfohlen [17].

Neben den genannten sind noch weitere Bemessungsvorgaben des DWA-A 262, insbesondere zu Fremd- und Regenwasserzufluss zu beachten [10].

5 Bau von Pflanzenkläranlagen

Die bauliche Ausführung (Vorklärung, Bodenfilter, Anlagentechnik) bestimmt maßgeblich Funktionstüchtigkeit, Leistungsfähigkeit und Betriebsdauer einer Pflanzenkläranlage. Die Möglichkeiten, während des laufenden Betriebes einzugreifen, um bauliche oder technische Veränderungen vorzunehmen, sind sehr gering. Aus diesem Grund muss bereits bei der Planung, der Bemessung und der Bauausführung von Pflanzenkläranlagen mit großer Sorgfalt gearbeitet werden. Hierzu hat die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) in ihrem Arbeitsblatt A 262 umfassend Grundsätze vorgegeben [10].

Die Ergebnisse der Sonderuntersuchungen an Pflanzenkläranlagen im Land Sachsen-Anhalt seit 1999 haben die Vorgaben und Empfehlungen der DWA bestätigt [2], [3].

Dies betrifft vorrangig:

- Vermeidung des Zuflusses von Fremdwasser, insbesondere von Niederschlagswasser, in den Schmutzwasserkanal
- großzügige Bemessung der Vorklärung
- Bodenfilteraufbau (Material, Schichtdicke, Oberflächengestaltung)
- Bemessung des Bodenfilters (spezifische Filterfläche, Abwasserbelastung)
- Bepflanzung des Bodenfilters
- Gestaltung der Zu- und Ablaufkonstruktion

aber auch

- Anforderungen an Pflege und Wartung sowie
- Eigenkontrolle

Pflanzenkläranlagen sollten sorgfältig durch Fachfirmen geplant und gebaut werden. Eigenbauleistungen sind in einem bestimmten Umfang möglich, sollten aber ebenfalls immer von einer Fachfirma oder einem Fachmann begleitet und kontrolliert werden. Die Anlagenbestandteile müssen standsicher, wasserdicht und korrosionsbeständig sein.

Eine intensive Kontrolle der neuen Pflanzenkläranlage in den ersten Betriebswochen dient sowohl der Überprüfung der Anlagenkonstruktion als auch der Reinigungsleistung und bietet die Gelegenheit einer Optimierung der Betriebsweise bezogen auf die individuellen Anforderungen (Abwasserzusammensetzung, Vorgaben für Ablaufwerte).

5.1 Vorklärung

Geeignete Vorbehandlungsmöglichkeiten sind in der Tabelle 1 unter Pkt. 4.2 zusammengefasst.

Für Pflanzenkläranlagen der Ausbaugrößen bis 50 EW (Kleinkläranlagen) sind Mehrkammerausfallgruben/Mehrkammergruben gem. DIN 4261-1 zur Vorbehandlung des Abwassers für Pflanzenbeete geeignet.

Der Einsatz von Rottebehältern ist ebenfalls möglich, ist aber aufgrund einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung an bestimmte Vorgaben gebunden. So ist davon auszugehen, dass im normalen Betrieb keine vollständige aerobe Umsetzung der Grobstoffe erfolgt und eine Nachrotte des nicht hygienisierten Materials erforderlich wird. Ein Hautkontakt mit dem nicht hygienisierten Material oder die Aufnahme von Keimen über die Atemwege muss bei Lagerung, Nachrotte und Verbringung des Rottematerials (Rohkompost) verhindert werden. Es wird empfohlen, diese Arbeiten im Rahmen eines Wartungsvertrages von einer Fachfirma durchführen zu lassen (siehe auch Pkt. 7). Der Rottebehälter muss mit einem nutzbaren Stapelraum von ≥ 200 l/E und einer maximalen Beschickung von $1.000 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ausgelegt werden. Die für den bepflanzten Bodenfilter erforderliche Qualität der Vorklärung wird beim Einsatz von Rottebehältern nur in Verbindung mit einer nachgeschalteten Mehrkammergrube nach DIN 4261 mit einem Mindestnutzvolumen von 500 l/E erreicht.



Abb. 3 : Dreikammerausfallgrube – als Vorklärung bei einer Kleinkläranlage



Abb. 4 : Absetzteich zur Vorklärung bei einer kleinen Kläranlage

Für Pflanzenkläranlagen der Ausbaugrößen von 50 bis 1.000 EW (kleine Kläranlagen) wird zur Vorklärung der Einsatz von Absetzteichen gem. DWA-A 201 [20] empfohlen. Um eine ausreichende Abscheidung der abfiltrierbaren Stoffe zu gewährleisten, sollte die Teichoberfläche mindestens $1,5 \text{ m}^2/\text{E}$ erreichen. Des Weiteren dürfen Schlamm und Pflanzenmaterial nicht aus dem Teich auf den bepflanzten Bodenfilter gelangen. Wirksam kann dies durch eine Tauchwand am Ablauf verhindert werden. Den Absetzteichen sollte eine Grobentschlammung (z.B. Rechen, Stababstand $< 8 \text{ mm}$) vorgeschaltet werden.

Steht für die Vorklärung nur wenig Fläche zur Verfügung, so muss die erforderliche Trennung zwischen Absetz- und Schlammsammelraum durch eine andere geeignete Vorbehandlung erfolgen. Hierfür kommen z.B. Emscherbrunnen infrage (siehe DWA-A 262 [10]).

Ohne Fremdwasserzufluss können auch entsprechend dimensionierte Mehrkammergruben nach DIN 4261 zur Vorklärung in kleinen Kläranlagen eingesetzt werden.

Niederschlagswasser darf grundsätzlich nicht in Kleinkläranlagen eingeleitet werden. Der Eintrag von Fremdwasser (durch Undichtigkeit in die Kanalisation eindringendes Grundwasser, durch z.B. Abdeckungen von Kanalschächten zufließendes Oberflächenwasser oder unerlaubt über Fehllanschlüsse eingeleitetes Wasser) in Pflanzenkläranlagen sollte möglichst vermieden werden. Unkontrollierter Fremdwasserzufluss kann aufgrund der Abkühlung des Abwassers, möglichem Feststoffaustrag aus der Vorklärung und hydraulischer Überbelastung des Bodenfilters negative Auswirkungen auf die Reinigungsleistung und Lebensdauer der Pflanzenkläranlage haben.

Stoßbelastungen (z.B. durch Niederschlagswasser) können zu einem Schlammaustrag aus der Vorklärung auf den bepflanzten Bodenfilter und in der Folge zu dessen Verstopfung (Kolmation) führen. Ist der Zufluss von Niederschlags- und/oder Fremdwasser unvermeidbar, muss die Vorklärung so gestaltet sein, dass Durchfluss und Schlammaustrag nicht erfolgen können. Einfache Mehrkammergruben erfüllen diese Anforderungen nicht.

Grundsätzlich sind Vorklärung und Beschickung des bepflanzten Bodenfilters hydraulisch zu entkoppeln, so dass Schlammaustrag aus der Vorklärung während des Beschickungsvorganges vermieden wird. Die Verbindungen der einzelnen Kammern oder Behälter der Vorklärung sind gem. DIN 4261 zu gestalten, so dass weder Boden- noch Schwimmschlamm übertreten kann. Der Austrag von Schwimmschlamm aus der Vorklärung kann durch eine Tauchwand oder ein oben offenes T-Stück wirksam verhindert werden [11].

Für eine stoßweise bzw. schwallartige Beschickung des bepflanzten Bodenfilters eignen sich Pumpen, Kipprinnen und einfache hydraulische Heber (z.B. Prinzip umgekehrter Syphon).

5.2 Bepflanzter Bodenfilter (Pflanzenbeet)

Pflanzenbeete können je nach den örtlichen Bedingungen sowohl in die Erde eingebracht als auch als Hochbeete gestaltet werden (siehe Abb. 7 und 8). Niederschlagswasser darf oberflächlich (seitlich) nicht den Pflanzenbeeten zufließen können.



Abb. 5 : Pflanzenbeet als Hochbeet



Abb. 6 : Pflanzenbeet ebenerdig

Unter Berücksichtigung der Vorgaben aus der Bemessung kann die Gestaltung der Pflanzenkläranlagen weitgehend frei erfolgen und damit gut in das Landschaftsbild eingepasst werden. Nachfolgend werden Hinweise zu Abdichtung, Struktur der Filterschicht und Bemessung der bepflanzten Bodenfilter gegeben.

Bereits bei der Planung und der Bauausführung muss insbesondere bei:

- der Bemessung des Bodenfilters,
- der Auswahl des Filtermaterials,
- der Prüfung des angelieferten Filtermaterials
- der Einbringung der Schichten des Bodenfilters und
- der Abdichtung gegen den Untergrund

mit großer Sorgfalt gearbeitet werden. Die Zulaufkonstruktion ist so zu gestalten, dass eine gleichmäßige Verteilung des Abwassers bei horizontal durchströmten Bodenfiltern über die gesamte Breite der Einlaufkulisse und bei vertikal durchströmten Bodenfiltern über die gesamte Filteroberfläche erfolgt.

5.2.1 Abdichtung

Die bepflanzten Bodenfilter müssen nach unten und an den Seiten abgedichtet sein [10]. Grundsätzlich ist zur Abdichtung von Pflanzenbeeten eine künstliche Dichtung erforderlich. In Frage kommen hierfür z.B. Kunststofffolien, Beton- oder Kunststoffwannen oder Deckschichten aus bindigem Bodenmaterial.

Es ist ein Freibord (= Abstand der Filteroberfläche zur Oberkante der Dichtungseinbindung) von mind. 20 cm bei Kleinkläranlagen bzw. von mindestens 30 cm bei kleinen Kläranlagen am Pflanzenbeetrand zu schaffen, um bei möglicherweise auftretenden Betriebsproblemen ein Abfließen des Abwassers in das umliegende Gelände zu vermeiden, eine kurzzeitiges kontrolliertes Überstauen des Bodenfilters zu ermöglichen und um ein Einwachsen von Fremdpflanzen in den Bodenfilter zu verhindern.

Kunststoffolie

Die zum Einsatz kommende Kunststoffolie sollte vorzugsweise auf PE-Basis, wurzelfest und UV-beständig sein und eine Foliendicke ≥ 1 mm aufweisen.

Zum Schutz der Folie vor steinigem Untergrund, sollte zunächst der Pflanzenbeetboden eingeebnet und von Steinen befreit werden. Die Einbringung einer Schutzschicht aus z.B. 10 cm Feinsand oder die Einbringung eines Schutzvlieses sind zweckmäßig.

Vorzugsweise sollte die Kunststoffolie in einem Stück eingebracht werden. Ist dies nicht möglich, sind erforderliche Nahtstellen nur durch Fachfirmen überlappend zu schweißen. Besondere Sorgfalt ist weiterhin bei der Herstellung der Anschlussstellen des Zu- und Ablaufes erforderlich.

Beton- oder Kunststoffwannen

Die Verwendung von vorgefertigten Kunststoffwannen bietet den Vorteil einer schnellen und im Selbstaufbau möglichen Ausführung der Abdichtung des Pflanzenbeetes. Auf die sorgfältige Abdichtung der Zu- und Ablaufanschlüsse ist zu achten.

Deckschichten aus bindigem Bodenmaterial

Die Abdichtung des Pflanzenbeetes kann durch die Einbringung von Bodenmaterial mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 10^{-8}$ m/s (z.B. Lehm, Ton) erfolgen. In der Regel sind mindestens 2 Lagen von je 30 cm Schichtdicke erforderlich.

In Ausnahmefällen kann auf eine künstliche Abdichtung verzichtet werden. Dies ist bei stark bindigen, d.h. undurchlässigen Böden wie z.B. Ton, die Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f \leq 10^{-8}$ m/s haben, möglich. Ein Nachweis des anliegenden k_f – Wertes ist an mindestens drei Proben und unter Einbeziehung einer Bodenschicht von mindestens 60 cm an der Sohle und den Böschungen des Pflanzenbeetes erforderlich. Es wird auf die DIN 18127 „Baugrund - Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch“ [15] und die DIN 18130-1 „Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche“ [16] verwiesen.

Nach der baulichen Fertigstellung ist eine Prüfung der Dichtheit durch Wasserbefüllung und Sichtkontrolle erforderlich. Diese kann in Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt W 300 erfolgen [8]. Hierbei sind insbesondere die Anschlussstellen des Zu- und Ablaufes sowie - falls vorhanden - Schweißnähte der Kunststoffolie zu beachten. Die Prüfung kann als Zwischenprüfung bereits nach Fertigstellung des Bauwerkes vor Einbau des Bodenfilters erfolgen. In jedem Fall ist aber nach Fertigstellung des Pflanzenbeetes (Dichtung, Bodenfilter, Bepflanzung) die Dichtheit zu überprüfen, wobei ein besonderes Augenmerk den Anschlussstellen (Zu- und Ablauf) gelten sollte. Eine mögliche Methode wird in der nachfolgenden Tabelle kurz vorgestellt.

Tab. 3: Variante zur Prüfung der Dichtheit des Pflanzenbeetes

Bauwerk – Zwischenprüfung (optional)	Pflanzenbeet - Endabnahme
<u>Prüfung nach Einbau der Bodenabdichtung und der Anschlüsse (Zu- und Ablaufrohre)</u> - Befüllung des Bauwerkes für den bepflanzten Bodenfilter mit Wasser bis über die Anschlüsse - nach 24 Stunden Messung des Wasserstandes - 1 Stunde danach erneute Messung des Wasserstandes	<u>Prüfung nach Fertigstellung des bepflanzten Bodenfilters</u> - Befüllung des bepflanzten Bodenfilters mit ca. 10 cm Überstau - nach 48 Stunden Messung des Wasserstandes - 1 Stunde danach erneute Messung des Wasserstandes
Ist der Wasserspiegel innerhalb einer Stunde um nicht mehr als 5 mm gefallen, so gilt das Bauwerk als dicht. Verdunstung und Niederschläge sind zu berücksichtigen.	

Über den Termin der Dichtigkeitsprüfung sollte die zuständige Untere Wasserbehörde informiert werden.

5.2.2 Horizontalfilter

Für horizontal durchströmte Pflanzenbeete ist charakteristisch, dass an einer Beetseite über deren gesamte Breite ein aus grobem Material bestehender bis zur Sohle des Beetes reichender Verteilerkörper (Einlaufkulisse) eingerichtet ist, der das zulaufende Abwasser aufnimmt und in das Beet weiterleitet. An der gegenüberliegenden Beetseite befindet sich die Auslaufkulisse (vertikale Sammelschicht). Die Entwässerung (Ablauf des Bodenfilters) befindet sich am tiefsten Punkt (siehe Abb. 7).

Der Zulauf des mechanisch vorgereinigten Abwassers kann entweder oberirdisch über den Verteilerkörper oder in diesen eingebettet erfolgen. In der Regel werden hierfür keine Zusatzaggregate wie Pumpen benötigt. Die Beschickung erfolgt meist kontinuierlich. Eine schwallartige Beschickung ist jedoch möglich.

Die Bemessungsvorgaben für Horizontalfilter sind dem DWA-A 262 [10] zu entnehmen (siehe auch Pkt. 4.3). Die Bodenfilteroberfläche der vorhandenen Horizontalfilter beträgt in der Regel 5 bis 10 m² pro Einwohnerwert (EW).

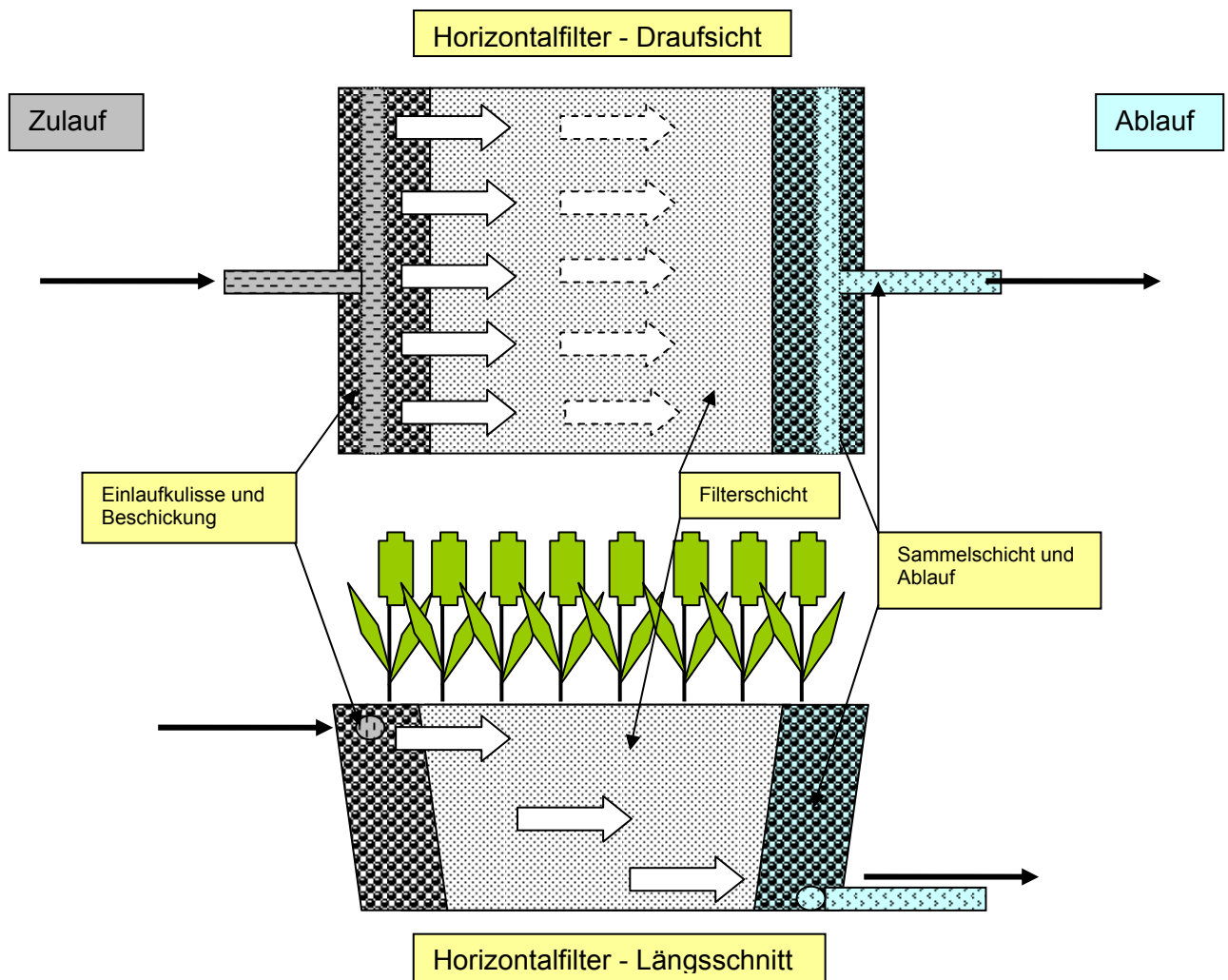


Abb. 7: Schematische Darstellung eines bepflanzten Bodenfilters – Horizontalfilter (unterirdische Beschickung)

5.2.3 Vertikalfilter

Vertikalfilter werden flächendeckend von oben entweder oberirdisch oder in der obersten Kiesschicht schwallartig mit mechanisch vorbehandeltem Abwasser beschickt. Für die Beschickung werden z. B. Pumpen benötigt. Das Abwasser durchströmt den Bodenfilter von oben (wahlweise Deckschicht, Filterschicht) nach unten in Richtung Drainageschicht, wird in der Drainageschicht aufgefangen, gesammelt und zum Ablauf des Bodenfilters geleitet. Das mechanisch vorgereinigte Abwasser muss möglichst gleichmäßig über die gesamte Filteroberfläche verteilt werden. Je kleiner der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Filtermaterials ist, umso größer können die Abstände zwischen den Austrittsöffnungen der Beschickungseinrichtung gewählt werden. Die pro Austrittsöffnung der Beschickungseinrichtung beschickte Filterfläche sollte aber nicht größer als 5 m^2 sein.

Es ist darauf zu achten, dass vor jedem neuen Beschickungsvorgang eine vollständige Entwässerung des Bodenfilters stattfindet. Um Staunässe zu verhindern, sollten bestimmte Sickerzeiten eingehalten werden (siehe Pkt. 4.3).

Die Bemessungsvorgaben für Vertikalfilter sind dem DWA-A 262 [10] zu entnehmen (siehe auch Pkt. 4.3). In Sachsen-Anhalt beträgt die spezifische Bodenfilterfläche von Vertikalfiltern 1,9 bis $6,5 \text{ m}^2/\text{E}$ [4]. Aufgrund der bisher im praktischen Betrieb gewonnenen Erkenntnisse sollte eine Mindestgröße von $4 \text{ m}^2/\text{E}$ generell nicht unterschritten werden.

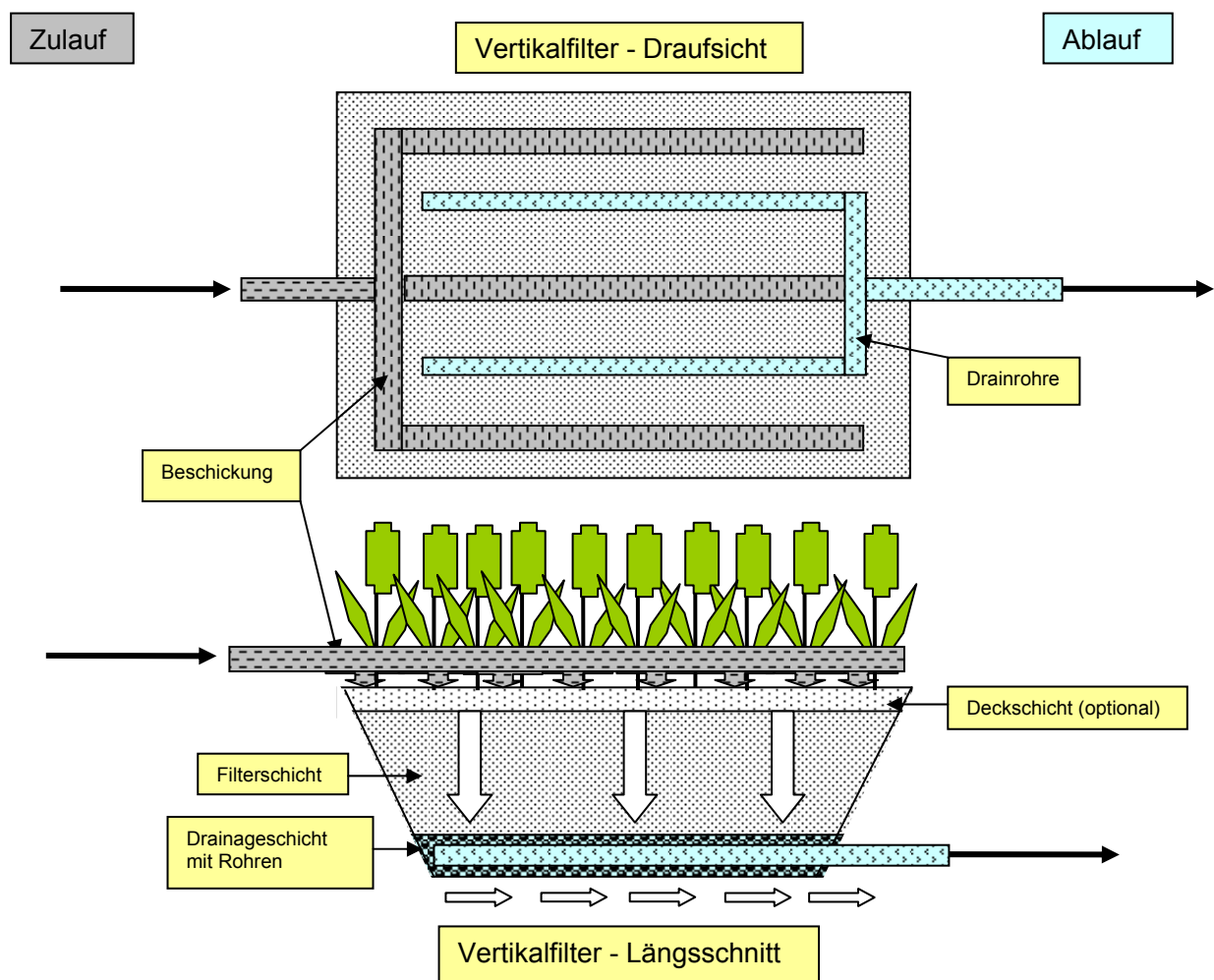


Abb. 8: Schematische Darstellung eines bepflanzt Bodenfilters – Vertikalfilter (oberirdische Beschickung)

5.2.4 Bodenfilteraufbau

Der bepflanzte Bodenfilter setzt sich in der Regel aus der sandig-kiesigen Filterschicht und der größeren Sammel- oder Drainageschicht zusammen. Das zu reinigende Abwasser durchströmt die Filterschicht horizontal oder vertikal und wird nach Passage der Filterschicht in der sich anschließenden Sammel- bzw. Drainageschicht aufgefangen und aus dem Pflanzenbeet abgeleitet.

Der Wirkungsgrad und die Betriebsdauer des Pflanzenbeetes hängen ganz entscheidend von Aufbau und Struktur des Bodenfilters ab. Hier ist extrem hohe Sorgfalt sowohl bei der Wahl des Filtermaterials als auch bei dessen Einbau erforderlich.

Ein Bodenfilter muss sowohl mechanisch filterstabil als auch hydraulisch wirksam aufgebaut und absolut waagrecht sein. Dem DWA-A 262 sind grundlegende Vorgaben zum Bodenfilteraufbau zu entnehmen [10].

Auf der Grundlage langjähriger praktischer Erfahrungen wird eine homogene einlagige Filterschicht von mindestens 50 cm Schichtdicke aus gewaschenen Mittelsanden oder Feinkiesen mit runder Körnung empfohlen. Der Anteil von bindigem Material sollte unter 2 % liegen, da sonst die Gefahr der Verstopfung des Bodens besteht. Zu grobes Filtermaterial verkürzt die Zeit der Bodenpassage des zu reinigenden Abwassers und führt im Extremfall zu Kurzschlussströmungen vom Zu- zum Ablauf des Pflanzenbeetes und damit zu keiner Reinigungsleistung.

Der Durchlässigkeitsbeiwert der Filterschicht sollte im Bereich $k_f \geq 10^{-4}$ m/s bis $\leq 10^{-3}$ m/s liegen. Es ist zu beachten, dass nach Einbau und Inbetriebnahme eine Verdichtung stattfindet, die den k_f -Wert um etwa eine Zehnerpotenz verringert. Die optimale Korngröße bewegt sich zwischen 0,1 und 3 mm. Der Korndurchmesser, unterhalb dessen 10 % der Körner nach Gewicht liegen (d_{10}), sollte $\geq 0,2$ mm bis $\leq 0,4$ mm betragen und der Ungleichförmigkeitsgrad (U) sollte kleiner als 5 sein [10]. Geeignet ist in der Regel Filtermaterial der Körnungen 0/4, 1/2 oder 2/4.

Die Drainageschicht unterhalb von vertikal durchströmten Filterschichten muss mindestens 20 cm betragen und der Durchlässigkeitsbeiwert darf nicht unter 10^{-3} m/s liegen. Bei Horizontalfiltern bestehen die Einlaufkulisse und die Sammelschicht ebenfalls aus größerem Kies ($k_f > 10^{-3}$). Kiese der Körnungen 2/8, 8/16 bzw. 16/32 sind geeignet. Weitere Hinweise zur baulichen Gestaltung der Drainage können dem DWA-Merkblatt DWA-M 178 [19] entnommen werden.

Eine Abstimmung der Körnungen muss entsprechend den Filtergesetzen der Bodenmechanik (z.B. gemäß der Filterregel nach TERZAGHI) erfolgen. Um Stauhorizontbildung, Verstopfung oder Fäulnisbildung entgegenzuwirken, kann der Übergang zwischen der feinkörnigen Filter- und der größeren Drainage- bzw. Sammelschicht durch Einbringung einer Übergangsschicht (etwa 10 cm) fließend gestaltet werden.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f lässt sich näherungsweise auch aus der Kornverteilungskurve z.B. nach HAZEN oder BEYER ermitteln. Mittels Siebanalyse lässt sich die Körnung des

Filtermaterials über eine Sieblinie grafisch darstellen (siehe Abb. 9). Je steiler die Sieblinie, desto gleichförmiger ist das Material und desto kleiner ist der Ungleichförmigkeitsgrad (U).

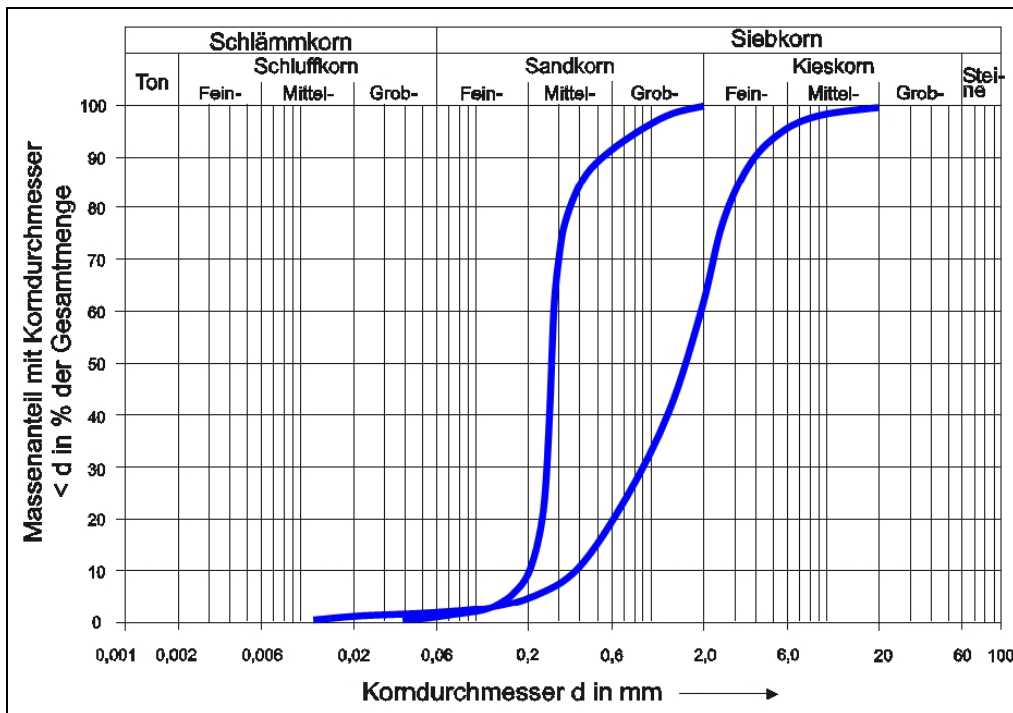


Abb. 9: Beispiele für mögliche Kornverteilungen nach DWA-A 262 (Quelle: LfU Baden-Württemberg [30])

Die geforderten Parameter bezüglich des eingesetzten Filtermaterials (Kornverteilung, Ungleichförmigkeitsgrad, Durchlässigkeitsbeiwert) sind durch geeignete Verfahren, wie z.B. durch eine Bodenanalyse, von einem Fachbetrieb nachzuweisen.

Der Bodenfilter muss während des Einbaus und auch nach der Fertigstellung vor jeglicher Verdichtung geschützt werden. Beim Einbau darf der Filterkörper nicht mit schwerem Gerät befahren werden. Nach der Fertigstellung ist der bepflanzte Bodenfilter durch eine Umzäunung, die Betreten, Befahren oder Beweiden (z.B. Schafe, Kühe) des bepflanzten Bodenfilters verhindert, zu schützen. Das Betreten des Bodenfilters zu Wartungs- und Pflegezwecken (Entfernung von Fremdbewuchs, Schilfmahd) sollte minimiert werden. Es empfiehlt sich den Bodenfilter möglichst nur unter Verwendung von Trittschutz (Bretter) zu betreten.

5.2.5 Bepflanzung

Stark Rhizom bildende und tief wurzelnde Sumpfpflanzen werden für die Bepflanzung der Bodenfilter benötigt. Am besten eignet sich Schilf (Phragmites). Daneben sind z.B. Schwertlilien (Iris), Rohrkolben (Thypha) und Binsen (Juncus) geeignet. Für schattige Standorte wird die Bepflanzung mit Seggen (Carex) empfohlen.

Die Bepflanzung mit Schilf ist ganzjährig möglich, sollte vorzugsweise aber im späten Frühjahr erfolgen. Etwa 5 Rhizome oder Setzlinge bzw. 2 Pflanzballen sind pro Quadratmeter ausreichend. Insbesondere in der ersten Saison sind Pflegearbeiten für ein

optimales Wachstum der Pflanzen erforderlich. So sollte der bepflanzte Bodenfilter während der Anwuchsphase (erste 3 Monate) stets sehr feucht gehalten aber nicht dauerhaft überstaut werden, da sonst Fäulnisprozesse hervorgerufen werden könnten. Fremdpflanzen (z.B. Springkraut, Brennnesseln, Gräser) sind zu entfernen.

Die Mahd der Bepflanzung ist nicht zwingend jährlich erforderlich. Sie sollte jedoch je nach Pflanzendichte jährlich oder in einem Zeitraum bis zu 5 Jahren durchgeführt werden. Empfohlen wird ein Mahdzeitpunkt zu Winterbeginn. Es muss jedoch für einen entsprechenden Kälteschutz (z.B. Mähgut, Stroh) gesorgt werden. Dieser ist im zeitigen Frühjahr dann zu entfernen, um den etwa im April neu austreibenden Pflanzen (z.B. Schilfrhizome) das Wachstum zu erleichtern.

Bei der Bepflanzung und den Pflegearbeiten ist zu beachten, dass der Bodenfilter nicht direkt betreten werden sollte. Um eine Verdichtung zu verhindern wird empfohlen, nur vom Beetrand aus zu arbeiten und wo dies nicht möglich ist, Bohlen oder Bretter über den Bodenfilter zu legen und von dort aus die Arbeiten zu verrichten.

5.3 Nachklärung

Aufgrund der Filterwirkung des bepflanzten Bodenfilters ist eine Nachklärung nicht zwingend erforderlich. Weitergehende Anforderungen an die Ablaufqualität (Keimminderung; Nährstoffreduktion) können jedoch durch die Nachschaltung von weiteren Reinigungsstufen nach der Hauptreinigungsstufe mit dem bepflanzten Bodenfilter erfüllt werden (siehe Pkt. 6).

In der Regel können höhere Anforderungen bezüglich der Keim- und Nährstoffreduktion bereits durch einen weiteren in Reihe geschalteten bepflanzten Bodenfilter erreicht werden.

Zur weitergehenden Phosphoreliminierung können separate Filter, bestehend aus stark Phosphor adsorbierendem Material eingesetzt werden (z.B. Hochofenschlacke). Dies birgt den Vorteil, dass das Substrat leichter und kostengünstiger als bei einem bepflanzten Bodenfilter bei nachlassender Adsorptionswirkung ausgetauscht werden kann.

Schließlich haben sich als zusätzliche Reinigungsstufe auch nachgeschaltete Schönungsteiche bewährt, die zusätzlich eine Vergleichmäßigung des Ablaufes bewirken und zur Entnahme von Brauchwasser genutzt werden können.

5.4 Kläranlagenablauf

Über Drainageleitungen gelangt das gereinigte Abwasser entweder direkt oder über die Nachreinigungsstufe zum Ablauf- und Kontrollschacht. Der Kontrollschacht muss so gestaltet sein, dass Probenahmen zur Untersuchung der Abwasserbeschaffenheit möglich sind. Des Weiteren ist hier eine höhenverstellbare Ablaufkonstruktion (z.B. aufsteckbarer Rohrbogen) zu installieren, die es ermöglicht, den Wasserstand im bepflanzten Bodenfilter zu bestimmten Betriebszeiten bis maximal 10 cm über die Beetoberfläche anzuheben (Anwuchsphase; Unkrautbekämpfung; Trockenheit im Sommer usw.).

Der Kläranlagenablauf kann je nach vorgesehener weiterer Verfahrensweise z.B. als

- Ablaufrohr – Einleitungsbauwerk zur Einleitung in ein Fließgewässer (Abb. 10),
- Pumpe – Brauchwasserentnahme und Ableitung in einen Stapelteich (Abb. 11),
- Versickerungseinrichtung - Einleitung in den Untergrund (Abb. 12),
- Teich/Biotop – Verdunstung und/oder Brauchwasserentnahme (Abb. 13)

gestaltet sein.



Abb. 10: Einleitungsbauwerk - Einleitung in ein Fließgewässer



Abb. 11: Pumpe im Ablauf- und Kontrollschacht - Brauchwasserentnahme



Abb. 12: Versickerungseinrichtung - Einleitung in den Untergrund (Rohr-Rigolen-Versickerungsanlage)



Abb. 13: Teich/Biotop – Stapelteich mit Brauchwasserentnahme

5.5 Anlagentypen

Der zunehmende Einsatz von Pflanzenkläranlagen in der dezentralen und semizentralen Abwasserbeseitigung seit den 60er Jahren, die dabei gesammelten praktischen Erfahrungen und Forschungsergebnisse führten zu einer stetigen Weiterentwicklung der Verfahrenstechniken. Die unterschiedlichen Bauausführungen und Verfahren der in der Bundesrepublik in Betrieb befindlichen Pflanzenkläranlagen zeigen ebenso unterschiedliche Reinigungsleistungen wie Ansprüche an die technische Ausrüstung, Vorklärung, Wartung und Pflege. Insbesondere bei Vertikalfiltern wurden die unterschiedlichsten Bautypen und Verfahrensausführungen entwickelt. Die Wahl des Pflanzenkläranlagentyps sollte je nach den örtlichen Gegebenheiten, den Anforderungen an die Kapazität und Reinigungsleistung individuell getroffen werden (siehe auch Pkt. 4.1). In jedem Fall sind aber die Vorgaben aus dem DWA Arbeitsblatt DWA-A 262 [10] einzuhalten.

In Sachsen-Anhalt werden mit Stand 12/2006 insgesamt 731 Pflanzenkläranlagen der Ausbaugröße bis 10 EW, 52 Pflanzenkläranlagen der Ausbaugröße >10 bis 50 EW und 10 Pflanzenkläranlagen der Ausbaugröße > 50 EW betrieben [4]. Bei Pflanzenkläranlagen mit einer Kapazität von bis zu 10 EW überwiegen die Anlagen mit Horizontalfilter. Mit zunehmender Ausbaugröße verschiebt sich das Verhältnis in Richtung der Anlagen mit Vertikalfilter.

Sowohl Horizontal- als auch Vertikalfilter können oberirdisch oder unterirdisch mit mechanisch vorgeklärtem Abwasser beschickt werden. In den nachfolgenden Abbildungen sind einige Beispiele für ausgeführte **Beschickungsvarianten und Bautypen** für bepflanzte Bodenfilter im Land Sachsen-Anhalt dargestellt.

Horizontalfilter – oberirdische Beschickung



Abb. 14 : PKA Geestgottberg (LAU 11/2004)

Horizontalfilter – unterirdische Beschickung



Abb. 15 : PKA Janisroda (LAU 04/2005)

Vertikalfilter – Typ „Phytofilt“
- oberirdische Beschickung



Abb. 16 : PKA Leimbach 1 (LAU 02/2006)

Vertikalfilter – unterirdische Beschickung



Abb. 17 : PKA Coswig, Deppe (LAU 03/2005)

Launhardt-Reaktor – unterirdische Beschick.



Abb. 18 : PKA Dietrichsdorfer Mühle
(STAU Dessau/Wittenberg 1999)

Vertikalfilter – oberirdische Beschickung



Abb. 19 : PKA Villa Jühling (LAU 04/2005)

6 Bepflanzte Bodenfilter in Kombinationsanlagen

Die wachsenden Anforderungen an den Gewässerschutz bewirken auch bei der dezentralen und semizentralen Abwasserbeseitigung mittels naturnaher Verfahren eine stetige Weiterentwicklung der Verfahren. Zunehmend werden Kombinationsanlagen von bepflanzten Bodenfiltern oder Kombinationen aus bepflanzten Bodenfiltern bzw. Teichen oder anderen technischen Reinigungsstufen errichtet, um höhere Reinigungsleistungen zu erzielen.

Für die Bemessung der bepflanzten Bodenfilter gelten auch in Kombinationsanlagen die Anforderungen des DWA-A 262 [10] (siehe Pkt. 4.3).

6.1 Kombinationsanlagen bepflanzter Bodenfilter

Werden besondere Anforderungen an die Abbauleistung der Pflanzenkläranlage (z.B. weitergehende Stickstoffelimination) gestellt, so haben sich Kombinationsanlagen, bestehend aus Vertikalfilter und nachgeschaltetem Horizontalfilter bewährt. Es werden Eliminationsraten für Gesamtstickstoff von 50 % bis 70 % erreicht. Eine gezielte Steuerung der Reinigungsleistung ist jedoch nach heutigem Wissenstand nicht möglich.

Eine weitergehende Phosphoreliminierung kann durch die Nachschaltung spezieller kleinerer räumbarer Sorptionsfilter (Filtermaterial z.B. granuliert Hochofenschlacke oder frischer gebrauchter Kies aus der Trinkwasser-Enteisenung) erreicht werden [17].

Die keimmindernde Wirkung von bepflanzten Bodenfiltern wird durch die Kombination mehrerer Bodenfilter wesentlich erhöht. Mit Kombinationsanlagen lassen sich hohe Eliminationsraten von 3 bis 5 Zehnerpotenzen erreichen. Dies ermöglicht im Regelbetrieb die Einhaltung der hygienischen Anforderungen für Badegewässer sowie für Beregnungs- und Bewässerungswasser.

Bepflanzte Bodenfilter werden aufgrund der erreichbaren Reinigungsleistung auch direkt zur ökologischen und chlorfreien Badewasseraufbereitung in Freibädern eingesetzt [32], [33].

6.2 Kombinationsanlagen Abwasserteich/bepflanzter Bodenfilter

Bepflanzte Bodenfilter finden häufig als zusätzliche biologische Reinigungs- oder Schönungsstufe (Nachklärstufe) bei Teichkläranlagen Verwendung. Hier sind sie für eine weitere Nährstoffreduktion, zur Keimminderung, den Rückhalt von Sekundärbelastungen (Algenbiomasse aus den Teichanlagen) und verschiedener anderer Abwasserinhaltsstoffe (Metallionen, endokrin wirksame Substanzen) nutzbar [26], [29]. Es ist jedoch darauf zu achten, dass es zu keinen Algenmassenentwicklungen kommt. Umfangreicher Abtrieb von Algen in den bepflanzten Bodenfilter kann zur Kolmation führen. Um dem entgegenzuwirken, können nachfolgende Maßnahmen im Abwasserteich bzw. vor dem bepflanzten Bodenfilter getroffen werden:

- Tauchwand
- Beschattung des Ablaufbereiches
- Schaffung günstiger Lebensbedingungen für Algenkonsumenten wie Daphnien und Rotatorien (Einbringung von Gerstenstroh)
- Zwischenschaltung von Kies- und Sandfiltern

Bewährt haben sich Kombinationen aus unbelüfteten Abwasserteichen und vertikal durchströmten Bodenfiltern für die Verbesserung der Reinigungswirkung von Teichkläranlagen im ländlichen Raum. Zusätzlich kann mittels einer Kreislaufführung des gereinigten Abwassers - vom Ablauf des Vertikalfilters zurück zur ersten Stufe der Teichkläranlage - die Gesamtstickstoffkonzentration wirksam verringert werden [17]. Die Reinigungsleistung der Teichkläranlage erlaubt in Abhängigkeit von den jeweiligen Ablaufwerten und der Ablaufmenge eine individuelle Anpassung der Bemessungsparameter für den nachgeschalteten bepflanzten Bodenfilter. So können nachgeschaltete Vertikalfilter bei günstigen hydraulischen Bedingungen bereits mit einer Bodenfilterfläche von ca. 2 m²/E sehr gute Ablaufwerte erreichen [29], [31].

6.3 Kombinationsanlagen technische Abwasserbehandlung/bepflanzter Bodenfilter

Bepflanzte Bodenfilter sind mit allen technischen und biologischen Abwasserreinigungsverfahren kombinierbar. In der Praxis werden bepflanzte Bodenfilter häufig als zusätzliche Nachklärstufe z.B. in Kombination mit Tropfkörperanlagen (siehe Abb. 20), Belebungsbecken oder SBR-Reaktoren eingesetzt, um höhere Anforderungen an die Ablaufqualität des gereinigten Abwassers zu erfüllen. So ist durch nachgeschaltete Vertikalfilter eine weitergehende Nitrifikation und Phosphoreliminierung möglich. Im Vordergrund stehen hierbei jedoch der Schutz des Einleitgewässers vor Stoßbelastungen sowie die simultane Hygienisierung des Abwassers.

Vorhandene kommunale Kläranlagen, die überlastet sind oder deren Reinigungsleistungen nicht mehr den Anforderungen entsprechen, können mit bepflanzten Bodenfiltern nachgerüstet und so den Erfordernissen angepasst werden.

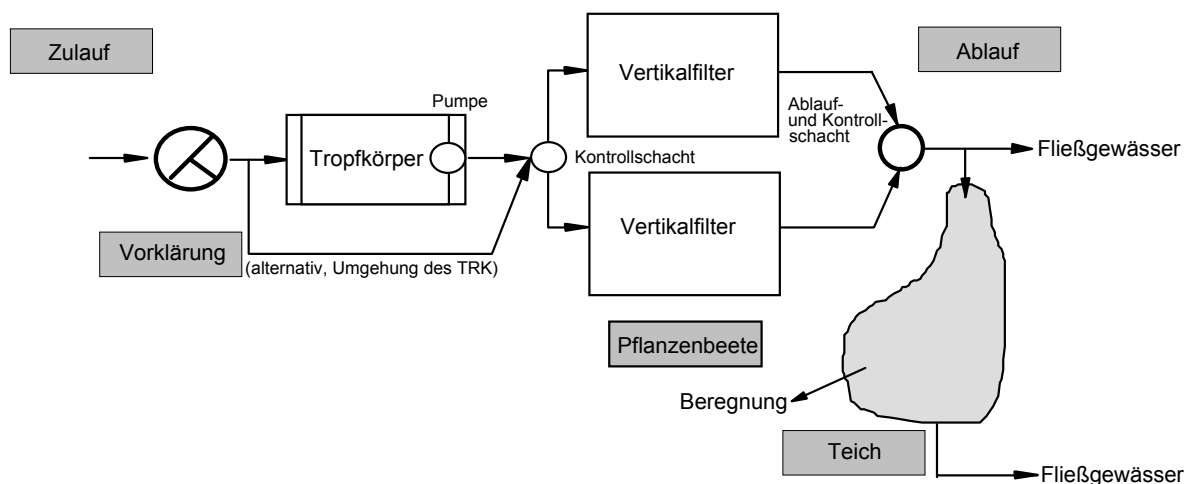


Abb. 20: Prinzipskizze einer Kombinationsanlage (Vorklärung - Tropfkörper – bepflanzte Bodenfilter - Schönungsteich)

7 Betrieb, Wartung und Überwachung von Pflanzenkläranlagen

Der Betriebs- und Wartungsaufwand für Pflanzenkläranlagen ist im Vergleich zu technischen Anlagen gering. Zur Sicherung eines ordnungsgemäßen Betriebes gehört neben einer regelmäßigen Eigenkontrolle eine fachmännische Wartung. Entsprechende Angaben sind

der Betriebs- bzw. Bedienungsanleitung oder der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung der Pflanzenkläranlage (KKA) zu entnehmen.

Die **Betriebs- bzw. Bedienungsanleitung** ist durch den Planer/Hersteller/Baubetrieb der Pflanzenkläranlage an den Betreiber zu übergeben. In ihr sind alle für einen ordnungsgemäßen Betrieb erforderlichen Arbeiten umfassend und allgemeinverständlich darzustellen. Hierzu gehören Anweisungen zur Wartung, Kontrolle und Bedienung für alle in der Praxis auftretenden Betriebszustände und die verschiedenen Vegetationsphasen. Folgende Angaben sind mindestens erforderlich:

- Hinweise zum Betrieb während der Einfahrphase
- Beschickungsart (kontinuierlich, diskontinuierlich oder bei mehreren bepflanzten Bodenfiltern alternierend, parallel oder in Reihe)
- Verhalten bei Störungen (z.B. unplanmäßiger Überstau, Ausfall der Beschickungseinrichtung...)
- durchzuführenden Wartungs- und Kontrollarbeiten (Maßnahme, Zeit, Ausführer)
- Hinweise für die Pflanzenpflege (Maßnahme, Zeit) einschließlich Angaben zur Bekämpfung von Fremdbewuchs
- Betriebsweise während verschiedener Vegetationszeiten, insbes. im Sommer bei wenig Abwasserzufluss und im Winter bei lang anhaltenden niedrigen Temperaturen, Betriebspausen zur Regeneration bei verminderten Abbauleistungen infolge schlechter Durchlüftung z.B. im Frühjahr usw.
- Betriebs- und Wartungshinweise zur Vorklärung (Schlammentnahme, Funktionskontrolle)

Der ordnungsgemäße Betrieb (Funktion aller Anlagenteile, Einhaltung der Ablaufwerte) der Pflanzenkläranlage muss regelmäßig kontrolliert und dokumentiert werden.

Die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen für häusliches bzw. kommunales Abwasser mit einem Abwasseranfall von $\geq 8 \text{ m}^3/\text{Tag}$ hat mindestens entsprechend der Eigenüberwachungsverordnung des Landes Sachsen-Anhalt (EigÜVO LSA) [22] zu erfolgen.

Hier sind die mindestens einzuhaltenden Anforderungen an die Probenahme, Analytik, Art und Umfang der Eigenüberwachung und Dokumentation der Eigenüberwachungsergebnisse sowie Mitteilungspflichten gegenüber der Wasserbehörde geregelt.

Zur Eigenüberwachung von Kleinkläranlagen gehört, dass jeder Betreiber ein **Betriebstagebuch** zu führen hat. Hier werden durchgeführte Kontrollen, deren Ergebnisse, Protokolle der Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie der Nachweis der Schlammensorgung dokumentiert.

Durch den Betreiber von Pflanzenkläranlagen sind zur Absicherung des Kläranlagenbetriebes folgende Arbeiten regelmäßig durchzuführen:

- Sichtkontrolle des bepflanzten Bodenfilters (Pfützenbildung, Pflanzenbestand)
- Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Pumpen und anderer elektrischer oder elektronischer Bauteile sowie der Beschickungs- und Verteilungseinrichtung
- Sichtkontrolle der Zu- und Abläufe auf Auffälligkeiten (z.B. Verstopfung, Schwebstoffe, Zustand gereinigtes Abwasser)
- Eintrag ins Betriebstagebuch

Durch diese regelmäßigen Kontrollen können frühzeitig eventuelle hydraulische oder mechanische Probleme erkannt und durch einen Fachkundigen/Fachbetrieb behoben werden. Weiterhin können Pflegearbeiten sowohl am gesamten Gelände der Pflanzenkläranlage (z.B. Grasmahd, Säuberung von Falllaub) als auch am Pflanzenbeet (Entfernung von Fremdwuchs, Laub, Mahd) durch den Betreiber ausgeführt werden.

Um den Austrag abfiltrierbarer Stoffe aus der Vorklärung zu minimieren ist eine rechtzeitige Schlammmentnahme durchzuführen. Abweichend von den Angaben der DIN 4261-1 muss eine Schlammräumung schon bei einem Schlamm Spiegel, der 1/3 des Gesamtnutzvolumens erreicht, erfolgen [10].

Mit der Wartung und Funktionskontrolle der Pflanzenkläranlage (KKA) muss eine Fachfirma bzw. ein Fachkundiger beauftragt werden. Ein Wartungsvertrag ist abzuschließen [11], [23]. Für PKA mit bauaufsichtlicher Zulassung hat die Wartung gemäß dieser Zulassung bzw. mindestens zweimal pro Jahr zu erfolgen. Für alle anderen Anlagen wird empfohlen, die Wartung ebenfalls mindestens zweimal pro Jahr durchführen zu lassen.

Bei der Wartung und Kontrolle sind insbesondere folgende Arbeiten auszuführen:

- Einsichtnahme in das Betriebstagebuch (Feststellung von Unregelmäßigkeiten, Problemen usw.)
- Vorklärung: Kontrolle auf sichtbare Bauwerksschäden, Verstopfungen u.ä., Messung der Schwimmschlammschicht und des Schlammspiegels, Messung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Vorklärung
- Bei Verwendung eines Rottebehälters zur Vorklärung: Entnahme des Rohkompostes, Verbringung und Lagerung des nicht hygienisierten Materiales unter Beachtung der Hygienevorschriften in einen Komposter
- Funktionskontrolle und Wartung der Beschickungs- und Verteilungseinrichtung sowie der maschinellen, elektronischen und sonstigen Anlagenteile
- Reinigungsarbeiten, ggf. Spülung der Drainagen
- Sichtkontrolle des bepflanzten Bodenfilters auf Kolmation, ungleichmäßige Verteilung bzw. Pfützenbildung des Abwasser auf dem Bodenfilter und Zustand der Bepflanzung, Fehlersuche und Reparatur, ggf. Fremdbewuchs und Blätter entfernen
- Ablaufbauwerk: Sichtkontrolle auf Bauwerksschäden, Verschammung, Rückstau, ggf. Säuberungsarbeiten, Reparaturen durchführen
- Kontrolle der Ablaufwerte der Kläranlage: Probenahme Kläranlagenablauf, Kenngrößen Geruch, Farbe, pH-Wert, Wassertemperatur, CSB, BSB₅, gem. wasserrechtlicher Erlaubnis ggf. weitere z.B. NH₄-N, TIN analysieren (lassen)
- Erstellung des Wartungsprotokolls (Ablage im Betriebstagebuch durch Betreiber)

Im Ergebnis der seit 1999 an ausgewählten Pflanzenkläranlagen in Sachsen-Anhalt durchgeführten Untersuchungen wurden folgende wesentliche Erkenntnisse zu Betrieb und Wartung gewonnen:

- Je einfacher die bauliche Ausführung, desto wartungsärmer und weniger anfällig für betriebliche Störungen ist die Pflanzenkläranlage. Weniger technisch komplizierte Anlagen erfordern einen geringeren Wartungs- und Pflegeaufwand.
- Für die Pflanzenkläranlage muss eine umfassende und allgemeinverständliche Betriebs- und Pflegeanleitung vorliegen. Diese ist mit ihren zeitlichen Vorgaben für Pflege- und Wartungsarbeiten unbedingt einzuhalten.
- Pflanzenkläranlagen bedürfen einer fachgerechten und regelmäßigen Inspektion und Wartung.
- Alle Maßnahmen, die zu einer Verdichtung des Bodenfilters führen können, sind auf ein Minimum zu reduzieren. Das trifft sowohl für den Zeitraum des Einbaus des Filtermaterials, der Bepflanzung als auch für die Wartung (z. B. der Einlaufkulissee bzw. der Beschickungseinrichtung der Pflanzenbeete) und die Pflege der Pflanzenbeete (z.B. Säuberung von Fremdbewuchs, Schilfmahd) während des Betriebs der Pflanzenkläranlage zu.
- Mit zunehmender Größe von Pflanzenkläranlagen mit Vertikalfiltern sollte in Erwägung gezogen werden, mehrere bepflanzte Bodenfilter parallel anzulegen und zu betreiben. Dadurch ist es möglich, einzelne Pflanzenbeete zeitweise außer Betrieb zu nehmen, so dass eine Regeneration des Bodenfilters möglich ist. Insbesondere empfiehlt sich dies bei Anlagen mit saisonalem Abwasseranfall.

8 Zusammenfassung

Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern als biologische Hauptreinigungsstufe haben sich seit vielen Jahrzehnten als wirtschaftliche Lösung der mechanisch-biologischen Reinigung von häuslichem und kommunalem Abwasser bewährt. Insbesondere aufgrund des geringen Betriebsaufwandes stellen Pflanzenkläranlagen auch in der Zukunft eine sinnvolle Alternative der Abwasserreinigung sowohl für einzelne private Grundstücke als auch für kleine Gemeinden dar. In Pflanzenkläranlagen wird in erster Linie Abwasser aus Trennkanalisationen behandelt.

Die Reinigungswirkung wird im bepflanzten Bodenfilter durch mechanische (z. B. Filterwirkung), mikrobiologische (z. B. Abbau, Transformation), physikalisch-chemische (u. a. Adsorption, Ionenaustausch) und pflanzenphysiologische Vorgänge (z. B. Auflockerung der Bodenstruktur, Vergrößerung der mikrobiologischen Aufwuchsflächen, Kälteschutz, Nährstoff- und Wasserverbrauch) erzielt. Sie steht in direktem Zusammenhang zur spezifischen Flächenbelastung. Eine gute Durchlüftung des Bodenfilters ist die Voraussetzung für einen optimalen Kohlenstoff- und Ammoniumabbau. Über eine stoßweise Beschickung wird der Sauerstoffeintrag in den Bodenfilter erhöht.

Die Einhaltung weitergehender Anforderungen an die Reinigungsleistung (z.B. Verringerung der organischen Belastung, Stickstoffelimination) ist mit Pflanzenkläranlagen entweder durch eine Kreislaufführung des Abwassers oder durch Kombination von bepflanzten Bodenfiltern (Vertikalfilter – Horizontalfilter) oder durch Kombination von bepflanzten Bodenfiltern mit anderen Abwasserbehandlungsverfahren (z.B. Abwasserteich, technische Verfahrensstufen) möglich. Hohe natürliche Anteile von Eisen- und Aluminiumhydroxiden und ggf. Kalziumkarbonat begünstigen die Festlegung des Phosphors im Filter. Eine weitergehende Phosphoreliminierung kann durch die Nachschaltung spezieller Sorptionsfilter erreicht werden.

Durch Kombination mit bepflanzten Bodenfiltern bietet sich die Möglichkeit, die Reinigungsleistung bereits bestehender Kläranlagen wirksam zu verbessern.

Zur Vermeidung bzw. Minimierung von Betriebsstörungen und –problemen muss sowohl während der Planung als auch während der Bauphase der Pflanzenkläranlage und insbesondere der bepflanzten Bodenfilter eine gründliche ingenieurseitige fachkundige Anleitung, Prüfung und Begleitung erfolgen. Die Vorgaben des DWA-A 262 sind einzuhalten. Versäumnisse bei der Planung oder unsachgemäß ausgeführte Arbeiten beim Bau insbesondere der Bodenfilter lassen sich nachträglich nur schwer oder unter großem (finanziellen) Aufwand korrigieren.

Pflanzenkläranlagen bedürfen einer regelmäßigen Wartung und Kontrolle. Die hierfür erforderlichen Arbeiten sind durch den Betreiber im Rahmen der Eigenkontrolle und durch eine mit der Wartung und Kontrolle beauftragte Fachfirma durchzuführen. Bei einer ausreichenden Bemessung (Vorklärung, Pflanzenbeet), ordnungsgemäßigem Betrieb und regelmäßiger Wartung und Kontrolle der Anlage bleibt die biologische Reinigungsleistung von Pflanzenkläranlagen über viele Jahre erhalten. Die Anforderungen des Anhanges 1 der AbwV bezüglich der Ablaufwerte können sicher eingehalten werden.

9 Literatur

- [1] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (AbwV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I Nr. 28 vom 22.06.2004 S. 1108) zuletzt geändert am 14. Oktober 2004 durch Berichtigung der Bekanntmachung zur Neufassung der Abwasserverordnung (BGBl. I Nr. 55 vom 27.10.2004 S. 2625)
- [2] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2000): Pflanzenkläranlagen im Land Sachsen-Anhalt – Erfahrungsbericht, Halle (Saale)
- [3] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2005): Pflanzenkläranlagen im Land Sachsen-Anhalt – 2. Erfahrungsbericht, Halle (Saale)
- [4] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2006): Pflanzenkläranlagen im Land Sachsen-Anhalt – Bestandsaufnahme, Fachinformation Nr. 6/2006, Halle (Saale)
- [5] Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. April 1998 (GVBl. LSA Nr. 15 vom 24.04.1998, S. 186), zuletzt geändert durch das Vierte Gesetz zur Änderung des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt vom 15.04.2005 (GVBl. LSA S. 208)
- [6] ATV-A 200 (1997): Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten, Hennef
- [7] ATV-DVWK-A 198 (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, Hennef
- [8] DVGW-Arbeitsblatt W 300 (2005): Wasserspeicherung – Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Wasserbehältern in der Trinkwasserversorgung, Bonn
- [9] DWA-M 103 (2006): Hochwasservorsorge für Abwasseranlagen, Hennef
- [10] DWA-A 262 (2006): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers, Hennef
- [11] DIN 4261-1 (2002): Kleinkläranlagen Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung
- [12] DIN EN 12566-3 (2005): Kleinkläranlagen für bis zu 50 EW – Teil 3: Vorgefertigte und/oder vor Ort montierte Anlagen zur Behandlung von häuslichem Schmutzwasser
- [13] ATV-H 262 (1989): Behandlung von häuslichem Abwasser in Pflanzenbeeten, Hennef

- [14]** ATV-A 262 (1998): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenbeeten für kommunales Abwasser bei Ausbaugrößen bis zu 1000 Einwohnerwerte, Hennef
- [15]** DIN 18127 (1997): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch
- [16]** DIN 18130-1 (1998): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche
- [17]** G. Fehr et al. (2003): Bewachsene Bodenfilter als Verfahren der Biotechnologie - Abschlussbericht, UBA-Texte 05/03
- [18]** Michael Schwarz (2003): Vergleichende seuchenhygienisch-mikrobiologische Untersuchungen an horizontal und vertikal beschickten, bewachsenen Bodenfiltern mit vorgeschalteter Mehrkammerausfallgrube bzw. einem als Grobstoff-Fang dienenden Rottebehälter (Rottefilter) – Dissertation Freie Universität Berlin
- [19]** DWA-M 178 (2005): Empfehlungen für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Hennef
- [20]** DWA-A 201 (2005): Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen, Hennef
- [21]** W. Hegemann, K. Teschner (2004): Untersuchungen über Prozesse der Kolmation von vertikal durchströmten Pflanzenkläranlagen, DFG-Forschungsvorhaben, Technische Universität Berlin
- [22]** Eigenüberwachungsverordnung (EigÜVO) vom 1. Juli 1999 (GVBl. LSA Nr. 22 vom 06.07.1999, S. 182), zuletzt geändert am 12. Januar 2004 durch Berichtigung der Verordnung zur Änderung der Eigenüberwachungsverordnung (GVBl.LSA Nr. 6 vom 20.01.2004, S. 45)
- [23]** Erlass des MLU vom 24.11.2005: Abwasserbeseitigung durch Kleinkläranlagen und Sammelgruben“, Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt
- [24]** ÖKOREAL (2005): Endbericht Forschungsprojekt „Bepflanzte Bodenfilter- Erste Stufe“. Lebensministerium, Wien
- [25]** K.-H. Robra, A. Stuhlbacher (1997): Umweltbiotechnologie in Österreich. Schwerpunkt Nachsorge; Pflanzenkläranlagen. Monographien, Band 85B, Umweltbundesamt, Wien, S.: 613-665

- [26]** T. Gschlößl et al. (2005): Bepflanzte Bodenfilter zum Rückhalt endokrin wirksamer Substanzen und Sekundärbelastungen im Ablauf von Abwasserteichen, 3. Dresdner Workshop „Endokrin aktive Stoffe in Abwasser und Klärschlamm“, 14./15.03.2005 – Zusammenfassung, Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten, Bd. 38, Tagungsband, S. 54-55
- [27]** U. Hagendorf (1997): Abwasserbehandlung in Bewachsenen Bodenfiltern – Grundlagen, Reinigungsleistungen und Verhalten im Langzeitbetrieb. Schriftenreihe Wasserforschung 2, S. 129-145
- [28]** G. Neemann (2000): Optimierung der Reinigungsleistung von Kleinkläranlagen am Beispiel von Schilfkläranlagen und ausgewählten technischen Systemen. Schriftenreihe der Kommunalen Umwelt-Aktion U.A.N. (Hannover), Heft 36
- [29]** S. Kunst et al. (2002): Optimierung der Abflusssteuerung und weitestgehende Nitrifikation in der Verfahrenskombination Teichanlage/bewachsener Bodenfilter zum Schutz kleiner Fließgewässer. Teilprojekt AZ 14178-03 im Verbundprojekt „Bewachsene Bodenfilter“- Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover (ISAH) und F & N Umweltconsult GmbH, Hannover
- [30]** LfU Baden-Württemberg (2005): Leitfaden zur Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- [31]** I. Bruch, J. Hilscher (2007): Nachgeschalteter hoch belasteter Bodenfilter zur Sanierung einer Teichanlage. KA-Abwasser, Abfall 2007 (54) Nr. 1, S. 42-46
- [32]** G. Fehr et al. (2006): Entstehungsgeschichte und Erfahrungen: Das Naturfreibad in Mettmann. Archiv des Badewesens, A.B. 05/06 (59. Jahrgang), S. 257 ff.
- [33]** EKO-PLANT Entwicklungs- und Betriebsgesellschaft für ökotechnische Anlagen mbH: Naturerlebnisbäder. Internetauftritt: www.eko-plant.de