

Leitfaden zum Bau und Betrieb einer Biofilter-Anlage zur Aufbereitung von mit Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen belasteten Abwässern aus Gartenbaubetrieben

1 Einleitung

Der hier vorgelegte „Leitfaden zum Bau und Betrieb einer Biofilter-Anlage zur Aufbereitung von mit Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen belasteten Abwässern aus Gartenbaubetrieben“ beruht auf den Ergebnissen dreier vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW geförderten Untersuchungsvorhaben in den Jahren 2011-2020 (IWW 2014, 2018, 2021).

Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung einer Biofilter-Anlage zur Aufnahme der von drainierten Kulturflächen für Topfpflanzen im Freiland abfließenden Dränwässer, die Reduzierung der in diesen Wässern enthaltenen Schadstofffracht (insbesondere Nitrat und PSM-Rückstände) und ihre anschließende Wiedereinleitung in die Umwelt (Versickerung in den Untergrund und/oder Einleitung in einen Vorfluter). Weiterhin waren Kennzahlen zur Dimensionierung und zum Betrieb einer derartigen Anlage zu erarbeiten. Der in diesem Leitfaden vorgestellte Anlagenaufbau sowie die erarbeiteten Kennzahlen zur Anlagendimensionierung gelten daher insbesondere für Anlagen, die in vergleichbaren Produktionssystemen betrieben werden sollen, können aber auch wertvolle Hilfestellungen für Bau und Betrieb entsprechender Anlagen zur Aufbereitung von unter anderen Produktionsbedingungen anfallenden Abwässern liefern.

1.1 Zusammenfassung der wesentlichen Untersuchungsergebnisse aus den Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden durchgeführt am Beispiel einer 1 ha großen, als Kulturfläche (drainiert, mit Lavagranulataufschüttung) für die Produktion von Topfpflanzen (Jungpflanzen Callunen, Ericaceen) genutzten Fläche eines Gartenbaubetriebes im Raum Kevelaer. Die ursprünglich vorhandene

Versickerungsmulde zum Auffangen und Versickern der abfließenden Dränwässer wurde nach einem Konzept der Landwirtschaftskammer NRW in ein dreistufiges-System umgebaut, bestehend aus Vorlagespeicher (zur Zwischenspeicherung anfallender Dränwassermengen), einem Substratbeet (gefüllt mit biologisch aktivem Substrat) sowie einer nachgelagerten bewachsenen Mulde zur Versickerung der über die Anlage geleiteten Dränwässer in den Untergrund. Die von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer wurden über ein Pumpen- und Düsensystem auf das Substratbeet aufgebracht und nach Durchfluss des Substratbeetes zur Versickerung in die Versickerungsmulde gepumpt. Überschüssig anfallendes Dränwasser wurde über einen Notüberlauf direkt in einen kleinen Vorfluter abgeschlagen.

- Als Folge von mittleren Niederschlägen von 810 mm/a, einer zusätzlichen Beregnung/Bewässerung der Fläche von 300 – 700 mm/a kam es zu Dränwasserabflüssen von der Versuchsfläche (1 ha) in einer Größenordnung von ca. 6.000 – 9.000 m³/Jahr mit z. T. erheblichen Tagesspitzen (als Folge von Starkregenereignissen). Dränwasserabfluss erfolgte weit überwiegend in Folge von Niederschlagsereignissen.
- Die Leistungsfähigkeit zur Dränwasseraufnahme der Anlage war limitiert durch die bewachsene Versickerungsmulde, da hier durch die Standorteigenschaften (hohe Grundwasserstände, schwere Böden) nur geringe Sickerraten/Tag möglich waren.
- Die mittleren Nitratkonzentrationen im von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasser lagen zwischen 50 – 110 mg NO₃/l (Vegetationsperiode) und 10 – 35 mg/l (Winter). Nach Durchfluss durch das Substratbeet gingen die Nitratkonzentrationen auf mittlere Jahreswerte von < 50 mg NO₃/l zurück, eine weitere Reduzierung erfolgte in der nachfolgenden Versickerungsmulde.
- Die tw. sehr hohen Konzentrationen von PSM-Rückständen in den Dränwässern konnten im Anlagendurchfluss als Summe aller untersuchten Wirkstoffe um 80 – 98 % reduziert werden und auf mittlere Werte von < 1 µg/l gesenkt werden (Ausnahme: der Wirkstoff Metribuzin, Reduzierungsleistung lediglich 20 – 40 %).
- Versuche zur Leistungskapazität der Anlage zeigten, dass diese mit Dränwassermengen von bis zu 250 m³/d beaufschlagt werden kann.

Auf Basis der vorhergehend im Überblick dargestellten Versuchsergebnisse wurde für den dritten, Ende 2020 abgeschlossenen Projektabschnitt die Versuchsanlage für einen praxisrelevanten Betrieb umgebaut.

2 Schematischer Aufbau der Anlage

Die Biofilter-Anlage besteht grundsätzlich aus drei Anlagenkompartimenten: aus einem Wasserspeicher (Vorlage), einem Substratbeet und einer bewachsenen Versickerungsmulde. Je nach Standortbedingungen und Versickerungseigenschaften des Bodens erfolgt der Anschluss der Anlage an einen Notüberlauf zur Einleitung der Dränwässer in einen Vorfluter oder in ein Sickerbecken am Auslauf der Versickerungsmulde (siehe Abbildung 1). Dem Vorlagebehälter ist ein in den Boden eingelassener Sammelschacht zur Fassung des von der Produktionsfläche abfließenden Dränwassers vorgeschaltet, von dem - für den Fall von extremen Starkregenereignissen bzw. des Nichtbetriebs der Anlage – ebenfalls ein Notüberlauf direkt in einen Vorfluter installiert wird. Von hier wird das anfallende Dränwasser zur Zwischenspeicherung in den Vorlagebehälter gepumpt, bevor eine gleichmäßige flächige Verteilung (Verdüsung) auf dem Substratbeet erfolgt. Nach Durchfluss durch das Substratbeet werden die Wässer in eine bewachsene Versickerungsmulde eingeleitet. Durch die Versickerung durch eine belebte Bodenschicht erfolgt eine weitere Reduzierung noch vorhandener Schadstoffkonzentrationen. Ein Dränwasseranfall oberhalb des Fassungs-/Versickerungsvermögens der Versickerungsmulde wird über den Notüberlauf in einen Vorfluter abgeleitet. Steht ein entsprechender Vorfluter nicht zur Verfügung, ist die Größe der Versickerungsmulde entsprechend anzupassen (für ein max. Regenereignis mit einer statistischen Häufigkeit von 5 Jahren, ggfs. inkl. zusätzlichem Überflutungsnachweis), oder auch ein entsprechend dimensioniertes Sickerbecken zu installieren. Sofern es die örtlichen Gegebenheiten zulassen, wird bei der Installation der Versickerungsmulde und dem Sickerbecken oder dem Notüberlauf zu einem Vorfluter zum jeweils vorgeschalteten Anlagenbestandteil ein Niveauunterschied eingehalten, um ein Abfließen der Wässer entlang eines hydraulischen Gradienten/ Gefälles zu gewährleisten. Alternativ werden die Wässer von einem Anlagenkompartiment zum nächsten aktiv gepumpt.

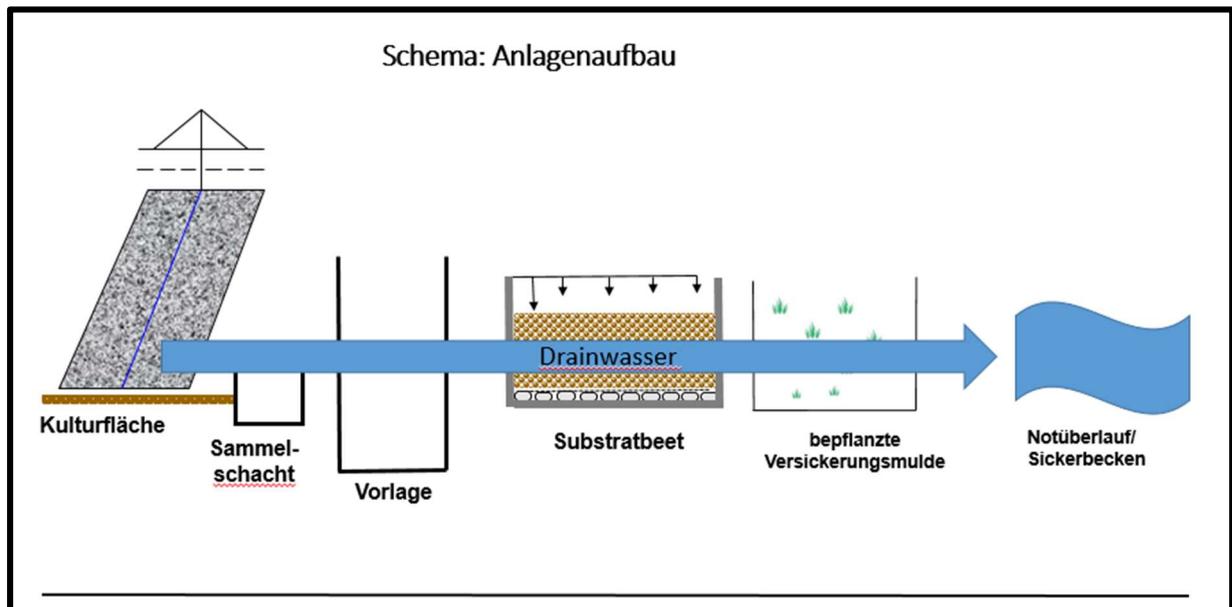


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Biofilter-Anlage

Sammelschacht:

Der Sammel-schacht zwischen Produktionsfläche und Vorlage (Volumen ca. 1 - 2 m³) wird unter Flur installiert, so dass die Dränwässer von der Produktionsfläche entlang eines hydraulischen Gradienten frei zufließen. Die Sammlung der Dränwässer im Sammel-schacht erfolgt ganzjährig, ihre Aufbereitung im Biofilter ist jedoch nur in frostfreien Zeiträumen möglich. Im Winterbetrieb der Anlage bzw. bei einem das Fassungsvermögen der Vorlage übersteigenden Dränwasseranfall werden die im Sammel-schacht anfallenden Dränwässer direkt über einen Notüberlauf in das Sickerbecken oder einen verfügbaren Vorfluter eingeleitet. Alternativ kann dieser Notüberlauf auch im Vorlagespeicher installiert werden.

Vorlage:

Der Vorlagespeicher (250 m³) dient als Puffer zur Zwischenspeicherung der von der Produktionsfläche abfließenden Wässer und ermöglicht die gleichmäßige Beschickung des Substratbeetes mit diesen Dränwässern. Je nach Ausführung der Vorlage als Erdbecken oder Stahltank sind die wasser- und baurechtlichen Vorgaben zu berücksichtigen.

Substratbeet

Das Substratbeet ist der zentrale Teil der Biofilter-Anlage, in welchem im Wesentlichen die Reduzierung von Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen erfolgt. Hier werden die mit dem Dränwasser eingeleiteten Schadstoffkonzentrationen (v. a. Pflanzenschutzmittel, Nitrat) über ein eingebrachtes organisches und mikrobiell aktives Substrat (Stroh, Holzhackschnitzel, Torf etc.) geleitet und dabei durch mikrobielle Prozesse und/oder Sorption reduziert.

Das aufs Substratbeet aufgebrauchte Wasser versickert vertikal durch das Biosubstrat und wird am Beckenboden in einer Dränleitung gesammelt und abgeführt. Die Dränleitung wird zur Vermeidung eines Wassereinstaus in den Substratkörper von einer mehrere cm mächtigen Granulatschicht (Lava) überdeckt, die wiederum durch ein durchlässiges Gewebetuch (Vlies) vom Substratkörper getrennt ist. Ein Gefälle von ca. 0,2 % der Dränleitung sorgt für einen zügigen Wasserabtransport.

Das Substratbeet ist aktuell mit einer Grundfläche von 150 m² (pro ha angeschlossene Produktionsfläche) und einem Fassungsvermögen von 150 m³ Substrat angelegt worden und nach unten abzudichten, um eine Teilversickerung ohne Passage über die belebte Bodenzone zu vermeiden. (Daraus ergibt sich bei Erstbefüllung des Substratbeets eine Schichthöhe von 1 m, die im Betriebsverlauf jedoch durch Setzungs- und Abbauprozesse abnimmt. Durch einen Ausbau über Flur werden Überflutungen des Beckens (z. B. durch Starkregen) verhindert.

Das Dränagewasser aus der Vorlage wird mittels Pumpen über die auf dem Substratbeet parallel verlegten Düsenrohrstränge mittel- bis grobtropfig und flächig verteilt. Zur Vermeidung eines unangemessenen Wildkräuteraufwuchses an der Substratbeetoberfläche kann eine Abdeckung durch ein wasserdurchlässiges Gewebetuch oder eine Dachkonstruktion erfolgen, ggfs. auch durch Aussaat einer Deckfrucht.

Um einen freien Abfluss des Dränwassers vom Substratbeet in die Versickerungsmulde zu garantieren, bedarf es der Einhaltung eines hydraulischen Gradienten von mindestens 0,2 %. Alternativ (z. B. bei Ausbau des Substratbeets als in den Boden eingelassene Mulde) können die aus dem Substratbeet abfließenden Wasser auch aktiv in die Versickerungsmulde gepumpt werden. (Zum Schutz des Substratbeets vor einem Rückstau des Drainagewassers aus der Versickerungsmulde ist in diesem Fall die Installation einer Rückschlagklappe sinnvoll.)

Versickerungsmulde

Im Anschluss an das Substratbeet ist eine bewachsene Versickerungsmulde als dritter Abschnitt der Biofilter-Anlage anzulegen. Sie dient der Nachbereitung der eingeleiteten Drainwässer sowie ihrer anschließenden Versickerung in den Untergrund.

Die Größe der bewachsenen Versickerungsmulde ist abhängig von der täglich über die Anlage geführten Wassermenge. Für den Betrieb der aktuellen Anlage wird - unter Berücksichtigung der Speicherkapazitäten im Vorlagebehälter und bis zu einem gewissen Grad auch im Substratbeet – von einer regelmäßig von der Sickermulde aufzunehmenden täglichen Wassermenge ausgegangen, die 36 m^3 nicht übersteigt (Ausnahmen: Starkregenereignisse). Bei Wasserdurchlässigkeiten des Untergrundes der Versickerungsmulde von ca. $k_F = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ wird von einer täglichen Versickerungsleistung im Versickerungsbecken von rd. $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ausgegangen, so dass unter diesen Bedingungen eine Versickerungsmulde mit einer Größe von ca. 36 m^2 ausreichend erscheint. Die tatsächlichen Versickerungseigenschaften am jeweiligen Standort sind bei Installation einer entsprechenden Anlage zu prüfen, ggfs. ist zur Erreichung der erforderlichen Versickerungsleistung (in Abstimmung mit den zuständigen Behörden) der Untergrund entsprechend aufzubereiten und anschließend mit einer Mutterbodenschicht von ca. 20 cm abzudecken.

Die Versickerungsmulde wird in Form einer Mulde mit einer Einstauhöhe von 30 – 50 cm ausgeführt. Ein Bewuchs der Fläche mit Pflanzen, wie Rohrkolben (Thypha) und Chinaschilf (Miscanthus), erhöht gegenüber dem Bewuchs mit Rasen durch höhere Verdunstungsraten die Effektivität dieses Bereiches und beugt vor allem einer Verschlammung und Verdichtung des Muldenbodens (Kolmation) vor. Um den langfristigen Erhalt der Bepflanzung zu sichern, sind je nach Pflanzenwahl regelmäßige Pflegemaßnahmen (z.B. einmal /Jahr ein Rückschnitt) durchzuführen. **(Siehe auch DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser; 2. korrigierte Auflage, April 2005).**

An die Versickerungsmulde wird je nach Standorteigenschaften der Notüberlauf bzw. ein Sickerbecken angeschlossen.

2.1 Kennzahlen zur Anlagendimensionierung

Die nachfolgenden Angaben für den Neu- bzw. Ausbau einer solchen Biofilter-Anlage dienen als Orientierungshilfe und beruhen auf dem Kenntnisstand der bisherigen Untersuchungen an der Pilotanlage in Kevelaer. Je nach Standortbedingungen kann der Aufbau der Biofilter-Anlage, sofern begründet, von den hier vorgeschlagenen Empfehlungen abweichen. Die Angaben zur Dimensionierung der Anlagen beziehen sich auf eine angeschlossene drainierte Kulturfläche (mit Lavagranulataufschüttung) von 1 ha Größe. Bei abweichenden Größenordnungen der angeschlossenen Produktionsfläche sind die Anlagebestandteile linear anzupassen (siehe **Tabelle 1**). In **Abbildung 2** ist der technische Aufbau der Anlage noch einmal im Detail dargestellt.

Tabelle 1: Kennzahlen zur Dimensionierung einer Biofilter-Anlage in Abhängigkeit von der Größe der angeschlossenen Produktionsfläche (durch lineare Interpolation der Parameter der Pilotanlage (grün))

Produktionsfläche (ha)	zu erwartender Dränwasseranfall (m ³ /a) ¹	Sammelschacht (m ³)	Vorlagespeicher (m ³)	Fläche Substratbeet (m ²)	Volumen Substrat (m ³)	empfohlene max. Beaufschlagungsmenge Substratbeet (m ³ /d)
0,5	3.750	1 - 2	125	75	75	125
1,0	7.500		250	150	150	250
1,5	11.250		375	225	225	375
2,0	15.000		500	300	300	500
3,0	22.500		750	375	375	750

¹ die hier gelisteten Zahlen dienen zunächst nur als grobe Orientierung; sie resultieren aus den hier zitierten Untersuchungen der Jahre 2012 - 2018 und sind in hohem Maße vom Ausbau der Produktionsfläche (Stellfläche für Callunen- und Ericaceen-Produktion), ihrer Bewirtschaftung (v. a. Bewässerung) und den Witterungsbedingungen des Untersuchungszeitraumes geprägt

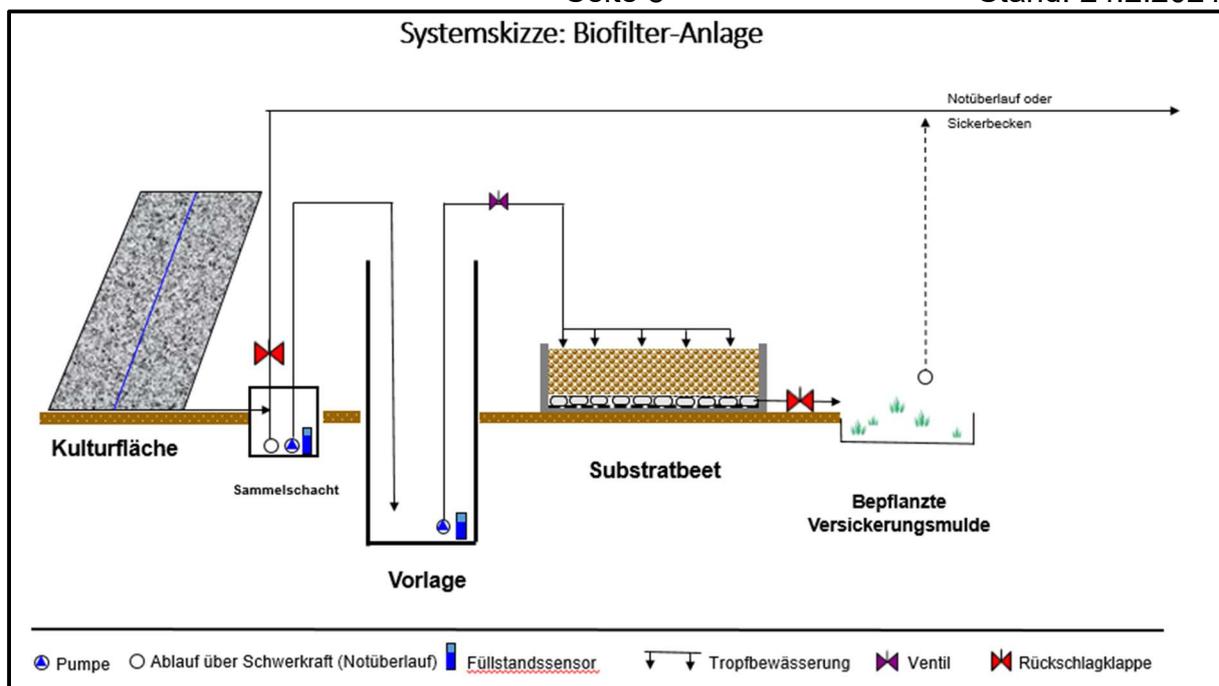


Abbildung 2: Systemskizze der Biofilter-Anlage mit Sammelschacht vor dem Biofilter.

2.2 Zusammensetzung Substrat

Bewährt hat sich bisher eine Zusammensetzung des Substrats zu gleichen Teilen aus: Stroh, Holzhackschnitzel und mind. 10 % bis 30 % Mutterboden plus Torf. Eine Erhöhung des Holzhackschnitzelanteils auf 60 % zulasten des Strohanteils ist nach ersten Beobachtungen möglich.

Das Substratbett wird mit einer Schichtstärke von 1 m Mächtigkeit angelegt. Durch die Mikroorganismen-tätigkeit kommt es zum Substratabbau, der in regelmäßigen Abständen auszugleichen ist. Voraussetzung für die Ergänzung des Substrates ist, dass die „alte“ Substratschicht noch über eine hinreichende Dränfähigkeit verfügt. Durch die Aufbereitung des Substrats mit Holzhackschnitzel sollte ein Unterschreiten der Schichtstärke von 50 cm vermieden werden. Alternativ kann jährlich eine Schicht Holzhackschnitzel aufgebracht und in die obere Substratschicht eingearbeitet werden. Berechnungen auf Basis der bisherigen Versuchsergebnisse lassen erwarten, dass die Dränfähigkeit des Substratkörpers nach ca. 4 Jahren soweit nachlässt, dass ein Komplettaustausch notwendig ist. Da die Leistungsfähigkeit der Anlage zum Abbau von PSM und Nitrat mit dem Rückgang der Versickerungsleistung/Drainfähigkeit einhergeht, empfehlen sich zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Betriebs der Anlage regelmäßige optische Kontrollen.

2.3 Anlagenbetrieb

Die von der Produktionsfläche abfließenden Dränwässer werden vorrangig im Vegetations- und Kulturzeitraum über die Biofilter-Anlage geführt. Um eine möglichst lange Lebensdauer des Substratbeets zu erzielen, sind die Perioden mit maximaler Beaufschlagung auf das Substratbeet (z. B. als Folge von Starkregenereignissen) möglichst kurz zu halten. Die Beaufschlagungszeitpunkte werden über einen Füllstandssensor in der Vorlage gesteuert. Für den Regelbetrieb (durchschnittlicher Dränwasseranfall) hat sich (bezogen auf die Größe der Pilotanlage und der angeschlossenen Produktionsfläche) eine Beaufschlagung von deutlich kleiner 100 m³/d auf das Substratbeet bewährt. (Derzeit wird mit einer Tagesmenge von rd. 36 m³ gearbeitet.) Bei erhöhtem Dränwasseranfall (z. B. als Folge von Starkregenereignissen) kann die maximale Beaufschlagung auf bis zu 250 m³/d erhöht werden. (Die Angaben können bei veränderten Größen der Biofilter-Anlage entsprechend Tabelle 1 angepasst werden.)

Im Winterbetrieb sind die wasserführenden Anlagenbestandteile in geeigneter Form gegen Frost zu schützen (u.a. Leitungen entleeren). In diesen Zeiträumen lassen sich daher keine Dränwässer über das Substratbeet leiten, sie fließen entlang des hydraulischen Gefälles in das Sickerbecken oder den Notüberlauf.

2.4 Substratentsorgung

Ein vollständiger Austausch des Substrates ist notwendig, sobald die hydraulische Leitfähigkeit im Substratbeet soweit zurückgegangen ist, dass es regelmäßig zu Einstauwirkungen (freie Wasseroberfläche an der Oberfläche des Substratkörpers) kommt.

Das neu einzufüllende Substrat (siehe Kap. 2.2) wird zur biologischen Aktivierung mit ca. 20 – 30 Vol.-% mit Altsubstrat vermischt.

Das restliche Altsubstrat kann je nach Belastungsgrad (Substratuntersuchung auf u.a. Pflanzenschutzmittelrückstände, Nitratgehalte, Schwermetall- und Mikronährstoffgehalte) bei Unterschreitung der zulässigen Grenzwerte (**u.a. nach Bioabfall-VO**) auf landwirtschaftlichen Flächen zur Bodenverbesserung oder als organischer Dünger eingearbeitet werden. Die Nachweispflichten der Bioabfallverordnung sind zu berücksichtigen. Werden Grenzwerte überschritten, wird eine Entsorgung erforderlich.

2.5 Wasser-, landschafts- und baurechtliche Genehmigungsverfahren

Nach der aktuellen Rechtslage sind folgende Genehmigungsverfahren erforderlich:

- Für die Containerstellfläche: Baugenehmigungsverfahren
- Für die Biofilteranlage (Vorlage, Substratbeet, Muldenversickerung, Gewässereinleitung): Für die Muldenversickerung mit Notüberlauf ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich und für den Bau und Betrieb der Abwasserbehandlung (Vorlage, Substratbeet, Versickerungsmulde) eine Genehmigung nach § 57 Landeswassergesetz NRW.

Für die mit dem Bau solcher Anlagen verbundenen Eingriffe in den Naturhaushalt, sind die entsprechenden naturschutzrechtlichen Prüfungen (Eingriffsregelung, Artenschutzprüfung (ASP), FFH-Verträglichkeitsprüfung (FFH-VP)) auf der Grundlage der in NRW geltenden Vorschriften und Leitfäden durchzuführen. In diesem Rahmen sind auch die gegebenenfalls notwendigen Kompensationsmaßnahmen vorzusehen und umzusetzen. Falls Schutzgebiete betroffen sind, so sind auch die entsprechenden Vorgaben der Schutzgebietsverordnungen bzw. Schutzfestsetzungen der Landschaftspläne zu beachten.

2.6 Weitere Informationen und Anlagenbesichtigung

Für weitere Informationen und Fragen zum Bau und Betrieb der hier vorgestellten Biofilteranlage, ggfs. auch zur Anlagenbesichtigung nach vorheriger Terminabsprache, wenden Sie sich bitte an:

- Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer, Frau Dipl.-Ing. Gartenbau (FH) Elke Mattheus-Staack, Beraterin Zierpflanzenbau & Wasserschutz bei der Landwirtschaftskammer NRW; Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln-Auweiler; (Email: elke.mattheus-staack@lwk.nrw.de; Tel.: 02834/704189) oder
- IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH, Mülheim a. d. Ruhr; Dr. Reinhard Fohrmann (Email: r.fohrmann@iww-online.de; Tel.: 0208/40303-250)

Literatur

IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer (2014): „Optimierung

gartenbaulich genutzter Versickerungsmulden zur Minimierung nachteiliger Beeinflussungen von Grund- und Oberflächengewässern“; Abschlussbericht zum gleichnamigen, durch das MKULNV NRW (Az. 17-02.04.01-11/2011) geförderten und in den Jahren 2011 – 2014 durchgeführten Untersuchungsvorhaben.

IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer (2018): „Gartenbaulich genutzte Versickerungsmulden – vertiefende Untersuchungen zur Betriebsoptimierung 2014 – 2017“; Abschlussbericht zum gleichnamigen, durch das MKULNV NRW (Az. 17-02.04.01-8/2014) geförderten und in den Jahren 2014 – 2017 durchgeführten Untersuchungsvorhaben.

IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer (2021): „Dränwasseraufbereitung in Gartenbaubetrieben – Überführung der vorhandenen Anlage in einen praxismgerechten Ausbau und Betrieb als Biofilteranlage“; Abschlussbericht zum gleichnamigen, durch das MKULNV NRW (Az. 17-02.04.01-16/2018) geförderten und in den Jahren 2018 – 2020 durchgeführten Untersuchungsvorhaben.

Die drei vorgenannten Abschlussberichte sowie der hier vorgestellte Leitfaden werden als pdf-Datei auch im Volltext auf der Homepage des IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH sowie der Landwirtschaftskammer NRW zum Download zur Verfügung gestellt:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/beratung/technik/artikel/versickerungsmulden.htm>

<https://iww-online.de/download/betrieb-von-biofilteranlagen/>