

Gartenbaulich genutzte Versickerungsmulden – vertiefende Untersuchungen zur Betrieboptimierung 2014 – 2017 – - Az 17-02.04.01-8/2014 -

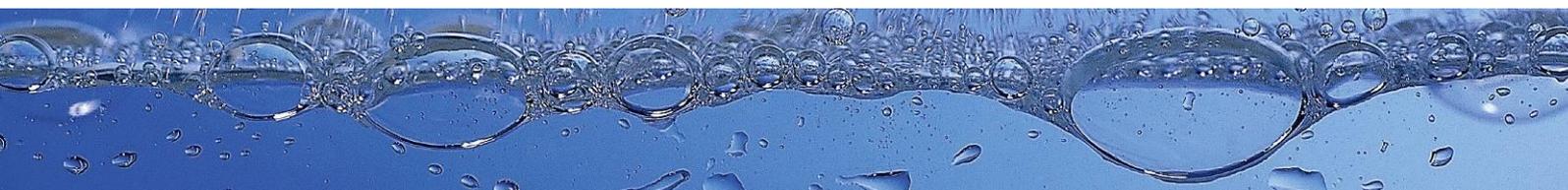
Abschlussbericht zum Projektantrag Nr. 10253/2014/22904

Projektbearbeitung gemeinsam mit: Wasserschutzkooperation
Kevelaer-Keylaer

April 2018

gefördert durch:

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Geschäftsführung:
Dr.-Ing. Wolf Merkel

Wissenschaftliches Direktorium:
Prof. Dr. Torsten C. Schmidt (Sprecher), Prof. Dr. Hans-Curt Flemming
Prof. Dr. Andreas Hoffjan, Prof. Dr. Christoph Schüth



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 14699
Sparkasse Mülheim an der Ruhr IBAN DE73 3625 0000 0300 0930 19
SWIFT BIC SPMHDE3E
Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr IBAN DE30 3624 0045 0762 6310 00
SWIFT BIC COBADEFFXXX
Internet: www.iww-online.de

Bearbeitung

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH

Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr

www.iww-online.de

Dr. Reinhard Fohrmann (Projektleiter)

Telefon: 0208 40303-250

r.fohrmann@iww-online.de

Florian Schindler (M. Sc. Geowissenschaften)

Telefon: 0208 40303-254

f.schindler@iww-online.de

Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr. Ch. Schüth

Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer

Dipl.-Ing. Gartenbau (FH) Elke Mattheus-Staack

Landwirtschaftskammer NRW

Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln-Auweiler

Beraterin Zierpflanzenbau & Wasserschutz

Hans-Tenhaeff-Str. 40-42

47638 Straelen

Telefon: 02834 704189

Elke.mattheus-staack@lwk.nrw.de

Bearbeitungszeitraum: Dezember 2014 bis Februar 2018

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

[IWW\Abschlussbericht180419_final](#)

Geschäftsführung:
Dr.-Ing. Wolf Merkel

Wissenschaftliches Direktorium:
Prof. Dr. Torsten C. Schmidt (Sprecher), Prof. Dr. Hans-Curt Flemming
Prof. Dr. Andreas Hoffjan, Prof. Dr. Christoph Schüth



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 14699
Sparkasse Mülheim an der Ruhr IBAN DE73 3625 0000 0300 0930 19
SWIFT BIC SPMHDE3E
Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr IBAN DE30 3624 0045 0762 6310 00
SWIFT BIC COBADEFFXXX
Internet: www.iww-online.de

Geschäftsführung:
Dr.-Ing. Wolf Merkel

Wissenschaftliches Direktorium:
Prof. Dr. Torsten C. Schmidt (Sprecher), Prof. Dr. Hans-Curt Flemming
Prof. Dr. Andreas Hoffjan, Prof. Dr. Christoph Schüth



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 14699
Sparkasse Mülheim an der Ruhr IBAN DE73 3625 0000 0300 0930 19
SWIFT BIC SPMHDE3E
Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr IBAN DE30 3624 0045 0762 6310 00
SWIFT BIC COBADEFFXXX
Internet: www.iww-online.de

Danksagung

Wir bedanken uns für die finanzielle Förderung der hier vorgelegten Untersuchung durch das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen bzw. das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

Für die Unterstützung bei der konzeptionellen Entwicklung der Versuchsanlage, für inhaltliche Anregungen zur Modifizierung des Anlagenaufbaus sowie für Vorschläge zur Betriebsoptimierung bedanken wir uns bei den Kollegen der Landwirtschaftskammer NRW vom Versuchszentrum Gartenbau Straelen / Köln-Auweiler.

Für die inhaltliche und organisatorische Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen danken wir den Stadtwerken Kevelaer, namentlich Herrn Hans-Josef Thönnissen.

Unser ganz besonderer Dank gilt den Gärtnern und Gärtnerinnen der Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer, durch deren Initiative und tatkräftige Unterstützung diese Untersuchung erst möglich wurde.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen einer in den Jahren 2011 – 2014 durchgeführten Studie (erste Projektphase 2011 – 2014) wurde untersucht, inwieweit durch die von einer gartenbaulich für die Produktion von *Calluna vulgaris* genutzten Containerstellfläche abfließenden Dränwässer Belastungen für Grund- oder Oberflächenwässer ausgehen und wie diese minimiert werden können. Ziel war es einerseits sowohl die Dränwassermengen zu quantifizieren, die von entsprechend genutzten Flächen abströmen, als auch die darin enthaltenen Frachten und Konzentrationen von Nitrat und Pflanzenschutzmittelwirkstoffen. Weiterhin wurde die Versickerungsmulde, in der diese Wässer bisher aufgefangen und in den Untergrund versickert wurden, nach einem Konzept der Landwirtschaftskammer NRW – Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln-Auweiler in ein Mehrkammersystem aus Vorlaufschacht - Vorlagespeicher - Biobed - Pflanzbeet umgebaut. Es wurde untersucht, inwieweit die Nitrat- und PSM-Frachten, die mit den Dränwässern über diese Anlage geführt wurden, reduziert bzw. entfernt werden können und wie eine derartige Anlage in Abhängigkeit von der angeschlossenen gartenbaulichen Nutzfläche dimensioniert sein sollte.

Insgesamt konnten im Rahmen dieser ersten Projektphase 2011 - 2014 weitreichende Erkenntnisse sowohl zu der von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasserquantität und –qualität als auch zur Funktionalität, Effizienz und Dimensionierung der umgebauten Versickerungsmulde erarbeitet werden (siehe auch Kap. 1.3).

Verschiedene Fragen konnten im Rahmen dieser ersten Projektphase 2011 - 2014 jedoch noch nicht abschließend beantwortet werden und wurden daher in der nun hier vorgelegten Studie (zweite Projektphase 2014 – 2017) bearbeitet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser zweiten Projektphase im Hinblick auf die in Kapitel 1.2 definierten Untersuchungsziele zusammengefasst:

A. Verdichtung der Daten-/Erkenntnislage aus der Erstuntersuchung

Die Ergebnisse aus der ersten Projektphase 2011 – 2014 sowohl zur quantitativen als auch qualitativen Beschaffenheit der von der Versuchsfläche abströmenden Dränwässer und ihrer weiteren Entwicklung bei der Durchleitung durch die Versuchsanlage konnten weitgehend bestätigt bzw. präzisiert werden.

- **Quantitative Dränwasserbeschaffenheit**

Im Mittel des gesamten bisherigen Versuchszeitraumes (November 2011 bis Februar 2018) bzw. des Zeitraumes, für den Messungen vorlagen (Mai 2012 bis Dezember 2017) kam es auf der Versuchsfläche im Durchschnitt zu ca. 811 mm Niederschlag/a. Weiterhin wurden der Versuchsfläche über Bewässerungs- und Düngungsmaßnahmen in den Jahren 2014 bis 2017 ca.

350 – 700 mm Wasser zugeführt. Die Bewässerungsmengen sind somit als insgesamt hoch zu bezeichnen, wenngleich es hier auch witterungsbedingt zu erheblichen jährlichen Schwankungen kommt. Die Gesamtzufuhr von Niederschlägen und Beregnungsgaben auf die Versuchsfläche pro Kalenderjahr lag zwischen 12.299 m³ (2014, 2017) und 16.778 m³ (2016), im Mittel bei 13.777 m³ und entspricht damit in der Größenordnung auch den Ergebnissen der Voruntersuchung 2011 – 2014. Im Durchschnitt flossen pro Jahr ca. 55 % ($\bar{\sigma}$ 7.627 m³; min.: 6.083 m³ in 2017; max.: 9.272 m³ in 2016) dieser insgesamt der Versuchsfläche zugeführten Wassermengen als Dränwasser der Versuchsanlage zu.

Wie bereits in der ersten Projektphase 2011 – 2014 zeigte sich auch im aktuellen Versuchszeitraum 2014 - 2017, dass die der Versuchsfläche über Beregnungsmaßnahmen zugeführten Wassermengen weitgehend in Evapotranspiration umgesetzt werden können, so dass Dränwasserabfluss weit überwiegend in Folge von Niederschlagsereignissen erfolgt.

Die Leistungsfähigkeit der Versuchsanlage zur Aufnahme von anfallenden Dränwässern war nach wie vor insbesondere durch die standörtlich bedingte mangelnde Versickerungsleistung des Pflanzbeetes begrenzt. Insgesamt konnten im Vergleich zur ersten Projektphase 2011 - 2014 zwar die Beaufschlagungsmengen auf Biobed und Pflanzbeet auf ca. 12 – 14 m³/Tag erhöht werden. Diese Menge lag – auch unter Berücksichtigung des Vorlagespeichervolumens von 123 m³ – jedoch deutlich unterhalb der Dränwassermengen, die in Folge von stärkeren Niederschlagsereignissen anfallen (in Einzelereignissen > 500 m³/d). Insgesamt konnten daher lediglich ca. 30 % der anfallenden Dränwassermengen über die Anlage geführt werden, der überwiegende Teil musste direkt in einen kleinen Vorfluter abgeschlagen werden.

- **Qualitative Dränwasserbeschaffenheit**

Für die Untersuchungen zur qualitativen Beschaffenheitsentwicklung des Dränwassers im Abfluss von der Versuchsfläche und im Durchfluss durch die Versuchsanlage wurde das untersuchte Parameterspektrum und der Beprobungsrhythmus der ersten Projektphase 2011 – 2014 beibehalten. Die Messwerte zwischen den in einem ca. 4-wöchentlichen Rhythmus stattfindenden Beprobungen wurden wiederum linear interpoliert. Der Vergleich zumindest der Nitratganglinien mit den in hoher zeitlicher Auflösung stattfindenden EC-Messungen (elektrische Leitfähigkeit, Abbildung 13, Abbildung 14) zeigte, dass es mit diesem Beprobungsrhythmus gelang, zumindest die Entwicklung der Salzfrachten in den Dränwässern gut zu beschreiben.

Die Nitratkonzentrationen im von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasser waren deutlich von den Düngungsmaßnahmen beeinflusst und erreichten in der Bewirtschaftungsperiode Maximalkonzentrationen von ca. 160 mg NO₃⁻/l. Im Mittel der hydrologischen Sommerhalbjahre (hSHj) lagen die Nitratkonzentrationen in diesen Dränwässern zwischen ca. 50 und 110 mg/l

(Probenahmestelle L3, von Vorlauf in Vorlage). In den hydrologischen Winterhalbjahren (hWHj) gingen sie um 70 – 80 % auf mittlere Werte von ca. 10 – 35 mg/l zurück. Im Durchfluss durch die Anlage konnten – mit Ausnahme des hSHj 2015 - v. a. die erhöhten Nitratkonzentrationen der hydrologischen Sommerhalbjahre am Ende des Biobeds bzw. des Pflanzbeets auf mittlere Werte von $< 50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ gesenkt werden, so dass diese Wässer weitgehend unbedenklich im Pflanzbeet versickert bzw. in den Vorfluter abgeschlagen werden konnten. Die erhöhten Werte des hSHj 2015 im Biobed und Pflanzbeet beruhen auf den Nitrat-Peak einer Messung (vom 26.5.2015), der möglicherweise auf Mineralisierungseffekte im Biobed zurückzuführen ist. Da dieser Effekt in der bisherigen 6-jährigen Versuchslaufzeit aber nur einmal festzustellen war, scheint es wahrscheinlicher, dass dieser Nitrat-Peak auf probenahmebedingte Effekte zurückzuführen ist, die sich aus dem Zeitverzug im Durchfluss durch die verschiedenen Anlagenkompartimente und Mischungseffekten im Vorlagespeicher ergeben.

Die Befunde zu den PSM-Untersuchungen an den verschiedenen Messstellen der Versuchsanlage zeigen, dass es auch in der aktuellen, zweiten Projektphase 2014 – 2017 gelungen ist, die untersuchten PSM-Konzentrationen und -frachten im Durchfluss durch die Anlage, vor allem im Biobed, deutlich zu reduzieren (Abbildung 17 bis Abbildung 31). Die Konzentrationsganglinien der meisten Wirkstoffe an den Probenahmestellen Biobed und Pflanzbeet laufen weitgehend ohne Befund entlang der X-Achse, obwohl im Vorlaufschacht bzw. im Vorlagespeicher Konzentrationen von bis zu $40 \mu\text{g/l}$ gemessen wurden. Eine Ausnahme stellt auch hier wieder v. a. der Wirkstoff Metribuzin dar, der mit Spitzenwerten von bis zu $160 \mu\text{g/l}$ an den Probenahmestellen Vorlauf bzw. Vorlage gemessen wurden und dessen Konzentration zwar im Biobed und Pflanzbeet deutlich reduziert werden konnte, letztlich hier aber immer noch in Größenordnungen von bis zu $50 \mu\text{g/l}$ nachzuweisen war. Im Mittel der hydrologischen Halbjahre konnten die PSM-Konzentrationen (ohne Metribuzin) im Dränwasser bis zum Pflanzbeet im Vergleich zu den Eingangskonzentrationen im Vorlaufschacht um ca. 80 – 98 % auf einen mittleren Wert von $< 1 \mu\text{g/l}$ gesenkt werden (Abbildung 39; Tabelle 12). Als problematisch ist aber nach wie vor der Wirkstoff Metribuzin einzuschätzen, der darüber hinaus (Tabelle 11.; nach Bewirtschafterangaben) im Untersuchungszeitraum von allen untersuchten PSM sowohl am häufigsten als auch mit der insgesamt größten Wirkstoffmenge auf der Versuchsfläche ausgebracht wurde. Hier bietet sich zukünftig aber möglicherweise eine Wirkstoffalternative durch den PSM-Wirkstoff Aclonifen, der in den Leistungsversuchen Biobed sehr gut im Biobed zurückgehalten wurde (siehe auch Kap. 3.4.3).

B. Optimierung des Anlagenbetriebs / -ausbaus

Grundsätzliche Änderungen am Aufbau der Versuchsanlage wurden im aktuellen Versuchszeitraum nicht vorgenommen.

1. Optimierung / Erhöhung der Volumenbeaufschlagung des Pflanzbeets

Verschiedentlich wurden jedoch kleinere Änderungen im Betriebsverlauf der Anlage vorgenommen, um zu prüfen, inwieweit höhere Wassermengen vor allem auf das Pflanzbeet beaufschlagt werden können. Insgesamt konnten an einzelnen Tagen zwar Beaufschlagungsmengen von bis zu 26 m³ in das Pflanzbeet eingebracht werden, das aber nur, weil es an den vorhergehenden Tagen zu keiner oder nur geringer Einleitung in das Pflanzbeet kam und somit der Einstaubereich durch Versickerung größer geworden war. Insgesamt konnte die mittlere, tägliche Beaufschlagungsmenge auf das Pflanzbeet im Vergleich zur Voruntersuchung 2011 – 14 (max. 11,5 m³/d) nicht nennenswert erhöht werden. Unter den standörtlichen Bedingungen des Versuchsstandortes bleibt das Pflanzbeet auf Grund seiner schlechten Versickerungseigenschaften der leistungsbegrenzende Faktor der Versuchsanlage.

2. Maximale Beaufschlagung des Biobeds mit anschließendem Abschlag Ende Biobed / Pflanzbeet

In insgesamt 9 Leistungsversuchen Biobed konnte die maximale Beaufschlagung auf das Biobed hingegen bis auf Werte von bis zu 240 m³/d erhöht werden (Kapitel 3.4.3). Bei diesen hohen Beaufschlagungsmengen zeigte das Biobed nur einen leichten Rückgang hinsichtlich seiner Eigenschaften zur Reduzierung von PBSM-Konzentrationen. Grundsätzlich gilt diese Leistungsfähigkeit auch für eher problematische Wirkstoffe wie Metalaxyl, Metribuzin oder Iprodion, deren Konzentrationen in allen Versuchsläufen und auch bei hohen Beaufschlagungsmengen signifikant reduziert wurden, allerdings in einem tw. deutlich geringeren Umfang als bei anderen Wirkstoffen. Als sehr positiv ist in diesem Zusammenhang vor allem auch die hohe Leistungsfähigkeit für den Rückhalt des Wirkstoffes Aclonifen einzuordnen, der möglicherweise zukünftig alternativ für den Wirkstoff Metribuzin eingesetzt werden kann.

Leistungsbegrenzend bei diesen Versuchen mit hohen Beaufschlagungsmengen auf das Biobed sind daher nicht seine Kapazitäten zur Reduzierung von PBSM-Konzentrationen, sondern seine hydraulischen Eigenschaften. Bedingt durch Alterungseffekte des Biobedsubstrates und den damit einhergehenden Mineralisierungs- und Setzungsprozessen reduziert sich die hydraulische Leitfähigkeit im Laufe der Zeit, so dass die Beaufschlagungsmengen von bis zu 240 m³/d in 2016 im Folgejahr auf 160 bzw. 100 m³/d reduziert werden mussten. Insgesamt ist aber festzustellen, dass das Biobed auch in 2017 und somit nach 6 Jahren noch über gute Eigenschaften zur Reduzierung von PBSM-Wirkstoffen verfügte.

3. Abschlagsmanagement

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die qualitative und quantitative Entwicklung von Dränwasserereignissen im Zeitverlauf weiter zu präzisieren, um auf dieser Grundlage Kennwerte zu

entwickeln, ab wann Schadstofffrachten im abfließenden Dränwasser sich derart reduziert haben, dass sie aus wasserwirtschaftlicher Sicht weitgehend gefahrlos direkt in den Vorfluter abgeschlagen werden können.

Die zu diesem Zweck durchgeführten 2 Berechnungsversuche bei definierten Nitrat- und PSM-Ausbringungen auf definierten Teilflächen (Kapitel 2.4.2.3) deuten an, dass die im Dränwasser enthaltenen Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Zuge eines Abflussereignisses ihr Maximum nach ca. 100 – 130 m³ Dränwasseranfall überschritten haben und dann sukzessive zurückgehen. Mit aller Vorsicht kann auf Basis der vorhergehend beschriebenen Ergebnisse auch der (vor Ort mit vergleichsweise geringem Aufwand zu messende) EC-Wert (elektrische Leitfähigkeit) als Indikator für die Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser gesehen werden (Kapitel 3.6.1.1.).

Die ergänzenden Auswertungen zum Zusammenhang der gemessenen Nitrat-Konzentrationen im Vorlaufschacht und den mit hoher zeitlicher Auflösung gemessenen EC-Werten weisen hier jedoch einen deutlich belastbareren Zusammenhang. Demnach reduziert sich der EC-Wert (als Folge eines weitgehend zusammenhängenden, mehrtägigen Niederschlagsereignisses) nach ca. 600 – 800 m³ Dränwasserabfluss auf ca. 0,4 – 0,5 mS/cm ($\approx 50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) (Abbildung 61 bis Abbildung 63). Mit einer Aufnahmekapazität von 200 bis 270 m³/d wäre die Anlage in der Lage, diese Dränwassermengen über einen Zeitraum von 2 – 3 Tagen zu verarbeiten, bevor – zumindest vor dem Hintergrund der zu erwartenden Nitrat-Konzentrationen – darüber hinaus anfallendes Dränwasser aus wasserwirtschaftlicher Sicht (und zur Schonung der „Lebensdauer“ des Biobed-Substrates) weitgehend gefahrlos abgeschlagen werden kann. Die in Kapitel 3.6.1.1. beschriebenen Ergebnisse deuten für die PSM-Konzentrationen im Dränwasser ähnliche Entwicklungen an, wenngleich die Ergebnisse in Kapitel 3.9 darauf hinweisen, dass der Rückgang von PSM-Rückständen im Dränwasser weniger schnell erfolgt als der von Nitrat.

C. „Lebensleistung“ Biobed und Entsorgung des Bio-Materials

Die in Kapitel 3.7 dargestellten Ergebnisse zur wiederholten Untersuchung des Biobedsubstrates auf Anreicherungs-effekte von PSM-Rückständen haben gezeigt, dass diese Werte in erheblichem Maße überprägt werden von den PSM-Konzentrationen, die zum jeweiligen Probenahmezeitpunkt auf die ins Biobed eingeleiteten Dränwässer zurückzuführen sind. Diese Ergebnisse lassen somit keinen Rückschluss auf eventuelle Erschöpfungsprozesse des Biobedsubstrates zur Reduzierung von PSM-Rückständen zu. Die Ergebnisse aus den Leistungsversuchen Biobed (Kapitel 3.4.3) haben allerdings gezeigt, dass das Biobedsubstrat auch bei hohen Beaufschlagungsmengen und auch zum Ende des Versuchszeitraumes noch zu sehr

guten PSM-Reduzierungsleistungen in der Lage war. Nachgelassen hatte hingegen mit zunehmender Alterung des Substrates bis zum Ende des Jahres 2016 seine Dränfähigkeit. In dieser nachlassenden Dränfähigkeit ist auch der wesentliche Effekt der nachlassenden Leistungsfähigkeit des Substrates zu sehen, da unter diesen Bedingungen zu einem gegebenen Zeitpunkt nicht mehr hinreichende Wassermengen über das Biobed zu leiten sind. Für den Betriebszeitraum der Versuchsanlage von Mai 2012 bis Dezember 2016 errechnete sich nach Tabelle 17 (Kapitel 3.7), dass innerhalb dieses Zeitraumes Dränwasser in einer Größenordnung von $111 \text{ m}^3/\text{m}^3$ Biobedssubstrat über die Anlage geleitet worden war. Damit war Ende 2016 die (hydraulische) Leistungsfähigkeit des Substrates zwar noch nicht in der Gänze erschöpft, hatte aber nachgelassen. Anfang 2017 wurde das Biobed mit Rindenmulch abgedeckt. Für die weiteren Berechnungen wurde daher von einer Leistungskapazität des Biobedssubstrates in dieser Größenordnung ($111 \text{ m}^3/\text{m}^3$) ausgegangen.

Da somit (altes) Biobedssubstrat derzeit noch nicht aus dem Biobed entfernt werden musste, sondern dieses lediglich zweimal ergänzt wurde, war bisher noch keine entsprechende Entsorgung notwendig. Die bisherigen Abstimmungen mit der Landwirtschaftskammer NRW und dem LANUV NRW lassen jedoch erwarten, dass eine Einstufung des Alt-Substrates als (organischer) Wirtschaftsdünger oder Bodenhilfsstoff nach Düngemittelverordnung möglich sein wird und somit – nach Analyse auf verschiedene Inhaltsstoffe – eine Ausbringung auf betriebs-eigene gartenbaulich oder landwirtschaftlich genutzte Flächen möglich ist.

D. Entwicklung der eingeleiteten (Schad-)Stofffrachten (PBSM, Nitrat) im Vorfluter

Die im Vorfluter, in dem behandelte oder unbehandelte Dränwässer der Versuchsfläche abgeschlagen werden, gemessenen Nitrat- und PSM-Konzentrationen waren über die Untersuchungsstrecke (ca. 250 m, 4 Beprobungspunkte) weitgehend dominiert durch die Konzentrationen der eingeleiteten Dränwässer. Zum Teil waren die Konzentrationen lediglich bedingt durch Mischungsprozesse mit dem Vorflutwasser reduziert. Die Gesamtkonzentrationen im Vorfluter waren darüber hinaus aber auch offensichtlich von Sicker- und Dränwässern beeinflusst, die dem Vorfluter sowohl ober- als auch unterstromig der Einleitung von weiteren gartenbaulich oder landwirtschaftlich genutzten Flächen zufließen.

E. Speichererweiterung

Berechnungen zu einer optimierten Dimensionierung des Vorlagespeicher-Volumens ergaben, dass bei einer gewählten, maximalen Beaufschlagungsmenge auf das Biobed von $100 \text{ m}^3/\text{d}$ und einem Vorlagespeicher-Volumen von 250 m^3 der Anteil des Dränwassers, der die Aufnahmekapazität der Anlage übersteigt und somit direkt abgeschlagen werden muss, auf unter 15 % gesenkt werden kann (Kapitel 3.9., Abbildung 69).

F. Kreislaufführung von Dränwässern durch Wiedereinspeisung in den Bewässerungskreislauf

Eine Sichtung und Auswertung der aktuellen Literatur zu möglichen (technischen) Alternativen der Aufbereitung von belasteten Dränwässern hat gezeigt, dass es bezüglich der Kreislaufführung von Dränwässern und deren Wiedereinspeisung in den Bewässerungskreislauf für Gartenbaubetriebe Ansätze gibt, um diese Verfahren zu etablieren. Vor allem zur Vermeidung bzw. Minimierung der Gefahren einer Verbreitung phytopathogener Keime stehen eine Reihe von Aufbereitungsverfahren zur Verfügung. Der apparative bzw. technische Aufwand zur Installation und zum Betrieb dieser Verfahren ist jedoch erheblich und scheint daher mittelfristig allenfalls für Gewächshäuser oder größere Bewirtschaftungseinheiten potenziell von Interesse zu sein. Vor allem für eine Reduzierung von PSM-Rückständen in den Dränwässern, müssen diese Verfahren mit weiteren Aufbereitungsverfahren gekoppelt werden, wie z. B. Aktivkohleanlagen (siehe hierzu auch den Abschlussbericht der ersten Projektphase 2011 – 2014) oder eben die hier untersuchten Biofilter und Versickerungsanlagen.

Vorschlag für einen praxisgerechten Anlagenausbau und –betrieb

Unter Berücksichtigung der vorhergehend zusammengefassten Ergebnisse und der bisherigen Erfahrungen mit dem Betrieb der Versuchsanlage wird im Folgenden eine Anlagenkonzeption vorgeschlagen, deren Betrieb sowohl den wasserwirtschaftlichen Ansprüchen als auch denen der gartenbaulichen Praxis gerecht werden soll:

Eine zukünftige, auch den Anforderungen der Praxis genügende Anlage soll im Kern aus den drei Elementen „Vorlaufschacht“, „Vorlagespeicher“ (Volumen 250 m³) und „Biobed“ (Grundfläche 150 m², Substratfassungsvolumen: 150 m³) bestehen. Nachdem das Dränwasser die Anlage durchlaufen hat, wird es vom Auslauf Biobed in einen Vorfluter abgeschlagen.

- In diesem Ausbau kann die Anlage mit max. 200 – 250 m³/d beaufschlagt werden, Im Regelbetrieb ist eine Beaufschlagung von bis zu 100 m³/d ausreichend. Zur Vermeidung von Frostschäden erfolgt kein oder nur begrenzter Winterbetrieb der Anlage (Dezember bis März). Innerhalb dieses Zeitraumes ist von unkritischen Nitratkonzentrationen bzw. deutlich reduzierten PSM-Konzentrationen im Dränwasser auszugehen.
- Unter diesen Betriebsbedingungen ist nach den bisherigen Erfahrungen mit einer hinreichenden Leistungsfähigkeit des Biobeds über einen Zeitraum von ca. 4 Jahren zu rechnen.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Ergebnisse bisher im Versuchsbetrieb der Anlage erarbeitet wurden, insbesondere nur Teilmengen des anfallenden Dränwassers über die Anlage geführt wurden. Ein Umbau der Versuchsanlage entsprechend der o. g. Vorschläge mit anschließendem ca. 2-jährigen Betrieb unter Praxisbedingungen empfiehlt sich daher zur Verifizierung der hier vorgestellten Ergebnisse.

Mülheim an der Ruhr, im April 2018

**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für
Wasserforschung gemeinnützige GmbH**

i.V.

i.A.

Dr.-Ing. W. Merkel

Dr. R. Fohrmann

F. Schindler

Wasserschutzkooperation Kevelaer - Keylaer

Willy Rühl

(Sprecher der Wasserschutzkooperation
Kevelaer-Keylaer)

Elke Mattheus-Staack

(Beraterin Zierpflanzenbau/Wasserschutz)



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund	1
1.1	Auftrag und Projektdurchführung	2
1.2	Ziele der Studie	3
1.3	Kurze Zusammenfassung der Erststudie 2011 - 2014	5
2	Material und Methoden	8
2.1	Beschreibung des Projektbetriebes	8
2.2	Nutzung der Versuchsfläche	8
2.3	Auf- bzw. Umbau der Versuchsanlage	12
2.3.1	Biobeds substrat	15
2.4	Datenerfassung / Messkonzept	16
2.4.1	Klima, Bewirtschaftung, Volumenströme	16
2.4.2	Hydrochemie	17
3	Ergebnisse	24
3.1	Bewirtschaftung der Versuchsfläche	24
3.2	Witterung	26
3.3	Datenverdichtung	30
3.3.1	Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme	30
3.3.2	Qualitative Entwicklung der Volumenteilströme	34
3.4	Optimierung des Anlagebetriebs / -ausbaus	61
3.4.1	Optimierung / Erhöhung der Volumenbeaufschlagung auf das Pflanzbeet	61
3.4.2	Optimierung des Anlagenausbaus	65
3.4.3	Ergebnisse der Leistungsversuche Biobed	66
3.5	Substratvarianten-Versuche	73
3.5.1	Substratvarianten unter Zusatz von Lavagestein	73
3.5.2	Tastversuch mit zwei Substratmischungen	74
3.6	Abschlagsmanagement	77
3.6.1	Beregnungsversuch	78
3.6.2	Entwicklung EC-Werte in Abhängigkeit von Dränwassermenge	83
3.7	„Lebensleistung“ Biobed / Entsorgung	86
3.8	Entwicklung der Schadstofffrachten im Vorfluter	89
3.9	Berechnungen zur optimierten Anlagenkonfiguration	91
3.10	Kreislaufführung von Dränwässern	100
3.10.1	Kreislaufführung von Bewässerungs-/Dränagewasser	100
3.10.2	Entfernung von phytopathogenen Keimen	102



4	Vorschlag für einen praxisgerechten Anlagenausbau und -betrieb	111
5	Literatur	112
6	Anhang	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Darstellung der Flächennutzung	9
Abbildung 2: Schematische Übersicht über die dreistufige Anlage bestehend aus Vorlage, Biobed und Pflanzenbereich	12
Abbildung 3: Installation eines 2. Bewässerungssystems für die Leistungsversuche Biobed (zur Beaufschlagung von Dränwassermengen von bis zu 250 m ³ /d)	14
Abbildung 4: Probenahmestellen im Vorfluter	19
Abbildung 5: Temperaturverlauf im Untersuchungszeitraum	27
Abbildung 6: Monatliche Niederschlagssummen am Projektstandort von 2013 bis Nov. 2017	28
Abbildung 7: Jährliche Niederschlagsmengen in Kevelaer-Keylaer (Mittel aus vier Messstandorten der Stadtwerke Kevelaer)	29
Abbildung 8: Volumenteilströme (kumuliert pro Kalenderjahr) in beiden Projektabschnitten	31
Abbildung 9: Volumenströme auf Tagesbasis an der Versuchsanlage 2015.....	32
Abbildung 10: Volumenströme aus Tagesbasis an der Versuchsanlage 2016.....	33
Abbildung 11: Volumenströme auf Tagesbasis an der Versuchsanlage 2017.....	34
Abbildung 12: Entwicklung der Nitratkonzentration im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	37
Abbildung 13: NO ₃ - und EC-Wert-Ganglinien am Messpunkt „Vorlaufschacht“.....	39
Abbildung 14: NO ₃ - und EC-Wert-Ganglinien am Messpunkt „Biobed“	40
Abbildung 15: N-Frachten in den hydrologischen Halbjahren 2012 - 2014.	42
Abbildung 16: Prozentuale Verringerung der über die hHj gemittelten Nitratkonzentrationen zwischen Vorlage/Biobed und Vorlage/Pflanzbeet	43
Abbildung 17: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Azoxystrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).	47
Abbildung 18: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Boscalid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).	47
Abbildung 19: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Carbendazim im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).	48
Abbildung 20: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Cyprodinil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).	48

Abbildung 21: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Flonicamid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	49
Abbildung 22: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Fluazinam im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	49
Abbildung 23: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Fludioxonil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	50
Abbildung 24: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Iprodion im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	50
Abbildung 25: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Kresoximmethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	51
Abbildung 26: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes lambda-Cyhalothrin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	51
Abbildung 27: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Metalaxyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	52
Abbildung 28: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Metribuzin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	52
Abbildung 29: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Pencycuron im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	53
Abbildung 30: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Pyraclostrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	53
Abbildung 31: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Thiophanatmethyl im (Drän -) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).....	54
Abbildung 32: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2014.	55
Abbildung 33: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2014/2015.	55
Abbildung 34: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2015.	56
Abbildung 35: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2015/2016.	56

Abbildung 36: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2016.	57
Abbildung 37: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2016/2017.	57
Abbildung 38: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2017.	58
Abbildung 39: PSM-Reduzierungsleistung der Versuchsanlage	61
Abbildung 40: Bei einer Einstauhöhe von rd. 26 cm ist der maximale Einstau erreicht.	62
Abbildung 41: Füllstände im Pflanzenbereich während des 2. Projektabschnitts vom 1.1.5 bis zum 30.11. 2017	63
Abbildung 42: Durch die Starkniederschläge konnte Wasser aus dem Pflanzenbereich bei einer Einstauhöhe von rd. 26 cm wieder zurück ins Biobed strömen.....	64
Abbildung 43: Das Biobed wurde mit zusätzlichen Düsensträngen auf dem Boden und einer Düsenrohrbewässerung, befestigt an der Dachkonstruktion ausgestattet.....	66
Abbildung 44: Schematische Skizze zweier zeitversetzter Durchbruchkurven einer Konzentration c (blau und rot) und die daraus resultierende Konzentration (gelb) am Messpunkt x.....	67
Abbildung 45: Einstaueffekte in 2017	68
Abbildung 46: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Boscalid in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	69
Abbildung 47: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Pyraclostrobin in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	70
Abbildung 48: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Fluazinam in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	70
Abbildung 49: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Metalaxyl in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	71
Abbildung 50: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Iprodion in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	71
Abbildung 51: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Metribuzin in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	72
Abbildung 52: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Aclonifen in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau).....	72
Abbildung 53: Im Biobed staut sich im unteren Bereich das Wasser an.	74
Abbildung 54: In den Töpfen beider Substratmischungen hatte sich Dränwasser angestaut.....	75
Abbildung 55: Am Topfgrund haben sich Lava und feine Substratbestandteile zu einer wasserundurchlässigen Schicht abgesetzt.	75

Abbildung 56: Lage der Teilflächen für den Beregnungsversuch	79
Abbildung 57: Verlauf der EC-Werte im Dränwasser am 26. Juni 2017	80
Abbildung 58: Entwicklung der PSM-Konzentrationen in Abhängigkeit der Dränagewassermenge.....	81
Abbildung 59: Verlauf der EC-Werte, der Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser am 26. Juni 2017	81
Abbildung 60: Darstellung der EC-Werte, sowie der Nitrat –und der PSM- Konzentrationen im Dränwasser, gemessen am 27.6.17 von 11.02 - 13.51 Uhr.....	82
Abbildung 61: Zusammenhang zwischen EC-Wert und der Nitratkonzentration im Beprobungswasser des Vorlaufschachtes (Zeitraum: 2012 - 2017)	84
Abbildung 62: EC-Wert-Entwicklung im Dränwasser in Abhängigkeit vom Niederschlag ausgewählter mehrtägiger, zusammenhängender Niederschlagsereignisse.....	85
Abbildung 63: Wöchentlicher Dränabfluss von der Versuchsfläche in Abhängigkeit vom Niederschlag (Mai 2012 – November 2017).....	86
Abbildung 64: Korrelation zwischen den Nitratgehalten der Wässer an den Probeentnahmestellen Vorlaufschacht und Vorflut 2.....	90
Abbildung 65: Verhalten der Nitratkonzentration im Stromverlauf	90
Abbildung 66: Verhalten der PSM _{gesamt} -Konzentration im Stromverlauf	91
Abbildung 67: Jährliche Häufigkeitsverteilung der Tagesniederschlagsereignisse 2000 – 2016 (Monate April bis November, Mittel der Niederschlagsmeßstation am Versuchsstandort sowie von drei DWD-Stationen in der Umgebung.....	93
Abbildung 68: Perzentilwerte des täglichen Dränwasserabflusses von der Versuchsfläche (m ³ /d).....	94
Abbildung 69: Wechselseitige Abhängigkeit von Vorlagespeichervolumen und Beaufschlagungsmenge Biobed (in m ³ /d) auf Abschlagsmenge (in % des gemessenen Dränwasseranfalls in den Bewirtschaftungszeiträumen 1.3 - 30.11 der Jahre 2012 – 2017.....	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die im Projektzeitraum erfolgten Düngegaben in der jeweiligen Jungpflanzenkultur	10
Tabelle 2: Übersicht über die im Projektzeitraum durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen	11
Tabelle 3: Zusammensetzung zweier Substratmischungen zur Prüfung im Tastversuch	15
Tabelle 4: Untersuchte Parameterumfänge	20
Tabelle 5: In den Leistungsversuchen Biobed verwendete PSM-Wirkstoffe (bzw. die entsprechenden Mittel) sowie die in der Vorlage eingestellten Zielkonzentrationen (rot: resultierende Konzentrationen für Mischungspartner bei Kombinationspräparaten)	22
Tabelle 6: Eckdaten der Leistungsversuche Biobed	22
Tabelle 7: Zusammenstellung der Wassermengen, die über Bewässerungs- und Düngemaßnahmen den Jungpflanzen während der Kulturzeit zugeführt wurden	26
Tabelle 8: Zusammenstellung der über Bewässerungs- und Düngegaben pro Kalenderjahr zugeführten Wassermengen	26
Tabelle 9: Anzahl untersuchter Proben und Beprobungsumfänge im Untersuchungszeitraum Mai 2014 - Nov. 2017	35
Tabelle 10: Summe der N-Frachten, gepumpten Wassermengen und mittleren Nitratkonzentrationen, bezogen auf das hydrologische Halbjahr (hHj) und Anlagenkompartiment.	41
Tabelle 11: Untersuchte PSM-Wirkstoffe, die auf der Versuchsfläche im Untersuchungszeitraum ausgebracht wurden (Bewirtschaftangaben)	45
Tabelle 12: Mittlere PSM-Konzentrationen in den hydrologischen Halbjahren.	60
Tabelle 13: Physikalischen Eigenschaften der untersuchten Handmischungen im Vergleich zum Biobedsubstrat	73
Tabelle 14: Übersicht über die Eigenschaften des Biobedsubstrates im Vergleich zu zwei Probemischungen	76
Tabelle 15: Übersicht über die im Teilversuch eingesetzten Pflanzenschutzmittel	78
Tabelle 16: Ergebnisse der Biobedsubstrat-Untersuchungen auf PSM-Rückstände	87
Tabelle 17: Leistungsfähigkeit des Biosubstrates	88
Tabelle 18: Mittlere Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser (Probenahmestelle Vorlaufschacht) unterschiedlicher Bewirtschaftungszeiträume der Jahre 2012 - 2016	96
Tabelle 19: Klassifizierter Dränwasserabfluss von der Versuchsfläche im Zeitraum 5/2012 – 12/2016	97

Tabelle 20: Klassifizierter (Sommer-)Dränwasserabfluss von der Versuchsfläche im Zeitraum 5/2012 – 12/2016 und über das Biobed zu leitende Mengen (bis 100 m ³ /d)	98
Tabelle 21: Leistungsfähigkeit Biobed (in m ³ Dränwasser) bei 150 m ³ Substratvolumen	99
Tabelle 22: Verfahren zur Wasserentkeimung im Gartenbau (Wohanka et al., 2015)	104

1 Einleitung und Hintergrund

Mit finanzieller Förderung durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Naturschutz NRW bearbeitete das IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH von September 2011 bis Oktober 2014 das Untersuchungsvorhaben „Optimierung gartenbaulich genutzter Versickerungsmulden zur Minimierung nachteiliger Beeinflussungen von Grund- und Oberflächengewässern“ (Zuwendungsbescheid durch das LANUV NRW vom 8.9.2011, Az 17-02.04.01-11/2011; „erste Projektphase 2011 – 2014“).

In dieser ersten Projektphase 2011 - 2014 wurde am Beispiel eines exemplarischen Gartenbaubetriebes bzw. einer gartenbaulich genutzten Fläche untersucht,

- welche Gefährdungspotenziale für Grund- und Oberflächengewässer durch die von der im Freiland genutzten Gartenbaufläche abfließenden Dränwässer bzw. den darin enthaltenen Schadstoffen (insbesondere Nitrat und PSM-Rückstände) ausgehen,
- welche Möglichkeiten zur Reduzierung dieser Gefährdungspotenziale durch einen entsprechenden Umbau der Versickerungsmulde, in welche diese Dränwässer eingeleitet werden, bestehen, sowie
- Eckdaten zur Kalkulation des notwendigen Fassungsvermögens einer Versickerungsmulde in Abhängigkeit von der Größe der gartenbaulich genutzten Fläche, die in die Mulde entwässert, zu erarbeiten.

In dem im Oktober 2014 abgeschlossenen Untersuchungsvorhaben konnten wesentliche und für die weitere Bewirtschaftung gartenbaulich genutzter Freilandflächen im Umgang mit den abströmenden Dränwässern wegweisende Ergebnisse erarbeitet werden.

So wurden durch die gemeinsam mit den Projektpartnern Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer und Landwirtschaftskammer NRW über den Versuchszeitraum durchgeführten Messungen zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt der Versuchsfläche erstmalig mit hoher zeitlicher Auflösung quantifiziert,

- welche Wassermengen unter den jeweiligen Bewirtschaftungs- und Witterungsbedingungen von der Versuchsfläche der Versickerungsmulde zuströmen,
- welcher Anteil dieser abfließenden Dränwassermengen zum jeweiligen Zeitpunkt von der Versickerungsmulde im aktuellen Ausbau aufgenommen werden kann,
- welche Schadstofffrachten und -konzentrationen mit den Dränwässern von der Versuchsfläche abtransportiert und in die Versickerungsmulde eingeleitet wurden und
- in welchem Umfang die in die Versickerungsmulde eingeleiteten Schadstoffkonzentrationen bzw. -frachten (insbesondere von Nitrat und PSM-Rückständen) reduziert werden konnten.

Allerdings zeigte sich während dieser Untersuchungen auch, dass für einzelne Versuchsfragen - bedingt durch den tatsächlich zur Verfügung stehenden Messzeitraum, versuchstechnisch bedingte Besonderheiten bzw. Ausfallzeiten im Messzeitraum als auch witterungs- und bewirtschaftungsbedingte Variabilitäten - eine deutliche Verlängerung des Messzeitraumes zur Verdichtung der Erkenntnisse bzw. zur Absicherung ihrer Belastbarkeit notwendig ist. Weiterhin ergaben sich während des Versuchszeitraumes bzw. als Konsequenz der erarbeiteten Ergebnisse aber auch neue Fragen, deren Beantwortung für den weiteren Betrieb der Versickerungsanlage, insbesondere aber auch für die Übertragbarkeit der Erkenntnisse in die allgemeine gartenbauliche Praxis von erheblicher Bedeutung sein wird. Vor allem letzteres ist von erheblicher Bedeutung, um bei der Übertragung der Ergebnisse in die gartenbauliche Praxis auch das notwendige Maß an Akzeptanz seitens der Gartenbaubetriebe zu erzielen.

1.1 Auftrag und Projektdurchführung

Diese offenen Fragen sollten in einem Folgeprojekt mit dem Titel „Gartenbaulich genutzte Versickerungsmulden – vertiefende Untersuchungen zur Betriebsoptimierung 2014 – 2017“ („zweite Projektphase 2014 – 2017“)bearbeitet bzw. geklärt werden, für das das IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH mit Schreiben vom 26.11.2014 eine finanzielle Förderung durch das LANUV Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen beantragte. Diesem Antrag wurde mit Zuwendungsbescheid vom 8.12.2014 durch das LANUV NRW freundlicherweise stattgegeben (Az 17-02.04.01-8/2014). Mit Änderungsbescheid vom 28.9.2017 durch das LANUV NRW wurde der ursprünglich für den Zeitraum Dezember 2014 – November 2017 beantragte Durchführungszeitraum der Studie kostenneutral bis Februar 2018 verlängert.

Wie bereits in der ersten Projektphase 2011 – 2014 wurden sowohl die Projektplanungen als auch die anfallenden Arbeiten mit IWW als Projektleitung in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer und mit fachlicher Unterstützung der Landwirtschaftskammer NRW, Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln-Auweiler, durchgeführt.

Der Abschlussbericht zu dieser Studie wird hiermit vorgelegt.

1.2 Ziele der Studie

Aufbauend auf den Ergebnissen der weiter oben erwähnten ersten Projektphase 2011 – 2014 sollten im Rahmen der hier beschriebenen zweiten Projektphase 2014 - 2017 folgende Fragenkomplexe untersucht bzw. vertieft werden:

A. Verdichtung der Daten-/Erkenntnislage aus der Erstuntersuchung

Die Ergebnisse der ersten Projektphase 2011 – 2014 haben gezeigt, dass sowohl Ausbau als auch Betrieb der Versickerungsmulde geeignet sind, das Gewässerbelastungspotenzial der Dränwässer von vergleichbar genutzten Gartenbauflächen deutlich zu reduzieren. Diese Erkenntnisse beruhen aber zunächst lediglich auf Zeitreihen von Messergebnissen von gut 2 Wirtschaftsjahren (5/2012 - 7/2014). Innerhalb dieses Messzeitraumes kam es zudem fallweise zu bewirtschaftungs-, witterungs- und/oder technisch bedingten Ausfallzeiten bei der Erfassung verschiedener relevanter Parameter bzw. wurden die Betriebsbedingungen der Anlage zur Optimierung verschiedentlich verändert.

Wesentliches Ziel der hier beschriebenen zweiten Projektphase 2014 – 2017 war es daher, die Repräsentativität der bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse und ihre Belastbarkeit durch eine Fortführung der Messzeitreihen über einen dreijährigen Zeitraum zu verdichten.

B. Optimierung des Anlagenbetriebs / -ausbaus

Die Ergebnisse der ersten Projektphase 2011 – 2014 haben zwar die grundsätzliche gute Funktionalität der Versickerungsanlage gezeigt, die sich an verschiedenen Punkten aber noch als optimierungsfähig erwies:

1. Optimierung / Erhöhung der Volumenbeaufschlagung des Pflanzbeets

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass das Leistungspotenzial der Anlage zur Versickerung noch nicht voll ausgeschöpft wurde. Durch den hier skizzierten Untersuchungsschritt sollen die maximalen Versickerungskapazitäten des Pflanzbeetes und deren Einfluss auf die Vitalität der Vegetation ermittelt werden.

2. Maximale Beaufschlagung des Biobeds mit anschließendem Abschlag Ende Biobed / Pflanzbeet

Die Ergebnisse der ersten Projektphase 2011 - 2014 haben gezeigt, dass die wesentlichen Prozesse vor allem zur Reduzierung bzw. Elimination von PSM-Rückständen im Biobed erfolgen, das diesbezügliche Leistungspotenzial des Biobeds aber noch nicht ausgeschöpft scheint. Zur Ermittlung, welche Dränwassermengen bei hinreichender Reinigungsleistung maximal über das Biobed geschickt werden können, werden mehrere

„Leistungsversuche“ mit sukzessiv zunehmenden Beaufschlagungsmengen bei definierter PBSM-Konzentration durchgeführt.

3. Abschlagsmanagement

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass - in Abhängigkeit von den Witterungs- und Bewirtschaftungsbedingungen - die PSM- und Nitrat-Konzentrationen im abfließenden Dränwasser bei intensiven Abflussereignissen relativ schnell zurückgehen, ohne diesen Zusammenhang quantifizieren zu können. Es sollte geprüft werden, inwieweit dieser Zusammenhang geeignet ist, Maßzahlen als Orientierungswerte zu entwickeln, innerhalb welches Zeitraumes nach einem Starkregenereignis anfallendes Dränwasser primär über die Anlage bzw. in den Speicher geleitet werden sollte, bzw. ab wann bei Kapazitätsproblemen weitestgehend gefahrlos in den Vorfluter abgeschlagen werden kann.

C. „Lebensleistung“ Biobed und Entsorgung des Bio-Materials

Früher oder später werden die ins Biobed eingebrachten organischen Materialien ihr Potenzial zur Sorption bzw. zum Abbau von Schadstoffen verlieren, sei es durch sukzessive Belegung von Sorptionsplätzen oder durch Abbau und Mineralisation der organischen Substanz. In diesem Projektabschnitt soll untersucht werden, nach welchem Zeitraum die Reinigungsleistung des Biobedsubstrates nachlässt und es entfernt bzw. ausgetauscht werden muss. Zu diesem Zweck werden Analysen des organischen Materials auf PSM-Rückstände durchgeführt und die Möglichkeiten einer Entsorgung sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen recherchiert.

D. Entwicklung der eingeleiteten (Schad-)Stofffrachten (PSM, Nitrat) im Vorfluter

Da es im beantragten Projektzeitraum regelmäßig zu einem Abschlag bzw. einer Einleitung von Dränwässern, die von der Versuchsfläche abfließen, und der darin enthaltenen PSM- und Nitratfrachten in den für diesen Zweck genutzten Graben kommen wird, soll geprüft werden, wie sich die eingeleiteten PSM- und Nitratkonzentrationen im weiteren Fließverlauf dieses Kleingewässers entwickeln.

E. Speichererweiterung

Der derzeit der Anlage vorgeschaltete Speicher („Vorlagespeicher“) hat ein Fassungsvermögen von ca. 123 m³. Die bisherigen Ergebnisse zum Dränwasseranfall zeigen, dass dieser Speicher zu klein ist, um unter allen Bedingungen das anfallende Dränwasser aufzufangen. Durch eine Auswertung der in den anderen Untersuchungsschritten erhobenen Daten soll die Frage nach der optimalen Größe eines Speicherbeckens unter Berücksichtigung der pro Zeiteinheit anfallenden Dränwassermengen, der in ihnen enthaltenen Schadstofffrachten bzw. -konzentrationen sowie der Ansprüche und Sachzwänge der gartenbaulichen Praxis beantwortet werden.

F. Kreislaufführung von Dränwässern durch Wiedereinspeisung in den Bewässerungskreislauf

Im Rahmen einer kleineren Literaturstudie zum aktuellen Kenntnisstand wird auf einer überschlägigen, theoretischen Ebene geprüft, ob die Wiedereinspeisung von Dränwässern in den Bewässerungskreislauf eine Alternative zu der hier betriebenen Versuchsanlage darstellen kann.

1.3 Kurze Zusammenfassung der Erststudie 2011 - 2014

Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Ergebnisse aus der ersten Projektphase 2011 – 2014 wiedergegeben. Für die Detailergebnisse dieser Studie wird auf den entsprechenden Abschlussbericht der Untersuchung verwiesen (IWW 2014):

Die Untersuchungen fanden statt am Beispiel einer gartenbaulich als Container-Stellfläche überwiegend für die Produktion von *Calluna vulgaris* (Besenheide) genutzten Fläche. Es wurde ermittelt, welche Dränwassermengen unter den gegebenen Bewirtschaftungs- und Witterungsbedingungen von der ca. 1 ha großen Versuchsfläche im Zeitverlauf anfallen und welche Nitrat- und PSM-Frachten bzw. -konzentrationen darin enthalten sind. Die bisher neben der Versuchsfläche liegende Versickerungsmulde, in der die abfließenden Dränwässer eingeleitet wurden, wurde im Herbst/Winter 2011/12 zu einem Mehrkammersystem aus Vorlage-speicher (ca. 120 m³), Biobed (ca. 150 m²) und Pflanzbeet (ca. 90 m²) umgestaltet. Zur Vermeidung von Verzerrungen der Messergebnisse durch Austrocknung und/oder Niederschlagszufluss wurde das Biobed im Frühsommer 2012 überdacht. Das Biobed wurde zu diesem Zweck im Frühjahr 2012 mit einem organischen Substrat aus Stroh-, Holzhackschnitzeln und Weisstorf sowie (zur biologischen Aktivierung) aus Mutterboden aufgefüllt (ca. 80 m³). Im Dezember 2013 wurde dieses Substrat nach Setzungs- und Mineralisierungsprozessen einmal ergänzt. Das Pflanzbeet wurde in 2012 angelegt und nach Entwicklungsproblemen vor allem des Chinaschilfs im Juni 2012 und Juli 2013 nachgepflanzt. Anschließend entwickelte sich der Pflanzenbewuchs plangemäß und üppig.

Die Untersuchungen begannen im November 2011 und wurden im Juli 2014 abgeschlossen. Kontinuierliche Messungen zu den anfallenden Dränwassermengen sowie zu den relevanten Qualitätsparametern an verschiedenen Beprobungspunkten der Versickerungsanlage konnten jedoch erst ab Mai 2012 durchgeführt werden, da die Witterung im Winter 2011/12 die abschließende Installation der benötigten Messtechnik verzögerte.

Insgesamt fielen im gesamten Messzeitraum (Mai 2012 - Juli 2014) ca. 20.600 m³ Niederschlag auf die Versuchsfläche, weitere ca. 12.800 m³ wurden auf der Fläche verregnet. Im

Messzeitraum flossen insgesamt, ca. 18.800 m³ Dränwasser von der Fläche ab. Davon konnten ca. 27 % über die Anlage geleitet werden.

Die Messungen zur Entwicklung der (Drän-)Wasserbeschaffenheit an den verschiedenen Beprobungspunkten der Anlage erfolgten im ca. 5-wöchentlichen Rhythmus. Zur Abschätzung der transportierten Nitrat- und PSM-Frachten wurden die Werte zwischen den Beprobungszeitpunkten als Tageswerte linear interpoliert.

Die Nitratkonzentrationen im abfließenden Dränwasser schwankten stark in Abhängigkeit von den praktizierten Bewirtschaftungsmaßnahmen. Es wurden Spitzenwerte von 600 mg NO₃ pro Liter im Dränabfluss gemessen. Die mit dem Dränwasser ins Biobed eingeleiteten N-Frachten konnten bis zum Pflanzbeet in den Sommerhalbjahren des Untersuchungszeitraumes auf 12 - 40 % abgebaut werden. Die mittleren Nitratkonzentrationen im Dränwasser am Ende des Pflanzbeetes wurden auf unter 50 mg/l gesenkt.

Die in den Dränwässern nachgewiesenen PSM-Konzentrationen wiesen große Schwankungen mit Spitzenwerten von > 200 µg/l (beim Wirkstoff Metribuzin) auf.

Während der Passage durch die Versickerungsanlage erfolgt praktisch ein vollständiger Rückhalt der mit den Dränwässern eingeleiteten PSM-Wirkstoffe (Ausnahme: Metribuzin), vor allem im Biobed. Die Versuchsergebnisse zeigen somit einen sehr guten PSM-Rückhalt in der Versickerungsanlage (vor allem im Biobed) von ca. 80 % (inkl. Metribuzin) bzw. bis zu 98 % (ohne Metribuzin).

Die Antworten der wesentlichen 5 Versuchsfragen werden somit wie folgt zusammengefasst:

1. **Umgestaltung der Versickerungsmulde:** Die Umgestaltung der Versickerungsmulde war insgesamt erfolgreich. Die Versickerungsleistung des Pflanzbeetes (90 m²) ist unter den standörtlichen Bedingungen jedoch unbefriedigend. Das Biobed scheint für die angeschlossene Fläche hinreichend groß. Das Volumen des Vorlagespeichers könnte grundsätzlich größer sein.
2. **Kennzahlen zur Dimensionierung einer Versickerungsanlage:** Der Dränwasseranfall erfolgt zu 90 - 95 % als Folge von Niederschlagsereignissen. Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit der Anlage durch das Pflanzbeet beschränkt wird (mangelnde Versickerungsleistung). Grundsätzlich könnte die gesamte anfallende Dränwassermenge über das Biobed geschickt und hier zumindest die PSM-Fracht reduziert werden. Allerdings konnte auf Basis der bisherigen Untersuchungen noch nicht abschließend festgestellt werden, wie deutlich erhöhte Beaufschlagungsraten und Durchflussgeschwindigkeiten die Abbauleistung des Biobeds für PSM-Wirkstoffe beeinflussen.

3. **Erfassung der N-Frachten und -konzentrationen:** Die Erfassung der N-Frachten gelang mit dem Versuchsaufbau und Messkonzept gut. Der N-Austrag aus der Produktionsfläche erfolgt sehr zeitnah nach der jeweiligen Düngung, also weit überwiegend während der Bewirtschaftungs-/Vegetationsperiode. Während der Passage der Dränwässer durch die Versickerungsanlage konnten die eingeleiteten N-Frachten auf ca. 12 - 40 % reduziert werden, sodass die über die hydrologischen Halbjahre gemittelten Nitratkonzentrationen im Pflanzbeet überwiegend unter 50 mg/l lagen.
4. **Erfassung PSM-Frachten und -konzentrationen:** Ca. 80 - 90 % der über die Anlage geleiteten Wirkstofffracht wurden (v. a. im Biobed) zurückgehalten. Der herbizide Wirkstoff Metribuzin war sowohl in Konzentration, Fracht als auch Eliminationsgrad in der Anlage der Problemwirkstoff; ohne Berücksichtigung des Wirkstoffs Metribuzin konnte die PSM-Konzentration im Pflanzbeet vor Versickerung auf mittlere Werte von 0,5 - 1,5 µg/l reduziert werden, was einer Reduzierungsleistung von ca. 95 - 98 % entspricht.
5. **Alternative, technische Aufbereitungsverfahren:** Sowohl zur Entfernung von Nitrat als auch von Pflanzenschutzmitteln aus Wässern stehen grundsätzlich eine Reihe von technischen Aufbereitungsverfahren zur Verfügung. Allen technischen Alternativen ist jedoch zu Eigen, dass für ihre Verwendung in den hier diskutierten Zusammenhängen keine oder nur geringe Erfahrungen vorliegen und/oder praxisrelevante Lösungen zur Verfügung stehen.

2 Material und Methoden

2.1 Beschreibung des Projektbetriebes

Die Untersuchungen in dieser zweiten Projektphase 2014 – 2017 werden an der Projektanlage am südlichen Rand des Wasserschutzgebiets Kevelaer-Keylaer (WSG) im Kreis Kleve fortgesetzt.

Der Projektbetrieb bewirtschaftet eine Freilandfläche von rd. 10 ha sowie rd. 2 ha Gewächshausfläche. Unter Glas werden im Schwerpunkt *Cuphea hyssopifolia* (Japanische Myrte, falsches Heidekraut) kultiviert, im Freiland *Calluna vulgaris* (Besenheide). Ca. 8,6 ha Freilandfläche und 1 ha Gewächshausfläche liegen im Wasserschutzgebiet.

Von den Freilandflächen werden ca. 2 ha als sog. Container-Stellfläche bewirtschaftet. Ein Hektar dieser Fläche wird für die Produktion von Callunen-Jungpflanzen genutzt. Sie befindet sich im WSG und ist als Projektfläche mit angeschlossener Biofilteranlage Gegenstand dieser Untersuchungen.

Die Containerstellfläche ist wie folgt aufgebaut: Auf den in den Boden eingefrästen Drainagerohren wurde eine Lava-Gesteinsschicht mit einer Schichtstärke von ca. 10 cm aufgebracht. Als Abschluss dient ein Maypex-Bändchengewebe, auf dem die Topfpflanzen aufgestellt werden.

Die Drainagerohre enden in einem Sammelschacht, an dem sich zum einen der Anschluss an einen Notüberlauf zum Vorfluter und zum anderen die Biofilteranlage anschließen.

2.2 Nutzung der Versuchsfläche

Auf der Projektfläche werden die mehrjährigen *Calluna vulgaris* (Besenheide) kultiviert. Im Projektzeitraum von 2015 bis 2017 wurden die Jungpflanzen in den Monaten Juni bis Juli in 12 cm Töpfe getopft und „Topf an Topf“ mit ca. 80 Töpfe/qm auf der Fläche ausgestellt.

Im Mai-Juni des Folgejahres werden die Callunen in Paletten gesetzt und auf gewachsenen Boden im Freiland breitgesetzt.

Im gesamten Betrachtungszeitraum wurden auf allen 12 Beeten der Versuchsfläche Jungpflanzen getopft, das entspricht einer 100%igen Nutzung der Beete. Durch den engen Topf-Abstand auf der gesamten Fläche ergibt sich eine hohe Ausnutzung /Beet und in Bezug auf die 12 Beete eine insgesamt hohe Flächenausnutzung (s. Abbildung 1).

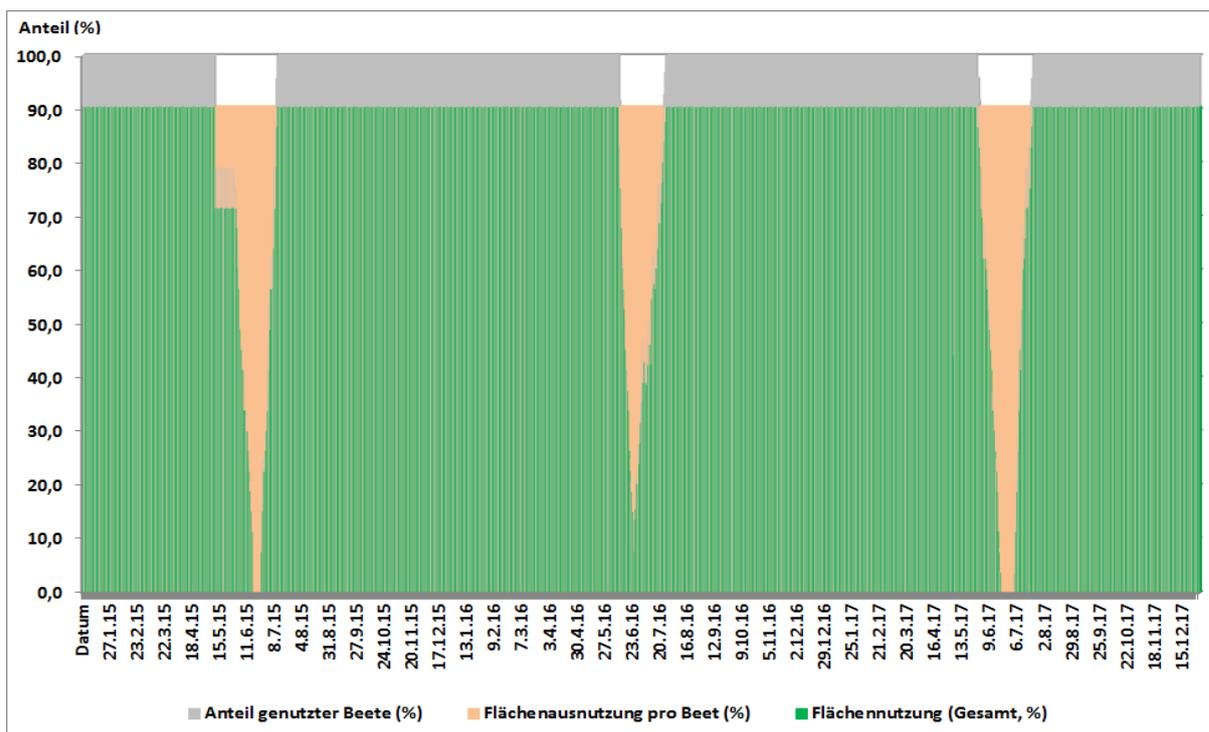


Abbildung 1: Grafische Darstellung der Flächennutzung

Im Juni 2016 konnte das Breitsetzen der Pflanzen bedingt durch die hohen Niederschläge nicht wie geplant durchgeführt werden. Die Freilandflächen, die als Folgestandort vorgesehen waren, waren nicht befahrbar. Daher wurden auf einigen Beeten die Jungpflanzen zwischen gerückt, bevor sie dann in Paletten breitgesetzt wurden.

Während die Callunen-Jungpflanzen auf der Projektfläche stehen, werden regelmäßig Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

Die Verteilung von Nährstoffen und Bewässerungswasser über die Kultur erfolgt über zwei Gießwagen. Zu Projektbeginn war ein Gießwagen mit Tüllen und der andere mit einem Brauserohr ausgestattet. In 2016 wurden beide Gießwagen mit Flachstrahldüsen ausgerüstet.

Über diese Gießwagen erfolgt auch über ein separat angebrachtes Spritzgestänge die Ausbringung der Pflanzenschutzmittel.

In der folgenden Tabelle sind die Zeiträume zwischen Topfbeginn und Räumung der Fläche für die vier Jungpflanzenkulturen im Projektzeitraum aufgeführt. Mit der Bewässerung wurde mit der angegebenen Häufigkeit jede Jungpflanzenkultur mit einer Konzentration von 1 g/l Hakaphos Soft Elite (NPK 24-6-12) flüssig nachgedüngt (Tabelle 1: Übersicht über die im Projektzeitraum erfolgten Düngegaben in der jeweiligen Jungpflanzenkultur).

Bereits zum Topftermin wurden ins Substrat $0,5 \text{ kg/m}^3$ eines Mehrnährstoff-Depotdüngers (MND) (NPK = 11-11-18) und eines Phosphor betonten MND (NPK= 10-52-10) als Grund- bzw. Startdüngung eingemischt.

Tabelle 1: Übersicht über die im Projektzeitraum erfolgten Düngegaben in der jeweiligen Jungpflanzenkultur

Jahr	Kultur	Düngemittel	Menge (g/l)	Häufigkeit
				Zeitraum der Maßnahme
2014/2015	Jungpflanzenkultur 2014/2015	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	1	19
	14.6.14 bis 16.6.15 ¹⁾			22.7.2014 bis 22.5.2015
2015/2016	Jungpflanzenkultur 2015/2016	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	1	16
	25.6.15 bis 28.6.16			28.6.15 bis 22.6.16
2016/2017	Jungpflanzenkultur 2016/2017	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	1	9
	25.6.16 bis 19.6.17			22.7.16 bis 30.5.17
2017/2018	Jungpflanzenkultur 2017/2018	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	1	4
	ab 3.7.17			29.8.17 bis zum 30. November
1) Zeitraum vom Topfbeginn bis Ende des Räumens der Fläche				

Die auf der Untersuchungsfläche durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen sind in Tabelle 2 aufgeführt. In 2015 wurde aufgrund des milden Frühjahrs bereits im März die erste Fungizidmaßnahme durchgeführt. In den darauf folgenden Jahren wurden im April erste Herbizid- und Fungizidbehandlungen durchgeführt. Die letzten Maßnahmen im Jahr erfolgen im Oktober.

Tabelle 2: Übersicht über die im Projektzeitraum durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen

Kultur	Jahr	Anwendungsdatum	Mittel	Wirkstoff	Wirkstoffgehalt	Einheit	ausgebrachte Menge		
							Mittel (kg bzw. l/ha)	Wirkstoffmenge (g/ha)	
JP.Kultur 2014/ 2015	2014	11.10.2014	Epok	Fluazinam	400	g/l	0,4	160	
				Metalaxyl-M	193,6	g/l	0,4	77,44	
		28.10.2014	Karate Zeon	lambda-Cyhalothrin	100	g/l	0,075	7,5	
		28.10.2014	Dithane Neo Tec	Mancozeb	750	g/kg	2,0	1.500	
	2015	17.03.2015	Malvin WG	Captan	800	g/kg	1,8	1.440	
		17.04.2015	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,45	315	
		20.04.2015	Gallant Super	Haloxyfop-P	104	g/l	1,2	125	
		23.04.2015	Aramo	Teraloxy-dim	50	g/l	0,5	25	
		04.05.2015	Signum	Boscalid	267	g/kg	1,5	401	
				Pyraclostrobin	67	g/kg	1,5	101	
		23.05.2015	Malvin WG	Captan	800	g/kg	1,8	1.440	
		29.05.2015	Epok	Fluazinam	400	g/l	0,4	160	
				Metalaxyl-M	193,6	g/l	0,4	77	
JP.Kultur 2015/ 2016	2015	12.10.2015	Mogeton Top	Quinoclamid	500	g/kg	7,5	3.750	
		27.10.2015	Epok	Fluazinam	400	g/l	0,4	160	
				Metalaxyl-M	193,6	g/l	0,4	77	
	2016	16.04.2016	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,4	280	
		07.06.2016	Mirage 45 EC	Prochloraz	450	g/l	1,2	540	
		07.06.2016	Epok	Fluazinam	400	g/l	0,4	160	
				Metalaxyl-M	193,6	g/l	0,4	77	
		24.06.2016	Luna Sensation	Fluopypyram	250	g/l	0,4	100	
				Trifloxystrobin	250	g/l	0,4	100	
JP.Kultur 2015/ 2016	2016	30.06.2016	Signum	Boscalid	267	g/kg	1,5	400,5	
				Pyraclostrobin	67	g/kg	1,5	100,5	
		05.08.2016	Mirage 45 EC	Prochloraz	450	g/l	1,2	468	
		07.08.2016	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,4	280	
		12.09.2016	Dithane Neo Tec	Mancozeb	750	g/kg	2,0	1.500	
		17.09.2016	Switch	Fluodoxinil	250	g/kg	1	250	
	2017				Cyprodinil	375	g/kg	1	375
		29.09.2016	Gallant Super	Haloxyfop-P	104	g/l	1,2	125	
		08.10.2016	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,15	105	
		31.10.2016	Malvin WG	Captan	800	g/kg	1,8	1.440	
		10.04.2017	Malvin WG	Captan	800	g/kg	1,8	1.440	
		18.04.2017	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,185	129,5	
		08.05.2017	Polyram WG	Metiram	700	g/kg	2	1400	
		24.05.2017	Mirage 45 EC	Prochloraz	450	g/l	1,2	540	
JP.Kultur 2017/ 2018	2017	31.05.2017	Cercobin fl.	Thiophanat-Methyl	500	g/l	1	500	
		03.07.2017	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,6	420	
		08.07.2017	Rovral WG	Iprodion	750	g/kg	0,7	525	
		02.08.2017	Polyram WG	Metiram	700	g/kg	2	1400	
		07.08.2017	Epok	Fluazinam	400	g/l	0,4	160	
				Metalaxyl-M	193,6	g/l	0,4	77	
		14.08.2017	Amistar Opti	Azoxystrobin	80	g/l	2,5	200	
				Chlorthalonil	400	g/l	2,5	1000	
		24.08.2017	Dithane Neo Tec	Mancozeb	750	g/kg	2,0	1.500	
		31.08.2017	Mirage 45 EC	Prochloraz	450	g/l	1,2	540	
06.09.2017	Sencor WG	Metribuzin	700	g/kg	0,4	280			
16.10.2017	Dithane Neo Tec	Mancozeb	750	g/kg	2,0	1.500			
19.10.2017	Gallant Super	Haloxyfop-P	104	g/l	1,2	125			

Im Kulturverlauf werden die Callunen mehrmals gestutzt, d.h. die Triebspitzen werden maschinell auf eine bestimmte Höhe zurück geschnitten. Durch die regelmäßigen Stutzmaßnahmen werden die Pflanzen im Aufbau dichter und gleichmäßiger in der Länge der Triebe.

2.3 Auf- bzw. Umbau der Versuchsanlage

Die Dränagewässer von der Projektfläche fließen in einen Sammelschacht. Von dort werden diese zum einen in den Biofilter gepumpt. Dieses dreiteilige System (s. Anlagenübersicht in Abbildung 2) besteht aus der sog. Vorlage, einem Biobed und einem Pflanzenbereich. Die Vorlage besteht aus einem Wasserspeicher mit einem Fassungsvermögen von rd. 123 m³. Daran schließt sich das Biobed von einer Größe von rd. 150 m² an. Dieses Biobed ist eine durch eine Folie nach unten abgeschlossene Mulde, in welches 2011 eine Substratmischung aus Strohhäcksel, Holzhackschnitzel, Torf und Mutterboden mit einer Schichtstärke von rd. 0,5 m eingebracht wurde. In 2012 wurde über dem Biobed ein Dach installiert.

Das Dränwasser, welches aus dem Schacht zunächst in den Speicher gepumpt wird, wird anschließend aus dem Speicher mittels einer Düsenrohrbewässerung über dem Biobed verteilt. Im Biobed finden die Nitrat- und Pflanzenschutzmittel (PSM) Abbau- bzw. Adsorptionsprozesse statt.

Über eine Drainage im Biobed wird das Dränwasser in einen Sammelschacht abgeführt und von dort in ein rd. 89 m² umfassenden Pflanzenbereich gepumpt und über Tropfschläuche verteilt. Dieser nach unten offene Bereich dient zur Versickerung. Hier sind Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*), schmalblättriger Rohrkolben (*Typha angustifolia*), Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) und gelbe Schwertlilie (*Iris pseudacorus*) angepflanzt.

Entsprechend der Anlagenübersicht wurden zwei Pumpen im Schacht, eine dritte zwischen Vorlage und Biobed, eine vierte zwischen Biobed und Pflanzenbereich sowie eine fünfte vom Pflanzbereich zum Schacht als Abschlagsmöglichkeit (P1-P5) installiert. Neben den Pumpen wurden an den Übergängen EC-Sensoren (EC 2-6) und Wasseruhren als Literzähler (L2-L6) installiert.

Zudem erfasst eine Wetterstation die Klimadaten am Standort (u.a. Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung) sowie ein Regenmesser (R1) die Niederschläge.

Die Anlage ist derzeit so konzipiert worden, dass pro Tag durchschnittlich eine Dränwassermenge von 14,5 m³ über die Anlage geleitet werden kann.

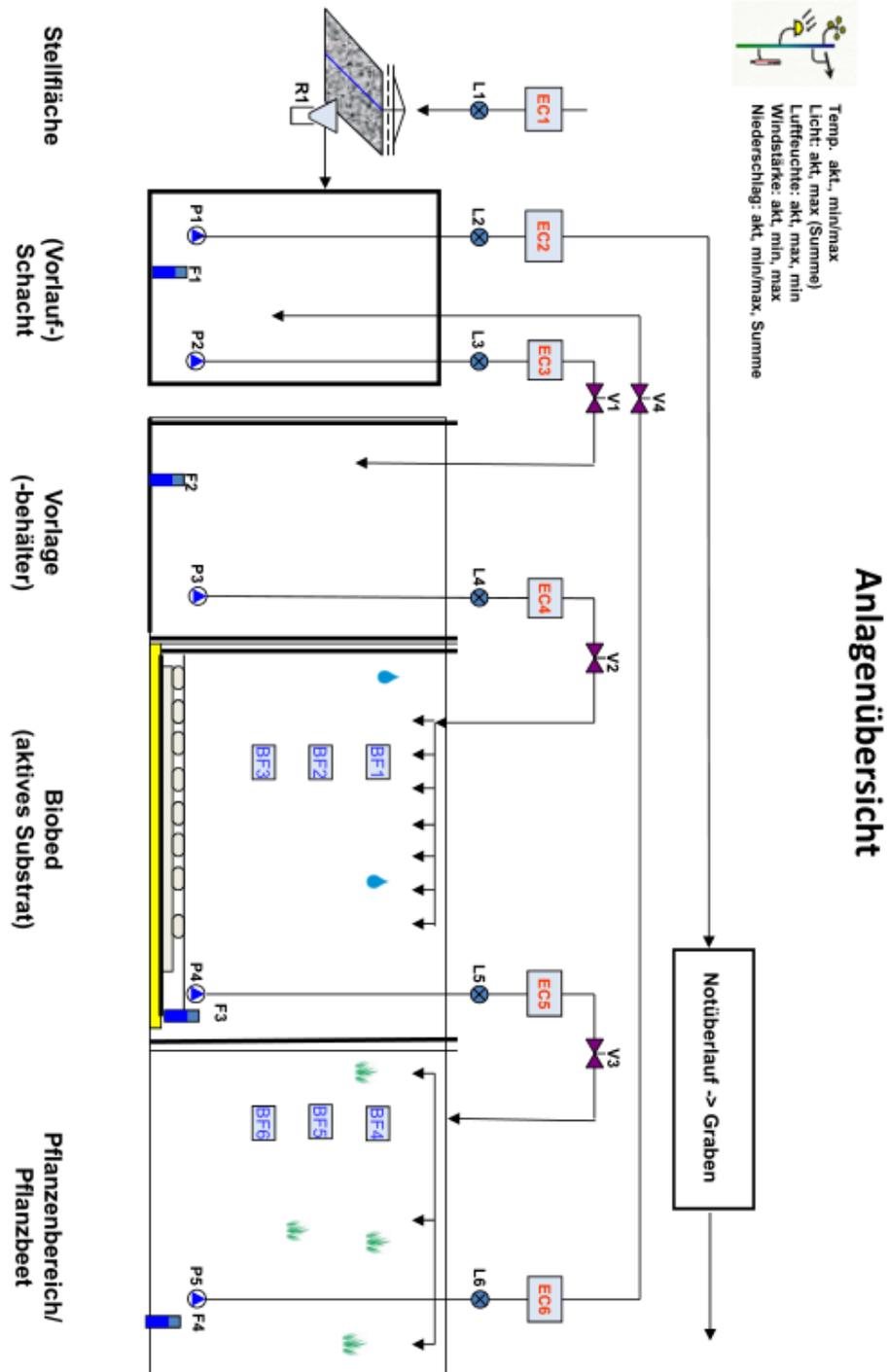


Abbildung 2: Schematische Übersicht über die dreistufige Anlage bestehend aus Vorlage, Biobed und Pflanzenbereich

(L1 bis L6: Literzähler/Wasseruhren, EC1 bis EC6: EC-Sensoren, R1: Regenmesser, P1 bis P5: Pumpen, F1 bis F4: Füllstandssensoren, BF1 bis BF6: Bodenfeuchtefühler, V1 bis V4: Ventile)

Zur Prüfung der maximal möglichen täglichen Beaufschlagungsmengen auf das Biobed wurden diese Mengen für die in den in Kapitel 0 und 3.4.3 beschriebenen Leistungsversuchen Biobed auf bis zu 250 m³/d angehoben. Hierzu musste die technische Ausstattung der Anlage jeweils den beaufschlagten Mengen entsprechend angepasst werden. D.h. im ersten Schritt wurde zunächst eine leistungsstärkere Pumpe zwischen Vorlage und Biobed installiert sowie zwei zusätzliche Düsenstränge auf dem Biobed angeschlossen. Im späteren Verlauf wurde eine zusätzliche Abschlagsmöglichkeit direkt vom Biobed aus geschaffen.

Bei Tagesmengen ab 200 m³ wurde ein zweites Bewässerungssystem mit Düsenrohren unter dem Dach des Biobeds mit einer zusätzlichen Pumpe in der Vorlage und ein zweites Abschlagsrohr aus dem Biobed angebracht (Abbildung 3).

Nach der Durchführung der jeweiligen Leistungsversuche Biobed wurde die Anlage wieder in den normalen Betriebszustand zurück versetzt, d.h. das 2. Bewässerungssystem und der Ablauf direkt aus dem Biobed wurden wieder abgekoppelt. Der Pflanzenbereich als Versickerungsfläche wurde wieder in das Biofiltersystem integriert.

Im Frühjahr 2017 wurde das Dach über dem Biobed deinstalliert, u. a. um weitere Erkenntnisse hinsichtlich eines dann zu erwartenden Bewuchs des Biobeds mit Wildkräutern und des Einflusses auf die gewählten Bewässerungsverfahren zu gewinnen.



Abbildung 3: Installation eines 2. Bewässerungssystems für die Leistungsversuche Biobed (zur Beaufschlagung von Dränwassermengen von bis zu 250 m³/d)

2.3.1 Biobeds substrat

Das Biobeds substrat (75 m³) wurde Ende 2011 in die Anlage eingebracht. Das Ausgangssubstrat bestand aus ca. 33,3 % Strohhäcksel, 33,3 % Holzhackschnitzel, 11,1 % Mutterboden und 22,2 % Torf. Ende 2013 war bereits eine deutliche Sackung des Substrates zu beobachten, sodass 40 m³ Substrat der Ausgangsmischung nachgefüllt wurde.

Im 2017 konnte in den durchgeführten Leistungsversuchen eine weitere Abnahme der Dränfähigkeit des Biobeds beobachtet werden. Daher stellte sich die Frage, ob die Dränfähigkeit des Substrats durch Zusatz von Vulkangestein-Lavagestein langfristig erhalten werden kann. Hierzu wurden mittels entsprechender Substrat-Probemischungen erste Untersuchungen durchgeführt.

Zu diesem Zweck wurde einerseits im April 2017 aus dem Biobed Substrat entnommen und mit unterschiedlichen Mengen Lava vermischt: 10, 30, 50 % Zumischung von Lavagestein der Körnung 8-11 mm und eine Variante mit der Zumischung von 50 % Lavagestein der Körnung 0-11mm.

Bei der LUFA Nordwest wurde diese Substratmischungen zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften mit den Methoden untersucht, die für die Substratuntersuchung im Topfpflanzenbau üblicherweise eingesetzt werden. Spezielle Untersuchungsmethoden für diese Biobeds substrate sind nicht bekannt.

Weiterhin wurde in 2017 ein Tastversuch mit zwei Substratmischungen durchgeführt, deren Zusammensetzung in Tabelle 3 dargestellt ist.

Ausgangsmaterial	Mischung 1	Mischung 2
Substrat aus Biobed	33,3 %	30%
Holzhackschnitzel	33,3 %	60%
Lava	33,3%	10%

Tabelle 3: Zusammensetzung zweier Substratmischungen zur Prüfung im Tastversuch

Beide Mischungen wurden in je einen Topf gefüllt, ins Biobed eingebaut, wie der Rest der Biobedfläche mit Rindenmulch gegen Unkrautbewuchs abgestreut und dem Anlagenbetrieb ausgesetzt. Im Januar 2018 wurden beide Töpfe ausgebaut und Substratproben durch die

LUFA Nord-West (Oldenburg) auf verschiedene physikalische Parameter sowie die N-Bindung nach Zöttl untersucht. Hierzu wird ein Brutversuch durchgeführt, bei dem das Substrat zunächst auf einen pH-Wert eingestellt wird. Danach wird dem Substrat eine definierte Menge Stickstoff zugesetzt und anschließend an zwei Terminen zur Ermittlung der N-Bindung (durch Abbau oder mikrobielle Immobilisierung) die mineralische N-Restmenge analysiert. Diese Methoden werden üblicherweise bei der Analyse von Topfsubstrat angewandt.

In Anlehnung an die FFL Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen wurde zusätzlich die Wasserdurchlässigkeit bestimmt.

2.4 Datenerfassung / Messkonzept

Sämtliche über die Pumpen, Füllstands- und EC-Sensoren, Wasseruhren, Feuchtefühler und die Klimastation gemessenen Daten werden als Minutenwerte elektronisch erfasst und über eine entsprechende Software auf einem Computer am Betriebsstandort gespeichert. Die Software bzw. die hier abgelegten Daten können per Fernwartung abgefragt und ausgewertet werden.

Analog zum ersten Projektabschnitt werden die Klimadaten, die Dränwassermengen sowie die qualitative Beschaffenheit der Dränwassermengen fortgeschrieben.

2.4.1 Klima, Bewirtschaftung, Volumenströme

Bei den Klimaparametern wurde u.a. die relative Luftfeuchte und Temperatur (14.00 Uhr) über eine Wetterstation am Betrieb sowie die Niederschläge über einen separaten Sensor an der Projektfläche erfasst.

Daneben haben die Stadtwerke Kevelaer ihre Niederschlagsdaten von den vier Messstationen im Wasserschutzgebiet u.a. zur Plausibilitätsprüfung zur Verfügung gestellt.

Die Daten zur Bewirtschaftung der Versuchsfläche sowie zum Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, wurden regelmäßig vom Projektbetrieb zur Verfügung gestellt.

Zur Ermittlung der täglichen Wasserflüsse an den verschiedenen Anlagenkompartimenten wurden zunächst die Minutenwerte der Literzähler/Wasseruhren auf Plausibilität geprüft und daraus die Tagesmengen ermittelt.

Da bei den Literzählern (Wasseruhren) im Laufe des 2. Projektabschnittes zunehmend Verschleißerscheinungen auftraten, wurden die Dränwassermengen/Volumenströme ersatzweise

über die Pumpenlaufzeiten ermittelt. In den Leistungsversuchen Biobed und in den Wintermonaten wurden die beaufschlagten Mengen über die Füllstände in der Vorlage berechnet.

2.4.2 Hydrochemie

Das Konzept zur Messung der hydrochemischen Beschaffenheit der Dränwässer an den verschiedenen Messpunkten der Anlage wurde weitgehend wie in der Vorstudie 2011 – 2014 beibehalten, allerdings zu den Untersuchungspunkten „Abschlagsmanagement“, Leistungsversuch Biobed“ und „Beregnungsversuch“ wie nachfolgend beschrieben erweitert.

2.4.2.1 Dränwasserbeschaffenheit

Schon während der Versten Projektphase 2011 – 2014 wurde die qualitative Entwicklung der Dränwasserbeschaffenheit im Durchfluss durch die verschiedenen Anlagenkompartimente etwa im Monatsrhythmus untersucht. Sowohl die Probenahmestellen, der zeitliche Beprobungsrhythmus als auch das untersuchte Parameterspektrum wurden im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung zur Verdichtung der bisherigen Ergebnisse beibehalten und um zusätzliche Messungen in dem Vorfluter, in dem die Wässer eingeleitet wurden, erweitert. Die Wasseranalysen wurden durch das IWW Rheinisch-Westfälische Institut für Wasserforschung gGmbH durchgeführt. Beibehalten wurden weiterhin die kontinuierlichen Messungen zur Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit mit den bereits an verschiedenen relevanten Anlagepunkten installierten EC-Messfühlern (). Die Messwerte wurden elektronisch erfasst und standen für weitere Auswertungen zur Verfügung.

An folgenden Punkten der Versuchsanlage (siehe auch) wurden regelmäßig Proben entnommen:

- Vorlaufschacht („Vorlauf“): zur Ermittlung der Wasserbeschaffenheit der unmittelbar von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer;
- Vorlagebehälter („Vorlage“): Da der Vorlagebehälter unmittelbar mit dem Dränwasser aus dem Vorlageschacht gespeist wird, ist hier grundsätzlich die gleiche Wasserbeschaffenheit zu erwarten. Aufgrund seiner Speicherfunktion kommt es hier allerdings zu Mischungsprozessen, die die Wasserbeschaffenheit modifizieren (können);
- Biobed („Biobed“): zur Erfassung der Wasserbeschaffenheit am „Ende“ des Biobeds, bevor es ins Pflanzbeet gepumpt wird;

- Pflanzbeet („Pflanzbeet“): Entnahmepunkt im Pflanzbeet zur Erfassung der durchschnittlichen Wasserbeschaffenheit nach Versickerung in die unterhalb des Pflanzbeetes liegende Dränageschicht.
- Beregnungsbrunnen („Bereg.-Br.“): An ein bis zwei Terminen pro Untersuchungs Jahr wurde weiterhin auch das (aus dem Grundwasser) entnommene Beregnungswasser untersucht, um zumindest größenordnungsmäßig die grundwasserbürtigen und über das Beregnungswasser ausgebrachten Stofffrachten auf die Versuchsfläche berücksichtigen zu können.
- Vorfluter („Vorflut-1- 4“): An bis zu drei Terminen pro Untersuchungs Jahr wurde der Vorfluter (siehe Abbildung 4) beprobt, in den die „gereinigten“ bzw. bei hohem Dränwasseranfall überschüssigen Dränwassermengen abgeschlagen werden. Dieser wurde an insgesamt drei Stellen im Abstrom der Einleitung und an einer Stelle oberstromig der Einleitung beprobt (Abbildung 4). Ziel dieser Untersuchungen war es, die Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen (von Nitrat und PSM-Wirkstoffen) im Fließverlauf des Vorfluters analysieren. Im Verlauf der Untersuchungen zeigte sich allerdings, dass dieser Vorfluter als Folge von Trockenphasen häufiger kein Wasser führte und eine Beprobung in solchen Phasen nicht möglich war.

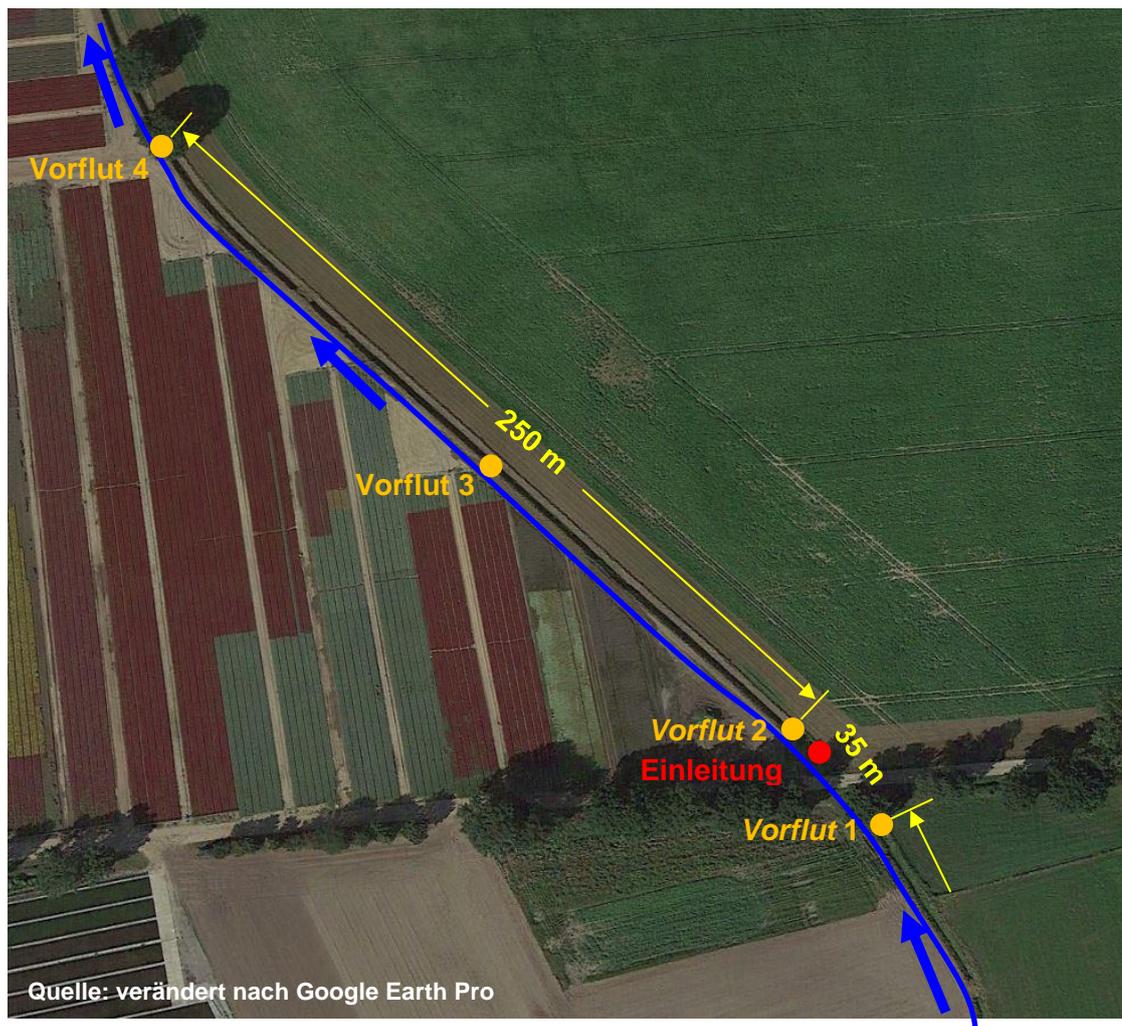


Abbildung 4: Probenahmestellen im Vorfluter

Entsprechend den Projektzielen galt es, insbesondere die Entwicklung der Wasserbeschaffensparameter (v. a. Nitrat und PSM-Rückstände) in den Dränwässern vom Abfluss aus der Untersuchungsfläche sowie im weiteren Fließverlauf durch die Anlage zu ermitteln. Darüber hinaus wurden die Wasserproben jedoch auch zu ihrer allgemeinen Charakterisierung vereinzelt auf weitere Parameterumfänge untersucht. In der nachfolgenden Aufstellung sowie in Tabelle 4 sind die untersuchten Parameterumfänge kurz beschrieben bzw. im Detail aufgelistet:

- $AC_{Standard}$: Umfang von überwiegend anorganischen Parametern zur allgemeinen Charakterisierung der physikochemischen Wasserbeschaffenheit;
- N-Parameter: Umfang von N-Parametern, insbesondere zur Beschreibung der Nitratentwicklung in den Wasserproben;
- PSM-Wirkstoffe „22er-Liste“: Umfang von PSM-Wirkstoffen, die vereinzelt im Beregnungswasser und teilweise in der Versuchsanlage gemessen wurden, um bereits mit

dem Beregnungswasser ausgebrachte PSM-Frachten im Fließverlauf durch die Anlage verfolgen zu können;

- PSM-Wirkstoffe "Gartenbau": Liste potenziell relevanter PSM-Wirkstoffe aus dem Parameterspektrum IWW, ergänzt um PSM-Wirkstoffe, die nach einer Zusammenstellung der Landwirtschaftskammer NRW, Versuchszentrum Gartenbau Straelen (2011) auf dem Versuchsbetrieb in den betrachteten Kulturen zum Einsatz kommen können.

Zusätzlich wurde der Wirkstoff Metalaxyl seit dem 8.8.2016 in allen Anlagekompartimente regelmäßig untersucht, da dieser des Öfteren auf der Versuchsfläche zum Einsatz kam.

Tabelle 4: Untersuchte Parameterumfänge

AC _{Standard}	N-Param.	PSM "22er-Liste"	PSM "Gartenbau"
Temperatur	Nitrat	Aldicarb	Azoxystrobin
elekt. Leitfähigkeit	Nitrit	Atrazin	Boscalid
pH-Wert	Ammonium	Bentazon	Carbendazim
SAK254		Bromacil	Cyprodinil
Redox-Potezial		Chloridazon	Fenhexamid
Sauerstoff		Chlortoluron	Flonicamid
Calcium		Clopyralid	Fluazinam
Magnesium		Diuron	Fludioxonil
Natrium		Endosulfan	Iprodion
Kalium		Isoproturon	Kresoximmethyl
Chlorid		MCPA	lamda-Cyhalothrin
Nitrat		Mecoprop	Metribuzin
Nitrit		Metazachlor	Pencycuron
Ammonium		Methabenzthiazuron	
Sulfat		Metobromuron	Pyraclostrobin
Phosphat, ges.		Metolachlor	
Eisen		Metoxuron	+Flusilazol
DOC		Propazin	+ Thiophanat-methyl
Ionenbilanz		Simazin	+Methiocarb
Säurekapazität		Terbuthylazin	+Imidaclopid
		+ Metalaxyl	
		+ DMS	

2.4.2.2 Leistungsversuche Biobed

Wie die bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, erfolgen die wesentlichen Prozesse zur Reduzierung bzw. Elimination von PSM-Rückständen im Biobed. Da wegen der limitierten Versickerungsleistung des Pflanzbeetes die Anlage im Versuchsbetrieb nur mit vergleichsweise geringen Dränwassermengen pro Tag beaufschlagt werden kann, wurden insgesamt 9 mal im Untersuchungszeitraum Versuche durchgeführt, mit der die maximal mögliche tägliche Beaufschlagungsmenge des Biobeds bei hinreichender Reinigungsleistung für PSM-Wirkstoffe erfasst werden sollte (Leistungsversuche Biobed).

Zu diesem Zweck wurde in teils mehrtägigen Versuchen das Biobed mit zunehmenden Wassermengen von 30 – 230 m³/Tag beaufschlagt (insgesamt jeweils 230 m³). Hierzu wurde der Vorlagebehälter (115 m³) jeweils 2 mal mit Unterstützung durch die Stadtwerke Kvelaer mit Trinkwasser aufgefüllt und dabei mit einer definierten Konzentration ausgewählter PSM-Wirkstoffe versetzt (siehe Tabelle 5). Ausgewählt wurden PSM-Wirkstoffe (bzw. die entsprechenden Pflanzenschutzmittel), die in der Voruntersuchung durch erhöhte Befunde in den abfließenden Dränwässern aufgefallen waren. Ausgewählt wurde weiterhin das Pflanzenschutzmittel Bandur mit dem Wirkstoff Aclonifen, da aktuelle Untersuchungen der Landwirtschaftskammer NRW darauf hindeuten, dass dieses Mittel bzw. dieser Wirkstoff eine Alternative zu dem Wirkstoff Metribuzin darstellen kann. Die Zielkonzentrationen, die für diese Leistungsversuche im Vorlagebehälter jeweils eingestellt wurden, orientierten sich an den in der Voruntersuchung bisher maximal beobachteten Dränwasser-Konzentrationen bzw. ergeben sich bei der Verwendung von Kombinationspräparaten für den jeweiligen Mischungspartner als resultierende Konzentration. Zur Kontrolle der eingestellten PSM-Konzentrationen wurde jede Vorlagenbefüllung vor Beaufschlagung auf das Biobed beprobt und analysiert. Im Ablauf des Biobeds wurde anschließend zeitversetzt jeweils insgesamt 3 mal die abfließenden Wässer beprobt und auf das entsprechende Wirkstoff-Spektrum untersucht. Die während dieses Leistungsversuches am Ende des Biobeds abfließenden Wässer wurden nicht mehr in das Pflanzbeet eingeleitet, sondern von hier direkt in den Vorfluter abgeschlagen.

Eine detaillierte Übersicht zu Terminen und Dauer dieser Leistungsversuche, den gewählten Beaufschlagungsmengen sowie den Beprobungsterminen ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 5: In den Leistungsversuchen Biobed verwendete PSM-Wirkstoffe (bzw. die entsprechenden Mittel) sowie die in der Vorlage eingestellten Zielkonzentrationen (rot: resultierende Konzentrationen für Mischungspartner bei Kombinationspräparaten)

Mittel	Wirkstoff	Zielkonzentration [µg/l]
Signum	Boscalid	100
	Pyraclostrobin	25
Epok	Fluazinam	20
	Metalaxyl-M	9,67
Rovral WG	Iprodion	45
Soncor WG	Metribuzin	210
Bandur*	Aclonifen	52

*Anwendung ab Okt.2016

Tabelle 6: Eckdaten der Leistungsversuche Biobed

Beaufschlagungs- menge [m³/d]	Versuchszeitraum	Datum	
		Aufkonzentration/ Beprobung Vorlage	Beprobung Biobed
30	26.05.2015 - 02.06.2015	26.05.2015	28.05.2015
		29.05.2015	29.05.2015
			02.06.2015
50	24.08.2015 - 28.08.2015	24.08.2015	26.08.2015
		26.08.2015	27.08.2015
			28.08.2015
80	05.10.2015 - 08.10.2015	05.10.2015	06.10.2015
		06.10.2015	08.10.2015
180	15.06.2016 - 20.06.2016	15.06.2016	16.06.2016
		16.06.2016	17.06.2016
			20.06.2016
200	30.08.2016 - 05.09.2016	30.08.2016	31.08.2016
		31.08.2016	01.09.2016
			05.09.2016
240	26.10.2016 - 31.10.2016	26.10.2016	27.10.2016
		27.10.2016	28.10.2016
			31.10.2016
160	23.05.2017 - 26.05.2017	23.05.2017	24.05.2017
		24.05.2017	25.05.2017
			26.05.2017
160	07.08.2017 - 11.08.2017	07.08.2017	08.08.2017
		08.08.2017	09.08.2017
			11.08.2017
100	14.11.2017 - 17.11.2017	14.11.2017	15.11.2017
		15.11.2017	16.11.2017
			17.11.2017

2.4.2.3 Abschlagsmanagement

Die Ergebnisse aus der ersten Projektphase 2011 – 2014 (vor allem zur EC-Wertentwicklung in den Dränwässern) ließen vermuten, dass es auch einen gegenläufigen Zusammenhang von Schadstoffkonzentrationen im von der Fläche abfließenden Dränwasser und der abfließenden Dränwassermenge gibt (z. B. nach Starkregenereignissen). Eine weitere Quantifizierung dieses Zusammenhanges gelang jedoch nicht. Da diese gegenläufige Abhängigkeit möglicherweise Ansatzpunkte zur Entwicklung eines Abschlagsmanagements bietet (direkter Abschlag der von der Fläche abfließenden Dränwässer, wenn von einem hinreichenden Belastungsrückgang ausgegangen werden kann), sollte dieser Zusammenhang näher untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde im Juni 2017 zur Simulation eines Starkregenereignisses ein „Bewässerungsversuch“ auf der Versuchsfläche durchgeführt.

2.4.2.4 Untersuchung des Biobed-Substrats

Zwei bis dreimal jährlich wurden aus dem Biobed Mischproben des Substrates (aus zwei Tiefen) entnommen und im IWW auf PSM-Rückstände untersucht (Parameterumfang PSM-Gartenbau, siehe auch Tabelle 4). Hierdurch sollte zum einen untersucht werden, ob es im Verlauf des Untersuchungszeitraumes zu einer Anreicherung von PSM-Rückständen im oder am Substrat kommt und hieraus ggfs. Erkenntnisse zur „Lebensleistung“ des Substrates abzuleiten sind. Weiterhin war davon auszugehen, dass entsprechende Ergebnisse im Falle eines Austausches des Biobed-Substrates von Bedeutung für dessen Entsorgung sind.

3 Ergebnisse

3.1 Bewirtschaftung der Versuchsfläche

Während der Kulturzeit wurden die Jungpflanzen regelmäßig bewässert und gedüngt (s. auch Kapitel 2.2.). Hierbei fällt die relative hohe Anzahl an Düngegaben (19) in der Jungpflanzenkultur (JP) im Bewirtschaftungsjahr 2014/2015 auf (Tabelle 1). Über diese mit der Bewässerung ausgebrachten flüssigen Düngegaben werden rd. 671 mg Stickstoff (N) /Pflanze bzw. 470 kg N/ha zugeführt.

Dabei wurden im ersten Kulturabschnitt direkt nach dem Topfen bis Ende Oktober, wie in den Folgejahren (mit Ausnahme der JP Kultur 2016/2017), vier bis sechs Düngegaben gegeben.

Aufgrund der relativ kühlen 2. Jahreshälfte 2014 sowie dem großenteils kalten 1. Quartal im Folgejahr fehlte es bis zum Frühjahr 2015 an Pflanzenzuwachs. Erst als Ende März die Temperaturen stiegen, konnte das Pflanzenwachstum mit Unterstützung weiterer Düngegaben gefördert werden, bis die Pflanzen nach mehrmaligem Stutzen eine gewünschte Zielgröße erreicht hatten und ab 10. Mai beginnend und Mitte Juni abschließend die Pflanzen breitgesetzt wurden.

In der JP-Kultur 2015/2016 wurden über die insgesamt 16 Düngegaben rd. 468 mg N/Pflanze zugeführt. Mit dieser Flüssigdüngung wurden rd. 328 kg N/ha Fläche ausgebracht. Hier sind die vergleichsweise späten Düngegaben Ende September und Ende Oktober auffällig, da bedingt durch die höheren Temperaturen die Pflanzen noch einen Nährstoffbedarf aufwiesen. Nach dem kühlen Frühjahr 2016, in dem erst im März die Temperaturen wieder deutlich ansteigen, wurde in 2016 erst im April mit der Düngung begonnen. Durch die Starkniederschläge Anfang Juni 2016 und die große Zahl an Niederschlagstagen in diesem Monat konnten die Jungpflanzen nicht wie geplant breit gesetzt werden. Die Flächen auf gewachsenem Boden konnten nicht vorbereitet werden, sodass Pflanzen z.T. nur auf der Containerfläche zwischengerückt bis Ende Juni auf der Fläche verblieben. Durch das späte Rücken waren im Juni noch weitere Düngegaben erforderlich.

Im Folgejahr 2016/2017 wurden die Düngegaben auf 9 reduziert. Allerdings wurde eine zusätzliche Startdüngung über das Substrat gegeben, die in den ersten Projektjahren in Form einer Flüssigdüngung mit der Bewässerung erfolgte. Es wurden insgesamt ca. 307 mg N/Pflanze bzw. ca. 215 kg N/ha gedüngt. Im Vergleich zu den Vorjahren wurden die Töpfe bereits ab Mai 2017 in einem vergleichsweise kompakten Entwicklungsstadium breitgesetzt.

Im Vergleich zum ersten Projektabschnitt 2011 – 2014 sind die Anzahl der N-Düngegaben im hier beobachteten Projektabschnitt mit denen der Jungpflanzenkulturen 2012/13 sowie 2013/14 vergleichbar.

Da das Wachstum sehr stark temperaturabhängig ist, kann der Pflanzenzuwachs in den einzelnen Monaten sehr unterschiedlich ausfallen. Im Kulturverlauf erfolgen zu relativ festen Terminen die Stutzmaßnahmen, aus denen dann Pflanzen hervorgehen, die im Vergleich zu den Vorjahren eine vergleichbare Größe besitzen. Durch Stutzmaßnahmen wird die Verzweigung der Triebe und damit ein dichter Habitus gefördert, daher werden diese selbst nach Phasen mit nur geringem Pflanzenzuwachs durchgeführt. Nach Phasen stärkeren Zuwachses wurden die Pflanzen entsprechend stärker zurück geschnitten.

Den nach Tabelle 1 errechneten ausgebrachten N-Düngermengen pro Jahr lässt sich nun der N-Entzug durch die kultivierten Pflanzen gegenüberstellen. Hierzu wurde die N-Aufnahme der Pflanzen überschlägig entsprechend ihrer Frischsubstanzmasse und darin enthaltener N-Mengen (nach Tabellenwerken) kalkuliert.

Demnach wurden von der Jungpflanzenkultur 2014/2015 ca. 400 mg N/Pflanze aufgenommen, von der Jungpflanzenkultur 2015/2016 ca. 253 mg N/Pflanze und von der Jungpflanzenkultur 2016/2017 ca. 200 mg N/Pflanze. Aus der Anzahl produzierter Pflanzen errechnet sich daraus jeweils eine N-Abfuhr pro ha und Jahr von 280 kg (2014/15), 178 kg (2015/16) bzw. 140 kg (2016/17).

Die tatsächliche N-Aufnahme durch die einzelne Pflanze bzw. der tatsächliche N-Entzug wird höher liegen, da die Nährstoffmengen, die über die Stutzverluste während der Kulturzeit von der Fläche abgefahren wurden, hier unberücksichtigt bleiben.

Bewässerung:

Die Bewässerung der Jungpflanzen erfolgt über zwei Gießwagen, zu Projektbeginn mittels Brauserohr bzw. über Tüllen. Ab 2016 waren beide Gießwagen einheitlich mit Flachstrahldüsen ausgestattet. Über die Gießwagen wurden den Jungpflanzen Wassermengen zwischen 3760 m³ (JP 14/15) und 5638 m³ (JP 15/16) zugeführt (Tabelle 7). Bezogen auf das Kalenderjahr errechnen sich Berechnungsmengen von 3387 m³ (2014) bis zu 7202 m³ (2016) (Tabelle 8).

Tabelle 7: Zusammenstellung der Wassermengen, die über Bewässerungs- und Düngemaßnahmen den Jungpflanzen während der Kulturzeit zugeführt wurden

	JP 14/15	JP 15/16	JP 16/17
über Bewässerung (m ³)	1.967	4.520	4.624
Über Düngemaßnahmen (m ³)	1.793	1.118	663
Summe (m ³)	3.760	5.638	5.287

Tabelle 8: Zusammenstellung der über Bewässerungs- und Düngegaben pro Kalenderjahr zugeführten Wassermengen

Kalenderjahr	2014	2015	2016	2017
Bewässerungs- und Düngemaßnahmen (m ³)	3387	5941	7202	4361

3.2 Witterung

Im Folgenden wird die Entwicklung der Temperaturen und der Niederschläge in den vergangenen vier Jahren am Projektstandort dargestellt.

Die Temperaturen um 14.00 Uhr sind in Abbildung 5 dargestellt.

Im Vergleich der einzelnen Jahre ist Folgendes zu beobachten:

Die zweite Julihälfte und der August 2014 waren vergleichsweise kühl. Dafür lagen die Temperaturen im Herbst bis Ende November noch vergleichsweise hoch.

Im März 2016 lagen die Tagestemperaturen zwischen 5 und 10 °C, in 2015 gab es einige Tage mit Temperaturen darunter, im vergangenen Jahr viele Tage mit Temperaturen darüber. Ende März war in 2017 ein deutlicher Temperaturanstieg von 18 °C (28.3.) über 21 °C (30.3) bis 22 °C (31.3.) zu beobachten.

Im April 2017 kommt es dann zu einem Temperatureinbruch mit Nachfrösten. Die Tagestemperaturen am Projektstandort gehen auf 6,4 °C zurück und liegen damit noch rd. 1,7 °C über denen des Vorjahres. Das Jahr 2015 hatte den wärmeren April mit Temperaturen von > 22 °C.

Im Mai 2017 stiegen die Temperaturen bis auf rd. 30 °C (29.5). Diese Höchsttemperatur liegt damit über der der Jahre 2016 (maximal 25 °C am 11.5) bzw. 2015 (maximal 23,5 °C am 11.5).

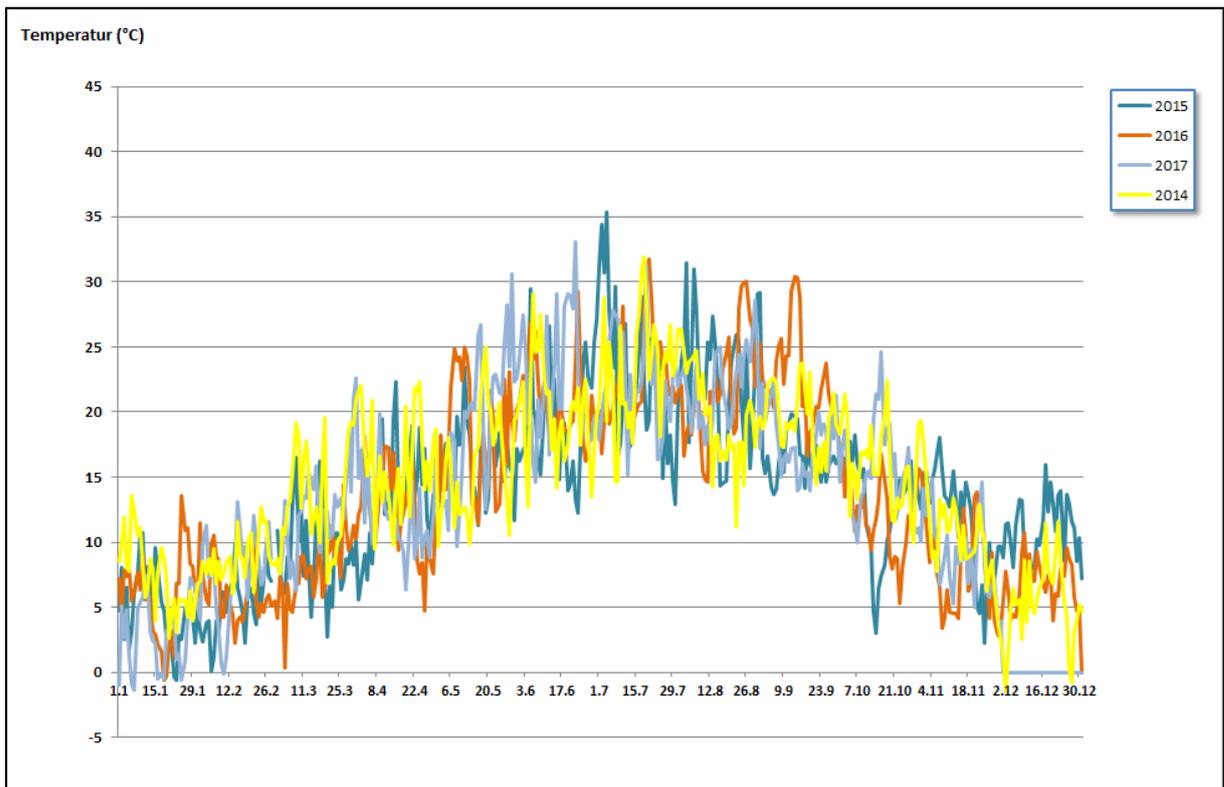


Abbildung 5: Temperaturverlauf im Untersuchungszeitraum

Anfang Juli werden in 2015 mit Temperaturen bis 35 °C (5.7) deutlich höhere Werte als in den Folgejahren verzeichnet, dem folgen Ende Juli auch gegenüber den Folgejahren deutlich niedrigere Werte. Anfang August werden in 2015 noch einmal Spitzenwerte von über 30 °C (6.8) gemessen mit weiteren Spitzenwerten von rd. 29 °C (30. + 31.8) gegen Ende des Monats. Übertroffen wird letztere Temperaturspitze von den Temperaturen in 2016, wo Ende August (26.8) und Mitte September (13.9) Spitzenwerte von rd. 30 °C erreicht werden. In 2017 sind Mitte Oktober (16.10) Werte von rd. 25 °C messbar. Danach fallen die Werte in 2017 deutlich ab und erreichen mit Werten um 15 °C (23.11.) in der zweiten Novemberhälfte das Niveau des Vorjahres. Die niedrigen Temperaturen von <rd. 3 °C Mitte Oktober 2015 (14.10) und die warme erste Novemberhälfte mit Werten bis rd. 18 °C (7.11.) wiederholen sich in den Folgejahren nicht. In Bezug auf das Callunenwachstum war in 2017 bedingt durch die höheren gleichmäßigen Temperaturen im Frühjahr (März, April) und Frühsommer (Mai bis Mitte Juni) ein stärkeres Wachstum gegenüber den Vorjahren zu erwarten. Der Temperatureinfluss der Sommer 2016 und 2017 ist vergleichbar positiv zu bewerten, die extrem hohen Temperaturen aus 2015 werden nicht erreicht.

Die monatlichen Niederschlagssummen am Versuchsstandort im Zeitraum 2013 bis 2017 sind in Abbildung 6 dargestellt.

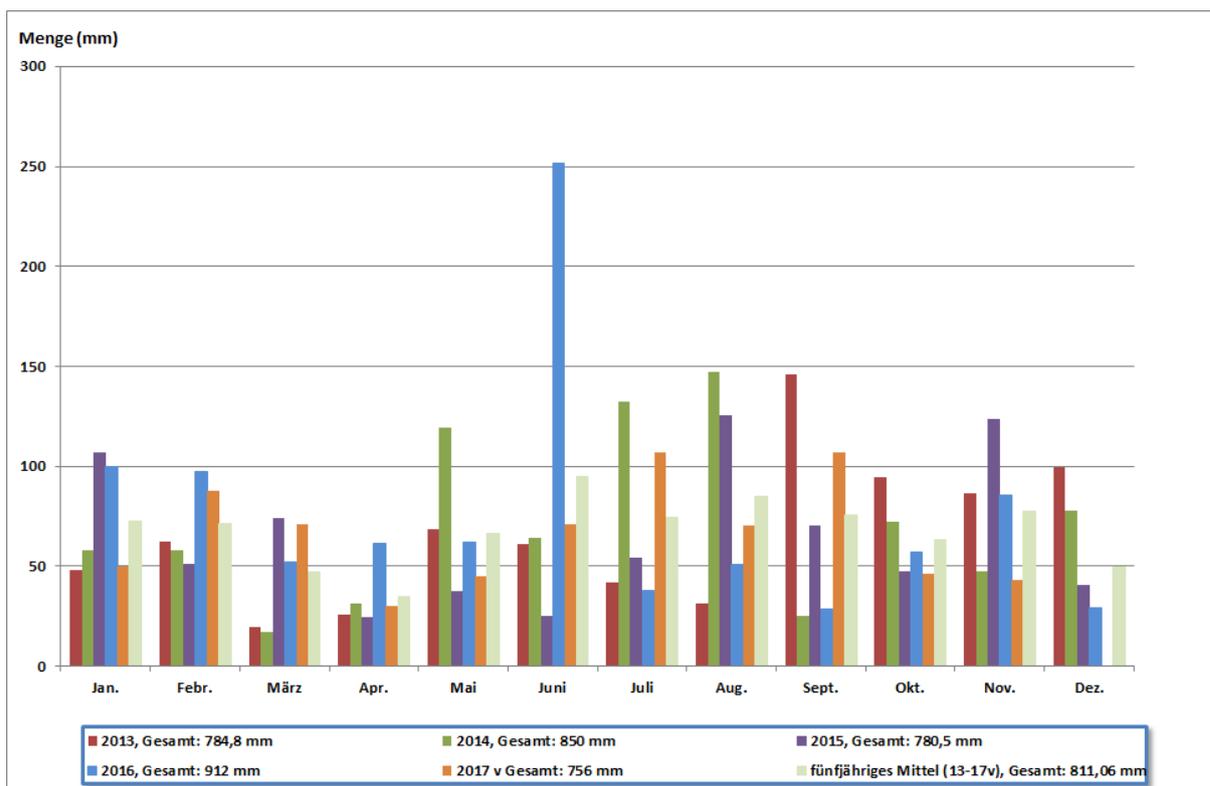


Abbildung 6: Monatliche Niederschlagssummen am Projektstandort von 2013 bis Nov. 2017

Auffällig ist zunächst der Juni 2016 mit Niederschlagsmengen von über 250 mm am Projektstandort. Diese Menge entspricht nahezu 1/3 der Jahresgesamtmenge (811 mm im fünfjährigen Mittel am Projektstandort).

In 2016 sind aufgrund des nassen Junis Niederschläge von insgesamt rd. 912 mm gemessen worden. Diese übertreffen die Vorjahre deutlich.

Betrachtet man die jährlichen Niederschlagsmengen im Wasserschutzgebiet Kevelaer-Keylaer von 1999 bis (November) 2017 sind nur in 2007 Gesamtniederschläge von > 900 mm gemessen worden (Abbildung 7).

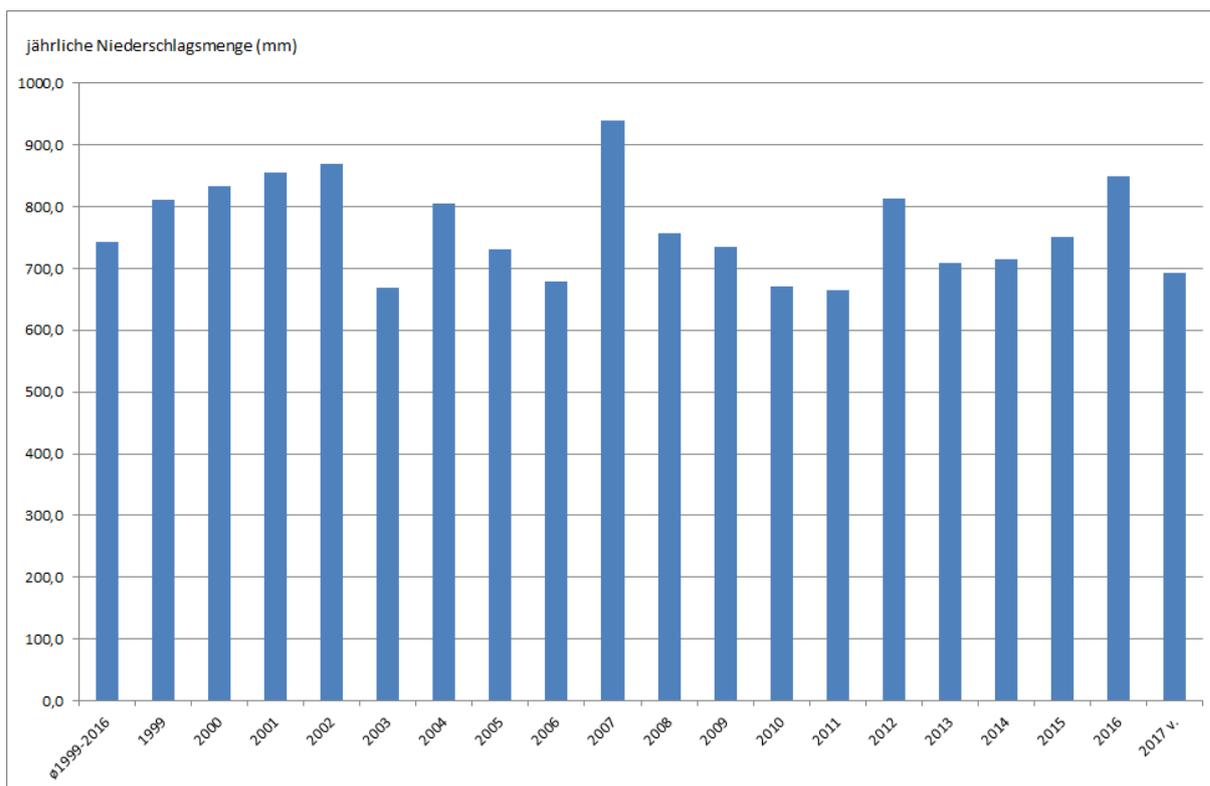


Abbildung 7: Jährliche Niederschlagsmengen in Kevelaer-Keylaer (Mittel aus vier Messstandorten der Stadtwerke Kevelaer)

Zu den Jahren im Einzelnen:

2013 zeichnet sich mit geringen Niederschlagsmengen in den Wachstumsmonaten März, April sowie Juli und August aus. Die Gesamtmenge liegt unter dem fünfjährigen Mittel.

In 2014 liegen die Gesamtmengen oberhalb des fünfjährigen Mittels, allerdings sind die Monate März (17 mm) und April (31 mm) im Vergleich zu den übrigen Monaten eher als niederschlagsarm zu bewerten. In den Monaten Mai, Juli und August liegen die Monatsniederschläge über 100 mm.

2015 wurden Gesamtniederschläge von rd. 780 mm gemessen. Die Monate April bis Juni sind mit Werten von 25 bis 37 mm im Vergleich zu den übrigen Monaten die niederschlagsärmeren.

In 2016 sind die Monate der ersten Jahreshälfte mit Werten von rd. 100 mm im Januar und Februar sowie Werten von 50 bis 62 mm bis einschließlich Mai die niederschlagsreicheren Monate des Jahres. Im Oktober werden rd. 57 und im November noch rd. 86 mm gemessen.

Das Jahr 2017 zeichnet sich durch eine relativ gleichmäßige Niederschlagsverteilung aus: es fehlen die Extremereignisse, mehr als rd. 107 mm fallen in keinem Monat. Nur der April fällt als Monat mit niedrigen Gesamtniederschlägen von rd. 30 mm auf. Im Mai und Oktober fallen rd. 45 mm, in den übrigen Monaten > 50 mm.

3.3 Datenverdichtung

3.3.1 Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme

Die Entwicklung der an den verschiedenen Anlagenkompartimenten gemessenen quantitativen Volumenteilströme des Dränwassers werden zum einem als kumulierte Jahreswerte für den bisherigen Projektzeitraum 2012 bis 2017 und zum anderen als Tageswerte im zweiten Projektabschnitt 2015 bis 2017 betrachtet.

Die kumulierten Volumenteilströme pro Kalenderjahr sind in Abbildung 8 dargestellt. Zusätzlich zu den jährlichen Niederschlägen von ca. 7.500 m³ (2012, aber Messungen erst ab Mai) bis ca. 9.500 m³ (2016) wurden weitere ca. 3.500 bis 7.000 m³ Wasser über Bewässerungs- und Düngemaßnahmen auf die Versuchsfläche aufgebracht. Bezogen auf die Größe der Versuchsfläche von ca. 1 ha entspricht das einer Bewässerungsmenge von ca. 350 bis 700 mm/a. Die vergleichsweise hohen Schwankungen in den über Bewässerung zugeführten Wassermengen sind Ausdruck wechselnder Witterungsbedingungen. Die Gesamtzufuhr von Niederschlägen und Beregnungsgaben auf die Versuchsfläche pro Kalenderjahr lag zwischen 12.299 m³ (2014, 2017) und 16.778 m³ (2016), im Mittel bei 13.777 m³.

Ein Großteil dieser der Versuchsfläche zugeführten Wassermengen fließt in der Folge als Dränwasser ab, das sich nach Abbildung 8 als Summe der Kurven „von Vorlauf in Überlauf“ und „von Vorlauf in Vorlage“ ergibt. Im Mittel der Untersuchungsjahre lag dieser Dränwasserabfluss bei 7.627 m³ (min.: 6.083 m³ in 2017; max.: 9.272 m³ in 2016). Das entspricht ca. 55% der Wassermenge die der Versuchsfläche zugeführt wurden. Lediglich die dunkelblau dargestellten Kurven („von Vorlauf in Vorlage“) entsprechen dem von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasseranteil, der in der Folge auch über die Anlage geleitet werden konnte. Im Mittel der Jahre sind das ca. 2.370 m³ (min.: 1.638 m³ in 2012; max.: 3.230 m³ in 2014). Die Leistungskapazität der Anlage zur Aufnahme von Dränwasser war dabei v. a. durch die begrenzte Versickerungsleistung des Pflanzbeetes limitiert. Das führte dazu, dass relativ hohe Anteile der von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer direkt aus dem Vorlaufschacht in einen kleinen Vorfluter abgeschlagen werden mussten (\varnothing 5.257 m³/a; min: 3.015 m³ in 2014; max.: 7.439 m³ in 2016). Die Kurven „von Vorlauf in Vorlage“, „von Vorlage in Biobed“ und „von Biobed in Pflanzbeet“ sind im Verlauf weitestgehend identisch, da es sich hier um dieselben Wassermengen handelt, die von einem Anlagenkompartiment zum nächsten weitergeleitet werden. Abweichungen im Kurvenverlauf sind vor allem messtechnisch bedingt. In geringem Umfang wurde weiterhin v. a. in den Jahren 2014 – 2017 Wasser aus dem Pflanzbeet wieder in den Vorlaufschacht rückgeführt („von Pflanzbeet in Vorlauf“), um es von hier abzuschlagen.

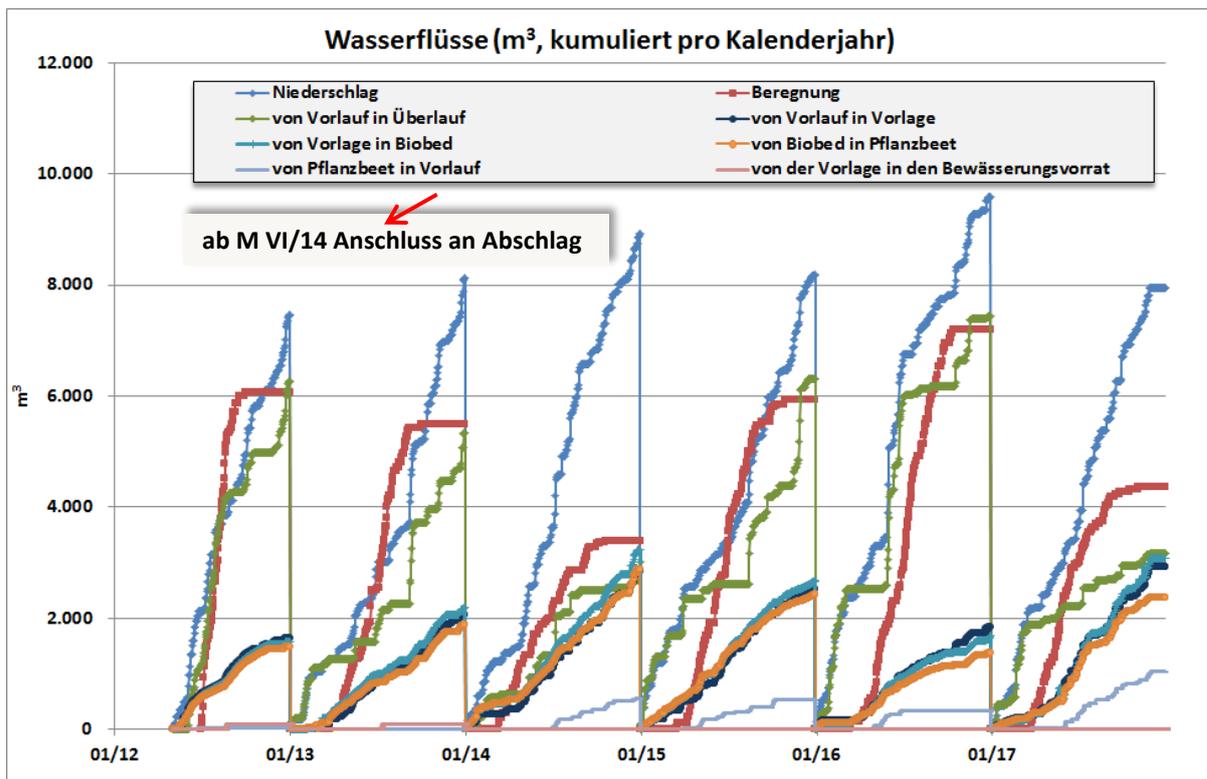


Abbildung 8: Volumenteilströme (kumuliert pro Kalenderjahr) in beiden Projektabschnitten

In Abbildung 9 bis Abbildung 11 erfolgt eine zeitlich auf Tageswerten aufgelöste Betrachtung zum Anfall bzw. weiteren Verbleib der der Versuchsfläche zugeführten Wassermengen. Dargestellt sind (in m^3) die pro Tag angefallenen Niederschläge, die zugeführten Bewässerungsmengen sowie die in den Vorlagespeicher gepumpten bzw. direkt abgeschlagenen Wassermengen.

Bereits in der ersten Projektphase 2011 bis 2014 konnte beobachtet werden, dass die aus Bewässerungs- und Düngemaßnahmen resultierenden Dränwassermengen relativ gering sind und weitgehend über die Anlage geführt werden können. Die in Abbildung 9 bis Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse bestätigen diesen Zusammenhang auch für den aktuellen Versuchszeitraum 2014 bis 2017. Relevante Dränwassermengen fallen vor allem als Folge erhöhter Niederschläge an und mussten bei der gegebenen Leistungskapazität größtenteils direkt abgeschlagen werden.

Während der Durchführung der Leistungsversuche Biobed (s. Kapitel 3.5.) wurde der reguläre Anlagenbetrieb ausgesetzt. Die in diesem Zeitraum von der Versuchsfläche anfallenden Dränwassermengen wurden direkt in den Vorfluter abgeleitet.

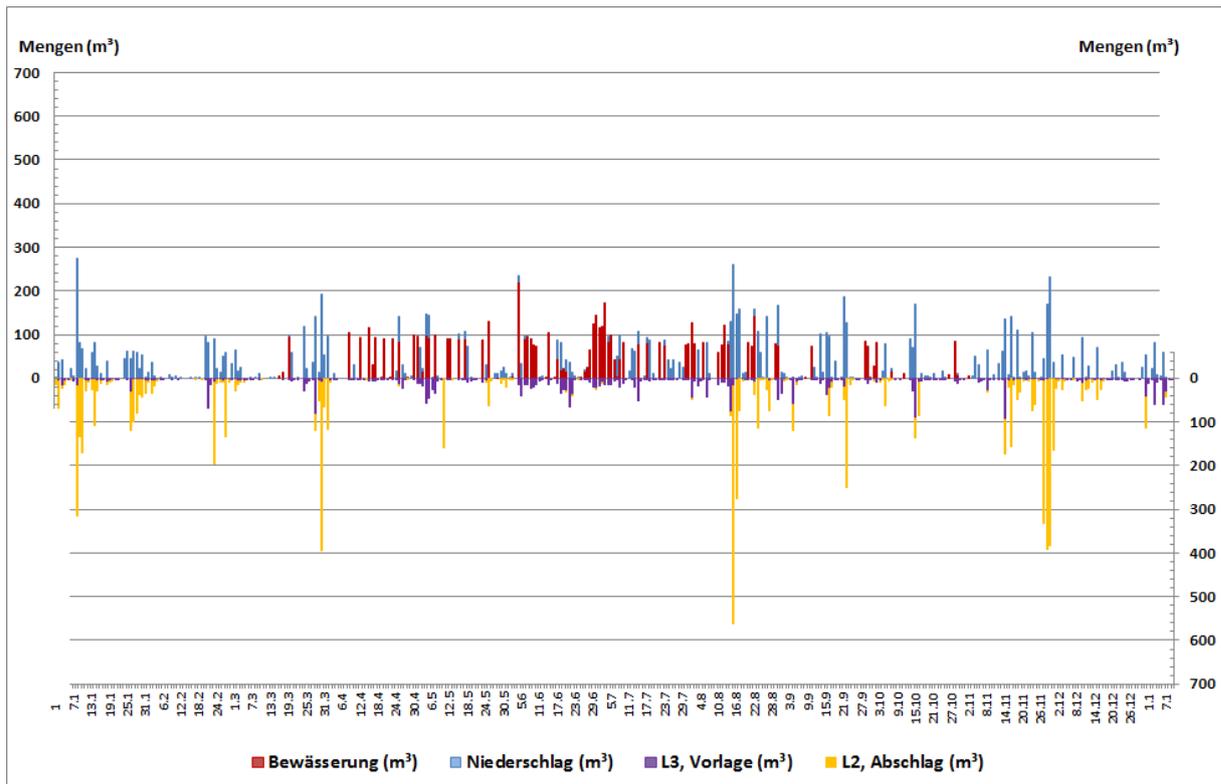


Abbildung 9: Volumenströme auf Tagesbasis an der Versuchsanlage 2015

In 2015 erfolgten von Anfang März bis in den November auf der Fläche Bewässerungs- und Düngemaßnahmen (rot dargestellt). Die während dieser Zeit anfallenden Niederschläge erreichen Mengen von bis zu 260 m³/Tag. Vor allem während der wärmeren Sommermonate werden die aus Regenereignissen bis ca. 100 m³/Tag sowie die aus Beregnungsmaßnahmen zugeführten Wassermengen, der Versuchsfläche größtenteils über Evapotranspiration wieder entzogen, sodass die resultierenden Dränwassermengen weitgehend über die Anlage geführt werden konnten. Größere Niederschlagsereignisse, insbesondere in den kühleren Frühjahrs- und Herbstmonaten führen jedoch überwiegend zu Dränwasserflüssen oberhalb der Kapazitätsgrenze der Anlage und mussten abgeschlagen werden (Abbildung 9).

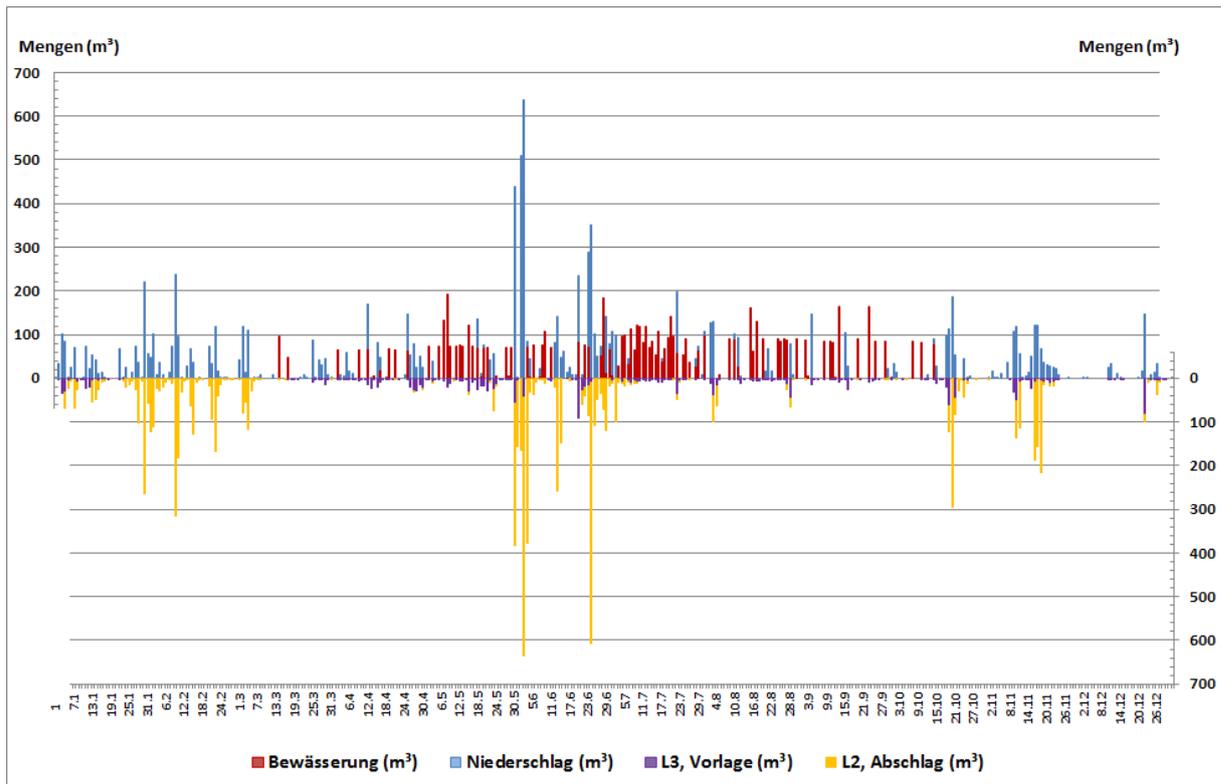


Abbildung 10: Volumenströme aus Tagesbasis an der Versuchsanlage 2016

2016 startete mit einem kalten Frühjahr, sodass die Anlage von Mitte Januar bis Anfang März außer Betrieb gesetzt wurde. Von Mitte März bis Mitte Oktober wurden auf der Fläche Bewässerungsmaßnahmen durchgeführt. Mit Ausnahme der Dränmengen, die aus den Juni-Niederschlägen resultierten, konnte nahezu sämtliches anfallendes Dränwasser über die Anlage geführt werden. Im Juni kam es an insgesamt 22 Tagen zu Niederschlägen dessen größtes Einzelereignisse mit rd. 60 mm niederschlägt und damit im gesamten Projektzeitraum als das größte Niederschlagsereignis einget (Abbildung 10).

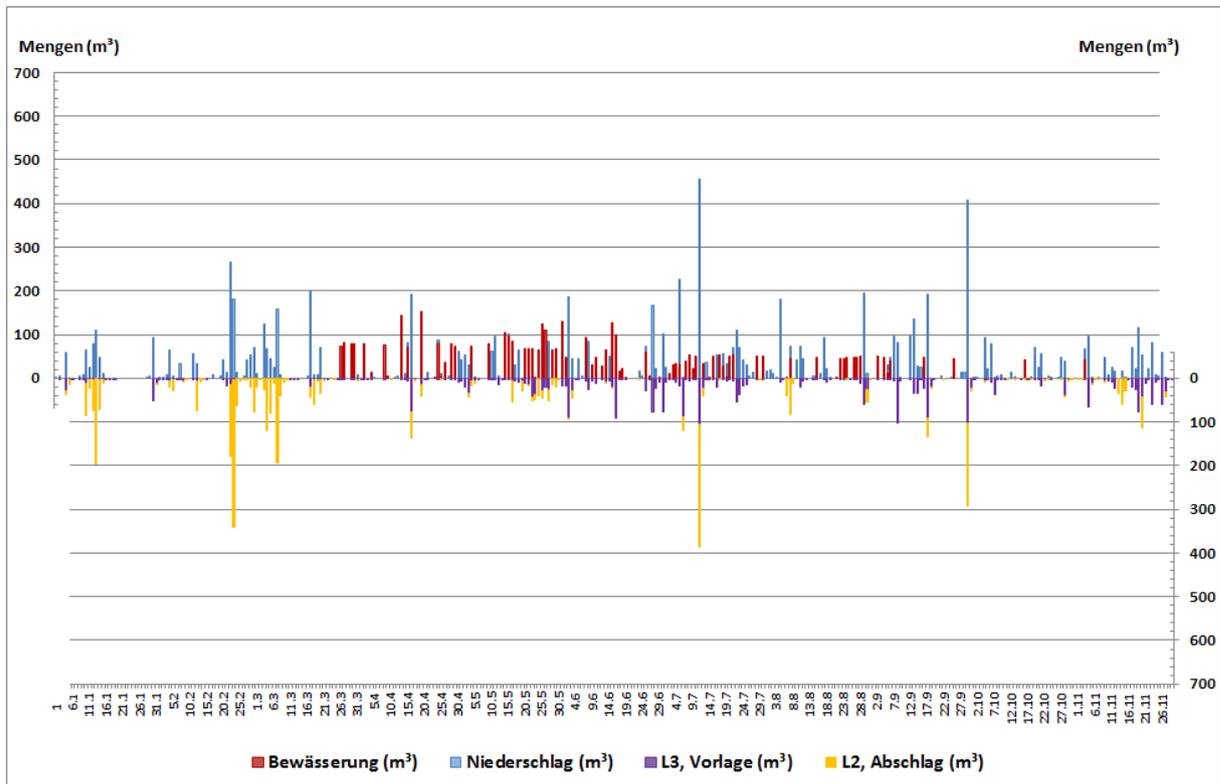


Abbildung 11: Volumenströme auf Tagesbasis an der Versuchsanlage 2017

Auch in 2017 bestätigten sich diese Zusammenhänge, dass Dränwasseranfall insbesondere als Resultat von Niederschlagsereignissen erfolgt, dann aber häufig in einer Größenordnung welche die aktuelle Leistungskapazität der Versuchsanlage übersteigt und in der Folge zu einem direkten Abschlag führte (Abbildung 11). Die in Folge von Bewässerungs- und Düngungsmaßnahmen anfallenden Dränwassermengen sind demgegenüber vergleichsweise gering und konnten weit überwiegend über die Versuchsanlage geleitet werden.

3.3.2 Qualitative Entwicklung der Volumenteilströme

Entsprechend des in Kapitel 2.4.2.1 beschriebenen Messkonzeptes zur Beschreibung der qualitativen (Drän-)Wasserbeschaffenheit im Abstrom von der Versuchsfläche bzw. im Durchfluss durch die Versuchsanlage wurden insgesamt die in Tabelle 9 aufgelisteten Proben- und Parameterumfänge untersucht. Die erste Beprobung des hier berücksichtigten Auswertzeitraums fand statt am 27.5.2014, die letzte Probenahme am 14.11.2017. Da der Parameterumfang AC_{Standard} (Tabelle 4) auch die N-Parameter (NO₃, NH₄, NO₂) umfasst, wurden diese in der Spalte „Σ N-Param.“ noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 9: Anzahl untersuchter Proben und Beprobungsumfänge im Untersuchungszeitraum Mai 2014 - Nov. 2017

PNS	AC _{Standard}	N-Param.	∑ N-Param.	PSM "22er - Liste"	PSM "Gartenbau"
Beregenungsbrunnen	8	1	9	3	8
Vorlauf	0	30	30	0	30
Vorlage	0	28	28	0	28
Biobed	0	30	30	3	30
Pflanzbeet	0	30	30	0	30
Vorflut-1	0	7	7	0	7
Vorflut-2	0	7	7	0	7
Vorflut-3	0	7	7	0	7
Vorflut-4	0	7	7	0	7
Summe	8	147	155	6	154

Die Gesamtzahl der Proben zu den einzelnen Parameterumfängen spiegelt mit insgesamt 155 Analysen der Parameterliste „N-Parameter“ und 154 Analysen der Parameterliste „PSM-Gartenbau“ den thematischen Schwerpunkt der Versuchsfrage wieder. Mit erhöhter Frequenz wurden dabei vor allem die Beprobungspunkte der Versuchsanlage „Vorlauf“, „Vorlage“, „Biobed“ und „Pflanzbeet“ untersucht, da vor allem diese Beprobungspunkte die Dynamik des Stoffabtrages von der Versuchsfläche und die weitere Konzentrationsentwicklung im Durchfluss durch die Anlage repräsentieren.

Zu berücksichtigen ist, dass die Probenahmen aus dem Jahr 2014 zum Großteil noch in den Zeitraum der ersten Projektphase 2011 – 2014 fallen. Aus Gründen der Ergebnisauswertung und ihrer Darstellung mit Bezug auf die jeweiligen hydrologischen Halbjahre wurden die Ergebnisse dieses Zeitraumes bei den folgenden Auswertungen miterfasst.

3.3.2.1 Beschaffenheit des Beregnungswassers

Ca. 2 Mal pro Jahr wurde das vor Ort aus dem Grundwasser entnommene Beregnungswasser beprobt und auf seine allgemeine Beschaffenheit (Tabelle 4, Parameterumfang AC-Standard) sowie auf bereits im Grundwasser enthaltene PSM-Wirkstoffe (Tabelle 4, PSM „22er-Liste“ und PSM-„Gartenbau“) untersucht. Die Ergebnisse zeigen mäßig mineralisierte Grundwässer deren Nitratgehalte im Untersuchungszeitraum von 2014 bis 2017 zwischen ca. 30 und 50 mg NO₃/l schwanken. Damit stellt die grundwasserbürtige Nitratfracht bei den praktizierten Beregnungsmengen einen durchaus relevanten Faktor für N-Einträge dar. Bezogen auf eine Beregnungsmenge von 100 mm ergeben sich hieraus angelieferte N-Mengen von ca. 7 – 11 kg N/ha. Mit den im Versuchszeitraum vom 1.5.2014 – 31.10.2017 insgesamt auf die

Versuchsfläche ausgebrachten Bewässerungsmengen von ca. 1.800 mm wurden somit allein auf diesem Weg ca. 120 – 200 kg N aufgebracht.

Im Rahmen dieser zweiten Projektphase wurde das Beregnungswasser auch mehrmals auf PSM-Wirkstoffe der Liste "PSM-Gartenbau" (Tabelle 4) untersucht. Die Ergebnisse zeigen hier regelmäßige Befunde von Boscalid (0,09 - 0,27 µg/l) und Metribuzin (0,5 - 1,3 µg/l), Auch Iprodion wurde vereinzelt mit Konzentrationen zwischen 0,07 bis 0,29 µg/l nachgewiesen. Weiterhin wurden im untersuchten Beregnungswasser auch regelmäßig der fungizide PSM-Wirkstoff Metalaxyl (0,14 - 0,44 µg/l) und vereinzelt in Spuren der herbizide Wirkstoff Simazin festgestellt (Wirkstoffe der Parameterliste „PSM 22er Liste“, Tabelle 4). Der Metabolit DMS (N,N-. Dimethylsulfamid) des PSM-Wirkstoffes Tolyfluanid wurde ebenfalls in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen, die allerdings seit Beginn der Untersuchungen am 11.12.2011 von 61 µg/l auf mittlerweile 18 µg/l stetig zurückgeht (siehe auch Anh.-Tabelle 1 bis Anh.-Tabelle 3)

3.3.2.2 Nitratkonzentrationen und -frachten

Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten Projektphase 2011 – 2014 werden in Abbildung 12 die gemessenen Nitratkonzentrationen vom 5.2014 bis 11.2017 an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage als Ganglinie dargestellt. Die Messergebnisse, die während der in Kap. 0 beschriebenen Leistungsversuche Biobed erfasst wurden, sind hier nicht mit aufgeführt, da sie nicht die Nitratdynamik des von der Versuchsfläche abströmenden Dränwassers darstellen. Über die Wintermonate erfolgten die Messungen mit größeren Zeitschritten. Darauf hinzuweisen ist, dass die Entwicklung der Nitratkonzentration zwischen jeweils 2 Messzeitpunkten linear interpoliert wurde.

Wie in der ersten Projektphase 2011 - 2014 zeigt sich, dass in der Regel zum Ende des Winters bzw. zu Beginn der neuen Vegetationsperiode die Nitrat-Konzentration an den vier Beprobungspunkten gering waren (wenige mg/l). Eine Ausnahme scheint hier der Winter 2015/16 darzustellen, da die Ganglinien in Abbildung 12 an verschiedenen Messpunkten innerhalb dieses Zeitraumes erhöhte Nitratkonzentrationen andeuten. Die Ursache für diese scheinbar erhöhten Konzentrationen ist aber vor allem darin zu sehen, dass die letzte Messung in 2015 bzw. die erste in 2016 noch bzw. bereits von aktuellen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Versuchsfläche geprägt waren und durch Interpolation zwischen diesen Werten auch für den gesamten Winterzeitraum erhöhte Konzentrationen ausgewiesen werden.

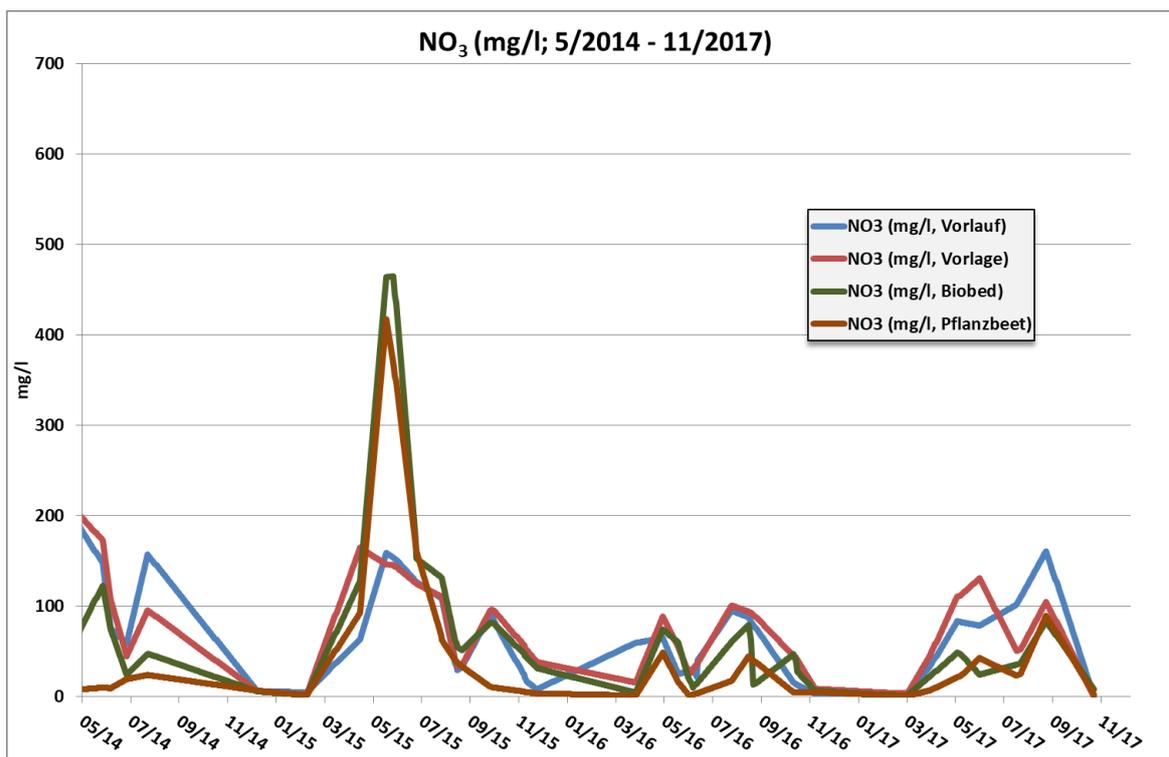


Abbildung 12: Entwicklung der Nitratkonzentration im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

Die Ganglinien der Nitratkonzentration spiegeln deutlich die Bewirtschaftungseinflüsse (Düngung) während der jeweiligen Bewirtschaftungsperiode wider. Innerhalb dieses Zeitraumes werden insbesondere an den Messpunkten „Vorlauf“ und „Vorlage“, also vor dem Durchfluss durch die Anlage, Spitzenkonzentrationen zwischen 100 und 200 mg Nitrat/l gemessen. Die Nitratkonzentrationen an den Messpunkten „Biobed“ und „Pflanzbeet“ liegen in aller Regel deutlich niedriger und bestätigen somit das Reduktionspotenzial der Anlage für Nitrat.

Eine Ausnahme stellen hier jedoch die Ergebnisse der Beprobung vom 26.5.2015 an den Messpunkten „Biobed“ (474 mg Nitrat/l) und „Pflanzbeet“ (427 mg Nitrat/l) dar, die weit oberhalb der zum selben Zeitpunkt an der Messstelle „Vorlauf“ (162 mg Nitrat/l) lagen. Grundsätzlich bietet sich als eine Erklärung für diesen Effekt scheinbar zunehmender Nitratkonzentrationen im Durchfluss durch die Anlage die Möglichkeit von Mineralisierungseffekten und damit N-Freisetzung aus der organischen Phase des Biobed-Substrates an. Da dieser Effekt aber nur ein einziges Mal im mittlerweile 6-jährigen Betriebszeitraum der Anlage festzustellen war, scheint eine andere Erklärung deutlich plausibler: Nach Abgleich aller aufgenommenen Daten erscheint es als sehr wahrscheinlich, dass diese im „Biobed“ und „Pflanzbeet“ gemessenen hohen Nitrat-Konzentrationen auf ein mehrtägiges Düngeereignis zurückzuführen sind. Aufgrund des niedrigen Füllstandes des Vorlagespeichers zu dieser Zeit wurde das durch diese

Düngung mit hohen Nitratkonzentrationen versehene Dränwasser ohne lange Zwischenspeicherung und Verdünnungseffekte auf das Biobed beaufschlagt und hier und im Pflanzbeet beprobt, während im „Vorlauf“ und „Vorlage“ bereits „frisches“ gering belastetes Wasser nachlief und dementsprechend niedrige Nitratkonzentrationen aufwies.

Insgesamt sind somit auch in der hier beschriebenen zweiten Projektphase 2014 – 2017 deutliche Effekte zur Reduzierung der Nitratkonzentrationen im Durchfluss durch die Anlage festzustellen, insgesamt aber auf einem geringeren Niveau als noch im Versuchszeitraum 2011 – 2014. Die Ursachen hierfür werden v. a. in einer Alterung des Substrates im Biobed gesehen. Nachdem das Biobed im Mai 2017 mit Rindenmulch abgedeckt wurde, nahm das Potenzial zum Nitratabbau im Biobed wieder deutlich zu. Insgesamt lagen die Nitratkonzentrationen im Versuchszeitraum 2014 – 2017 im von der Fläche abfließenden Dränwasser und in der Folge auch an allen weiteren Messpunkten der Anlage auf Grund einer geringeren Düngung der Fläche auf einem niedrigeren Niveau als im Versuchszeitraum 2011 – 2014 (Kapitel 3.1).

Um zu prüfen, ob der Probenahmerhythmus von 4 bis 5 Wochen die Dynamik des N-Austrages aus der Versuchsfläche hinreichend präzise beschreibt, wurden im Abschlussbericht der Erstuntersuchung 2011 – 2014 die Nitratganglinien mit den in hoher zeitlicher Auflösung gemessenen EC-Werten (Leitfähigkeit) verglichen (Abbildung 13, Abbildung 14).

Der EC-Wert (=electric conductivity = Leitfähigkeit) gibt die elektrolytische Stromleitfähigkeit wässriger Lösungen wieder und ist ein Summenparameter für die in der Lösung enthaltenen Wasserinhaltsstoffe. Seine Größenordnung (1 EC-Wert = 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) hängt u. a. von der Konzentration der einzelnen Inhaltsstoffe, deren Dissoziationsgrad (Ionenleitfähigkeit), der Wertigkeit der Ionen sowie der Temperatur ab. Als Summenparameter gibt der EC-Wert bzw. die elektrische Leitfähigkeit keinen Aufschluss über die einzelnen enthaltenen Spezieskonzentrationen, und er ist somit kein unmittelbares Maß für die in der Lösung enthaltene Nitratkonzentration. Da unter den Bewirtschaftungsbedingungen im Versuch Nitrat aber zumindest ein wesentlicher Bestandteil der in den Dränwässern gelösten Salzfracht sein wird, erlaubt der Vergleich von EC- und Nitrat-Ganglinie zumindest einen qualitativen Rückschluss auf die Entwicklung der Nitratkonzentration.

Da die EC-Werte an verschiedenen Messpunkten im Versuchsaufbau online () mit hoher zeitlicher Auflösung (Minutentakt) gemessen werden, kann die entsprechende EC-Ganglinie als Indikator für die Zuverlässigkeit der mit deutlich gröberer zeitlicher Auflösung gemessenen Nitratganglinie dienen. In Abbildung 13 und Abbildung 14 ist an zwei Beispielen der Vergleich von Nitrat- und EC-Ganglinie dargestellt.

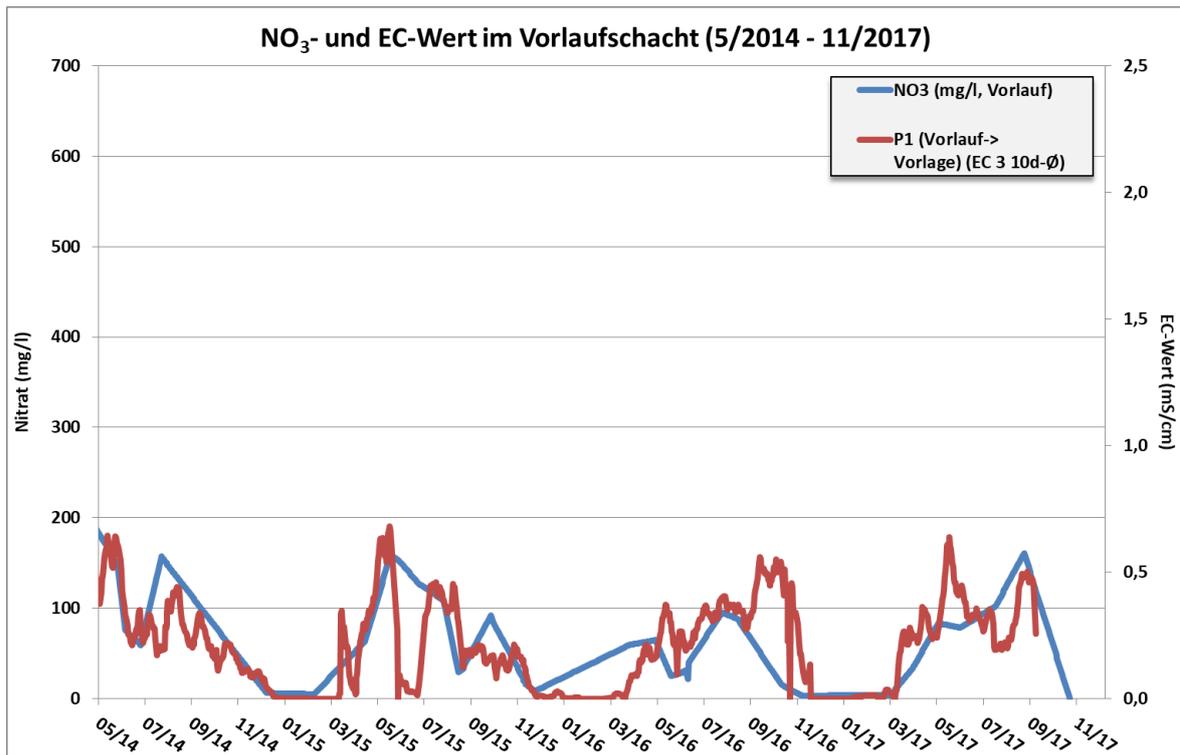


Abbildung 13: NO₃- und EC-Wert-Ganglinien am Messpunkt „Vorlaufschacht“.

Wie schon in der ersten Projektphase 2011 bis 2014 verlaufen die EC- und Nitratganglinien (EC-Wert in den Abbildungen dargestellt als 10-Tagesmittel) ähnlich. Auch wenn nicht jeder einzelne Peak mit diesem Probenahmezyklus erfasst werden kann, wird die Nitratdynamik an den Beprobungspunkten hinreichend präzise abgebildet.

Mit den in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Mengenangaben zu den quantitativen Teilströmen durch die Versuchsanlage und den gemessenen Nitratkonzentrationen wurden anschließend die Nitratfrachten und abflussgewichteten mittleren Nitratkonzentrationen ermittelt. In Tabelle 10 sind die entsprechenden Angaben jeweils bezogen auf die hydrologischen Sommer- (hShj) und Winterhalbjahre (hWhj) und für die einzelnen Beprobungspunkte im Fließverlauf der Versuchsanlage zusammengefasst (gekennzeichnet durch die Pumpen-Nr. im jeweiligen Anlagenkompartiment).

Die N-Frachten, die im jeweiligen hydrologischen Halbjahr durch die jeweiligen Messpunkte bzw. Anlagenkompartimente flossen, sind auch in Abbildung 15 dargestellt.

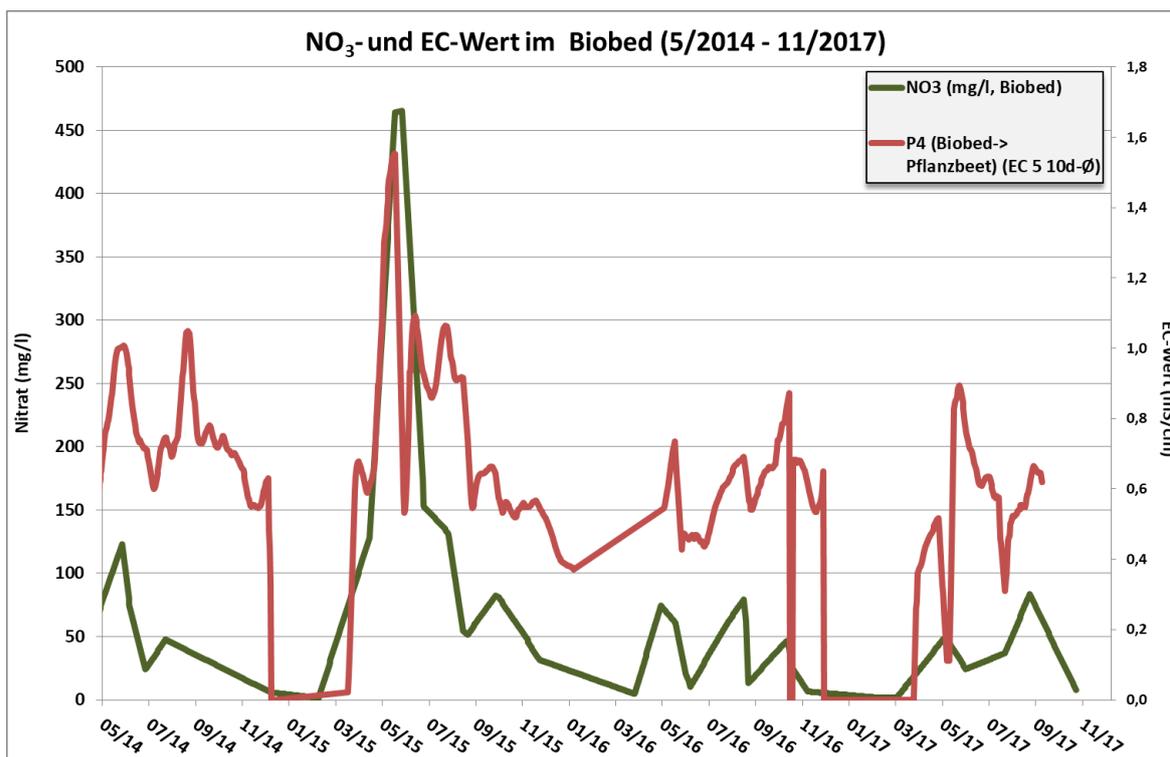


Abbildung 14: NO₃- und EC-Wert-Ganglinien am Messpunkt „Biobed“.

Wie zuvor schon in Abbildung 12 fällt auch in Abbildung 15 besonders das hydrologische Sommerhalbjahr 2015 (hSHj 2015) auf, in welchem auf Grund der erhöhten gemessenen Nitratkonzentrationen in der Probenahme vom 26.5.2015 (PN-Stellen „Biobed“ und Pflanzbeet“), auch die resultierenden Nitratfrachten dieser beiden Probenahmestellen mit etwa 60 kg N deutlich höher lagen als die an den Probenahmestellen „Vorlauf“ bzw. „Vorlage“ (ca. 35 kg N). Dieser Effekt des Jahres hSHj 2015 ist – wie weiter oben bereits erläutert - vermutlich auf ein nicht an allen Probenahmestellen erfasstes Düngereignis zurückzuführen und muss daher bei der Interpretation der Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden.

Gesondert des hShj 2015 wurden im hydrologischen Sommerhalbjahr 2014 mit ca. 50 kg N die größten Mengen direkt in den Vorfluter abgeschlagen. In den folgenden Jahren wurde mit maximal 30 kg N deutlich weniger N-Frachten (hShj 2015) in den Vorfluter abgeschlagen. Mit Ausnahme des hWhj 2015/16 wurden in den hydrologischen Winterhalbjahren ebenso geringere N-Frachten in den Vorfluter abgeschlagen. Dass die N-Frachten im hWhj 2015/16 so hoch liegen, könnte u.a. daran liegen, dass zwischen dem 5.10. und den 3.12. keine Probenahme erfolgte. Während gegen Ende des hShj am 5.10. noch hohe Nitratkonzentrationen von ca. 90 mg/l gemessen wurden, war die Nitratkonzentration im Vorlauf am 3.12. nur noch bei ca. 3 mg/l. Durch die lineare Interpolation der beiden gemessenen Konzentrationen werden die Nitratfrachten zu Beginn des hWhj 2015/16 überschätzt. Erschwerend hinzukommt, dass der

November 2015 mit rund 100 mm ein recht feuchter Monat war, sodass hohe Dränwassermengen direkt in den Vorfluter abgeschlagen wurden. Somit werden in Kombination der hohen Abschlüge mit den interpolierten Nitratkonzentrationen hohe N-Frachten berechnet. Insgesamt wurden im hWhj 2015/16 rund 85 % der Dränwässer in den Vorfluter abgeschlagen (Tabelle 10). Aufgrund dessen wurden vom Vorlauf in die Vorlage vergleichsweise niedrige N-Frachten gepumpt. Bei Betrachtung der N-Frachten von Vorlauf in die Vorlage wird der Unterschied zwischen den hydrologischen Sommerhalbjahren und Winterhalbjahren deutlich.

Tabelle 10: Summe der N-Frachten, gepumpten Wassermengen und mittleren Nitratkonzentrationen, bezogen auf das hydrologische Halbjahr (hHj) und Anlagenkompartiment.

	L2 (von Vorlauf in Überlauf)	L3 (von Vorlauf in Vorlage)	L4 (von Vorlage in Biobed)	L5 (von Biobed in Pflanzbeet)	Pflanzbeet (L5)
N-Fracht in den hydrolog. Halbjahren (g)					
hSHj 2014	52.867,0	43.773,0	37.023,6	19.154,9	6.500,8
hWHj 2014/15	10.403,9	5.908,8	12.376,1	10.358,8	7.569,2
hSHj 2015	30.843,7	37.362,6	36.592,8	63.866,9	49.375,7
hWHj 2015/16	25.461,0	5.632,1	5.448,4	4.290,1	1.057,7
hSHj 2016	28.353,5	13.088,9	15.544,8	9.952,6	1.748,4
hWHj 2016/17	3.371,4	1.536,8	2.773,3	1.338,7	183,2
hSHj 2017	22.029,8	44.817,3	45.379,9	19.382,4	8.833,7
Pumpmengen in den hydrolog. Halbjahren (m3)					
hSHj 2014	1.924,6	1.756,3	1.914,6	1.775,5	1.775,5
hWHj 2014/15	2.816,3	1.183,0	1.407,5	1.458,4	1.424,2
hSHj 2015	2.033,4	1.667,4	1.668,2	1.566,1	2.004,5
hWHj 2015/16	4.451,1	702,6	648,6	695,2	543,0
hSHj 2016	4.113,6	1.132,1	995,0	928,2	543,0
hWHj 2016/17	2.765,6	670,8	869,5	688,3	399,5
hSHj 2017	993,9	2.021,0	2.194,5	1.922,1	822,1
Ø NO₃-Konz. Im hHj (mg/l)					
hSHj 2014	121,6	110,3	85,6	47,8	16,2
hWHj 2014/15	16,4	22,1	38,9	31,4	23,5
hSHj 2015	67,1	99,2	97,1	180,5	109,0
hWHj 2015/16	25,3	35,5	37,2	27,3	8,6
hSHj 2016	30,5	51,2	69,2	47,5	14,3
hWHj 2016/17	5,4	10,1	14,1	8,6	2,0
hSHj 2017	98,1	98,2	91,5	44,6	47,6

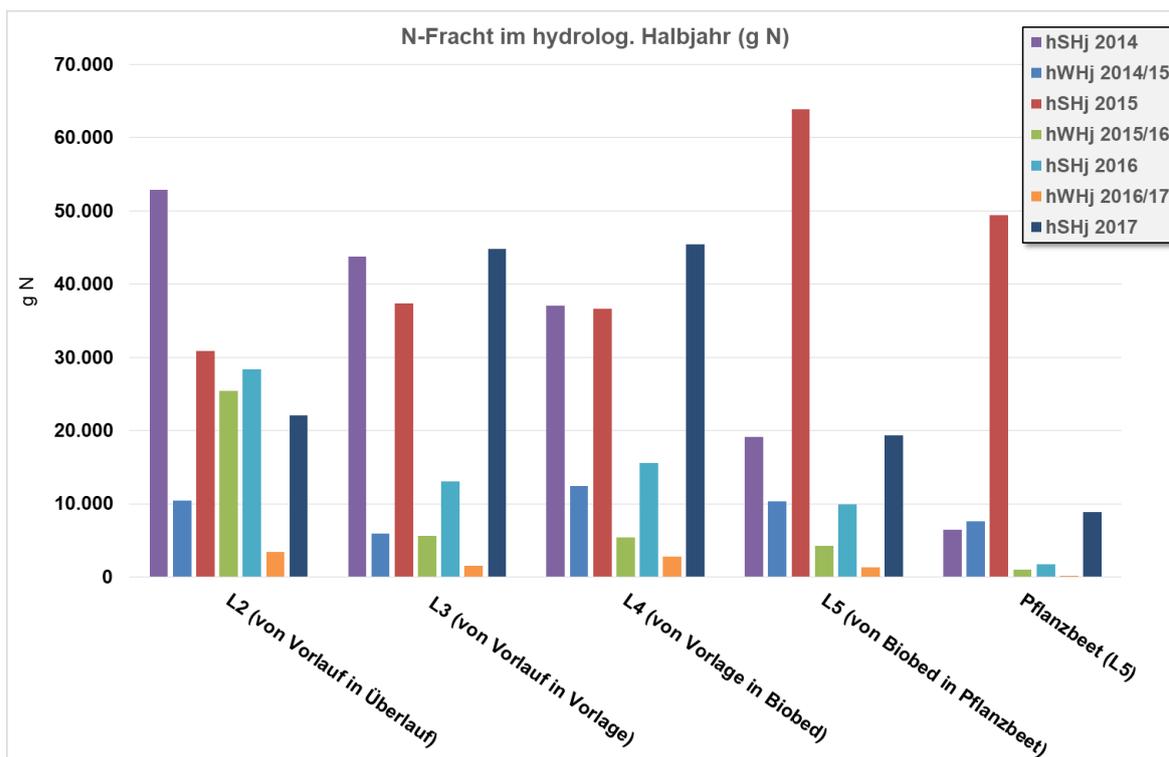


Abbildung 15: N-Frachten in den hydrologischen Halbjahren 2012 - 2014.

Im Vergleich mit den Ergebnissen aus der ersten Projektphase 2011 – 2014 lagen die insgesamt in den Vorfluter abgeschlagenen Nitratfrachten auf Grund insgesamt geringerer Nitratkonzentrationen in dieser Versuchsphase deutlich niedriger.

Die in Tabelle 10 wiedergegebenen summarischen Angaben an den jeweiligen Messpunkten ermittelten N-Frachten (siehe auch Abbildung 15), gepumpten Wassermengen bzw. mittleren Nitrat-Konzentrationen zeigen, dass es auch im Rahmen dieser Versuchsphase gelungen ist, die Nitratfrachten bzw. –konzentrationen der über die Anlage geleiteten Dränwässer deutlich zu reduzieren. Die wesentlichen Abbau- bzw. Reduktionsprozesse fanden dabei im Biobed bzw. Pflanzbeet statt. Im Vergleich der mittleren N-Frachten am Messpunkt L4 (von Vorlage ins Biobed) mit den mittleren N-Frachten an den Messpunkten L5 (von Biobed ins Pflanzbeet) und Pflanzbeet (L6) wurden die N-Fracht vor allem in den relevanten hydrologischen Sommerhalbjahren um 40 – 60 % bzw. 80 – 90 % reduziert. Das führte auch dazu, dass an beiden Messpunkten im Mittel der angelieferten Dränwassermenge auch eine Nitratkonzentration von < 50 mg/l eingehalten werden konnte. Eine Ausnahme stellen hier allerdings die Ergebnisse des hydrologischen Sommerhalbjahres 2015 dar, von denen allerdings – wie weiter oben bereits erläutert – angenommen wird, dass sie im Wesentlichen durch Probenahmeeffekte verzerrt sind. Weiterhin zeigen die Ergebnisse in Tabelle 10 und Abbildung 15 noch einmal deutlich, dass der N-Austrag aus der Versuchsfläche im Wesentlichen im hydrologischen Sommerhalbjahr erfolgt und im hydrologischen Winterhalbjahr um 70 – 80 % zurückgeht.

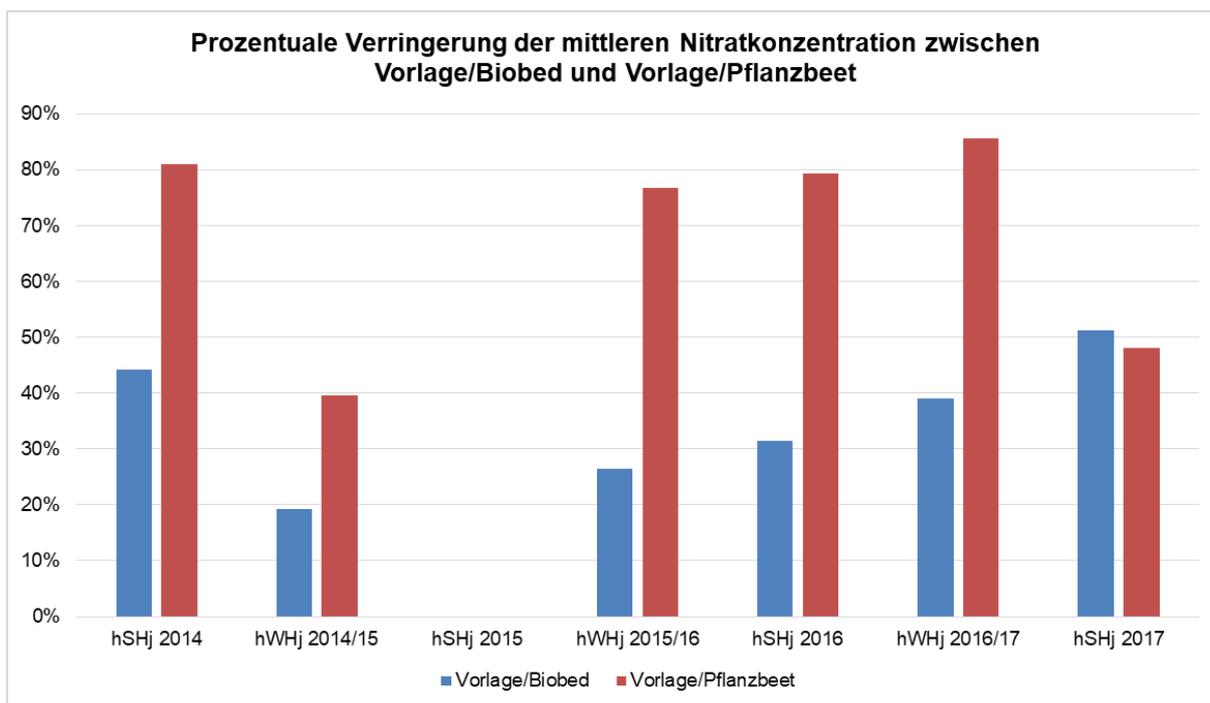


Abbildung 16: Prozentuale Verringerung der über die hHj gemittelten Nitratkonzentrationen zwischen Vorlage/Biobed und Vorlage/Pflanzbeet

3.3.2.3 PSM-Konzentrationen und Frachten

Analog den Erläuterungen zur Entwicklung der Nitratkonzentrationen und -frachten werden im Folgenden die Ergebnisse zu den Konzentrationen und Frachten der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe vorgestellt, die im Versuchszeitraum auf der Versuchsfläche ausgebracht und in der Folge in den Dränwässern an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage untersucht wurden. (Die im Zuge der in Kapitel 0 beschriebenen Leistungsversuche Biobed aufgebrauchten PSM-Mengen sind in den hier betrachteten Auswertungen nicht berücksichtigt, da sie die Ergebnisse zur bewirtschaftungsbedingten Dynamik des PSM-Austrages aus der Versuchsfläche verfälschen würden).

Auf das untersuchte Parameterspektrum und die Beprobungshäufigkeit wurde bereits in Kapitel 2.4.2.1 hingewiesen.

In Abbildung 17 bis Abbildung 31 sind für die einzelnen an den jeweiligen Beprobungspunkten analysierten Wirkstoffe die entsprechenden Konzentrationsganglinien dargestellt. Bei der Interpretation der Abbildungen ist folgendes zu berücksichtigen:

Der Grafik-Aufbau ist grundsätzlich gleich dem zur Darstellung der Nitratkonzentrationsganglinien in Abbildung 12. Es wurden dieselben Beprobungspunkte untersucht und auch der Beprobungsrhythmus (ca. 4 - 5 Wochen in der Vegetationsperiode) ist identisch. Wie bei den Nitratganglinien werden die tatsächlichen Messwerte in den nachfolgenden Grafiken durch die Wendepunkte der jeweiligen Ganglinie beschrieben. Die dazwischen liegenden Werte wurden auf Tagesbasis linear interpoliert. Wie die Ergebnisse aus der ersten Projektphase 2011 – 2014 zeigen, ist diese Herangehensweise hinreichend präzise, um Rückschlüsse auf den tatsächlichen Stofftransport im Dränwasser zu ziehen.

Dennoch ist aufgrund des Probenahmerhythmus von vier bis fünf Wochen anzunehmen, dass die tatsächlichen PSM-Konzentrationen in den interpolierten Zeiträumen sowohl nach unten als auch nach oben abweichen können. Allerdings ist festzustellen, dass kurz nach Ausbringung eines Wirkstoffes auf die Versuchsfläche erhöhte Konzentrationen in allen Anlagenkompartimenten festzustellen sind, was auf kurze Reaktionszeiten und auf ein schnelles Durchfließen der Anlage hindeutet. Etwas detailliertere Ergebnisse zur Durchflussgeschwindigkeit durch die Anlage bis zum Ende des Biobeds erlauben auch die Ergebnisse der Leistungsversuche Biobed (Kapitel 0). Weiterhin muss darauf hingewiesen werden, dass zu einzelnen Wirkstoffbefunden bzw. Konzentrationspeaks in Abbildung 17 bis Abbildung 31 keine Angaben zu ausgebrachten Pflanzenschutzmitteln vorlagen.

Bei der vergleichenden Bewertung der in den nachfolgenden Grafiken dargestellten Konzentrationsganglinien der PSM-Wirkstoffe (in alphabetischer Reihenfolge) ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Einzelgrafiken eine abweichende Skalierung der Y-Achse aufweisen. Eine gleiche Skalierung hätte dazu geführt, dass eine differenzierte Darstellung der Belastungsentwicklung einzelner PSM-Wirkstoffe im unteren Konzentrationsbereich nicht mehr möglich gewesen wäre.

Während des Versuchszeitraums vom 1.5.2014 bis zum 14.11.2017 wurden alle Wirkstoffe im Dränwasser nachgewiesen, die auch während dieses Zeitraums nach Tabelle 11 zur Anwendung kamen.

Tabelle 11: Untersuchte PSM-Wirkstoffe, die auf der Versuchsfläche im Untersuchungszeitraum ausgebracht wurden (Bewirtschafterangaben)

Jahr	Anwendungsdatum	Wirkstoff	Wirkstoff g/ha
2014	05.05.2014	Metribuzin	315
	09.05.2014	Haloxyfop-P	125
	20.05.2014	Fluazinam	160
	20.05.2014	Metalaxyl-M	77
	02.06.2014	Thiophanat-Methyl	500
	11.10.2014	Fluazinam	160
	11.10.2014	Metalaxyl-M	77
	28.10.2014	lambda-Cyhalothrin	8
2015	17.04.2015	Metribuzin	315
	04.05.2015	Boscalid	401
	04.05.2015	Pyraclostrobin	101
	29.05.2015	Fluazinam	160
	29.05.2015	Metalaxyl-M	77
	27.10.2015	Fluazinam	160
	27.10.2015	Metalaxyl-M	77
2016	16.04.2016	Metribuzin	280
	07.06.2016	Fluazinam	160
	07.06.2016	Metalaxyl-M	77
	30.06.2016	Boscalid	401
	30.06.2016	Pyraclostrobin	101
	07.08.2016	Metribuzin	280
	17.09.2016	Fluodoxinil	250
	17.09.2016	Cyprodinil	375
2017	08.10.2016	Metribuzin	105
	18.04.2017	Metribuzin	130
	31.05.2017	Thiophanat-Methyl	500
	03.07.2017	Metribuzin	420
	08.07.2017	Iprodion	525
	07.08.2017	Fluazinam	160
	07.08.2017	Metalaxyl-M	77
	14.08.2017	Azoxystrobin	200
06.09.2017	Metribuzin	280	

Im Wesentlichen werden die Ergebnisse der Konzentrationsganglinien aus der Voruntersuchung 2011 – 2014 bestätigt. Die Spannweite und Größenordnung der nachgewiesenen Konzentrationen, v.a. an den Messpunkten „Vorlauf“ und „Vorlage“, differiert bei den einzelnen Wirkstoffen zum Teil erheblich. So wurden Wirkstoffe wie Cyprodinil, Flonicamid, Fludioxonil, Iprodion, lambda-Cyhalothrin, Metalaxyl, Thiophanatmethyl nur im niedrigen, einstelligen

Mikrogrammbereich und zum Teil nur vereinzelt nachgewiesen. Andere Wirkstoffe wie z. B. Metribuzin (Abbildung 28) oder Boscalid (Abbildung 18) wurden nahezu permanent (als Folge ihrer regelmäßigen Anwendung) und in bis zu dreistelligen (Metribuzin) bzw. zweistelligen (Boscalid) Konzentrationsbereichen nachgewiesen.

Insgesamt sind die mittleren PSM-Konzentrationen im von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasser bzw. die sich daraus errechnenden PSM-Frachten im aktuellen Versuchszeitraum deutlich geringer als in der Voruntersuchung 2011 – 2014. So liegt die Durchschnittskonzentration über alle Wirkstoffe im Zeitraum Mai 2014 bis Ende 2017 am Messpunkt „Vorlage“ mit ca. 54 µg/l rund 28 µg/l niedriger als im Untersuchungszeitraum 2011 bis April 2014. Ursächlich ist diese aber nicht zwingend einem geringeren PSM-Einsatz auf der Versuchsfläche zuzuschreiben, sondern zumindest teilweise auch einem veränderten eingesetzten PSM-Spektrum.

Entscheidend für die hier betrachtete Versuchsfrage ist aber, dass es auch im aktuellen Versuchszeitraum gelungen ist, die PSM-Konzentrationen in den von der Versuchsfläche abströmenden Dränwässern im Durchfluss durch die Anlage im Biobed und im Pflanzbeet deutlich zu senken. Wie in Abbildung 17 bis Abbildung 31 zu sehen ist, liegen die gemessenen PSM-Konzentrationen der einzelnen Wirkstoffe an den Messpunkten „Biobed“ und „Pflanzbeet“ weiterhin deutlich unter denen der Messpunkte „Vorlauf“ und „Vorlage“. Die PSM-Ganglinien der Messpunkte „Biobed“ und „Pflanzbeet“ bewegen sich bei fast allen betrachteten Wirkstoffen auf der Null-Linie oder weichen hiervon nur zeitweise und geringfügig ab. Ein nennenswerter Unterschied zwischen den Messpunkten „Biobed“ und „Pflanzbeet“ besteht dabei nicht mehr, d. h. die PSM-Wirkstoffe werden weit überwiegend bereits im Biobed zurückgehalten. Eine Ausnahme hiervon stellt jedoch - wie auch bereits in der Voruntersuchung festgestellt - der Wirkstoff Metribuzin dar. Auch die Konzentrationen dieses Wirkstoffes werden zwar im Biobed und Pflanzbeet noch reduziert, aber auf ein deutlich geringeres Maß.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse dieser zweiten Projektphase 2014 – 2017 die der vorhergehenden. Die PSM-Wirkstoffkonzentrationen gehen im Durchfluss durch die Anlage zwischen den Probenahmestellen „Vorlage“ und „Biobed“ deutlich zurück. Somit ist auch nach nun bereits 6-jähriger Laufzeit der Versuchsanlage noch eine wirksame Wirkstoffreduzierung festzustellen.

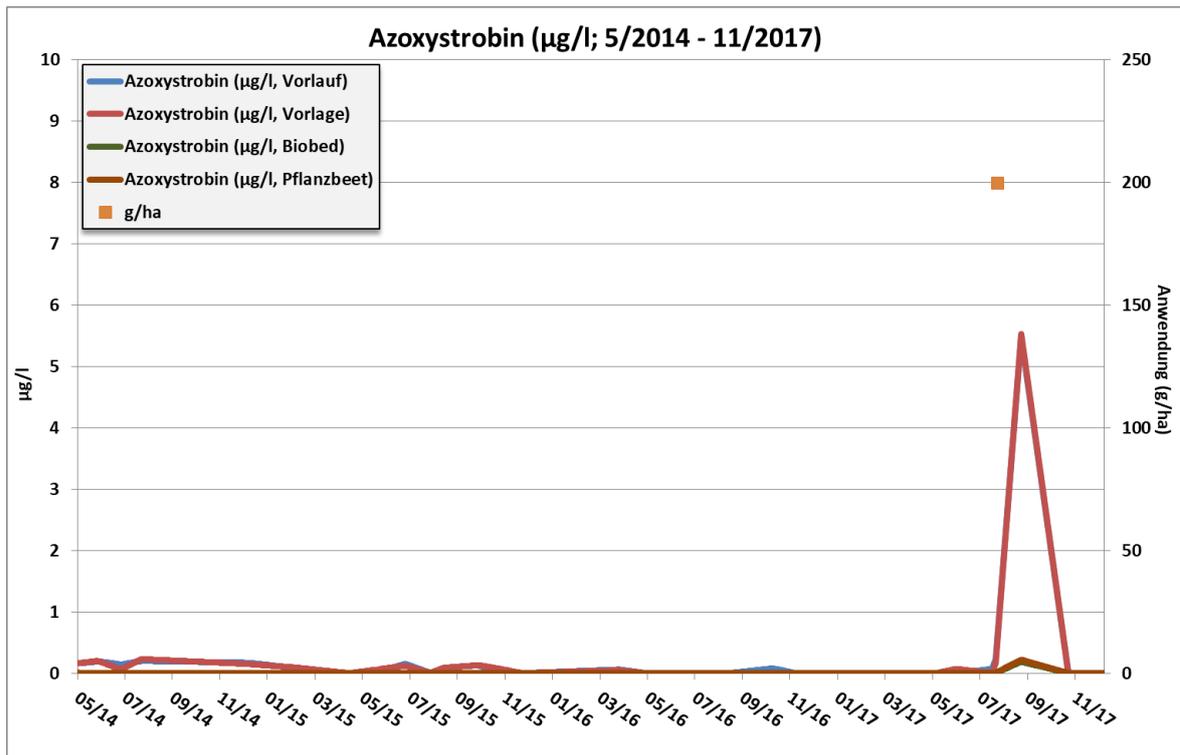


Abbildung 17: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Azoxytrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

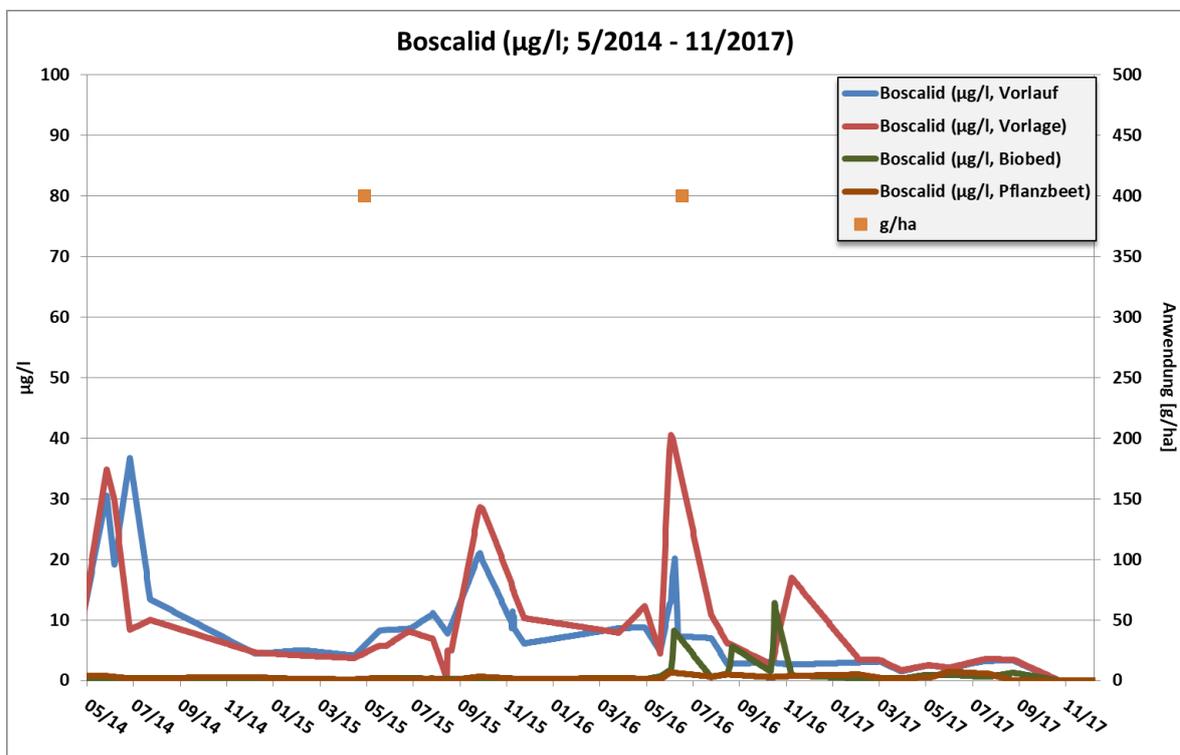


Abbildung 18: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Boscalid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

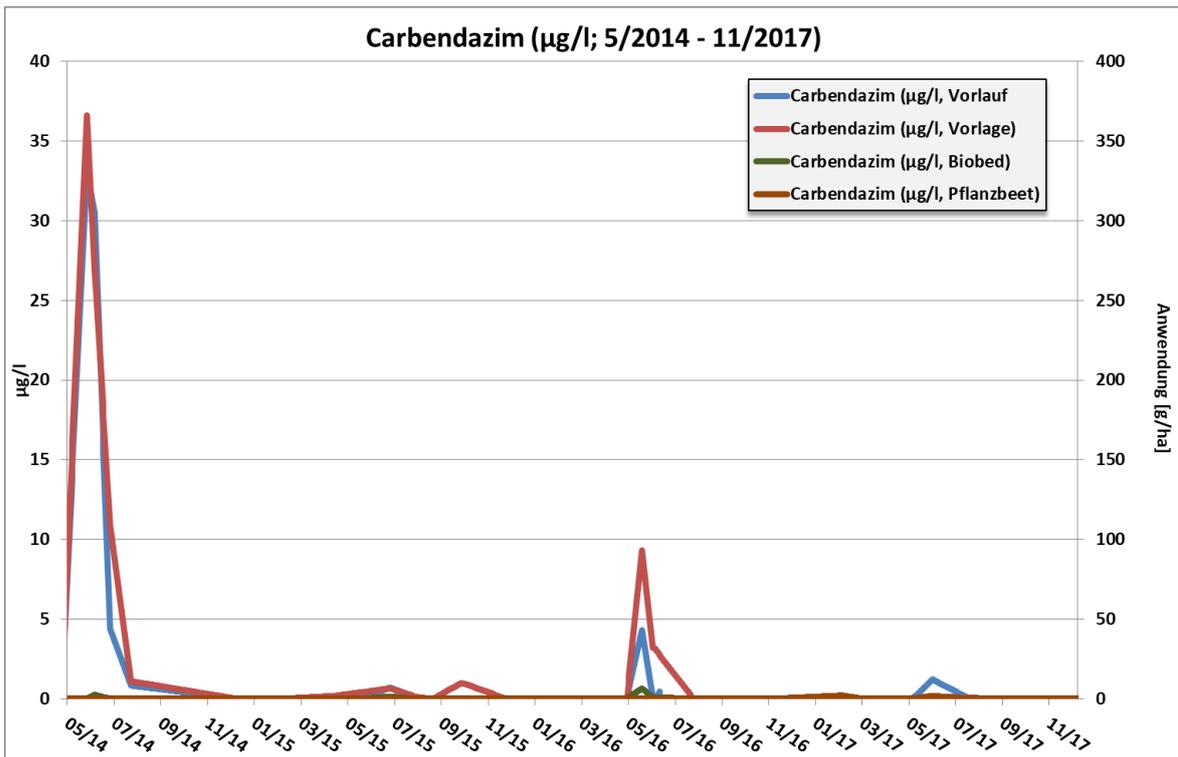


Abbildung 19: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Carbendazim im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

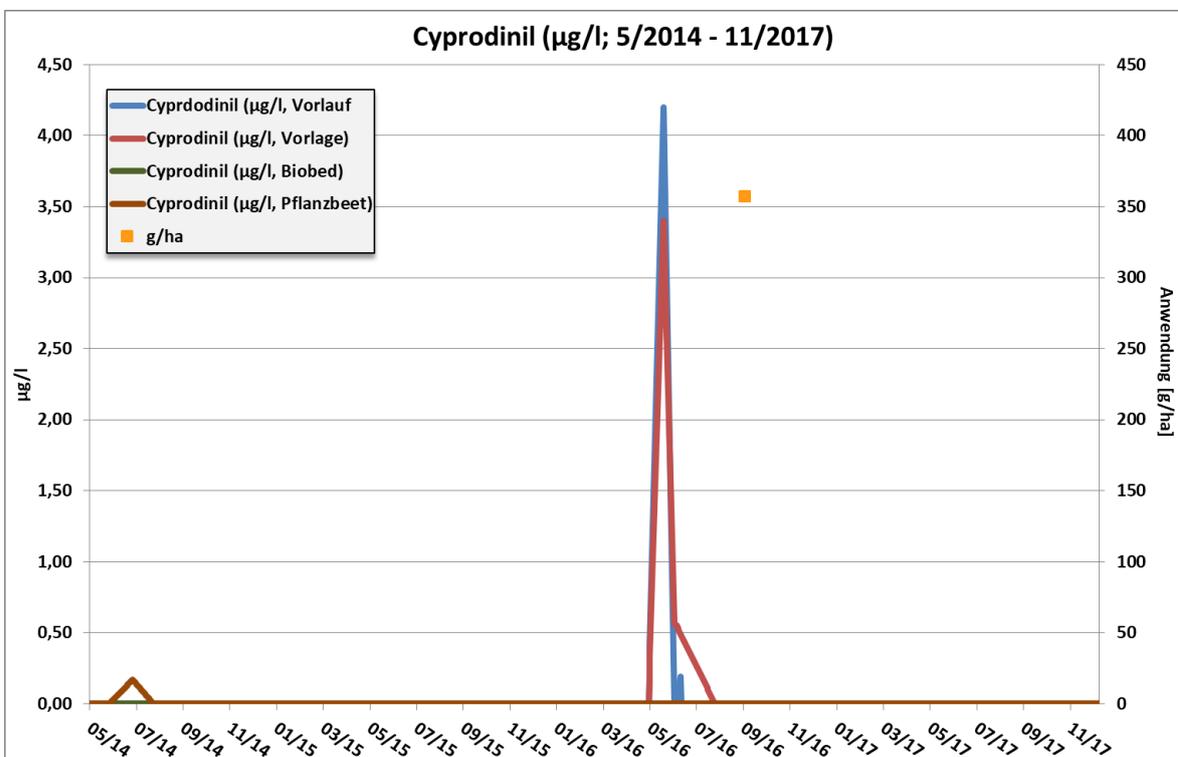


Abbildung 20: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Cyprodinil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

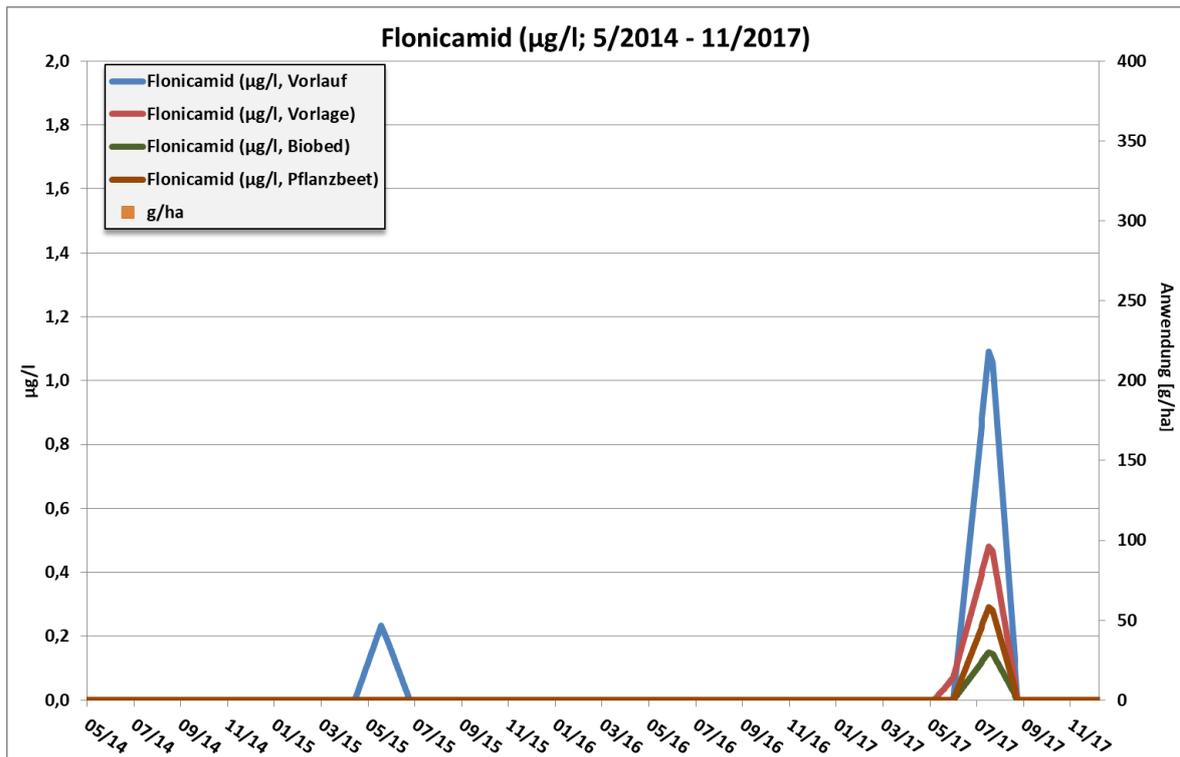


Abbildung 21: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Flonicamid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

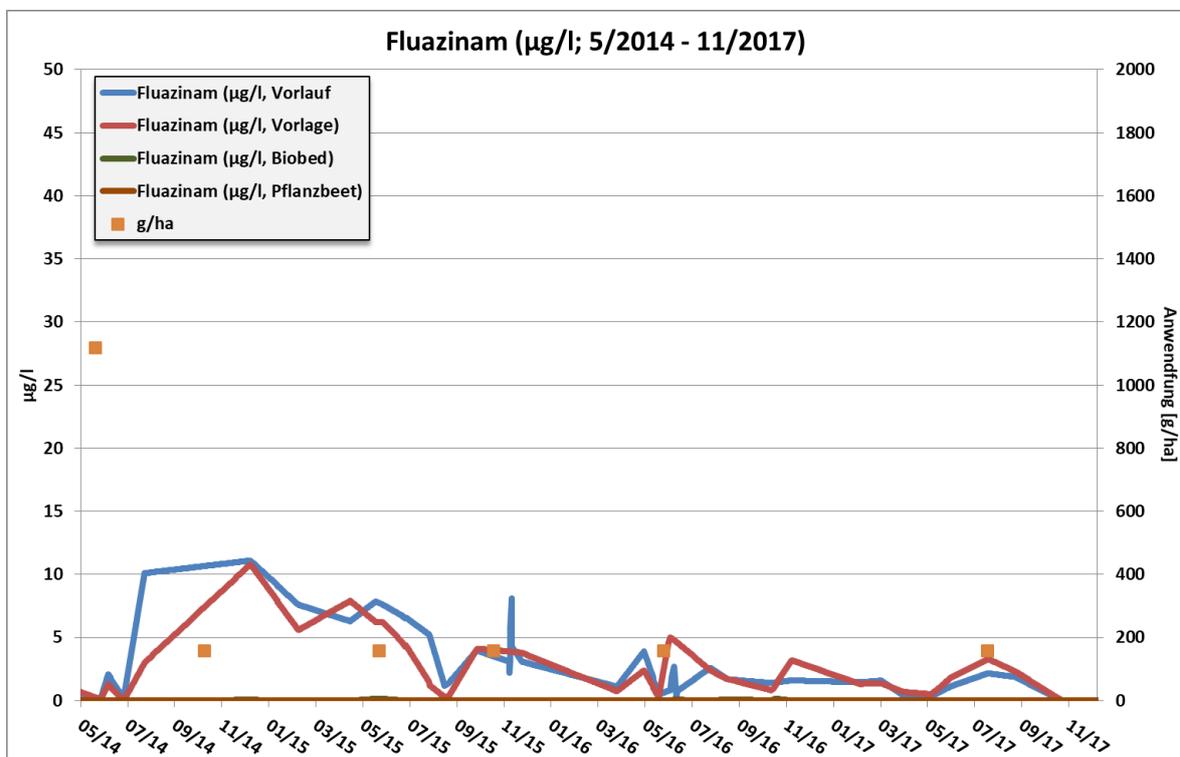


Abbildung 22: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Fluazinam im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

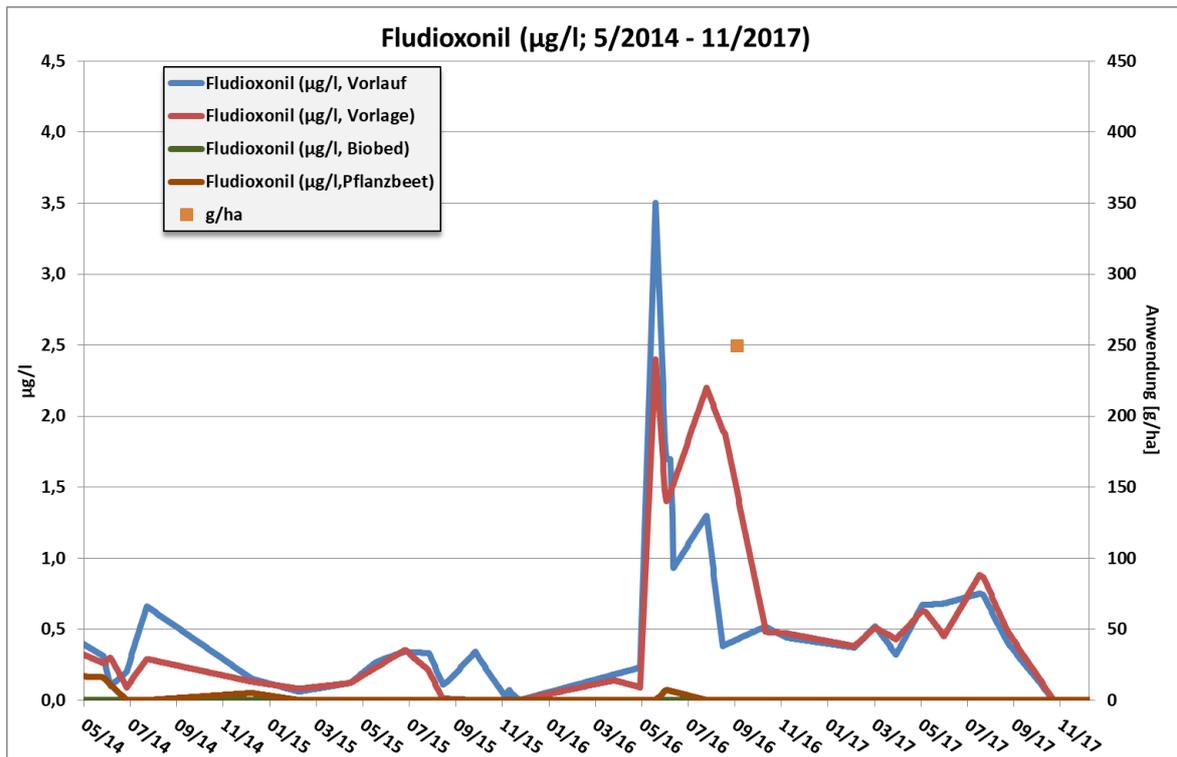


Abbildung 23: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Fludioxonil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

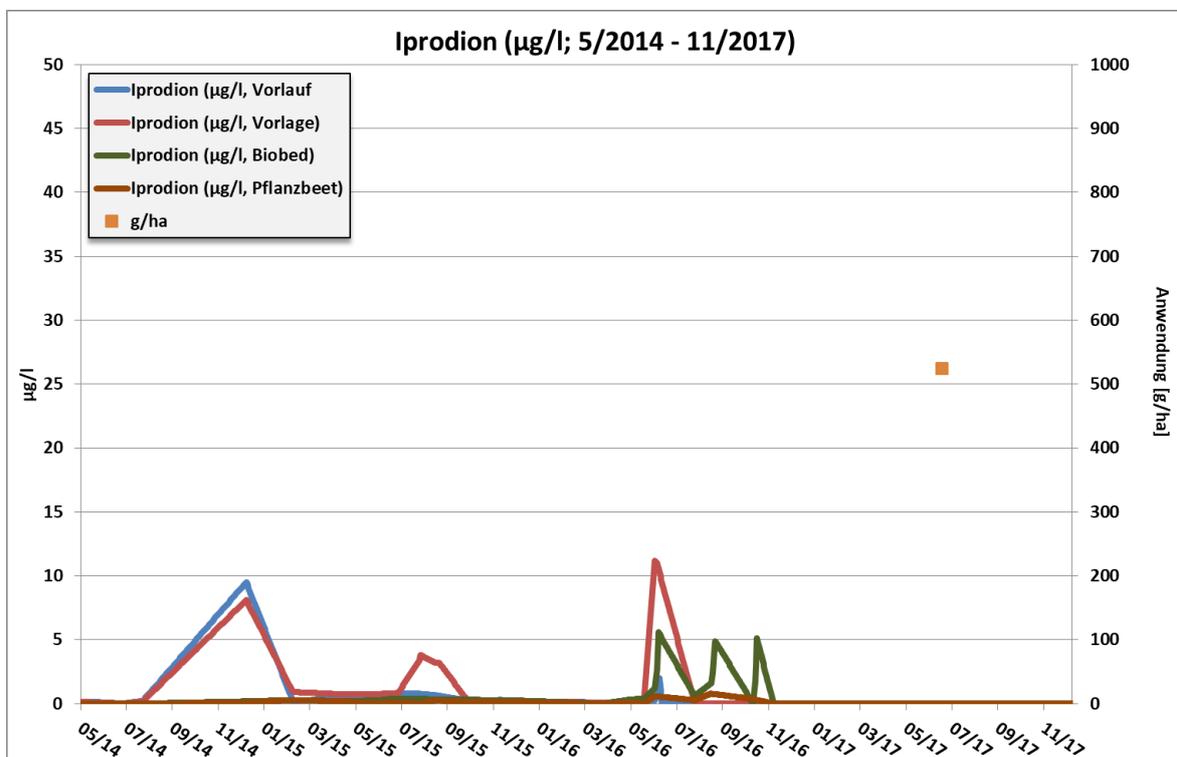


Abbildung 24: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Iprodion im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

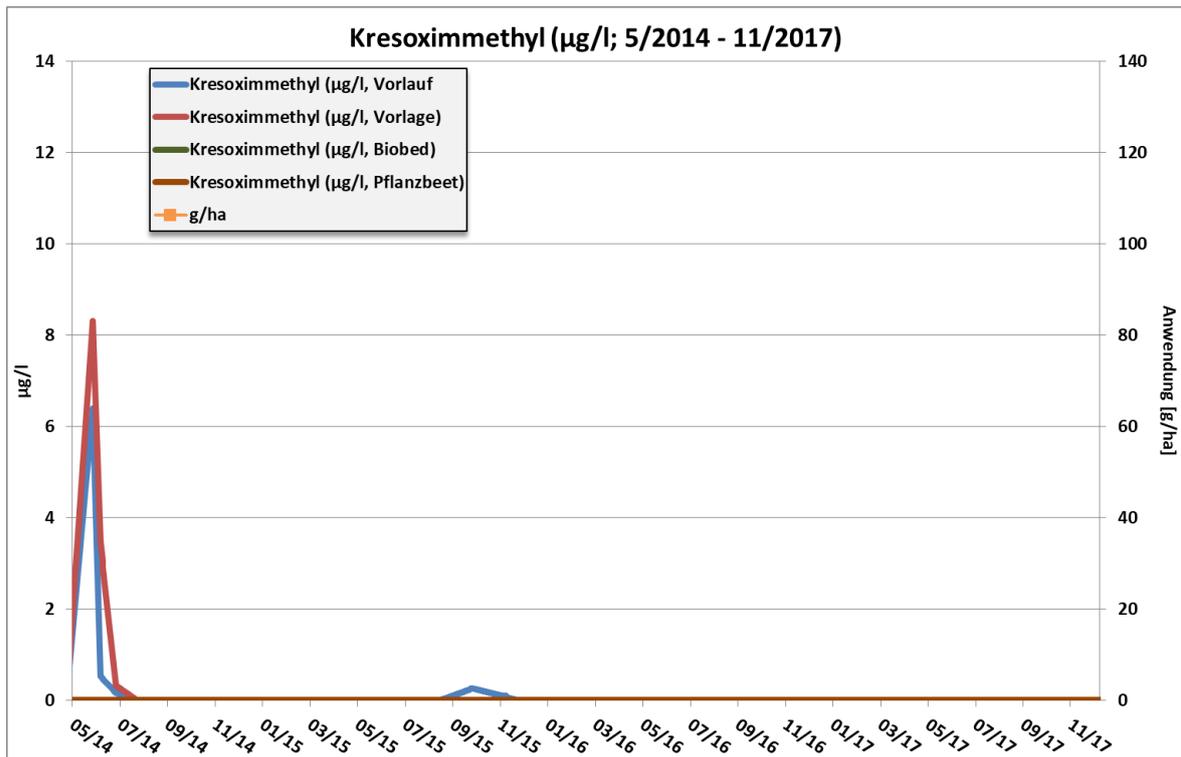


Abbildung 25: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Kresoximmethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

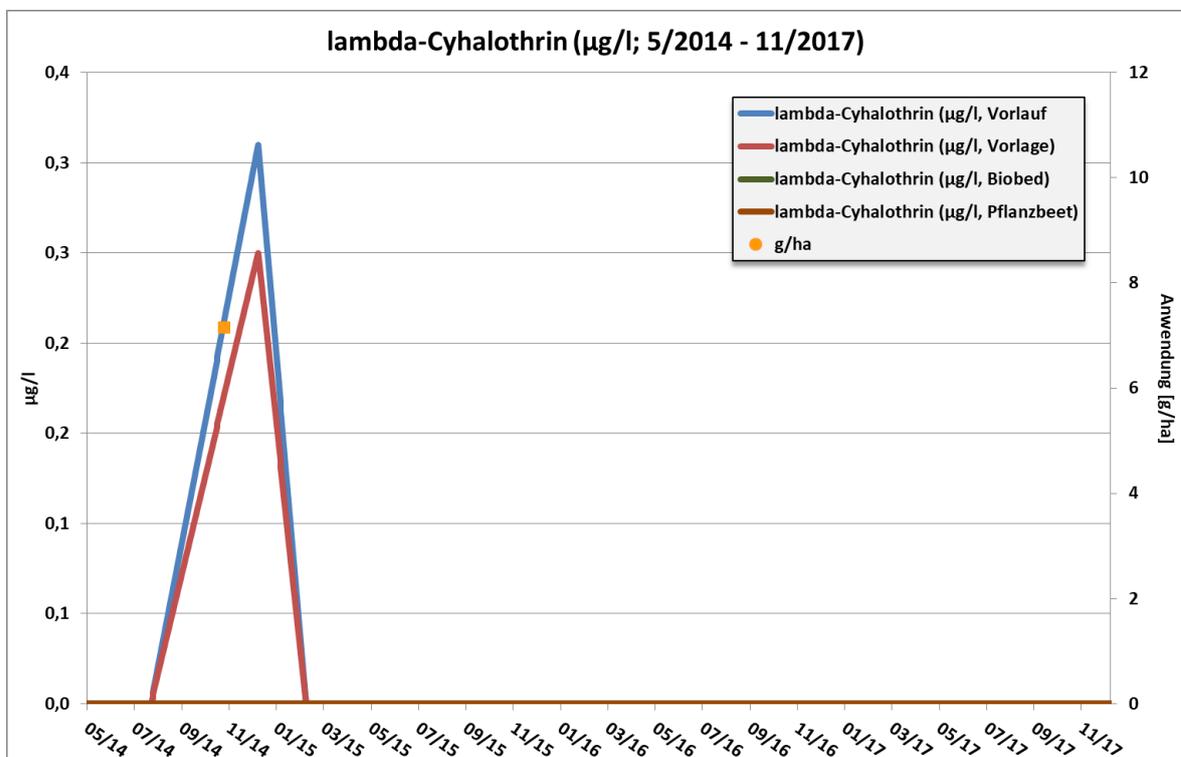


Abbildung 26: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes lambda-Cyhalothrin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

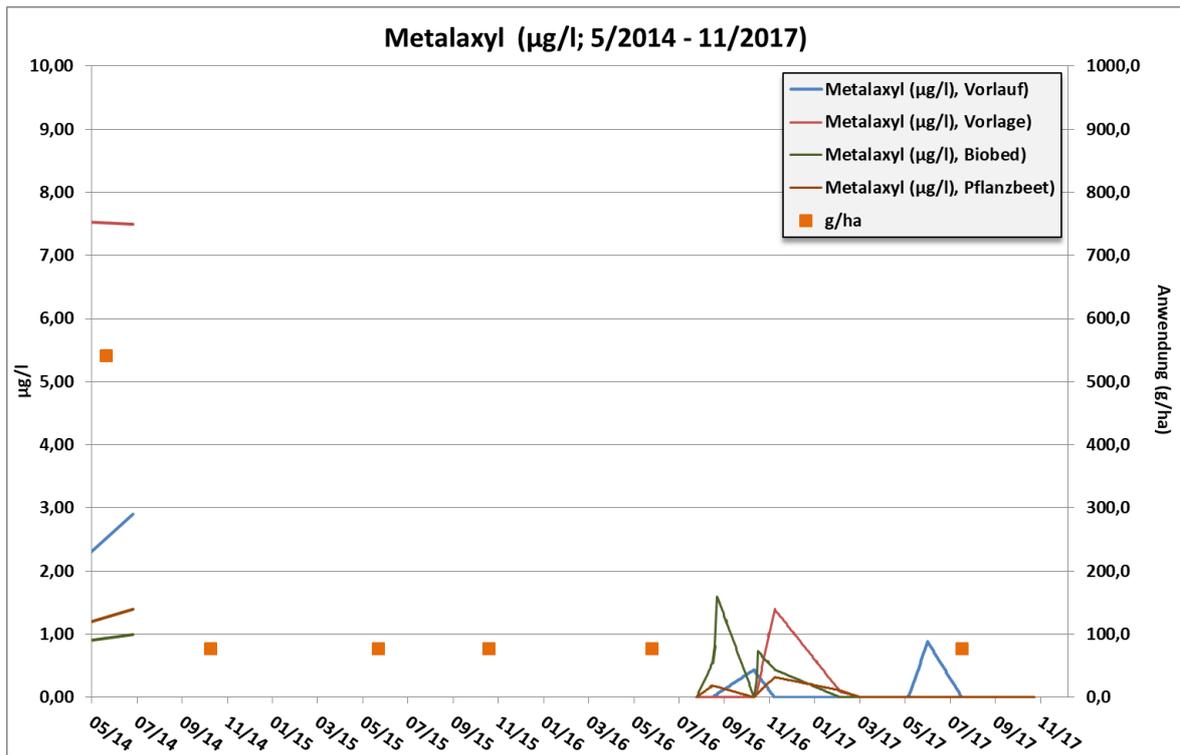


Abbildung 27: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Metalaxyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

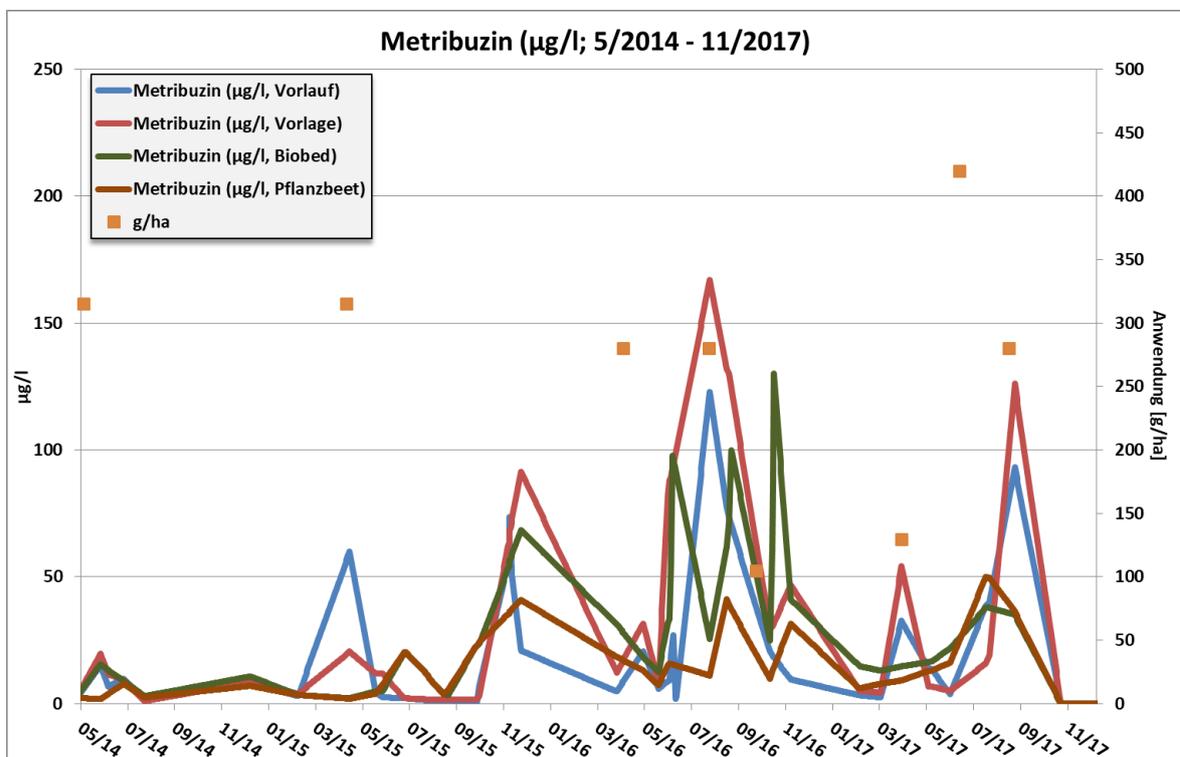


Abbildung 28: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Metribuzin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

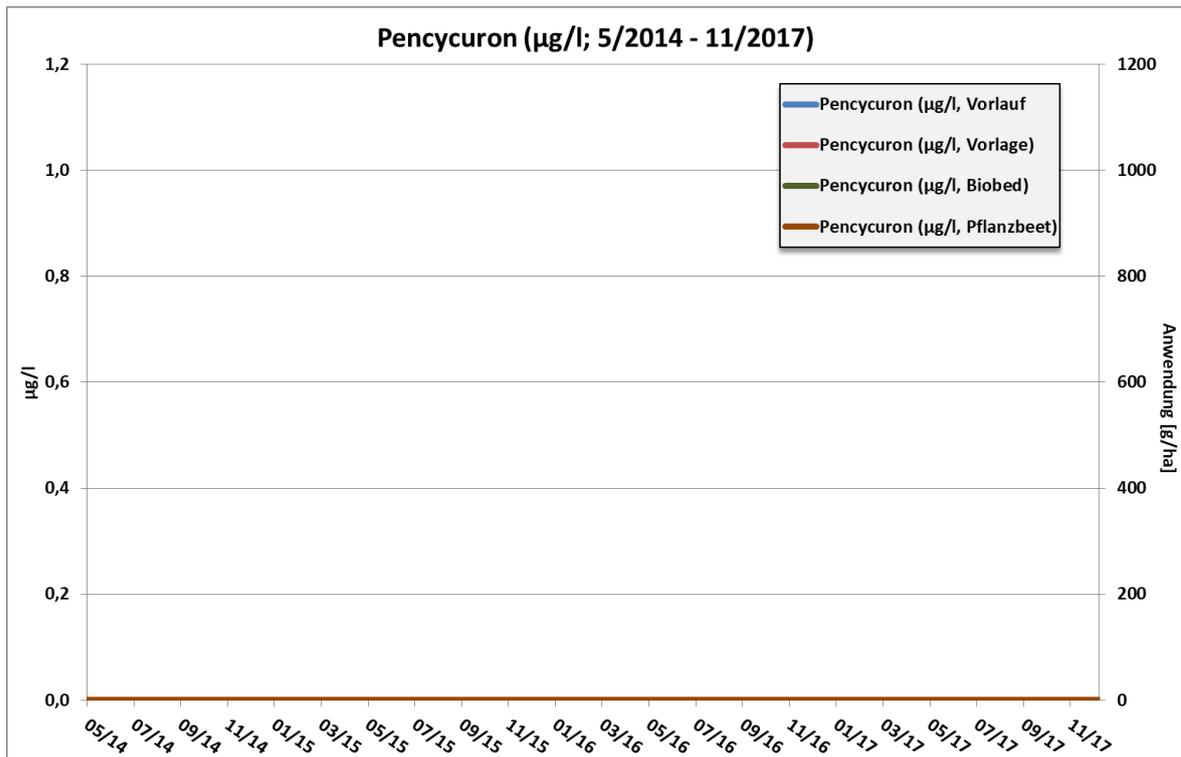


Abbildung 29: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Pencycuron im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

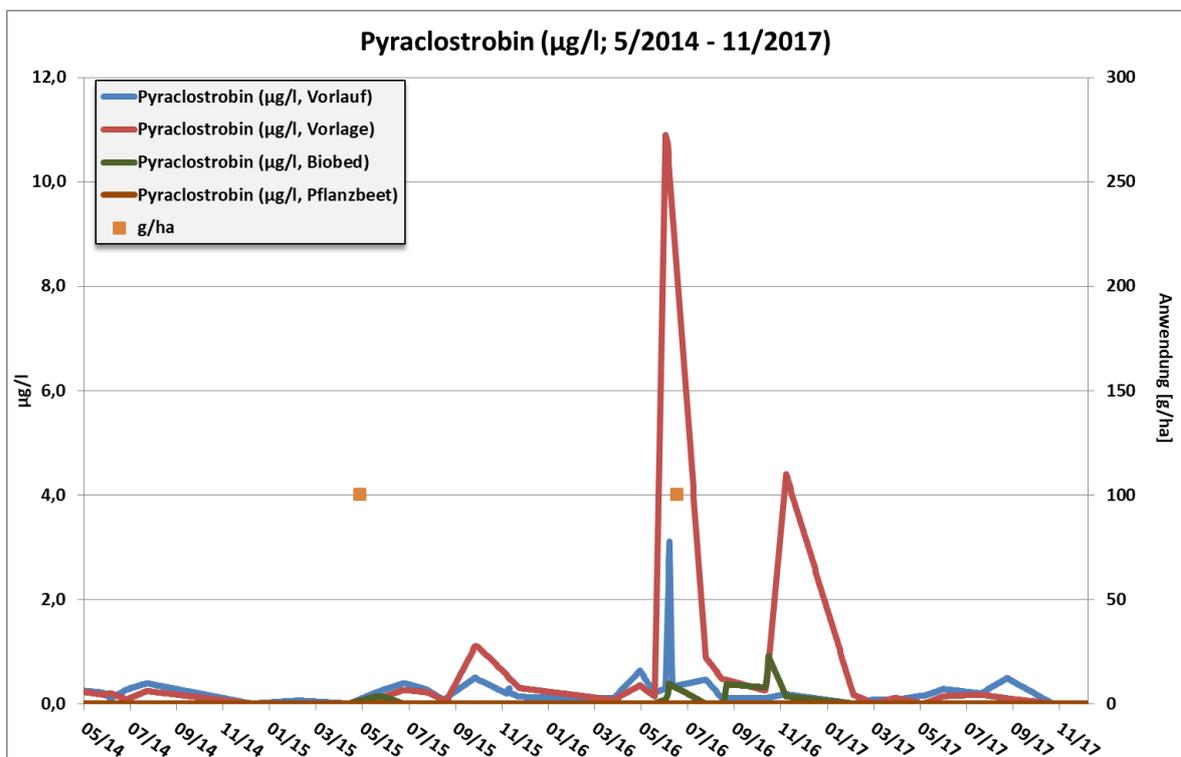


Abbildung 30: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Pyraclostrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

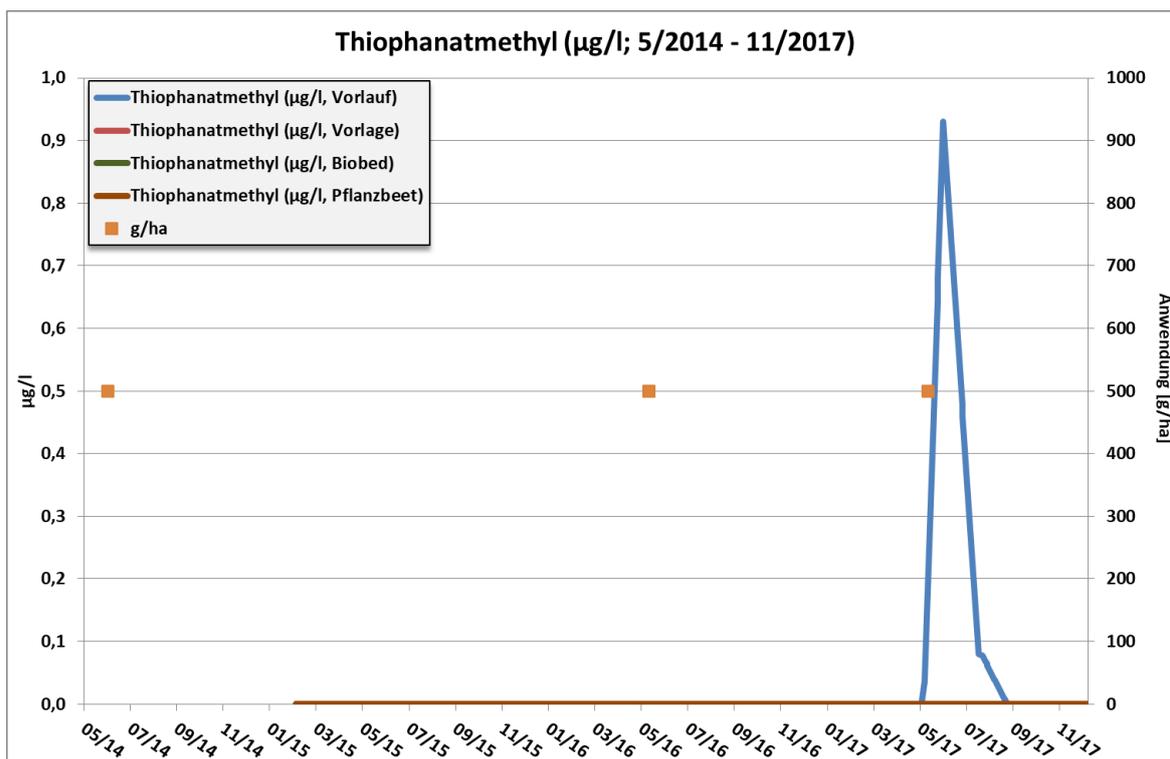


Abbildung 31: Konzentrationsganglinien des PSM-Wirkstoffes Thiophanatmethyl im (Drän -) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Mai 2014 - November 2017).

Mit den in Tabelle 10 aufgelisteten Pumpmengen der verschiedenen Volumenteilströme lassen sich nun auch für die Pflanzenschutzmittelkonzentrationen und, bezogen auf die hydrologischen Halbjahre, die resultierenden PSM-Frachten errechnen. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abbildung 32 bis Abbildung 38 dargestellt.

Die Ergebnisse verdeutlichen noch einmal sehr deutlich die Leistungsfähigkeit der Anlage, v. a. des Biobeds, zur Zurückhaltung von PSM-Frachten.

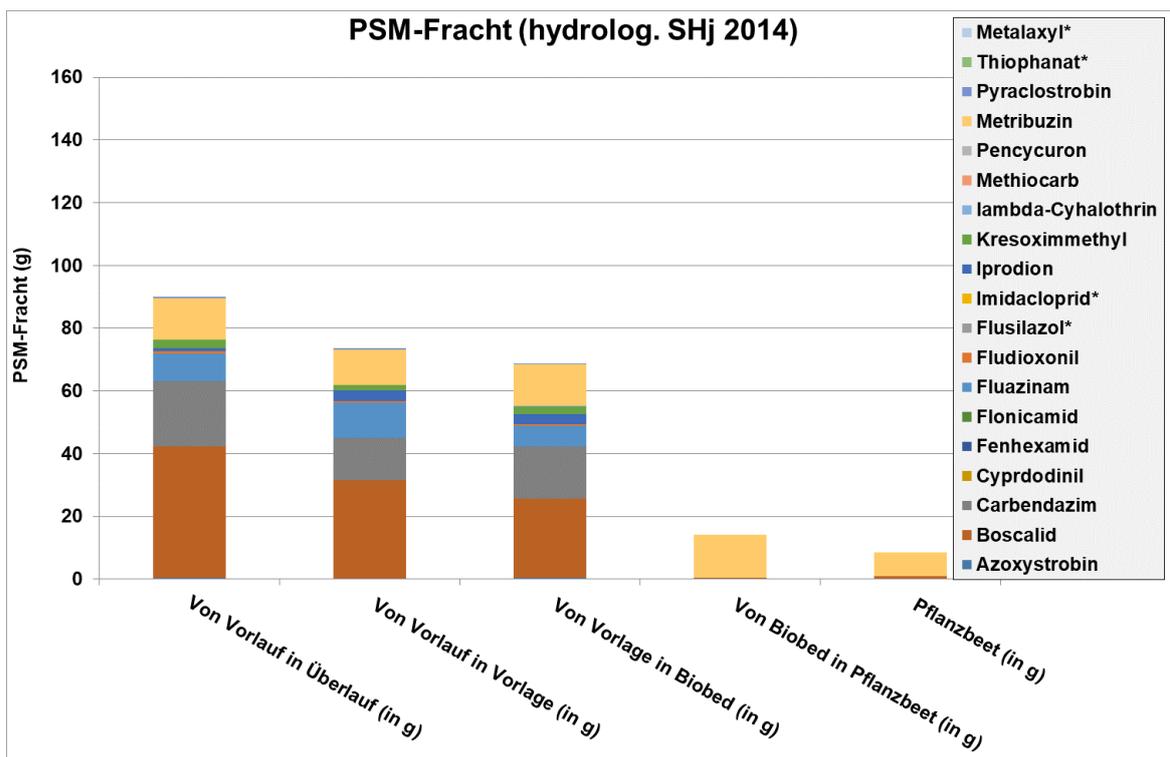


Abbildung 32: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2014.

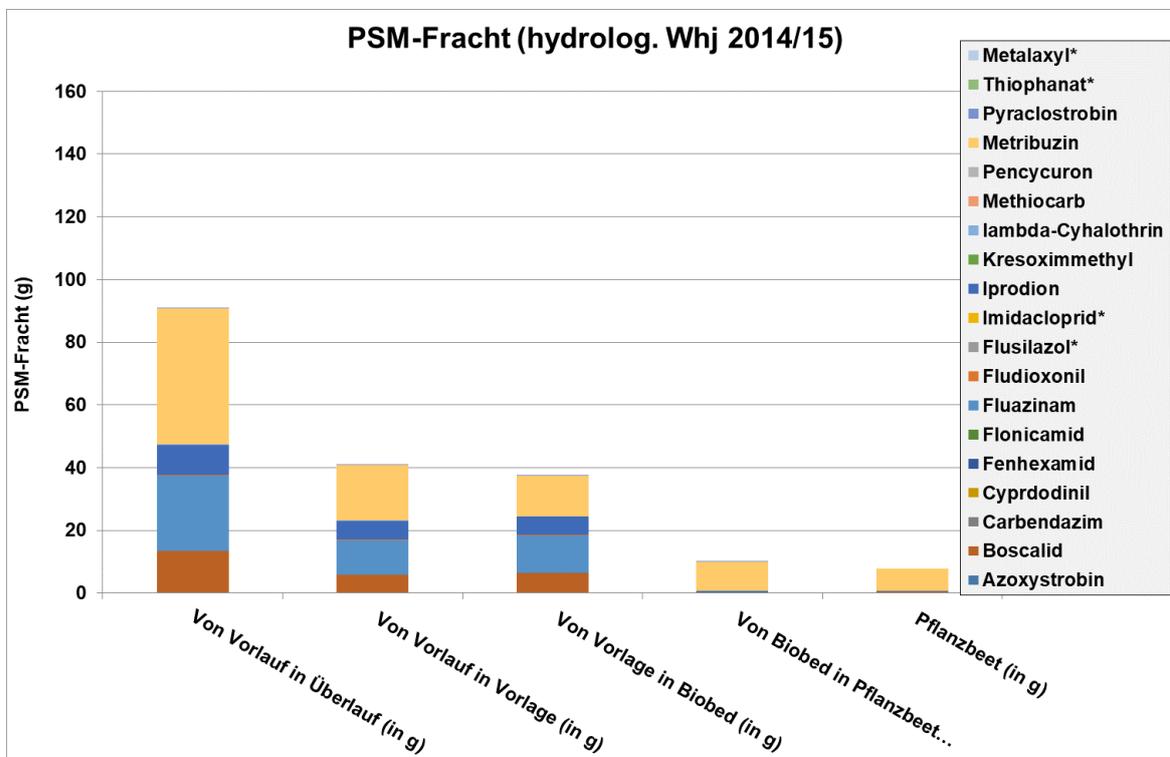


Abbildung 33: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2014/2015.

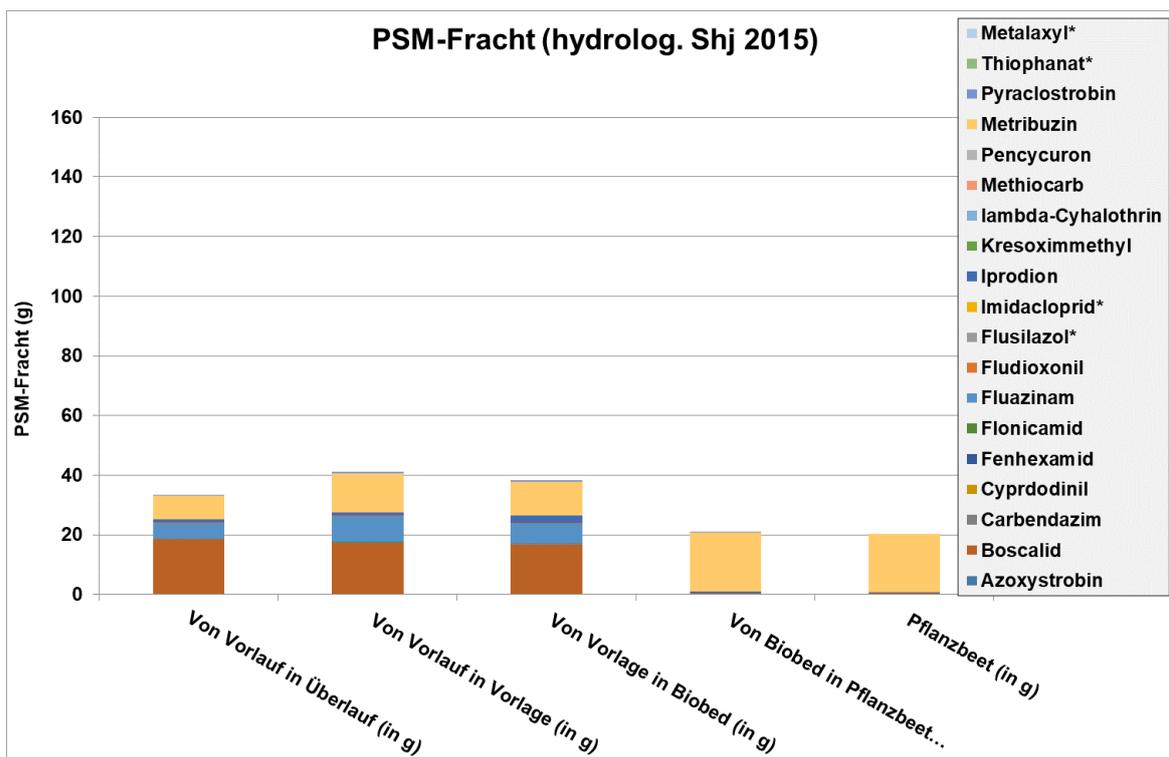


Abbildung 34: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2015.

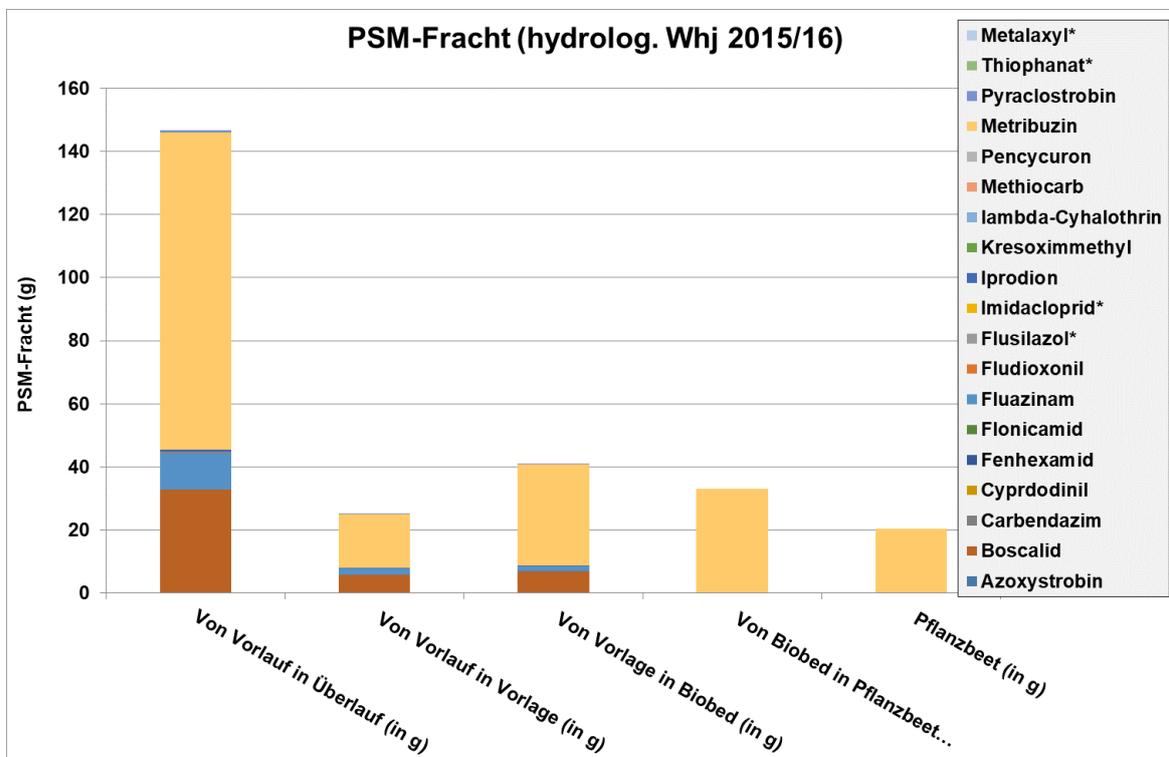


Abbildung 35: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2015/2016.

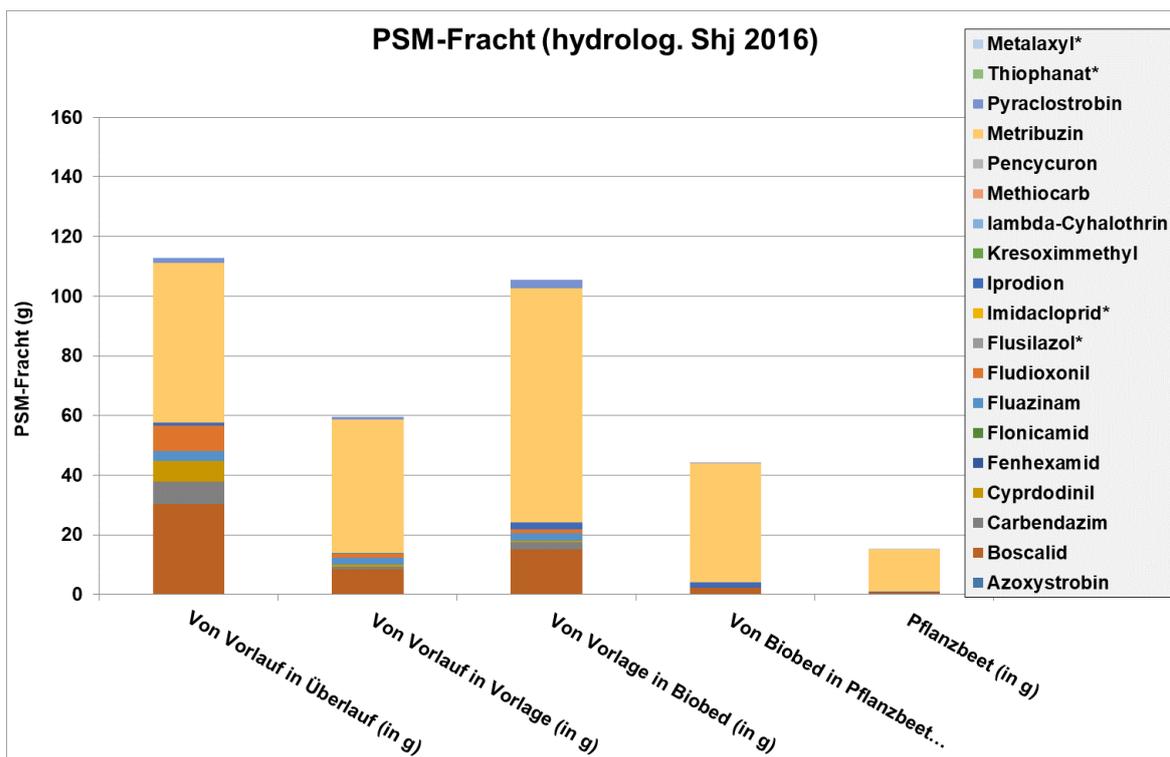


Abbildung 36: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2016.

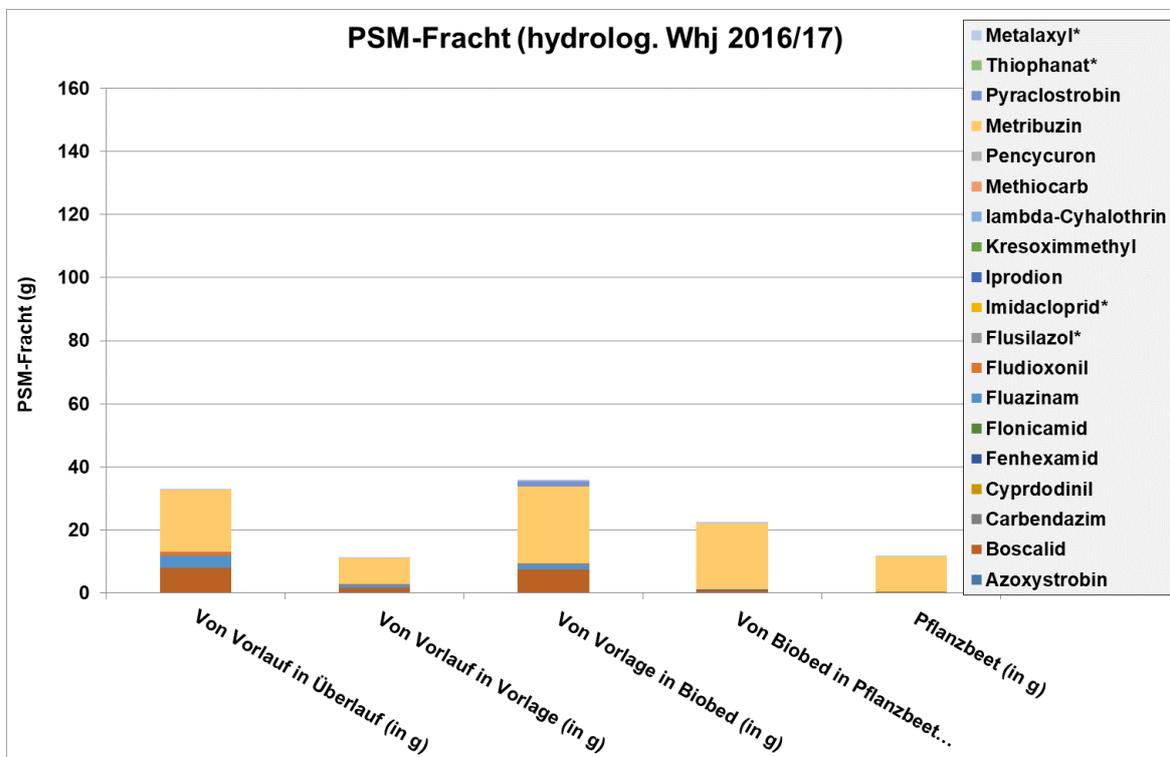


Abbildung 37: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hWhJ 2016/2017.

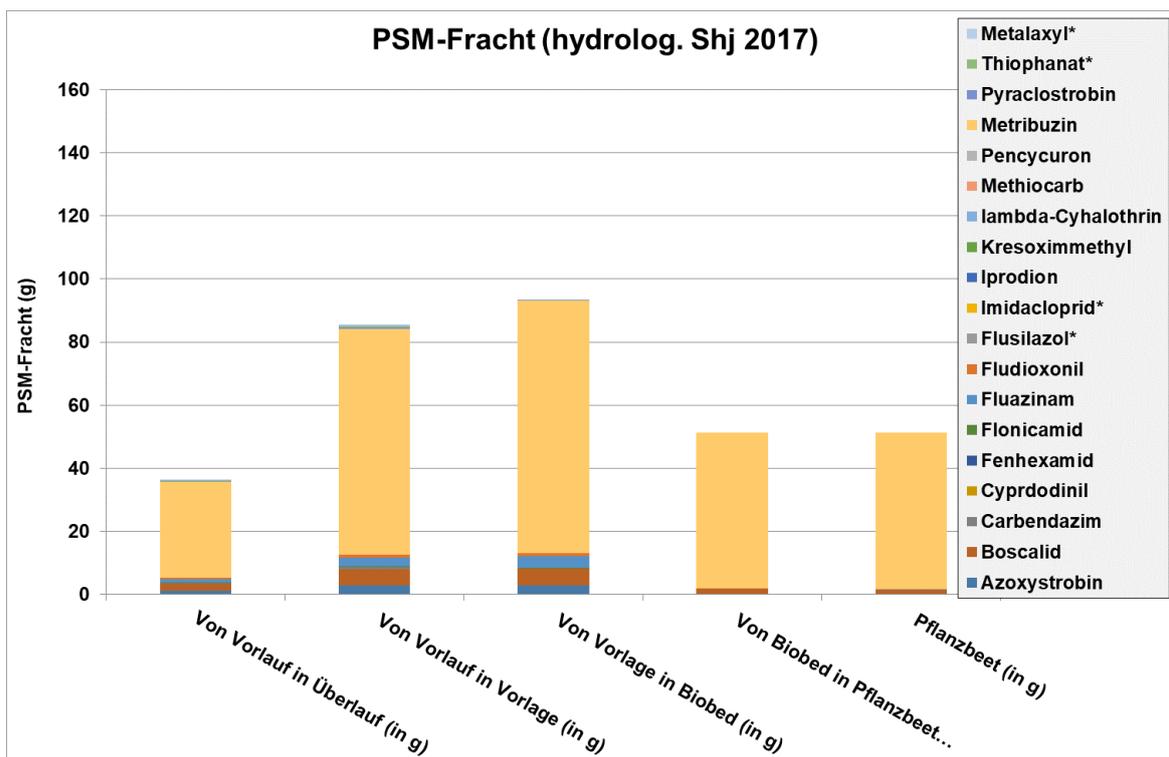


Abbildung 38: PSM-Frachten in den Volumensteilströmen im Fließverlauf durch die Versuchsanlage im hShJ 2017.

Zum einen wird an den Darstellungen in Abbildung 32 bis Abbildung 38 die Dominanz des Wirkstoffes Metribuzin für eine potenzielle wasserwirtschaftliche Problematik, die durch diesen Wirkstoff entstehen kann, deutlich. Neben der vergleichsweise schlechten Reduktionsleistung der Anlage für diesen Wirkstoff resultiert diese Dominanz u. a. aber auch aus einem im Vergleich zum vorhergehenden Untersuchungszeitraum erhöhten und häufigeren Metribuzin-Einsatz auf der Versuchsfläche. Während im Zeitraum der Voruntersuchung 2011 – 2014 Metribuzin (nach Bewirtschafterangaben) lediglich 4 Mal zum Einsatz kam, wurde es im aktuellen Versuchszeitraum insgesamt 8 Mal ausgebracht (siehe auch Tabelle 11:). Außerdem fällt an den Darstellungen in Abbildung 32 bis Abbildung 38 auf, dass insbesondere in dem hydrologischen WHj 2015/16, SHj 2016 und WHj 2016/17 augenscheinlich mehr PSM-Frachten, vor allem des Wirkstoffes Metribuzin, von der „Vorlage“ ins „Biobed“ als von „Vorlauf“ in die „Vorlage“ fließen. Dieser Effekt ist jedoch auf probenahmebedingte Unschärfen zurückzuführen, da zum jeweiligen Probenahmetermin die Wässer an den einzelnen Probenahmestellen ein „unterschiedliches Alter“ (Abweichung von 1 – 2 Tagen) bezüglich des Abflusstermins von der Versuchsfläche haben (können). Kommt es innerhalb dieses Zeitraumes zu nennenswerten Konzentrationsschwankungen im von der Fläche abfließenden Wasser, können hierauf die erwähnten Widersprüchlichkeiten zurückzuführen sein. Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch auch in diesen Darstellungen, dass die PSM-Frachten während der Passage durch das

Biobed einen deutlichen Rückgang erfahren und bestätigen damit die Funktionsweise der Versuchsanlage.

Auffällig ist am Beispiel der Abbildung 32 bis Abbildung 38 weiterhin, dass es im Gegensatz zum vorhergehenden Versuchszeitraum nur vergleichsweise geringe Unterschiede der PSM-Frachten zwischen den hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahren zu geben scheint, die allerdings auf Grund ausbleibender PSM-Anwendungen in den Wintermonaten zu erwarten wären. Diese mangelnden Unterschiede zwischen hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahr werden aber darauf zurückgeführt, dass PSM-Anwendungen zum Ende des hydrologischen Sommerhalbjahres im Oktober auch den Beginn des hydrologischen Winterhalbjahres beeinflussen bzw. erste PSM-Anwendungen in der darauffolgenden Periode bereits im April stattfinden.

Im weiteren Fließweg der Dränwässer durch die Versuchsanlage zeigt sich auch am Beispiel der PSM-Frachten, dass diese im Biobed weitgehend bis vollständig zurückgehalten werden. Die in das Pflanzbeet eingeleiteten PSM-Frachten haben sich im Vergleich zu den in der Vorlage ermittelten erheblich reduziert und setzen sich im Grunde nur noch aus den Wirkstoffen Metribuzin und (in deutlich geringerem Umfang) Boscalid zusammen.

In Tabelle 12 ist im Vergleich der Beprobungspunkte „Vorlauf“ und „Pflanzbeet“ noch einmal zusammenfassend dargestellt, welche mittleren Wirkstoffkonzentrationen sich in den einzelnen hydrologischen Halbjahren und den in diesen Zeiträumen erfassten Durchflussmengen ergeben. Für die am Beprobungspunkt „Vorlauf“ untersuchten Wässer, die sowohl die Qualität der von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer als auch die Beschaffenheit der in den Vorfluter sowie in die Versuchsanlage eingeleiteten Wässer repräsentieren, zeigt sich, dass diese im Mittel der hydrologischen Halbjahre PSM-Konzentrationen von ca. 16 - 52 µg/l bei Berücksichtigung aller Wirkstoffe bzw. 5 - 35 µg/l ohne Berücksichtigung des Wirkstoffes Metribuzin aufweisen. Bei Betrachtung der entsprechenden Mittelwerte der Wasserbeschaffenheit im Pflanzbeet finden sich im Mittel der hydrologischen Halbjahre über alle untersuchten Wirkstoffe noch Konzentrationen von 5 - 29 µg/l wieder bzw. 0,4 - 0,9 µg/l ohne Berücksichtigung von Metribuzin. Es fällt weiterhin auf, dass die Reduzierungsleistung ab dem hShj 2015 abzunehmen scheint. Im hWhj 2016/17 sind sogar im Mittel leicht höhere Konzentrationen im Pflanzbeet als im Vorlauf gemessen worden, was allerdings auf die bereits weiter oben beschriebenen probenahmebedingten Unschärfen zurückgeführt wird. Grundsätzlich ist im Pflanzbeet sicher eine weitere Reduzierung der PSM-Konzentrationen während der hier über die belebte Bodenschicht stattfindenden Versickerung zu erwarten. Entsprechende Effekte konnten im Rahmen des hier durchgeführten Untersuchungskonzeptes jedoch nicht quantifi-

ziert werden. Außerdem hat sich gezeigt, dass zumindest unter den standörtlichen Bedingungen des Versuchsstandortes die Versickerung quantitativ nur von untergeordneter Bedeutung ist und somit auf diesem Wege keine großen Dränwassermengen mehr gereinigt werden können.

Tabelle 12: Mittlere PSM-Konzentrationen in den hydrologischen Halbjahren.

mittlere PSM-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$]				
Zeitraum	Vorlauf		Pflanzbeet	
	alle	ohne Metribuzin	alle	ohne Metribuzin
hShj 2014	41,89	35,54	4,77	0,59
hWhj 2014/15	34,63	19,58	5,29	0,55
hShj 2015	24,74	16,89	13,10	0,42
hWhj 2015/16	35,99	11,54	29,22	0,39
hShj 2016	52,53	13,08	16,50	1,02
hWHj 2016/17	16,72	4,48	17,21	0,91
hShj 2017	43,45	7,24	26,96	0,92

Auf Basis der Zahlen in Tabelle 12 ist in Abbildung 39 die Reduzierungsleistung der Versuchsanlage für die PSM-Wirkstoffe dargestellt (in Prozent der mittleren PSM-Konzentrationen im Pflanzbeet im Vergleich zum Vorlauf, mit und ohne den Wirkstoff Metribuzin). Es ist zu erkennen, dass bei Berücksichtigung aller Wirkstoffe die Reduzierungsleistung der Anlage ab dem hydrologischen Sommerhalbjahr 2015 zurückzugehen scheint (insbesondere bezogen auf den Wirkstoff Metribuzin), mit Auffüllung des Biobeds mit frischem Substrat im Frühjahr 2017 aber auch wieder zunimmt. Im Mittel aller anderen untersuchten PSM-Wirkstoffe lag die Reduzierungsleistung der Anlage aber auf einem gleichbleibend hohen Niveau von 80 – 98 %.

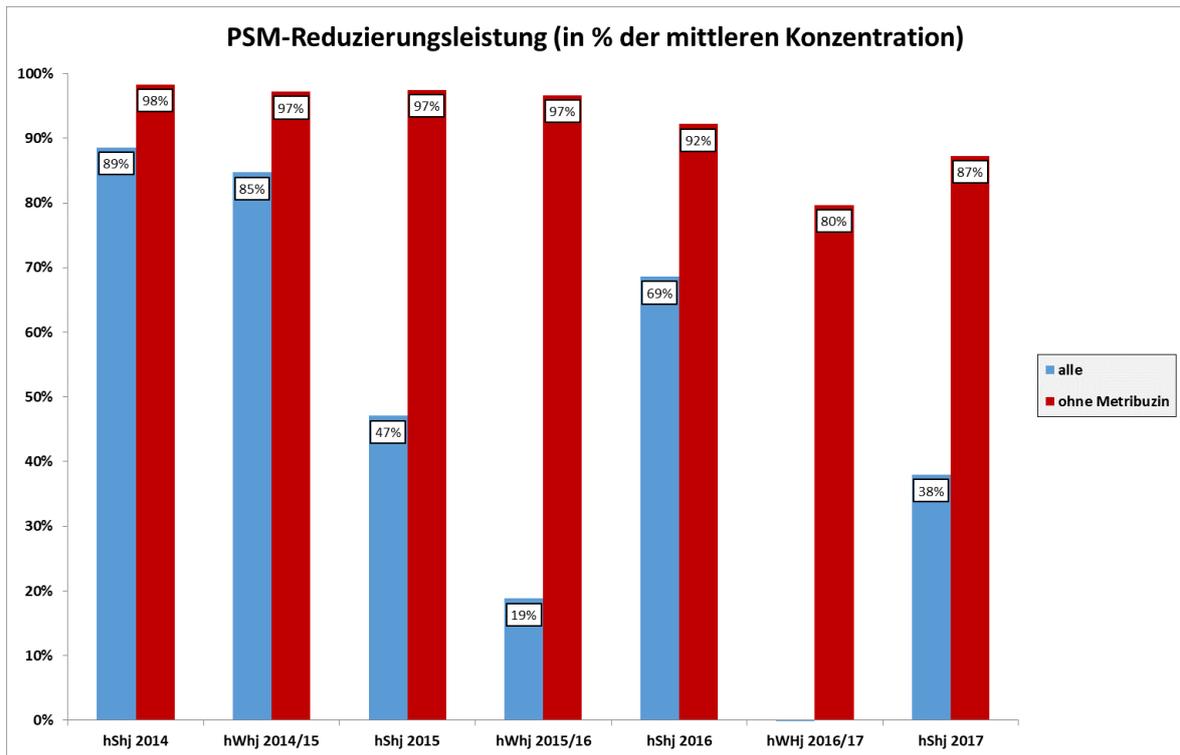


Abbildung 39: PSM-Reduzierungsleistung der Versuchsanlage

3.4 Optimierung des Anlagebetriebs / -ausbaus

3.4.1 Optimierung / Erhöhung der Volumenbeaufschlagung auf das Pflanzbeet

Die Versickerungsleistung des Pflanzenbereichs ist der begrenzende Faktor, wenn man von der Möglichkeit absieht, Dränwassermengen aus diesem Bereich abzuschlagen.

Aus den Beobachtungen aus der ersten Projektphase 2001 -2014 entstand die Überlegung, ob durch einen ständigen Einstau in diesen Bereich die Abflussmengen erhöht werden können. Allerdings bestand die Gefahr, dass der Pflanzenbewuchs durch den ständigen Einstau Schaden nehmen würde.

Die ursprüngliche Einstauhöhe von rd. 30 cm konnte im zweiten Projektabschnitt nicht mehr realisiert werden. Im Januar 2015 konnte ein maximaler Einstau von noch rd. 26 cm realisiert werden (Abbildung 40).



Abbildung 40: Bei einer Einstauhöhe von rd. 26 cm ist der maximale Einstau erreicht.

In 2015 wurde daher die Obergrenze des Einstaus bei rd. 23 cm (entspricht einem Füllstand von rd. 850 mm) festgesetzt, um zu verhindern, dass Wasser aus dem Pflanzenbereich ins Biobed zurück strömt (Abbildung 41).

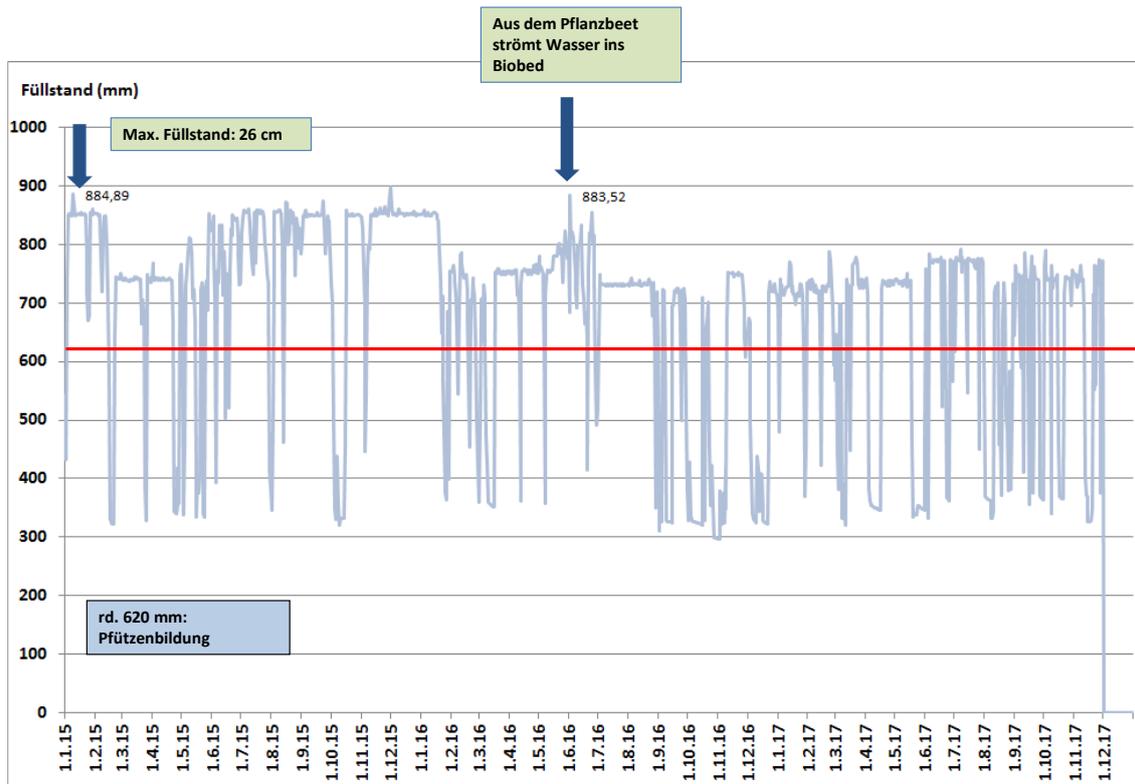


Abbildung 41: Füllstände im Pflanzenbereich während der 2. Projektphase vom 1.1.5 bis zum 30.11. 2017

Einen gravierenden negativen Einfluss der Einstauhöhe auf das Pflanzenwachstum während der Bewirtschaftungsphase ist in 2015 nicht beobachtet worden.

Während der Starkniederschläge im Juni 2016 konnte beobachtet werden, dass bei der Einstauhöhe von rd. 26 cm, das Fassungsvermögen der Mulde erschöpft und das Wasser vom Pflanzenbereich in das Biobed strömen konnte (Abbildung 42).



Abbildung 42: Durch die Starkniederschläge konnte Wasser aus dem Pflanzenbereich bei einer Einstauhöhe von rd. 26 cm wieder zurück ins Biobed strömen.

Die Verbindung vom Pflanzenbereich zum Biobed, durch die das Wasser strömen konnte, wurde wieder verfüllt. Zwecks Reparaturarbeiten am Biobed wurde die Anlage außer Betrieb gesetzt.

Zusammenfassend ist zu beobachten: Die Bepflanzung hat sich im Laufe der Jahre etabliert. Negative Auswirkungen der Füllstände im Pflanzbeet auf die Vegetation konnten nicht beobachtet werden.

Ein ständiger Überstau der Anlage wird sich demnach vermutlich nur im Jahr der Anlage sowie möglicherweise auch in den Folgejahren zum Zeitpunkt des Pflanzenaustriebs negativ auswirken.

Allerdings ist zu bemerken, dass die mögliche Einstauhöhe und die einstaubaren Wassermengen sich im Laufe eines Jahres durch die Ablagerung von Eichenlaub der angrenzenden Bäume und abgestorbenes Pflanzenmaterial verringern können. Aufgrund dessen sind entsprechende Pflegemaßnahmen wie ein Rückschnitt und die Entfernung des abgestorbenen Materials weiterhin erforderlich. Beim Rückschnitt der Bepflanzung sind gleichzeitig die freigespülten Wurzeln des Blutweiderichs wieder eingepflanzt worden.

Ohne einen Abschlag vorzusehen, konnten im vollständigen Anlagenbetrieb 2014 an 21 Tagen mehr als 12 m³ mit max. Werten von bis zu rd. 24 m³ (18.6.2014), in 2015 an 12 Tagen mehr als 12 m³ mit bis zu 26 m³ (3.8.2015) aus dem Biobed in das Pflanzbeet gepumpt werden. In 2017 wurde an einem Tag mit einer Menge von 13,8 m³/Tag die Menge von 12 m³ überschritten. An insgesamt 36 Tagen konnten mehr als 12 m³ in das Pflanzbeet gepumpt werden, im

Mittel 14,4 m³. An insgesamt 730 Tagen wurde der Pflanzenbereich beschickt im Gesamtmittel mit rd. 5,4 m³.

Eine weitere Steigerung der Mengen auf das Pflanzbeet ohne einen Abschlag aus dem Pflanzbeet vorzusehen, wurde nicht realisiert.

Im Beobachtungszeitraum 2015 bis 2017 wurden im regulären Anlagenbetrieb Wassermengen von bis zu rd. 44,4 m³/Tag aus dem Pflanzbeet abgeschlagen. Die derzeitige Anlagenkonstellation ist nicht auf den Abschlag größerer Mengen aus dem Pflanzenbereich ausgelegt.

3.4.2 Optimierung des Anlagenausbaus

Für die weitere Optimierung der Anlage sind bauliche Veränderungen erforderlich (siehe auch Kapitel 2.3).

Bisher konnten max. 30 m³ auf das Biobed und rd. 26 m³ auf das Pflanzbeet gepumpt werden.

Für die ersten Schritte der Leistungssteigerung auf eine Tagesmenge von bis zu rd. 80 m³ wurden in 2015 in der Vorlage eine leistungsstärkere Pumpe, zwei zusätzliche Düsenstränge auf das Biobed und eine direkter Abschlag aus dem Biobed eingerichtet.

2016 wurde für die weiteren Steigerungen eine zusätzliche Bewässerung unter dem Biobeddach bestehend aus vier Bewässerungssträngen mit je 10 Bügeldüsen installiert (Abbildung 43), im weiteren Verlauf die ersten Düsen durch größere ausgetauscht. Eine zweite Pumpe zur Beschickung der Zusatzbewässerung wurde in die Vorlage gebracht, sowie ein zweiter Abschlag aus dem Biobed eingerichtet.

Die Platten vom Biobed wurden zu Beginn 2017 entfernt.



Abbildung 43: Das Biobed wurde mit zusätzlichen Düsensträngen auf dem Boden und einer Düsenrohrbewässerung, befestigt an der Dachkonstruktion ausgestattet

3.4.3 Ergebnisse der Leistungsversuche Biobed

In Abbildung 46 bis Abbildung 52 sind die Ergebnisse aus den Leistungsversuchen Biobed (siehe auch Kap. 0) an den beiden Messpunkten der aufkonzentrierten Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau) dargestellt. Ziel dieser Versuche war es festzustellen, bei welchen maximalen Beaufschlagungsmengen des Biobeds mit Dränwasser noch eine hinreichende Rückhaltung der darin befindlichen PSM-Frachten zu erwarten ist. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass es während des Fließverlaufs durch das Biobed zu hydrodynamischen Dispersionseffekten kommt, was zur Folge hat, dass nach dem zweiten Aufkonzentrieren der Vorlage leicht erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Ablauf des Biobeds zu messen sind. Dieser Prozess ist in Abbildung 44 mit Hilfe von zwei Durchgangskurven und deren Resultierenden näher veranschaulicht. Des Weiteren unterscheidet sich die Skalierung der Ordinatenachse in Abbildung 46 bis Abbildung 52 wegen der unterschiedlichen Konzentration der zudotierten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. Für die Wirkstoffe Metalaxyl und Aclonifen wurden entsprechende Untersuchungen erst im Laufe des Jahres 2016 durchgeführt, so dass die Zeitreihen bei diesen Stoffen kürzer sind. Der herbizide Wirkstoff Aclonifen kommt derzeit im Zusammenhang mit gartenbaulichen Bewirtschaftungsverfahren zwar nicht zum Einsatz. Nach aktuellen Untersuchungen der Landwirtschaftskammer NRW könnte dieser

Wirkstoff jedoch möglicherweise eine Alternative zu dem Wirkstoff Metribuzin darstellen. Daher wurde er in den hier durchgeführten Versuchen ebenfalls mit untersucht.

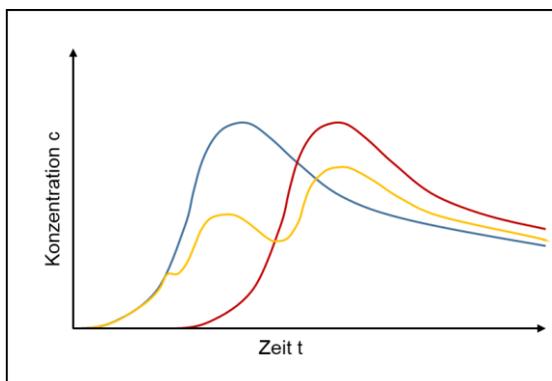


Abbildung 44: Schematische Skizze zweier zeitversetzter Durchbruchkurven einer Konzentration c (blau und rot) und die daraus resultierende Konzentration (gelb) am Messpunkt x

Der Abbildung 46 bis Abbildung 52 sind zu entnehmen, dass mit Ausnahme des Wirkstoffes Iprodion (Abbildung 50) die gewählten Zielkonzentrationen bei der Zudosierung in die Vorlage insgesamt gut eingestellt werden konnten. Beim Wirkstoff Iprodion gelang das zu Beginn der Versuchsreihe vermutlich aufgrund seiner Mischungseigenschaften mit Wasser schlechter. Nach Änderung des Zumischungsprozesses konnten dann aber auch bei diesem Wirkstoff wesentlich bessere Wiederfindungsraten erzielt werden.

Die Ergebnisse bestätigen zum einen die grundsätzlich schnellen Durchströmungsraten des Biobeds, da bereits am Folgetag nach Beaufschlagung des Biobeds mit dem aufkonzentrierten Vorlagewasser auch (leicht) erhöhte PSM-Konzentrationen am Biobed-Ablauf zu messen waren. Vor allem ist aber bei allen Wirkstoffen und bei Beaufschlagungsmengen von bis zu 240 – 250 m³/Tag eine deutliche Reduzierung der zugeführten PSM-Konzentrationen festzustellen. Die Leistungsfähigkeit des Biobeds für die Reduzierung von PSM-Konzentrationen ist somit auch für Beaufschlagungsmengen von bis zu 240 m³/Tag nachgewiesen, wenngleich diese auch bei erhöhten Beaufschlagungsmengen leicht zurückging. Es zeigte sich weiterhin, dass diese Leistungsfähigkeit auch für eher problematische Wirkstoffe wie Metalaxyl, Metribuzin oder Iprodion gilt. Auch die Konzentrationen dieser Wirkstoffe wurden in allen Versuchsläufen und auch bei hohen Beaufschlagungsmengen signifikant reduziert, allerdings in einem tw. deutlich geringeren Umfang als bei anderen Wirkstoffen. Als sehr positiv ist in diesem Zusammenhang vor allem auch die hohe Leistungsfähigkeit für den Rückhalt des Wirkstoffes Aclonifen einzuordnen. Sofern die weiteren Untersuchungen der Landwirtschaftskammer NRW bestätigen, dass dieser Wirkstoff auf Grund seines Einsatzspektrums und seiner herbiziden Wirkungsbreite eine Alternative für den Wirkstoff Metribuzin darstellt, ließen sich hierdurch die

durch das Metribuzin verursachten wasserwirtschaftlichen Risiken in erheblichem Maße reduzieren.

Insgesamt zeigen die Leistungsversuche Biobed, dass auch zum Ende der Versuchsreihe das „Reinigungspotential“ des Biobeds für PSM-Wirkstoffe noch wirksam ist, wenn auch nicht für alle Wirkstoffe in gleichem Maße. Zwar haben die Versuche gezeigt, dass mit Zunahme der Beaufschlagungsmengen tendenziell höhere Wirkstoffkonzentrationen im Ablauf des Biobeds gefunden wurden. Allerdings ist bei den Ergebnissen zu berücksichtigen, dass durch die unterschiedlichen hydraulischen Drücke das Wasser in unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten durch das Biobed fließt und somit auch direkten Einfluss auf die Konzentrationsmessungen im Ablauf des Biobeds haben kann.

Ein limitierender Faktor bei der maximal möglichen Dränwassermenge, die auf das Biobed beaufschlagt werden kann, zeigte sich daher nicht in der resultierenden Reinigungsleistung des Biobeds, sondern in seinen hydraulischen Eigenschaften. So mussten die beaufschlagten Dränwassermengen in 2017 wieder reduziert werden, da es bei den vorhergehenden Versuchen zu Einstauwirkungen kam, d. h. das beaufschlagte Wasser konnte in der Kürze der Zeit nicht aus dem Biobed abfließen und es stellte sich ein freier Wasserspiegel im Biobed ein. Diese Einstauwirkungen wiederholten sich auch bei dem 2. Leistungsversuch in 2017 (Abbildung 45).



Abbildung 45: Einstauwirkungen in 2017

Diese reduzierten, hydraulisch bedingten Einstaueffekte sind insbesondere auf eine Alterung des Biobeds substrates und dem damit durch Mineralisierungs- und Sackungsprozesse einhergehenden Verlust an hydraulischer Leitfähigkeit zurückzuführen. Insgesamt ist somit davon auszugehen, dass mit zunehmender Alterung des Substrates bei immer noch hoher Reinigungsleistung geringere Wassermengen pro Zeiteinheit über das Biobed geleitet werden können, die am Beispiel der hier vorgestellten Untersuchungen aber auch nach ca. 6 Jahren mit 100 – 160 m³/d immer noch hoch waren.

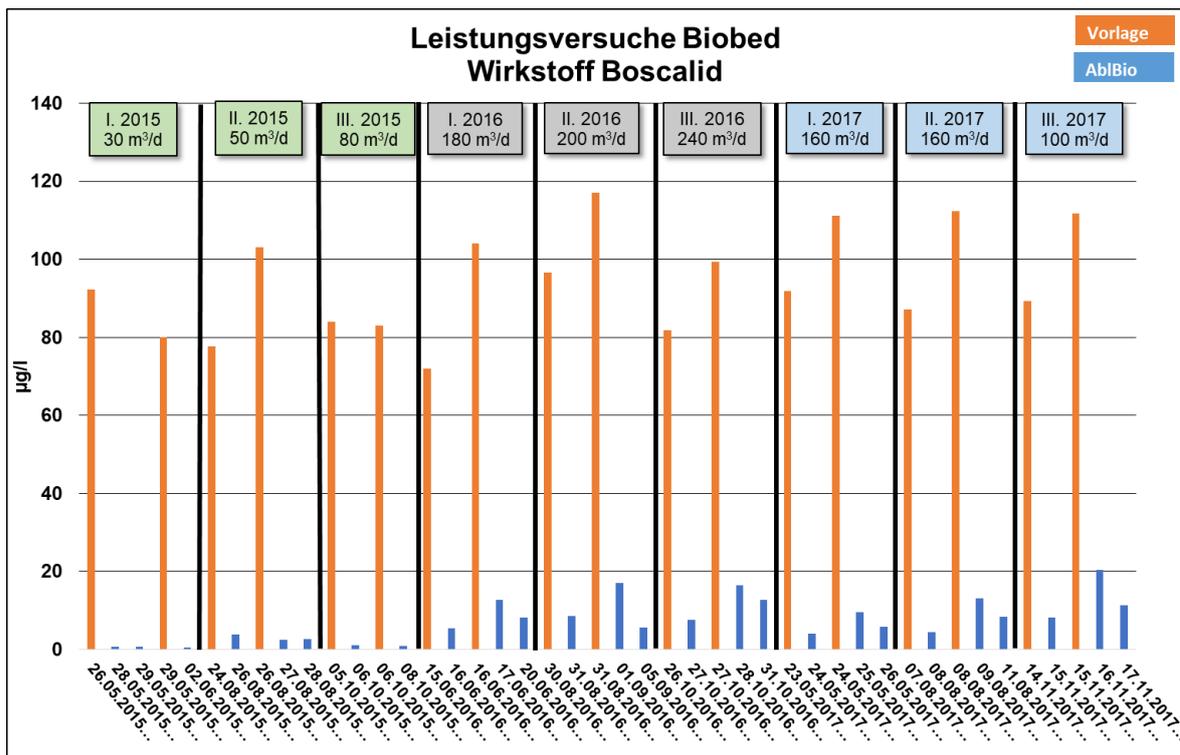


Abbildung 46: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Boscalid in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

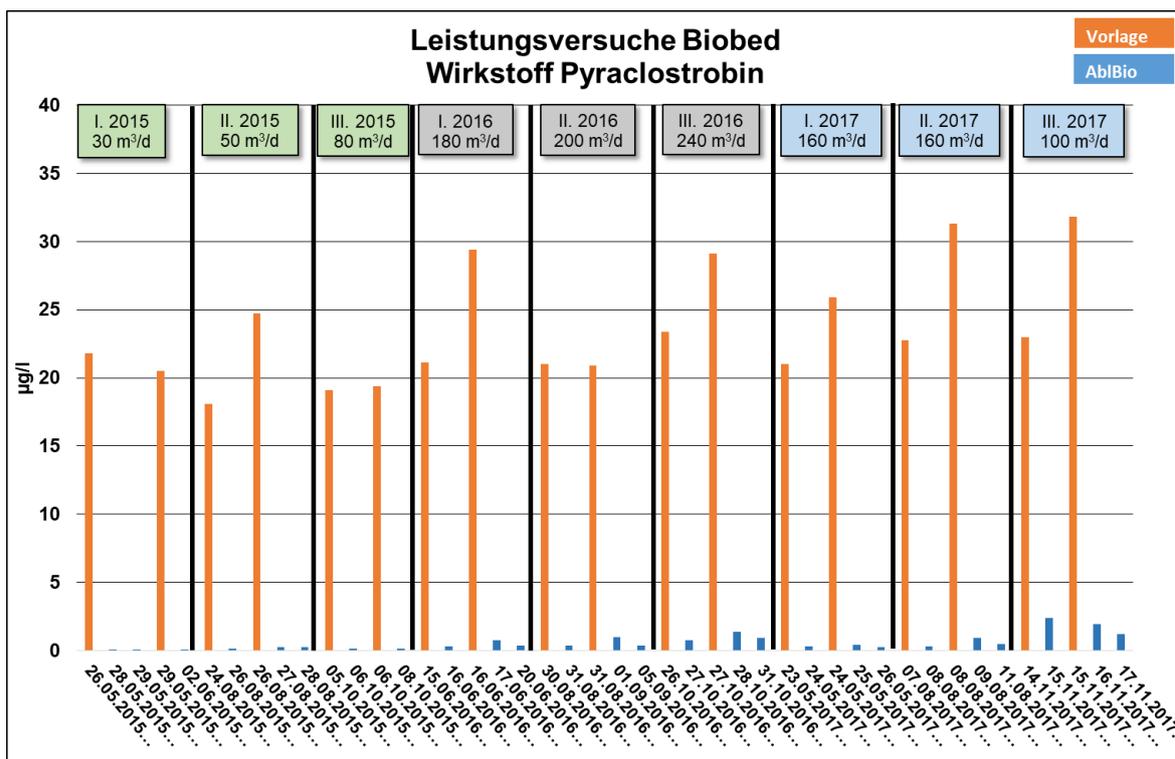


Abbildung 47: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Pyraclostrobin in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

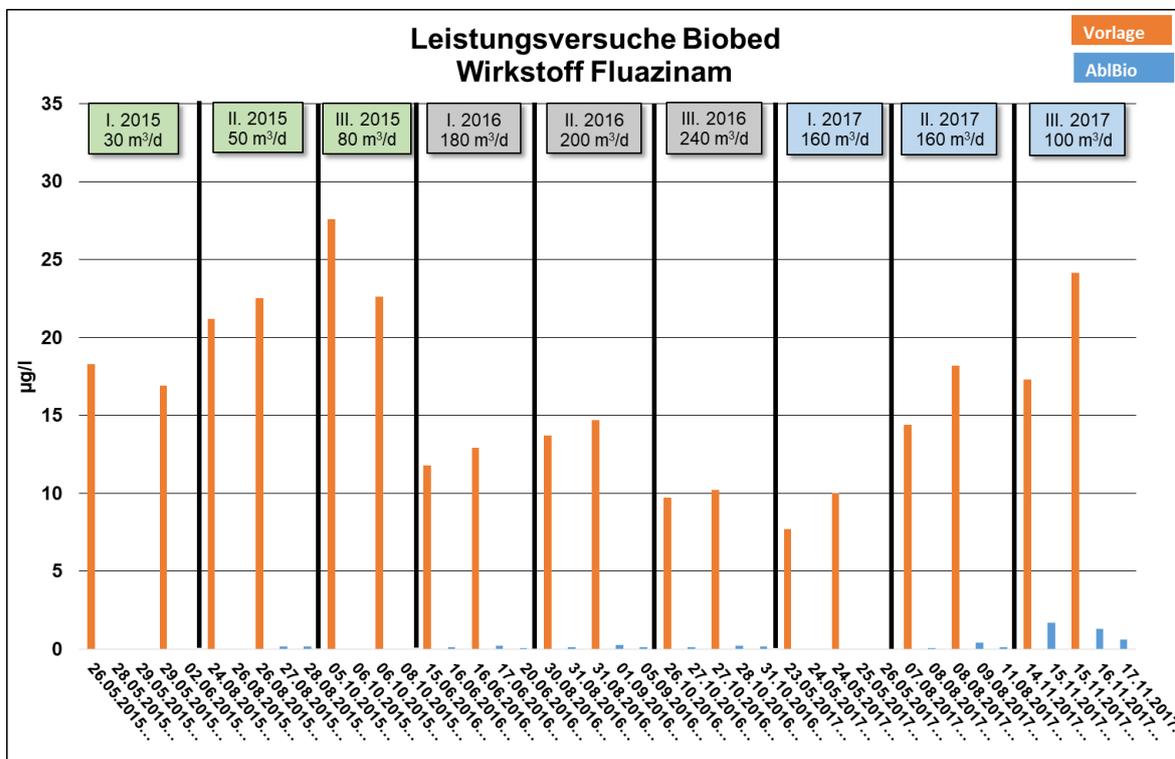


Abbildung 48: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Fluazinam in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

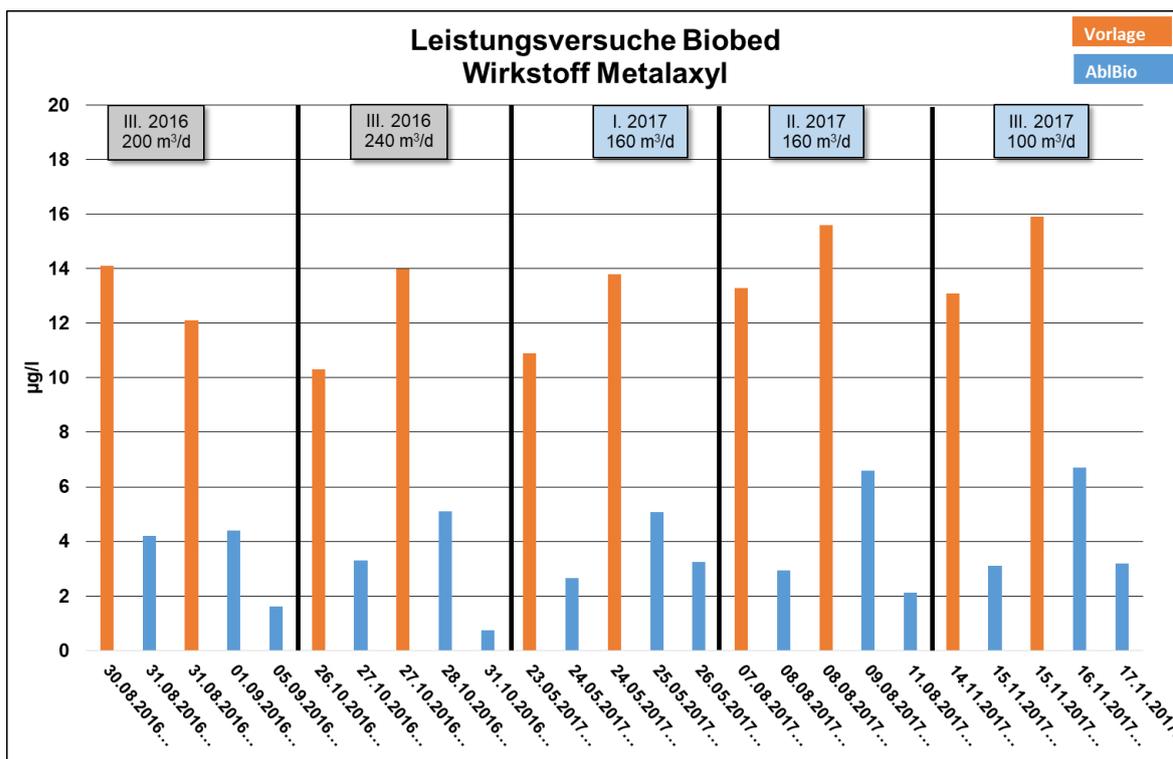


Abbildung 49: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Metalaxyl in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

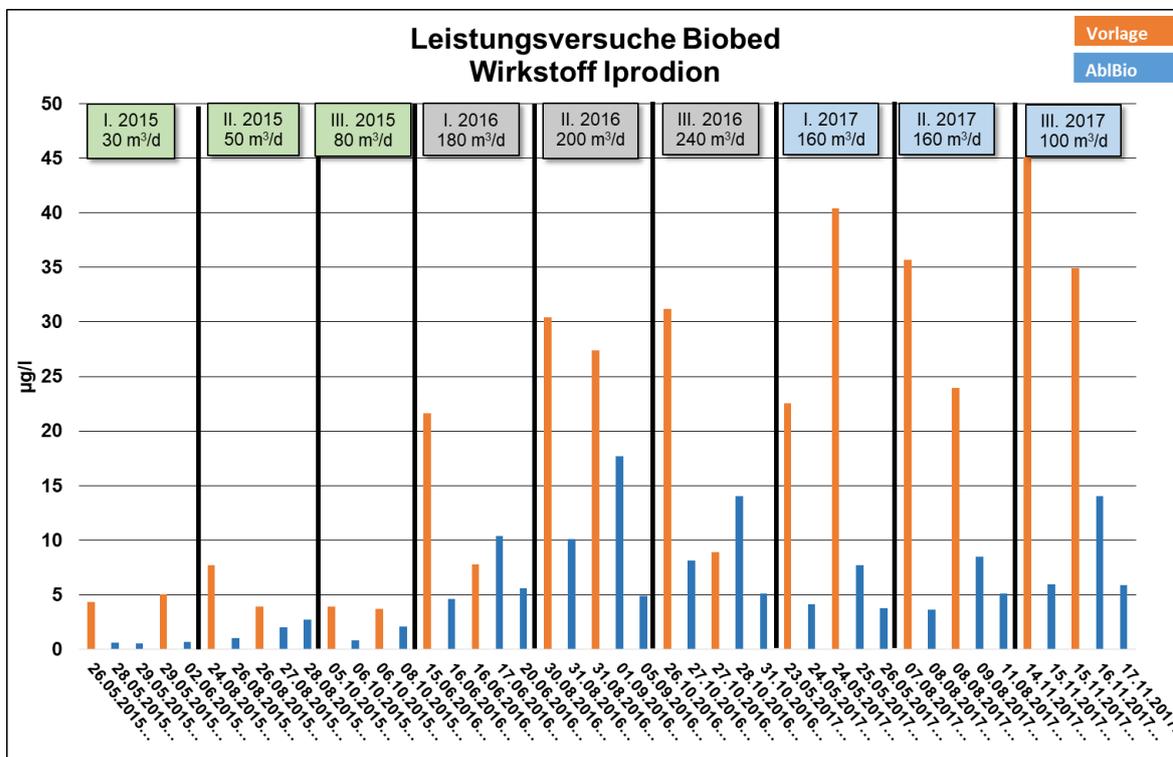


Abbildung 50: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Iprodion in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

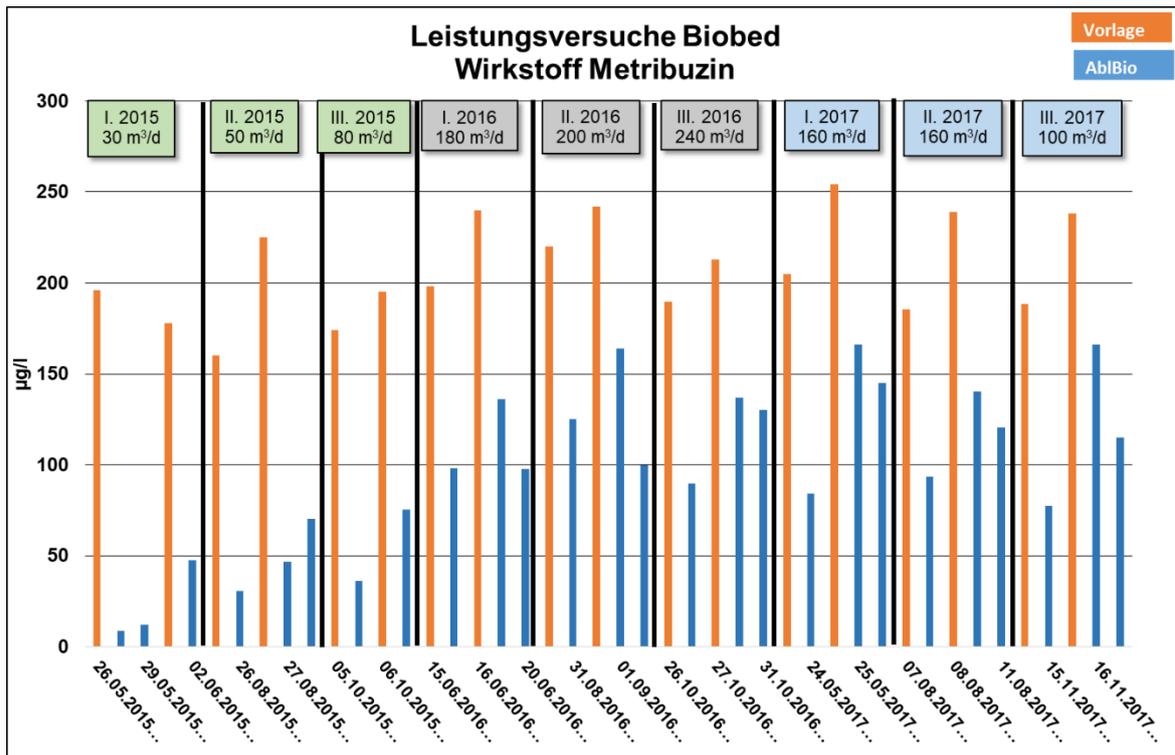


Abbildung 51: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Metribuzin in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

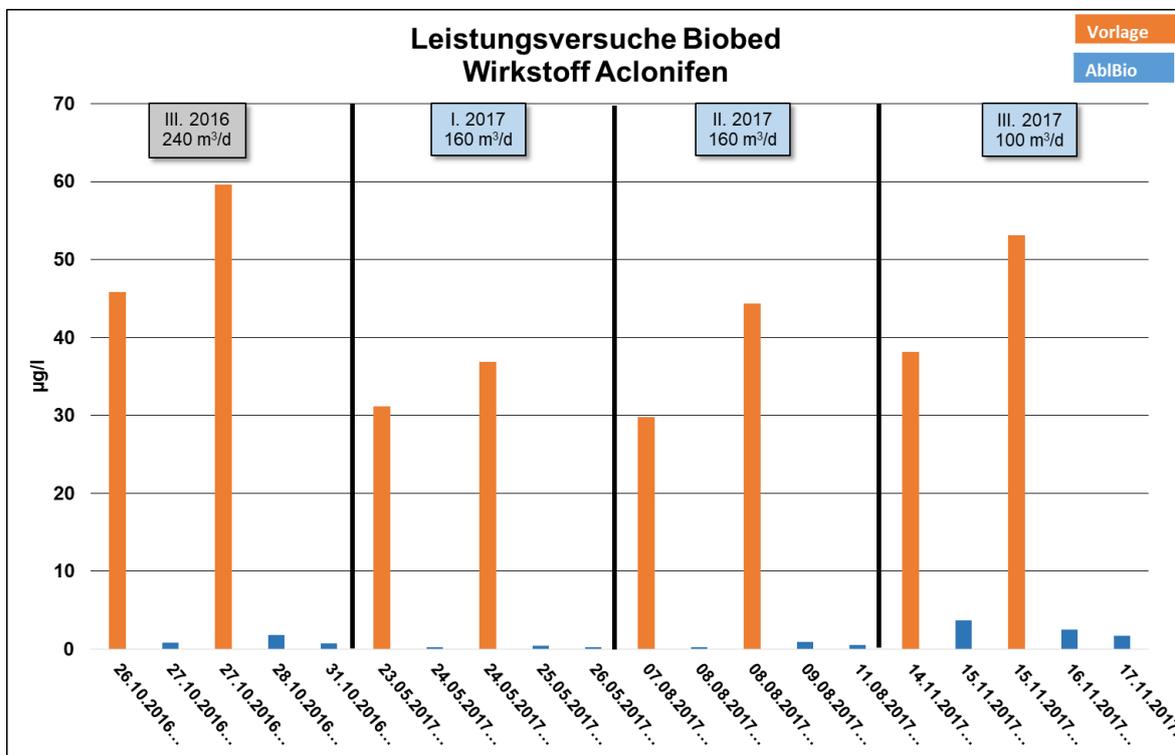


Abbildung 52: Gemessene Konzentrationen des Wirkstoffs Aclonifen in der Vorlage (orange) und im Ablauf des Biobeds (blau)

3.5 Substratvarianten-Versuche

3.5.1 Substratvarianten unter Zusatz von Lavagestein

Im Rahmen von „Handmischungen“ (manuelle Mischung von kleineren Substratmengen) wurde das Biobedssubstrat mit steigenden Anteilen von Lavagestein vermengt (siehe auch Kap. 2.3.1) und anschließend u. a. auf verschiedene physikalische Parameter untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt.

Im Vergleich des Biobedausgangssubstrates aus dem Jahre 2011 mit dem aus dem Jahre 2014 (welches bis Anfang 2014 bereits gut zwei Jahre verwendet wird), ist ein deutlicher Rückgang des Luftporenvolumens von 36 % auf 7 % zu beobachten. Gleichzeitig nimmt die Wasserkapazität von 52 Vol.-% auf 79 Vol.-% zu.

Durch das Zumischen von Lavagestein mit unterschiedlichen Anteilen (von 10 bis 50 %) nehmen sowohl Wassergehalt (von 62,2 auf 25,4 Gew.-%) als auch Gesamtporenvolumen (von 86 auf 64 Vol.-%) ab. Entsprechend steigt mit zunehmendem Lava-Anteil in den Substratmischungen das Luftvolumen von 7 auf 13 Vol.-% sowie die Trockenrohddichte von 311 g/l auf 928 g/l an.

	Biobedssubstrat					
	2011	Anfang 2014	+ 10 % Lava	+ 30 % Lava	+ 50 % Lava	+ 50 % Lava (0 - 11 mm)
Wassergehalt (Gew.-%)	50,4	62,6	54,3	37,3	27,9	25,4
Rohddichte trocken (g/l)	227	311	466	695	914	928
Gesamtporen- volumen (Vol.- %)	88	86	80	72	64	64
Luftvolumen (Vol.-%)	36	7	5	8	13	13
Wasserkapazität (Vol.-%)	52	79	75	64	51	51
Wasserkapazität (g/100 g TM)	228	256	161	91	56	55

Tabelle 13: Physikalischen Eigenschaften der untersuchten Handmischungen im Vergleich zum Biobedssubstrat

Die Ergebnisse zeigen, dass hohe Mengen Lava zuzumischen sind, um eine deutliche Erhöhung des Luftporenvolumens zu erzielen, die selbst dann nur rd. 1/3 des Luftporenvolumens des Ausgangssubstrats erreichen.

Gleichzeitig erhöht das zunehmende Gewicht potenzielle Entsorgungskosten des Substrates. Zudem wäre noch der Einfluss eines erhöhten Lavaanteils am Biobedsubstrat auf seine Abbauleistung für Nitrat- und PSM-Wirkstoffe zu überprüfen.

3.5.2 Tastversuch mit zwei Substratmischungen

Die in zwei Töpfen angesetzten und ins Biobed eingebauten Substratmischungen (siehe auch Kap. 2.3.1) wurden am 16.1.2018 wieder ausgebaut. Hierbei konnte bereits folgendes beobachtet werden: während im Biobed nur im unteren Bereich Stauwasser (Abbildung 53) festgestellt werden konnte, war in beiden Töpfen ein deutlich höherer Anteil zu beobachten (Abbildung 54). Am Topfgrund hatte sich deutlich erkennbar Lava abgesetzt, welches im Jahresverlauf ausgespült worden war (Abbildung 55).



Abbildung 53: Im Biobed staut sich im unteren Bereich das Wasser an.



Abbildung 54: In den Töpfen beider Substratmischungen hatte sich Dränwasser angestaut.



Abbildung 55: Am Topfgrund haben sich Lava und feine Substratbestandteile zu einer wasserundurchlässigen Schicht abgesetzt.

Nach diesen Beobachtungen ist durch die Zumischung von Lava keine dauerhafte Verbesserung der Dränfähigkeit des Substrates zu erwarten.

Bevor die Substratproben ans Labor versendet wurden, wurden diese für zwei Tage aufgestellt, damit das freie Wasser ablaufen konnte. Die Substratbestandteile, die sich im unteren Bereich des Topfes abgesetzt hatten, wurden wieder eingemischt.

Zur Bewertung der Ergebnisse der beiden Substratmischungen, werden die Werte aus den vorher gehenden Analysen in der nachfolgenden Tabelle ergänzt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht über die Eigenschaften des Biobedssubstrates im Vergleich zu zwei Probemischungen

	Biobedssubstrat				
	Ende 2011	Ende 2016	Anfang 2018	Mischung 1 ¹	Mischung 2 ¹
Wassergehalt (Gew.-%)	50,4	67,1	73,2	50,5	62,5
Rohdichte trocken (g/l)	227	313	264	616	342
Gesamtporenvolumen (Vol.-%)	88	86	87	73	83
Luftvolumen (Vol.-%)	36	5	3	26	33
Wasserkapazität (Vol.-%)	52	81	84	47	50
Wasserkapazität (g/100 g TM)	228	257	319	73	146
Wasserdurchlässigkeit (mod. kF in cm/s)			0,07	0,153	0,286
N-Bindung (mg/l)	-257	-16		-183	-235
¹ Mischungsanteile siehe Tabelle 3					

Im Vergleich der Eigenschaften der beiden Substratmischungen 1 und 2 (siehe auch Tabelle 3 und Tabelle 14) mit dem Biobedssubstrat ist festzustellen, dass die Substratmischung 1 die höchste Rohdichte und das geringste Gesamtporenvolumen besitzt. Das Luftporenvolumen mit 26 Vol.-% liegt zwar über dem des Biobedssubstrates aus 2016 und 2018, aber noch unter dem des Ausgangssubstrates. Die Wasserdurchlässigkeit und die N-Bindung sind höher als bei dem Biobedssubstrat aus 2016 bzw. 2018, aber geringer als die des Ausgangssubstrates.

Im Vergleich dazu reichen die Eigenschaften der Substratmischung 2 (u.a. 60% Holzhackschnitzelanteil) nahezu an die des Ausgangssubstrates heran, obwohl die Mischung bereits seit 8 Monaten dem Anlagenbetrieb ausgesetzt war. Zudem zeichnet es sich durch eine vergleichsweise hohe Wasserdurchlässigkeit aus.

Die Ergebnisse der Prüfung verschiedener Substratzusammensetzungen lassen sich wie folgt zusammenzufassen:

1. Die Mischung 2 (aus 60% Holzhackschnitzel, 30% Biobedssubstrat und 10 % Lava) besitzt nach 8 Monaten Anlagenbetrieb ähnliche physikalische Eigenschaften wie das Ausgangssubstrat im Jahr des Einbaus.
2. Der Strohanteil, der sich nur mit hohem Arbeitsaufwand in das Ausgangssubstrat einmischen ließ, kann durch Holzhackschnitzel ersetzt werden.
3. Die Wasserdurchlässigkeit der Mischung 2 liegt deutlich über denen der Vergleichssubstrate.
4. Der Zusatz von Lavagestein verringert zwar den Wasseranteil, aber auch das Gesamtporenvolumen. Zudem erhöht er das Gewicht des Substrates. Die Eigenschaften des Substrates werden nicht wesentlich verbessert.
5. Im Anlagenbetrieb werden Lavaanteile bei hohen Durchflussmengen ausgewaschen und können am Grund eine wasserundurchlässige Schicht bilden.
6. Ein Zusatz von bis zu 30 % vorhandenem Biobedssubstrat in eine zukünftige Mischung ist möglich.

Eine zukünftige Biobedssubstratmischung kann zu 60 % aus Holzhackschnitzel bestehen. Das Biobedssubstrat, welches mit für den Nitrat- und PSM-Abbau geeigneten Mikroorganismen versetzt ist, sollte wiederverwendet werden. Der Anteil sollte mindestens 5 % betragen, ein Zusatz von bis zu 30 % ist möglich. Mit einem Restanteil Torf kann die Mischung aufgefüllt werden.

3.6 Abschlagsmanagement

Bereits in den Voruntersuchungen konnte beobachtet werden, dass die in den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern enthaltenen Konzentrationen von Nitrat und PSM-Wirkstoffen in Abhängigkeit von der Dauer des Abflussereignisses bzw. der Menge des abfließenden Dränwassers sukzessive zurückgehen. Es ist daher zu vermuten, dass ab einem bestimmten Zeitpunkt während eines Abflussereignisses bzw. einer bis dahin angefallenen Dränwassermenge die darin enthaltenen Nitrat- und/oder PSM-Konzentrationen auf ein Niveau zurückgehen, die eine aus wasserwirtschaftlicher Sicht weitgehend gefahrlose Abschlagung dieser dann noch abfließenden Dränwässer erlauben. Quantifiziert werden konnte dieser Zusammenhang bisher jedoch nicht. Das Ziel der im folgenden beschriebenen Untersuchungen war es daher zum einen diesen Zusammenhang von abfließender Dränwassermenge und der darin enthaltenen Schadstofffrachten im Zeitverlauf weiter zu quantifizieren. Zum anderen sollte geprüft werden, ob auf Basis dieser Zusammenhänge praxisrelevante Vorschläge für ein entsprechendes Abschlagsmanagement entwickelt werden können.

3.6.1 Beregnungsversuch

Zu diesem Zweck wurde im Juni 2017 ein Beregnungsversuch auf der zu diesem Zeitpunkt nicht mit Topfpflanzen besetzten Versuchsfläche durchgeführt, um die Entwicklung des EC-Wertes sowie der PSM-Konzentrationen im zeitlichen Verlauf des Dränwasserabflusses zu erfassen.

Zu diesem Zweck wurden auf der Containerstellfläche zwei Teilflächen, eine nahe am Vorlaufschacht sowie eine weiter entfernt liegenden Fläche, abgeteilt (Abbildung 56). Danach wurden beide Teilflächen bis zur Wassersättigung beregnet (mit Grundwasser). Auf den Teilflächen wurden anschließend definierte Mengen eines Mehrnährstoffdüngers (8 mm Düngelösung, 1 g/l Hakaphos Soft Elite (24-6-12), EC-Wert 2,1 mS/cm (Teilfläche 1) bzw. 1,8 mS/cm (Teilfläche 2)) bzw. verschiedene Pflanzenschutzmittel (siehe Tabelle 15) ausgebracht

Tabelle 15: Übersicht über die im Teilversuch eingesetzten Pflanzenschutzmittel

Mittel	Eingesetzte Konzentration	Wirkstoff	Wirkstoffgehalt (g/l, bzw. kg)	Ausgebrachte Wirkstoffmengen (g/ha)
Epok	0,65 l/ha	Metatalaxyl	193,6	125,85
		Fluazinam	400	260
Rovral WG	1,1 kg/ha	Iprodion	750	825
Signum	2,4 kg/ha	Pyraclostrobin	67	160,8
		Boscalid	267	640,8
Sencor WG	1,2 kg/ha	Metribuzin	700	840

Die Teilflächen wurden anschließend an zwei aufeinanderfolgenden Tagen (26. Juni: Teilfläche 1; 27. Juni: Teilfläche 2) mit jeweils ca. 70 mm beregnet (Grundwasser, EC-Wert ca. 0,6 mS/cm) und die Entwicklung der Wasserbeschaffenheit der abfließenden Dränwässer am Vorlaufschacht gemessen.

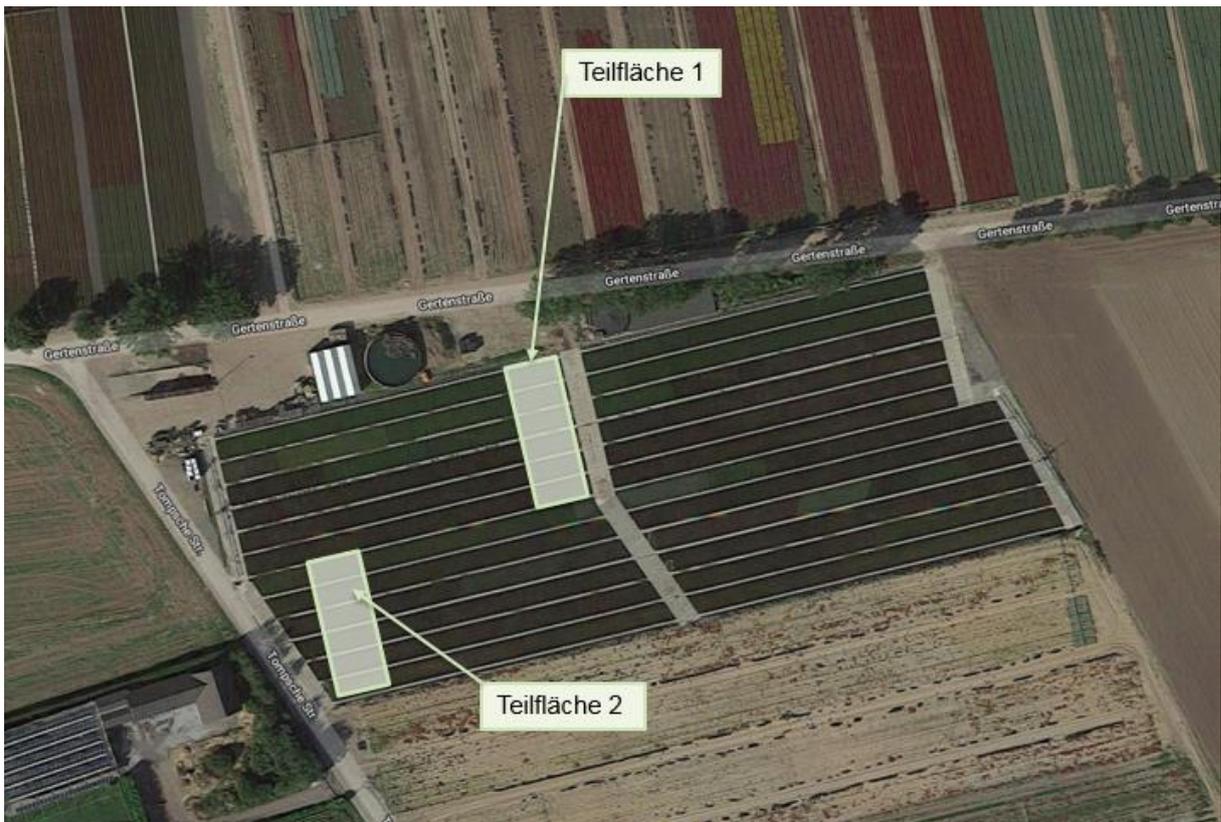


Abbildung 56: Lage der Teilflächen für den Beregnungsversuch

Gemessen wurden einerseits mit hoher zeitlicher Auflösung (Minutentakt) die EC-Werte im Dränwasser, weiterhin wurden am 1. Versuchstag (Teilfläche 1) acht und am 2. Versuchstag Teilfläche 2 sieben Wasserproben zur Bestimmung von Nitrat- und PSM-Konzentrationen entnommen.

3.6.1.1 Ergebnisse Beregnungsversuch

Neben den im direkt anfallenden Dränwasser im Minutentakt gemessenen EC-Werten wurden in der nachfolgenden Auswertung auch die EC-Werte berücksichtigt, die mit den fest installierten EC-Sensoren, aber mit gröberer zeitlicher Auflösung erfasst und archiviert werden (Green-spec). Diese Sensoren messen zudem nur das aus dem Vorlaufschacht abgepumpte Mischwasser.

Die Ergebnisse in Abbildung 57 zeigen, dass es nach der Beregnung der Teilfläche 1 sehr schnell zu einem Dränwasserabfluss von der Teilfläche und einem entsprechenden Anstieg der EC-Werte im Vorlaufschacht kommt, die aber auch vergleichsweise schnell wieder abfallen, um dann lange Zeit auf einem nahezu konstanten Niveau zu verharren. (Die auf der X-Achse abgetragenen Dränwassermengen wurden über die auf der Teilfläche ausgebrachte Beregnungsmenge auf 1 ha hochgerechnet). Die Ergebnisse zu den EC-Messwerten mit den

fest installierten EC-Sonden (Greenspec) zeigen weiterhin, dass diese schnelle EC-Wert-Entwicklung zu Beginn des Abflussereignisses im Mischwasser des Vorlaufschachtes und bei dem größeren zeitlichen Messrhythmus nur begrenzt erfasst werden kann.

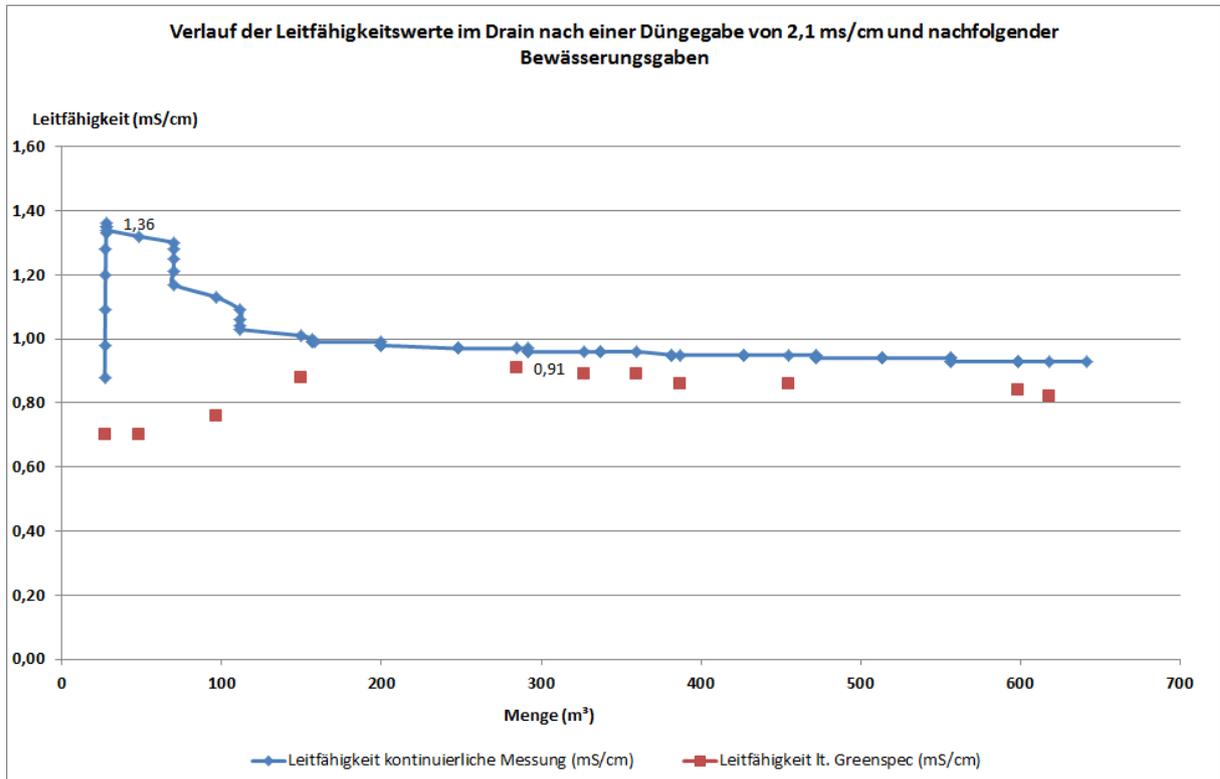


Abbildung 57: Verlauf der EC-Werte im Dränwasser am 26. Juni 2017

Die Entwicklung der PSM-Konzentrationen in den am 26. Juni entnommenen Dränwasserproben (Teilfläche 1) ist in Abbildung 58 dargestellt.

Zur Entwicklung der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Dränwasser von der 1. Teilfläche (26. Juni) ist grundsätzlich ein ähnlicher Verlauf wie auch beim EC-Wert festzustellen, allerdings wirkstoffbezogen auf unterschiedlichen Niveaus (Abbildung 58).

In Abbildung 59 sind diese Zusammenhänge zur Entwicklung der EC-Werte, der PSM-Konzentrationen sowie zusätzlich auch zu den gemessenen Nitrat-Konzentrationen noch einmal zusammenfassend dargestellt.

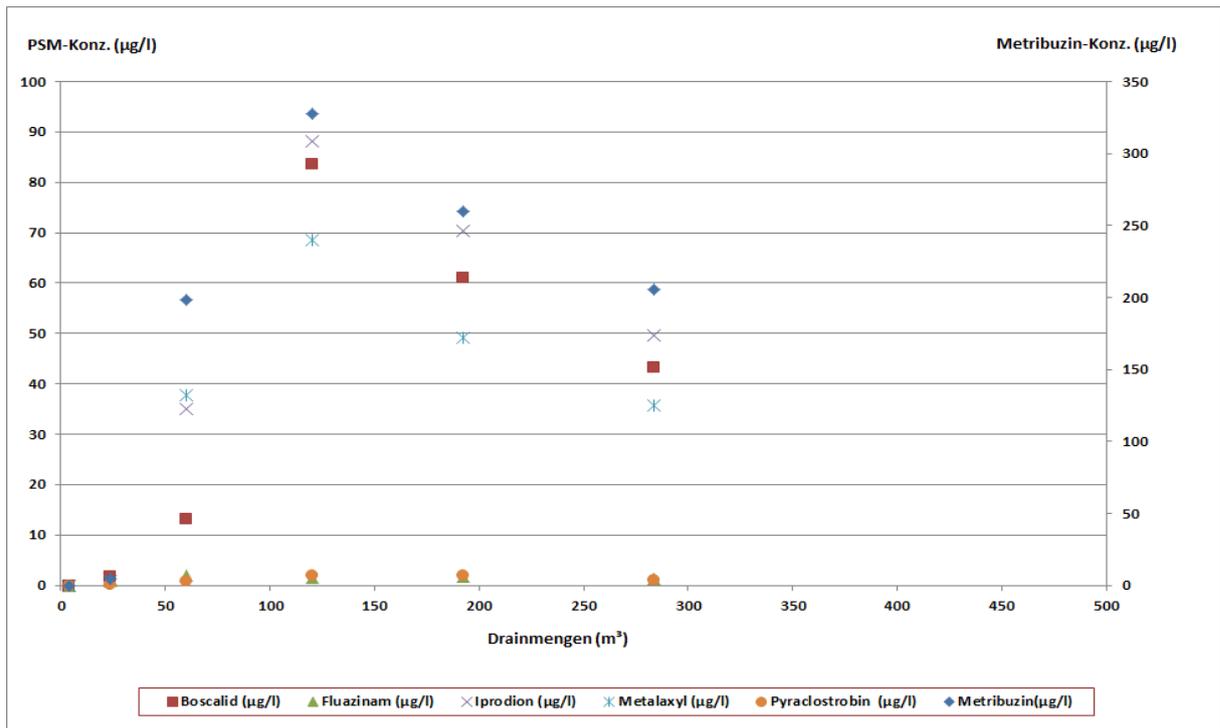


Abbildung 58: Entwicklung der PSM-Konzentrationen in Abhängigkeit der Dränagemengen

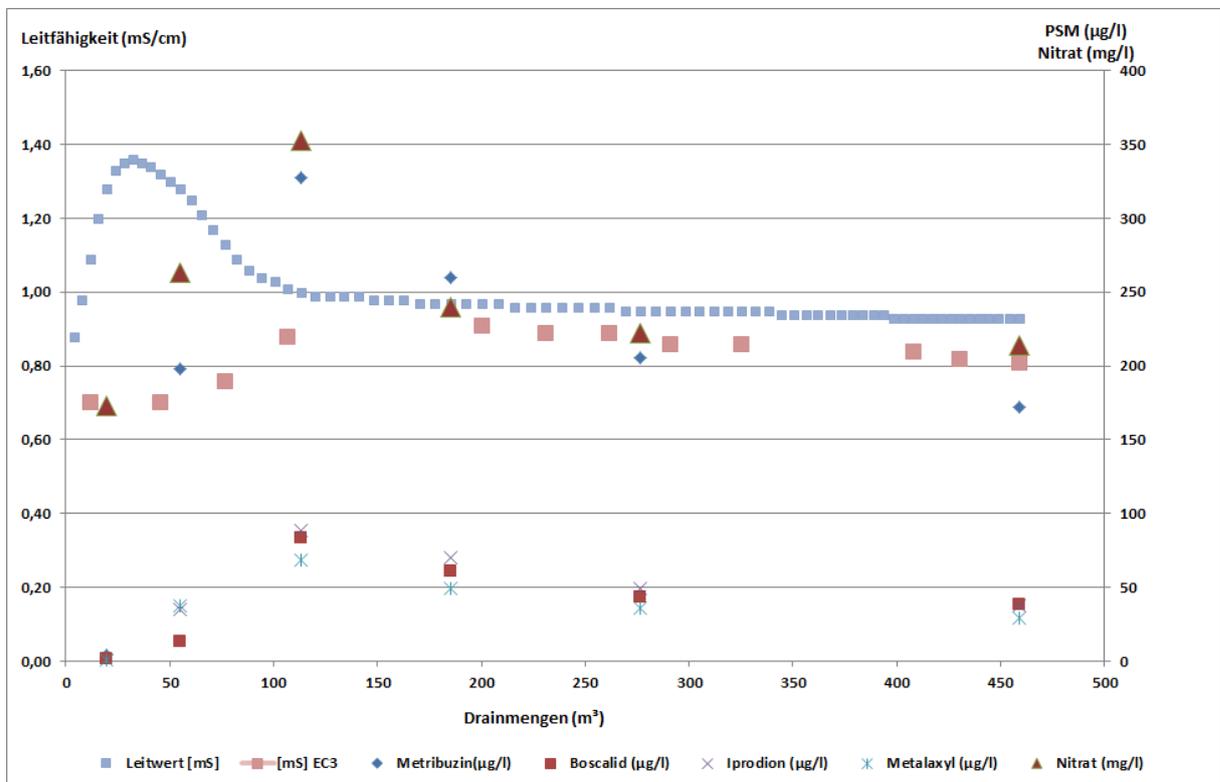


Abbildung 59: Verlauf der EC-Werte, der Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser am 26. Juni 2017

Die zusammenfassenden Ergebnisse des Beregnungsversuches der 2. Teilfläche (27. Juni) sind in Abbildung 60 dargestellt. Grundsätzlich ist bezüglich der PSM-Konzentrationen auch hier eine ähnliche abflussabhängige Entwicklung festzustellen, die aber – wie die Messwerte zu den Nitrat- und EC-Werten vermuten lassen – deutlich überprägt ist von noch im Drainagesystem vorhandenen Restwassermengen aus dem Beregnungsversuch des Vortages.

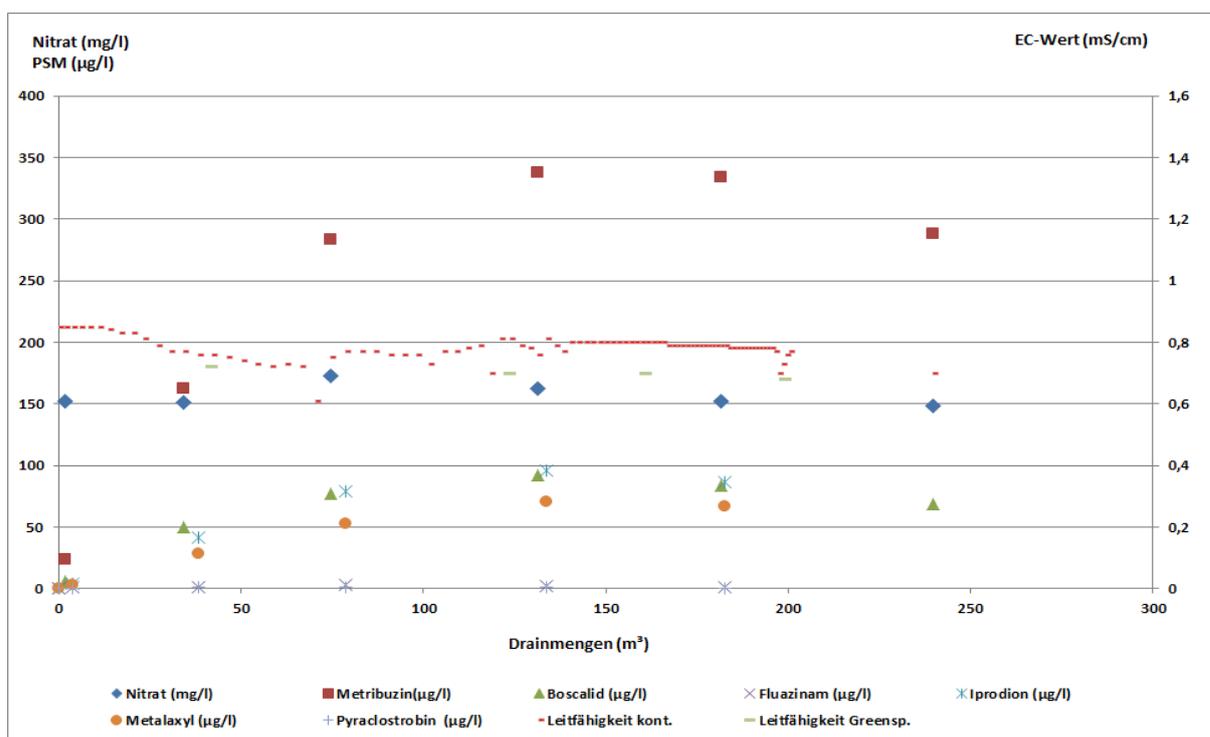


Abbildung 60: Darstellung der EC-Werte, sowie der Nitrat –und der PSM-Konzentrationen im Dränwasser, gemessen am 27.6.17 von 11.02 -13.51 Uhr

Insgesamt deuten die Versuchsergebnisse somit an, dass die im Dränwasser enthaltenen Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Zuge eines Abflussereignisses ihr Maximum nach ca. 100 – 130 m³ Dränwasseranfall überschritten haben und dann sukzessive zurückgehen.

Mit aller Vorsicht kann auf Basis der vorhergehend beschriebenen Ergebnisse auch der (vor Ort mit vergleichsweise geringem Aufwand zu messende) EC-Wert als Indikator für die Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser gesehen werden. Für ein tatsächlich EC-Wert-gesteuertes Abschlagsmanagement müsste dieser Zusammenhang durch weitere Untersuchungen aber noch erhärtet werden.

3.6.2 Entwicklung EC-Werte in Abhängigkeit von Dränwassermenge

Der Zusammenhang von EC-Wert und Nitratkonzentration kann aber auch mittels der umfangreich vorliegenden Messungen des bisherigen Versuchszeitraumes aufgezeigt werden. Grundsätzlich ist dieser Zusammenhang ja auch zu erwarten, da der EC-Wert die elektrolytische Stromleitfähigkeit einer wässrigen Lösung wiedergibt, die von den in der Lösung vorhandenen Anionen und Kationen geprägt ist, und damit maßgeblich, aber nicht ausschließlich auch vom Nitratgehalt. Grundsätzlich ist somit davon auszugehen, dass – zumindest unter den Bewirtschaftungs- und Standortbedingungen der Versuchsfläche - fallende bzw. steigende EC-Werte auch mit fallenden bzw. steigenden Nitratkonzentrationen einhergehen, und - wie die Ergebnisse aus Kapitel 3.6.1 zumindest andeuten - auch mit entsprechenden Konzentrationsentwicklungen für PSM.

In Abbildung 61 ist der Zusammenhang zwischen den Nitratkonzentrationen und den EC-Werten im Dränwasser (Vorlaufschacht) deutlich erkennbar, wenngleich es bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,6$ durchaus zu einer nennenswerten Streuung um die Regressionsgerade kommt, die aber im unteren Wertebereich abnimmt. Auf Basis der hier erfassten Werte ist somit etwa ab EC-Werten von $< 0,4 - 0,5$ mS/cm mit Nitratkonzentrationen von < 50 mg/l zu rechnen.

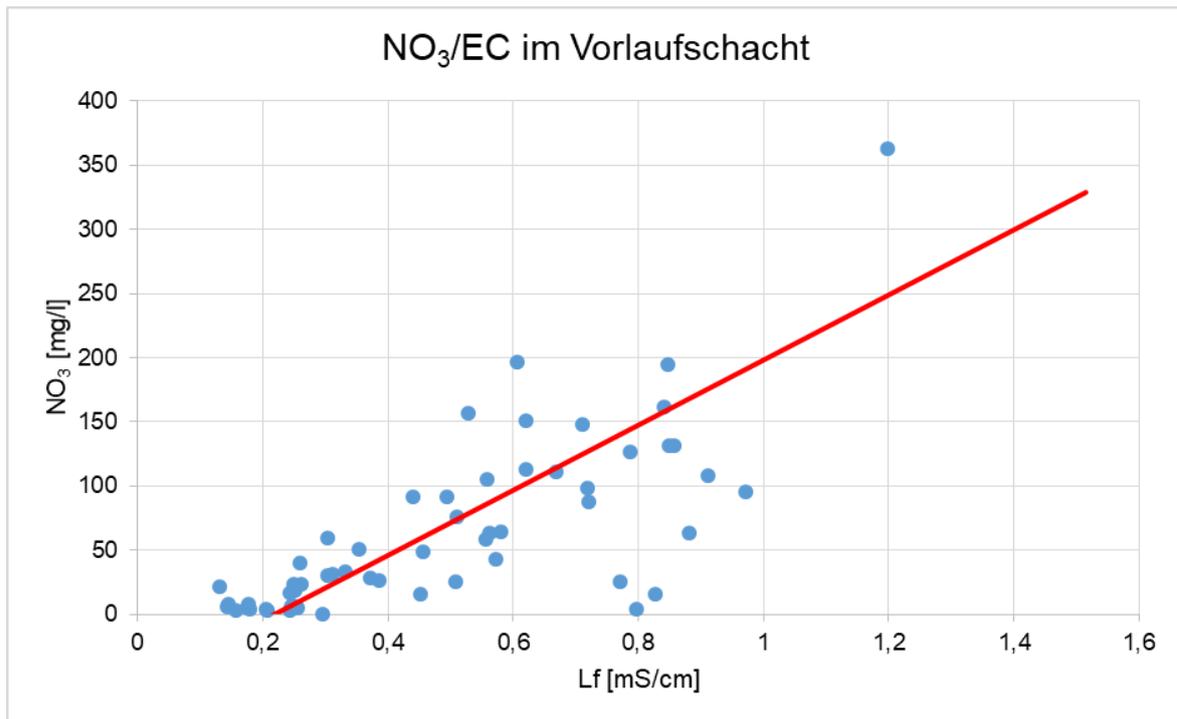


Abbildung 61: Zusammenhang zwischen EC-Wert und der Nitratkonzentration im Beprobungswasser des Vorlaufschachtes (Zeitraum: 2012 - 2017)

Diesen Zusammenhang zwischen EC-Wert und Nitratkonzentration vorausgesetzt, ist es im Hinblick auf die Frage zur Möglichkeit eines EC-Wert-gesteuerten Abschlagsmanagements nun von Interesse, wie sich die umfangreich und mit hoher zeitlicher Auflösung im bisherigen Versuchszeitraum gemessenen EC-Werte in Abhängigkeit von der Niederschlagsentwicklung und damit in Abhängigkeit von den auftretenden Dränwasserabflüssen entwickelt haben. In Abbildung 62 ist dieser Zusammenhang zusammenfassend dargestellt am Beispiel ausgewählter, mehrtägiger Zeiträume mit erhöhten Niederschlägen im Zeitraum 2012 bis 2017. Jedem gemessenen EC-Wert im Vorlaufschacht wird in dieser Grafik der bis zu diesem Messzeitpunkt gefallene kumulierte Niederschlag des betrachteten Niederschlagszeitraumes gegenübergestellt. Auch hier zeigt sich deutlich, dass mit zunehmendem Niederschlag und damit zunehmendem Dränwasseranfall die EC-Werte im Vorlaufschacht zurückgehen.

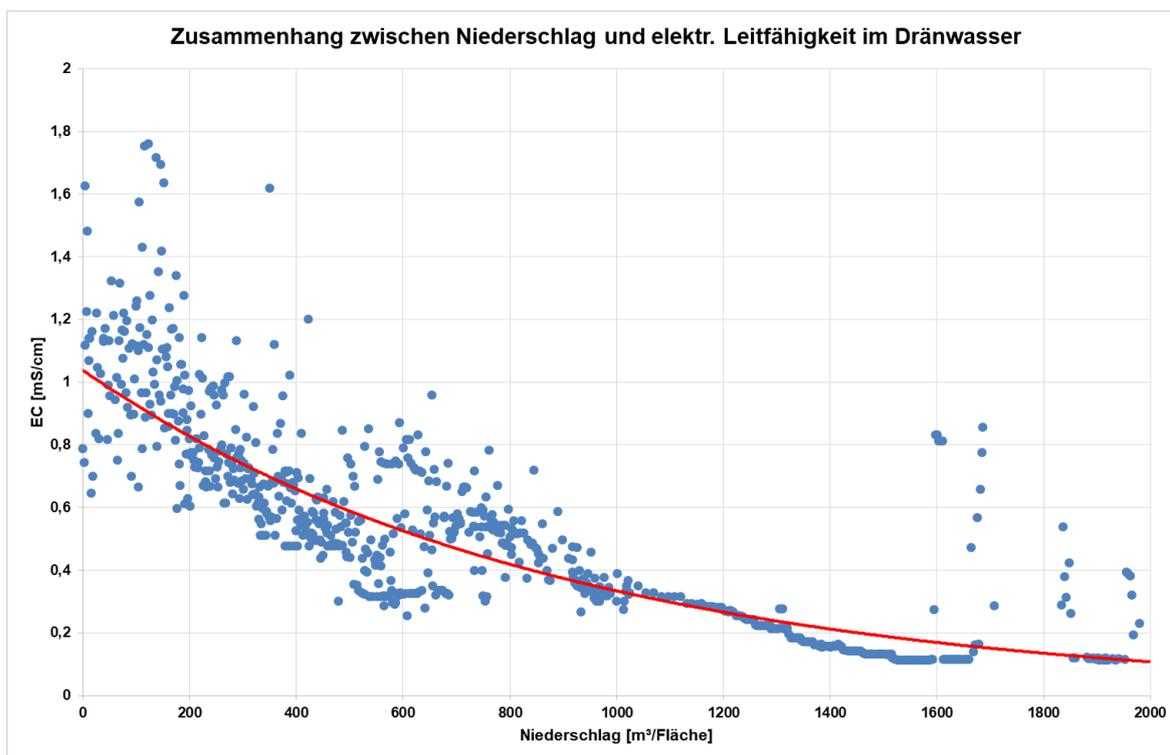


Abbildung 62: EC-Wert-Entwicklung im Dränwasser in Abhängigkeit vom Niederschlag ausgewählter mehrtägiger, zusammenhängender Niederschlagsereignisse

Nach der in Abbildung 62 wiedergegebenen Regressionskurve wird im Dränwasser des Vorlaufschachtes ein EC-Wert von 0,4 – 0,5 mS/cm ($\approx 50 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$, entsprechend des **überschlägig** am Beispiel der Abbildung 61 dargestellten Zusammenhanges) bei einer Niederschlagssumme von ca. 600 – 800 m³ auf der Versuchsfläche unterschritten. In Abbildung 64 ist der Zusammenhang von Niederschlag und anfallendem Dränabfluss dargestellt, dem zu entnehmen ist, dass (mit entsprechender Streuung um die Regressionsgerade) der Niederschlag fast vollständig in Dränwasser umgesetzt wird. D. h. nach den in Abbildung 61 und **überschlägig** dargestellten Zusammenhängen ist ab einem Dränwasseranfall von ca. 600 – 800 m³ innerhalb eines weitgehend zusammenhängenden, in aller Regel mehrtägigen Niederschlagszeitraumes mit einer Reduzierung zumindest der Salzfrachten im Dränwasser zu rechnen, die aus wasserwirtschaftlicher Sicht einen direkten Abschlag dieser Wässer erlaubt. Durchschnittlich fallen diese 600 – 800 m³ Niederschlag bzw. Dränwasser in den betrachteten zusammenhängenden Niederschlagszeiträumen in den ersten 3 Tagen an, also ca. 200 – 270 m³/d (allerdings je nach Niederschlagsheftigkeit mit erheblicher Streuung). Eine praxisrelevante Anlage müsste somit über eine Verarbeitungskapazität für Dränwasser in dieser Größenordnung verfügen. Vereinzelt können als Folge von Starkniederschlagsereignissen Situationen auftauchen, die auch zukünftig diese Anlagenkapazität übersteigen, für derartige Extremereignisse lässt sich aber kaum ein praxisrelevantes Anlagenkonzept entwickeln.

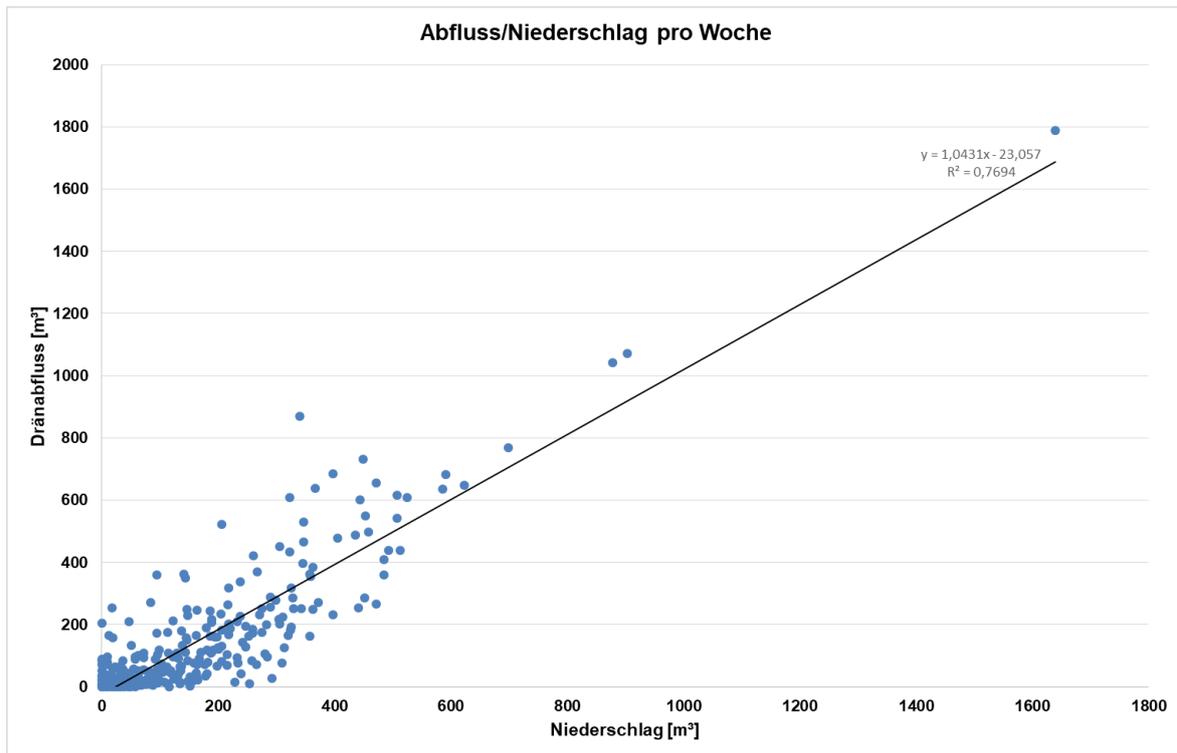


Abbildung 63: Wöchentlicher Dränabfluss von der Versuchsfläche in Abhängigkeit vom Niederschlag (Mai 2012 – November 2017)

Die vorhergehenden Überlegungen haben insbesondere auf die Entwicklung der EC-Werte und daraus abgeleitet auf die der Nitrat-Konzentrationen abgestellt. Die in Kapitel 3.6.1.1 dargestellten Ergebnisse zur Entwicklung der PSM-Konzentrationen im Dränwasser lassen hier aber ähnliche Zusammenhänge erwarten.

3.7 „Lebensleistung“ Biobed / Entsorgung

Wie die bisherigen Ergebnisse zeigen, ist das Biobed der Teil der Versuchsanlage in dem die meisten PSM-Wirkstoffe und auch Nitrat zurückgehalten werden. Daher ist für eine erfolgreiche Reduzierung dieser Stoffe ein intaktes und leistungsfähiges Biosubstrat notwendig. Insbesondere unter den standörtlichen Verhältnissen der Versuchsanlage kommt dem Biobed eine besondere Bedeutung zu, da die mangelnde Versickerungsleistung des Pflanzbeetes die Effizienz und damit auch die Notwendigkeit dieses Anlagenteils unter diesen Standortbedingungen fraglich erscheinen lässt.

Daher ist es wichtig, eine Abschätzung zur Dauer der „Lebensleistung“ des Biobeds zu treffen, um so für die Praxis einen kalkulierbaren Zyklus zum Austausch des Substrates festzulegen.

Zu diesem Zweck wurde an insgesamt 7 Terminen Biobedssubstrat in zwei Tiefen aus dem Biobed entnommen (3 Probenahmestellen pro Horizont), horizontbezogene Mischproben hergestellt und diese nach Elution mit Wasser auf ihre PSM-Konzentration im Eluat untersucht. Geprüft werden sollte, ob auf diesem Wege eine sukzessive (desorbierbare) Anreicherung von PSM-Rückständen am Substrat festzustellen war. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 16 aufgelistet. Insgesamt ließen sie jedoch weder einen Schluss auf eventuelle Anreicherungsprozesse noch auf ein sich insgesamt einstellendes Belastungspotenzial des Biobedssubstrates zu. Da methodisch bedingt bei der Probenahme neben dem eigentlichen Biobedssubstrat immer auch die Feuchtphase der aktuell über das Biobed geleiteten Dränwässer (und die darin enthaltenen PSM-Rückstände!) mit beprobt wurden, sind die Ergebnisse vom jeweils zum Probenahmetermin vorhandenen Belastungsgrad der eingeleiteten Dränwässer stark überprägt.

Tabelle 16: Ergebnisse der Biobedssubstrat-Untersuchungen auf PSM-Rückstände

Entnahmestelle	Probenahme	Angaben in mg/kg Ts																	
		Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Cyprodinil	Fenhexamid	Flonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Flusilazol	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lambda-Cyhalothrin	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl
Biobed-Substrat oben	21.04.15	0,2	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biobed-Substrat unten	21.04.15	0,1	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Substrat	04.08.14	0,1	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
Biobed-Substrat oben	05.10.15	0,0	1.569,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	591,0	0,0	0,0	0,0	243,0	0,0	102,0	0,0
Biobed-Substrat unten	05.10.15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	344,0	0,0	0,0	0,0	333,0	0,0	0,0	0,0
Biobed-Substrat oben	07.04.16	0,0	60.168,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.670,0	0,0	0,0	0,0	6.150,0	0,0	9.699,0	0,0
Biobed-Substrat unten	07.04.16	0,0	22.622,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.941,0	0,0	0,0	0,0
Biobed-Substrat oben	31.08.16	0,0	4.550,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,0	0,0	0,0	0,0	997,0	0,0	0,0	0,0	2.934,0	0,0	717,0	0,0
Biobed-Substrat unten	31.08.16	0,0	2.294,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,0	0,0	0,0	0,0	413,0	0,0	0,0	0,0	1.773,0	0,0	224,0	0,0
Biobed-Substrat oben	23.05.17	0,0	690,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	229,8	0,0	36,9	0,0
Biobed-Substrat unten	23.05.17	0,0	1.714,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	334,7	0,0	72,1	0,0
Biobed-Substrat oben **	23.05.17	0,0	2.086,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	249,1	0,0	259,3	1,0
Biobed-Substrat unten **	23.05.17	0,0	967,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	116,6	0,0	0,0	0,0
Biobed-Substrat oben	07.08.17	0,0	1.192,2	7,6	0,0	0,0	0,0	18,8	0,0	0,0	0,0	736,3	0,0	0,0	0,0	176,3	0,0	652,8	0,0
Biobed-Substrat unten	07.08.17	0,0	1.625,2	10,8	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	55,2	0,0	0,0	0,0	143,4	0,0	109,9	0,0

Allerdings haben auch bereits die bisherigen Ausführungen in den Kapiteln 3.3.1 und 3.3.2 gezeigt, dass eine Abnahme in der Leistungsfähigkeit des Biosubstrats über die Zeit festzustellen ist. Während bezüglich der Fähigkeit des Biobeds, die Nitrat- und Pflanzenschutzmittelkonzentrationen bzw. -frachten zu reduzieren, vergleichsweise nur geringe Leistungseinbußen festzustellen sind, nimmt die Dränfähigkeit des Biomaterials mit zunehmender Alterung durch Mineralisation, Sedimentation von Feinmaterial und allgemeine Setzungsprozesse erheblich ab. Eine entsprechende reduzierte Dränfähigkeit des Biobeds war insbesondere zum Ende des Jahres 2016 festzustellen.

Die Abnahme der Leistungsfähigkeit des Biosubstrates ist insbesondere eine Funktion der durch das Biobed geleiteten Dränwassermengen ist und soll im Folgenden abgeschätzt werden. Zu diesem Zweck wird angenommen, dass die Leistungsfähigkeit des Biosubstrates (v. a. zur Drämfähigkeit) Ende des Jahres 2016 erschöpft ist. Für den Versuchszeitraum (Mai 2012 bis Dezember 2016) wurde nach Tabelle 17 die Dränwassermenge berechnet, die in diesem Zeitraum pro m³ Biobedssubstrat durch das Biobed durchgeleitet wurde. Zu berücksichtigen ist, dass das Biobedssubstrat im Dezember 2013 einmal mit 40 m³ frischem Substrat aufgefüllt wurde. Unter den getroffenen Annahmen errechnet sich somit nach Tabelle 17 eine Dränwassermenge von 111 m³, die im Zeitraum vom 1.5.2012 bis 31.12.2016 pro m³ Substrat bei guter Leistungsfähigkeit über das Biobed geleitet wurde.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei diesen Berechnungen um eine größenordnungsmäßige Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Biobedssubstrates handelt, für die gewisse Annahmen getroffen werden mussten. Andere Betriebsbedingungen oder andere Substratzusammensetzungen können diese Werte durchaus erheblich beeinflussen. Für eine erste Abschätzung zur „Lebensdauer“ des Biobedssubstrates scheinen die Ergebnisse jedoch gut geeignet.

Tabelle 17: Leistungsfähigkeit des Biosubstrates

Leistungsfähigkeit Biobed-Substrat			
Zeitraum	Substrat [m³]	Dränwasser [m³]	Dränwasser pro Substrat [m³/m³]
1.5.2012 - 18.12.20	75	3.643	49
19.12.2013 - 31.12.	115	9.098	79
Gesamtleistung		12.741	111
⁽¹⁾ = inkl. Wassermengen aus 6 Leistungsversuchen 2015/16)			

Nachdem das Substrat nicht mehr die notwendige Leistungsfähigkeit aufweist, muss es grundsätzlich aus dem Biobed entfernt und durch frisches Substrat ersetzt werden. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurde jedoch zunächst auf einen vollständigen Austausch verzichtet und das Biobed wurde Anfang 2017 lediglich mit Rindenmulch abgedeckt.

Eine Entsorgung des bisher in der Anlage verwendeten Biobedssubstrates war daher im bisherigen Versuchsverlauf nicht notwendig. Nach bisherigen Abstimmungen mit der Landwirtschaftskammer NRW bzw. dem LANUV NRW scheint aber eine Einstufung des auszutauschen Substrates als (organischer) Wirtschaftsdünger oder als Bodenhilfsstoff nach Düngemittelverordnung möglich zu sein. Hierzu ist das Substrat auf verschiedene, im Detail noch abzustimmende Parameter und Inhaltsstoffe (Nährstoffgehalte: N,P,K, wasserlösliches Ca, or-

ganische Substanz, Schwefel, Spurenstoffe, Schwermetalle etc.) zu untersuchen. Anschließend soll das Substrat nach Möglichkeit auf betriebseigene gartenbaulich genutzte oder auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht werden.

3.8 Entwicklung der Schadstofffrachten im Vorfluter

Im Folgenden wird kurz auf die Ergebnisse zur Entwicklung des Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Fließverlauf des Vorfluters eingegangen, in den Dränwässer direkt eingeleitet wurden, wenn diese das Fassungsvermögen der Versuchsanlage, v. a. bei erhöhten Niederschlagsereignissen, überstiegen (siehe auch Kap. 2.4.2.1).

In Abbildung 64 sind die Zusammenhänge zwischen den Nitratkonzentrationen, die zum gleichen Messtermin im „Vorlauf“ und denen, die am Messpunkt „Vorflut 2“, welcher sich unmittelbar hinter der Einleitung in den Vorfluter befindet (Abbildung 4), gemessen wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nitratgehalte beider Wässer stark miteinander korrelieren, was auch nicht weiter überrascht, da es sich hierbei praktisch um die gleichen Wässer handelt, die lediglich – je nach Abflussverhältnissen des Vorfluters – mit Wasser aus dem Oberstrom des Vorfluters vermischt werden. Auch die Ergebnisse zur Entwicklung der Nitratkonzentrationen im weiteren Fließverlauf des Vorfluters (Abbildung 65) zeigen, dass es hier im Wesentlichen lediglich zu vermischungsbedingten Veränderungen kommt bzw. fallweise auch zu Konzentrationszunahmen, die auf die Zusickerung nitratreichen Wassers aus den benachbarten land- und gartenbaulich genutzten Flächen zurückzuführen sind. Ebenso ist an den Ergebnissen zur Nitratkonzentration in den Wässern des Beprobungspunktes Vorflut 1 festzustellen, dass der Vorfluter auch oberstromig der Einleitungsstelle schon Nitratkonzentrationen in der Größenordnung der mit den Dränwässern eingeleiteten Konzentrationen führt.

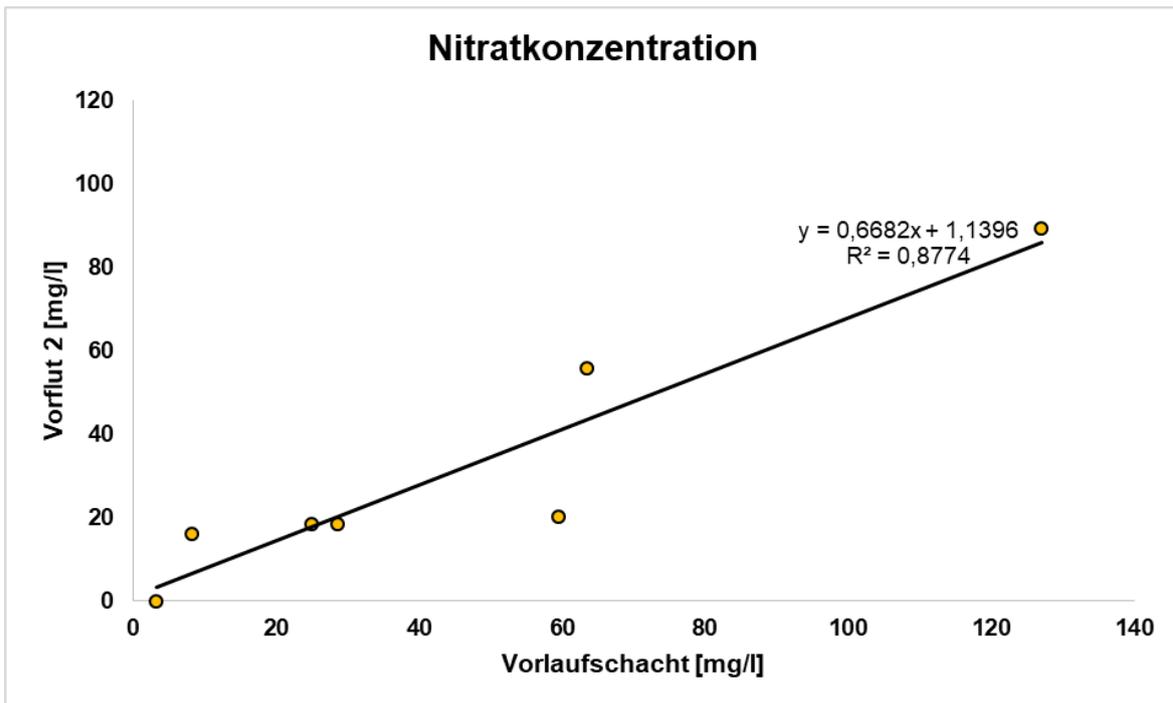


Abbildung 64: Korrelation zwischen den Nitratgehalten der Wässer an den Probenentnahmestellen Vorlaufschacht und Vorflut 2

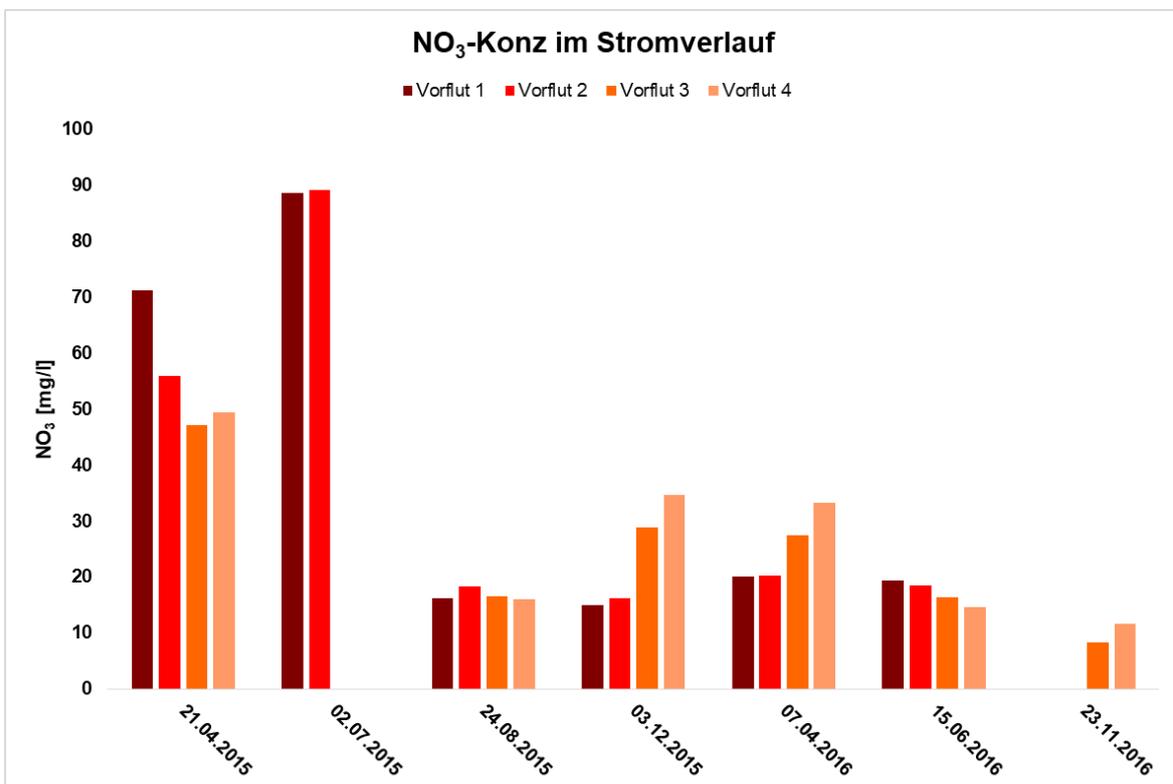


Abbildung 65: Verhalten der Nitratkonzentration im Stromverlauf

Grundsätzlich ähnliche Zusammenhänge zeigen sich auch bezüglich der Konzentrationsentwicklung von PSM-Rückständen im Fließverlauf des Vorfluters. Auch hier sind im Fließverlauf

lediglich Konzentrationsänderungen festzustellen, die im Wesentlichen auf Mischungsprozesse zurückzuführen sind. Überraschend ist jedoch, dass auch am ca. 30 m oberstromig der Einleitungsstelle gelegenen Beprobungspunkt Vorflut 1 immer PSM-Konzentrationen in der Größenordnung der (unterstromig) eingeleiteten Dränwässer gemessen wurden. Auf Grund der stark wechselnden Wasserführung des Vorfluters kann nicht ganz ausgeschlossen werden, dass bei sehr geringer Wasserführung des Vorfluters die Dränwassereinleitung in Einzelfällen auch den oberstromigen Beprobungspunkt Vorflut 1 mit beeinflusst hat. Insgesamt scheint es jedoch deutlich wahrscheinlicher, dass im Oberstrom gelegene und ähnlich bewirtschaftete gartenbauliche Nutzflächen, deren Sicker- oder Dränwässer dem Vorfluter zufließen, für diese Konzentrationen verantwortlich sind.

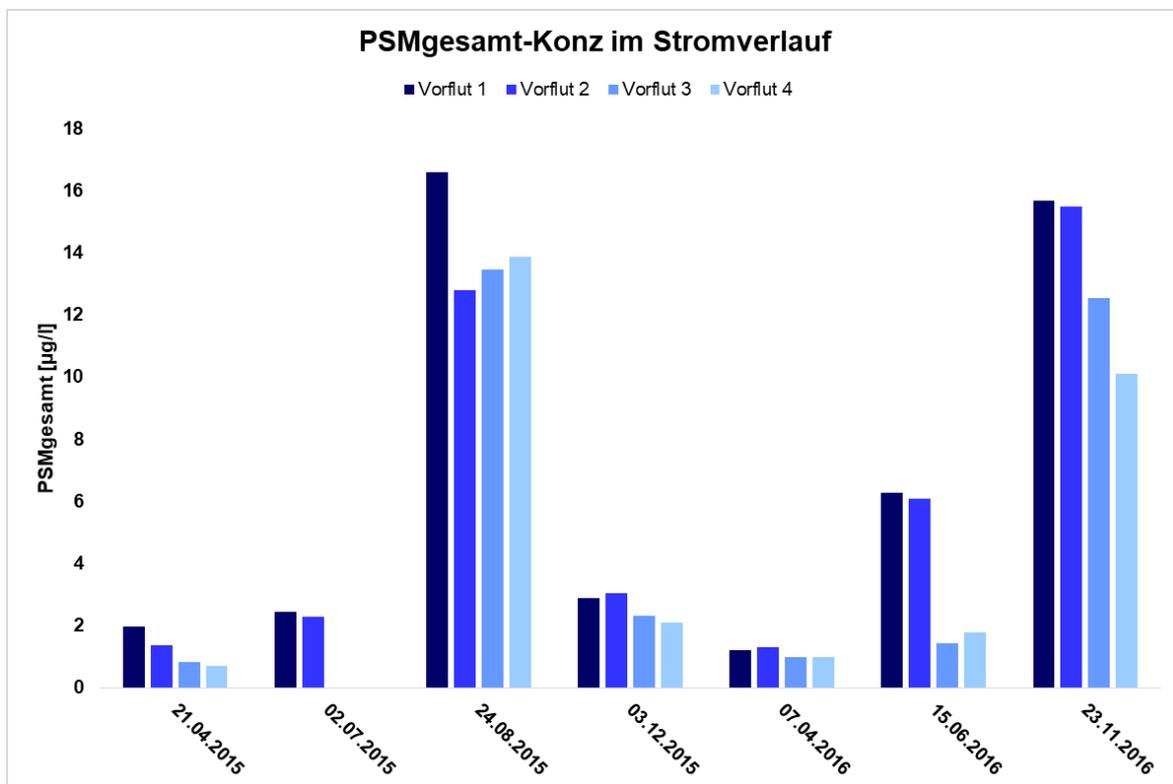


Abbildung 66: Verhalten der PSM_{gesamt}-Konzentration im Stromverlauf

3.9 Berechnungen zur optimierten Anlagenkonfiguration

Die vorhergehend beschriebenen Ergebnisse haben gezeigt, dass die Versuchsanlage in ihrer derzeitigen Konfiguration grundsätzlich gut geeignet ist, um die Nitrat- und PSM-Frachten in von gartenbaulich genutzten Flächen abfließenden Dränwässern in erheblichem Umfang zu reduzieren. Es hat sich aber auch weiter gezeigt, dass das Anlagenkompartiment Pflanzbeet

unter den standörtlichen Bedingungen mangels hinreichender Versickerungsleistung die Leistungskapazität der Anlage begrenzt. Da die wesentlichen Prozesse der Nitrat- und v. a. PSM-Reduzierung im Biobed ablaufen, wird bei der folgenden Konzeption einer optimierten, praxisrelevanten Anlage für vergleichbare Standorte auf das Kompartiment Pflanzbeet verzichtet. Die Leistungsversuche Biobed haben gezeigt, dass unter diesen Bedingungen der Dränwasserdurchsatz durch das Biobed erheblich (auf bis zu 250 m³/d) gesteigert werden kann.

In einem ersten Schritt bedarf es jedoch einer optimierten Dimensionierung des dem Biobed vorgeschalteten Vorlagespeichers, der im aktuellen Ausbau ein Speichervolumen von 123 m³ hat.

Eine Dimensionierung der verschiedenen Anlagenkompartimente hat sich dabei primär an der Verteilung der Niederschlagsereignisse zu orientieren, die - wie die Ausführungen in Kap. 3.3.1 gezeigt haben)– den Dränwasseranfall dominieren (siehe auch Abbildung 63).

In **Abbildung 67** ist in Form von Boxplots eine Häufigkeitsverteilung der mittleren täglichen Niederschlagsereignisse pro Jahr (jeweils für die Monate April bis November) unterschiedlicher Höhe der Jahre 2000 – 2016 dargestellt. Ausgewertet wurden hierzu die Niederschlagsmessungen am Versuchsstandortort sowie die der drei Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) „Geldern-Kapellen“, „Goch-Asperden“ und „Xanten“. Es zeigt sich, dass im Durchschnitt die weit überwiegende Anzahl von Niederschlagsereignissen in einer Größenordnung von >0 bis 20 mm/d liegt. Bezogen auf die Versuchsfläche entspricht das einem Dränwasseranfall von maximal ca. 200 m³/d, den eine optimal dimensionierte Anlage aufnehmen können muss. Es kommt nur vereinzelt zu Niederschlagsereignissen, die diese Größenordnung übersteigen und es erscheint nicht notwendig, eine praxisrelevante Anlagenkonfiguration zur Aufnahme der resultierenden Dränwässer auf diese eher als Extremereignisse zu klassifizierenden Niederschläge auszulegen. Dies gilt insbesondere auch deshalb, weil die in Kapitel 3.6 erläuterten Ergebnisse erwarten lassen, dass die in den Dränwässern enthaltenen Schadstofffrachten ab einem Dränwasseranfall von ca. 100 – 250 m³ (innerhalb eines zeitlich zusammenhängenden Dränwasserereignisses) deutlich zurückgehen und darüber hinausgehende Dränwässermengen aus wasserwirtschaftlicher Sicht weitgehend gefahrlos abgeschlagen werden können.

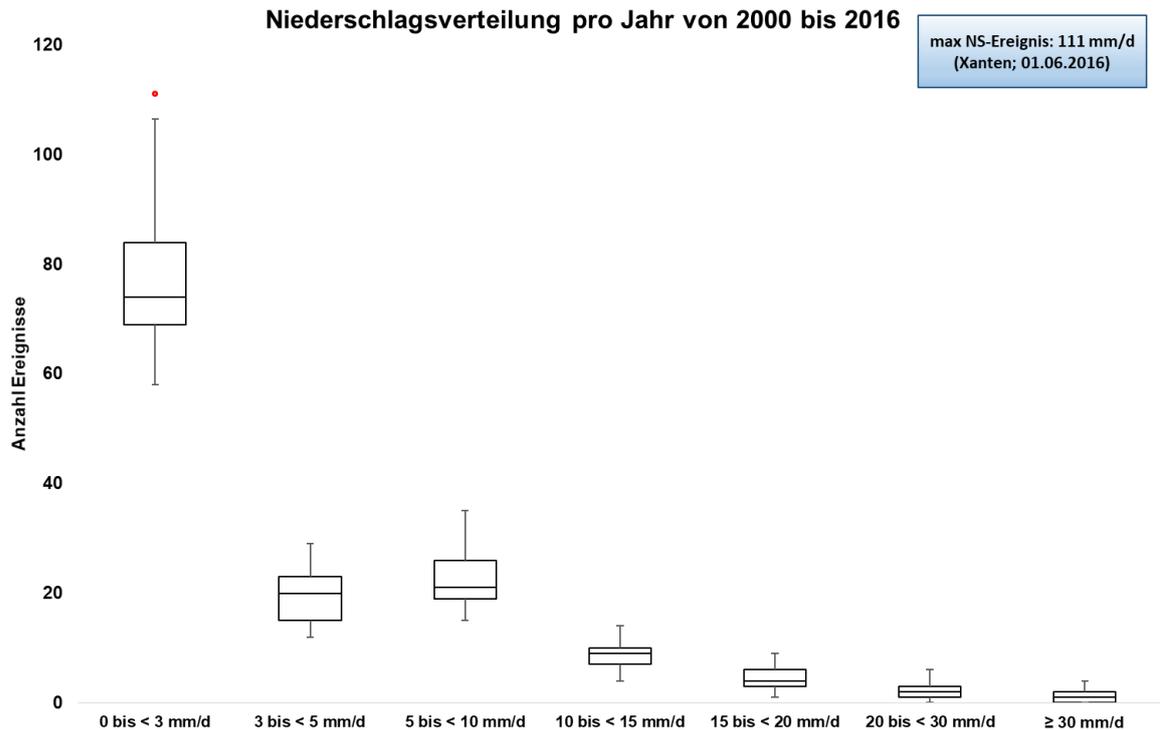


Abbildung 67: Jährliche Häufigkeitsverteilung der Tagesniederschlagsereignisse 2000 – 2016 (Monate April bis November, Mittel der Niederschlagsmeßstation am Versuchsstandort sowie von drei DWD-Stationen in der Umgebung)

In Abbildung 68 sind die tatsächlich im Versuchszeitraum gemessenen Dränwasserabflussergebnisse von Start der Versuchsanlage im Mai 2012 bis zum November 2017 als Perzentilwerte aufgeführt. Das rote Rechteck in der Grafik umfasst den prozentualen Anteil der täglichen Abflussereignisse, der bezogen auf eine tägliche Speicherkapazität der Anlage von 123 m³ plus einer täglichen Beaufschlagungsmenge von ca. 65 m³ kalkulatorisch maximal von der Anlage pro Tag verarbeitet werden kann. (Die tatsächliche Anlagenkapazität wird niedriger als in Abbildung 68 dargestellt liegen, da mehr oder weniger häufig das Volumen des Vorlagespeichers auf Grund von Restbefüllungen der vorhergehenden Tage nur partiell zur Verfügung steht.

28 % des in diesem Zeitraum angefallenen Dränwassers hätten unter diesen Bedingungen abgeschlagen werden müssen. Wie die bereits in Kapitel 3.3.1 erläuterten Ergebnisse zeigen, lag der Anteil von tatsächlich abgeschlagenem Dränwasser im bisherigen Versuchszeitraum auf Grund von Betriebsstillständen der Anlage (für Wartungsarbeiten), wegen der bereits erwähnten Restbefüllungen im Vorlagespeicher, v. a. aber wg. der begrenzten Sickerungskapazität des Pflanzbeets bei ca. 62 %. Trotz der für die vorhergehenden Berechnungen unterstellten und in Abbildung 68 dargestellten deutlich erhöhten mittleren Beaufschlagungsmengen auf

das Biobed von 65 m³/d zeigt Abbildung 68, dass selbst unter optimalen Bedingungen rund 30 % der anfallenden Dränwässer hätten abgeschlagen werden müssen.

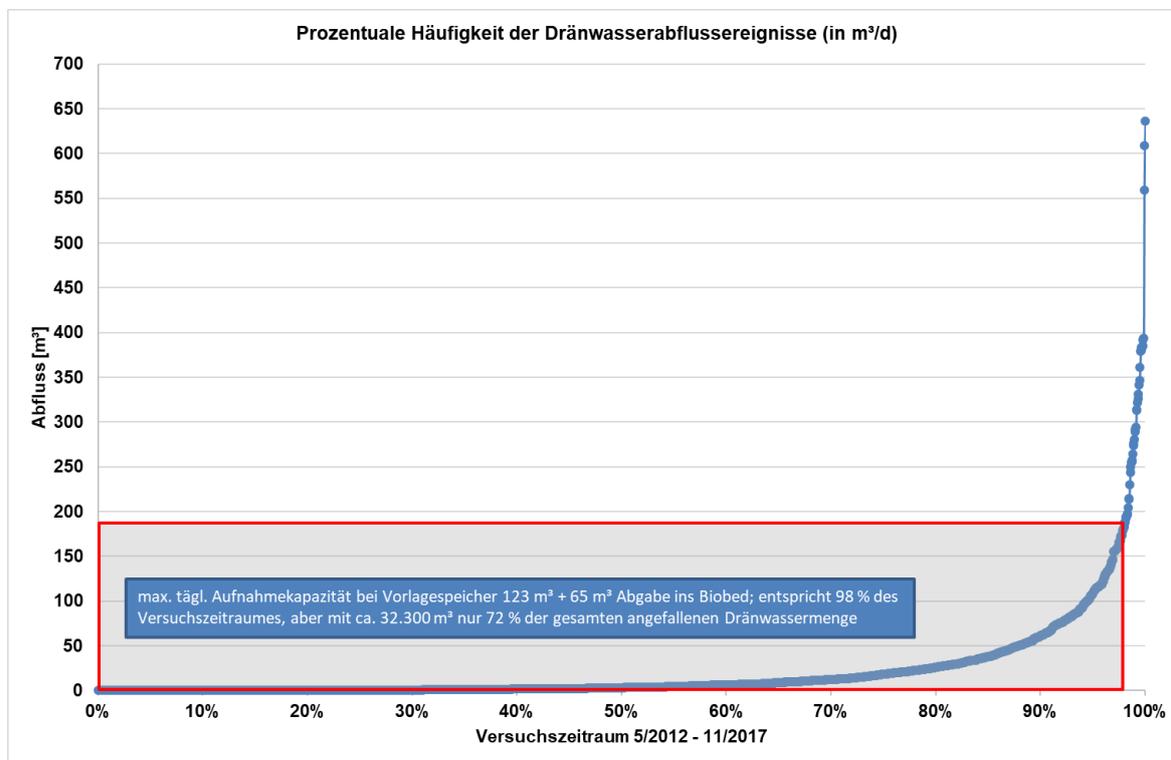


Abbildung 68: Perzentilwerte des täglichen Dränwasserabflusses von der Versuchsfläche (m³/d)

Eine optimale Anlagenkonfiguration bedarf somit neben der Erhöhung der Beaufschlagungsmengen auf das Biobed auch einer Vergrößerung des Vorlagespeicher-Volumens. Zur Dimensionierung eines entsprechend großen Vorlagespeichers wurden in der Folge mit den tatsächlich im Versuchszeitraum angefallenen Niederschlägen bzw. den daraus resultierenden Dränwasserflüssen Berechnungen durchgeführt, wie sich die beiden Einflussgrößen Beaufschlagungsmenge Biobed und Volumen Vorlagespeicher auf die Leistungskapazität der Anlage bzw. den prozentualen Anteil des angefallenen Dränwassers, der unter diesen Bedingungen hätte abgeschlagen werden müssen, auswirken. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 69 dargestellt.

Den dargestellten Ergebnissen ist zu entnehmen, dass der wesentliche Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit der Anlage die „Beaufschlagungsmenge Biobed“ ist. Bei geringen Beaufschlagungsmengen von Dränwasser auf das Biobed erhöht sich die Leistungsfähigkeit der Anlage zur Aufnahme von Dränwässern (bzw. verringert sich der Anteil von direkt abgeschlagenen Wässern) durch eine Vergrößerung des Vorlagespeicher-Volumens praktisch nicht. Mit zunehmenden Beaufschlagungsmengen auf das Biobed wird auch der Einfluss des Vorlage-

speicher-Volumens größer. So kann z. B. bei einer gewählten, maximalen Beaufschlagungsmenge auf das Biobed von 100 m³/d und einem Vorlagespeicher-Volumen von z. B. 250 m³ der Anteil des Dränwassers, der die Aufnahmekapazität der Anlage übersteigt und somit direkt abgeschlagen werden muss, auf unter 15 % gesenkt werden.

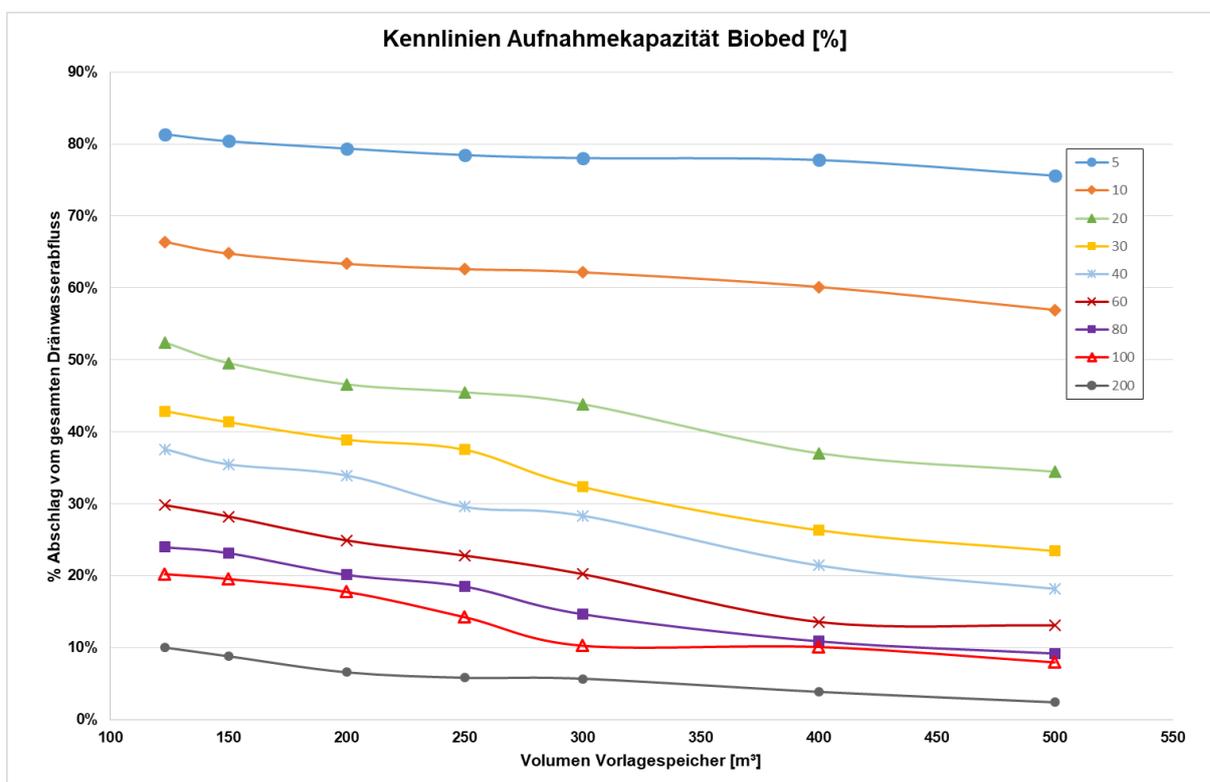


Abbildung 69: Wechselseitige Abhängigkeit von Vorlagespeichervolumen und Beaufschlagungsmenge Biobed (in m³/d) auf Abschlagsmenge (in % des gemessenen Dränwasseranfalls in den Bewirtschaftungszeiträumen 1.3 - 30.11 der Jahre 2012 – 2017

Bei den vorhergehenden Berechnungen wurden für die berücksichtigten Untersuchungsjahre die Witterungsereignisse bzw. die in Folge entstehenden Dränwasserflüsse der Monate April bis November berücksichtigt. Dabei handelt es sich um die wesentlichen Bewirtschaftungszeiträume der Versuchsfläche, in denen Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen stattfinden. Wie bereits den Ausführungen in Kapitel 3.6 zu entnehmen ist, ist bei zusammenhängenden Dränwasserereignissen in Abhängigkeit von der anfallenden Dränwassermenge auch mit einem sukzessiven Rückgang der Schadstofffrachten im Dränwasser zu rechnen. Da in den Wintermonaten ab ca. November bis März keine Dünger und Pflanzenschutzmittel auf der Bewirtschaftungsfläche ausgebracht werden, ist mit einem vergleichbaren Schadstoffrückgang im anfallenden Dränwasser auch ab ca. Dezember eines jeweiligen Jahres zu rechnen.

Auswertungen zur mittleren Nitrat- und PSM-Konzentration im Dränwasser (Probenahmestelle Vorlaufschacht) dieses Zeitraumes (Dezember bis März) der Jahre 2012 – 2016 bestätigen

die Vermutung (Tabelle 18). So liegt die mittlere Nitratkonzentration in diesen Dränwässern in den Wintermonaten mit 16,5 mg NO₃/l lediglich bei ca. 17 % der Konzentration des Bewirtschaftungszeitraumes April bis November. Die mittlere PSM-Konzentration geht im Vergleich zum Bewirtschaftungszeitraum April bis November auf Basis der vorliegenden Analyse-Ergebnisse rein rechnerisch in den Wintermonaten immerhin auf ca. 50 % (bei Berücksichtigung aller untersuchten PSM-Wirkstoffe) bzw. ca. 60 % (ohne Berücksichtigung des Wirkstoffes Metribuzin) zurück.

Tabelle 18: Mittlere Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser (Probenahmestelle Vorlaufschacht) unterschiedlicher Bewirtschaftungszeiträume der Jahre 2012 - 2016

	σ-Konzentration im Vorlauf (2012 - 2016)		
	Nitrat [mg/l]	PBSM_{gesamt} [µg/l]	PBSM_{ohne Metribuzin} [µg/l]
Ganzjährig	72,1	49,8	26,4
Apr. - Nov.	96,1	59,0	30,0
Dez. - Mrz.	16,5	28,2	18,2

Möglicherweise werden die PSM-Belastungen in den Dränwässern der Wintermonate auch noch geringer ausfallen, da die in Tabelle 18 für die Monate Dezember bis März errechneten Werte auf einer deutlich reduzierten Untersuchungsanzahl in diesem Zeitraum beruhen. Zum Teil gehen in diese Werte also Interpolationsfehler ein, wenn die berücksichtigten Werte des jeweiligen Winterzeitraumes noch von der letzten Messung der vorhergehenden und/oder der ersten Messung der folgenden Bewirtschaftungsperiode geprägt sind. Die Ausklammerung der Dränwassermengen des Winterzeitraumes aus den weiter oben durchgeführten Berechnungen hat aber auch einen ganz pragmatischen Grund, da während der Wintermonate und den hier zu erwartenden Frostperioden mit erheblichen Einschränkungen bzw. Ausfällen des Anlagenbetriebs zu rechnen ist, da frostgefährdete Anlagenteile rechtzeitig ausgebaut werden müssen. Insgesamt wird bei den folgenden Überlegungen davon ausgegangen, dass das in den Monaten Dezember bis März von der Bewirtschaftungsfläche abfließende Dränwasser direkt abgeschlagen wird.

Für die Dimensionierung einer zukünftigen optimierten und praxisgerechten Anlage sind daher in Tabelle 19 die im Zeitraum 5/2012 bis 12/2016 die tatsächlich gemessenen Dränwasserab-

flüsse von der Versuchsfläche, eingeteilt in verschiedene Abflussklassen (in m³/d) zusammengestellt. Der Zeitraum 2012 bis 2016 wurde gewählt, weil wie in den vorhergehenden Kapiteln schon erwähnt, zum Ende des Jahres 2016 die Leistungsfähigkeit der Anlage (bezüglich der Dränfähigkeit des Biobeds) zurückging.

Tabelle 19: Klassifizierter Dränwasserabfluss von der Versuchsfläche im Zeitraum 5/2012 – 12/2016

Klassifikation Abfluss 2012 - 2016		
Abschlags- klasse [m³]	Anzahl [d]	Menge Dränwasser[m³]
0	298	0
0 - < 5	638	1.131
5 - < 10	186	1.333
10 - < 25	221	3.583
25 - < 45	128	4.226
45 - < 70	77	4.282
70 - < 100	56	4.677
100 - < 140	41	4.835
140 - < 200	30	4.994
> 200	31	10.239
Summe	1706	39.299
Winter-Drän (Dez. - Mrz.)		11.611
Sommer-Drän (Apr. - Nov.)		27.688

Demnach flossen innerhalb dieses Zeitraumes insgesamt ca. 40.000 m³ Dränwasser von der Versuchsfläche ab, davon ca. 11.500 m³ in den Wintermonaten und ca. 27.500 m³ in den Monaten April bis November. Nach den vorhergehenden Überlegungen gilt es insbesondere das Dränwasser dieser Monate über die Anlage zu leiten. Die insgesamt innerhalb dieses Zeitraumes über die Anlage und vor allem über das Biobed geleitete Dränwassermenge reduziert sich aber noch, wenn man - wie in Kapitel 3.6 erläutert - davon ausgeht, dass bei Abflussereignissen von > 100 m³/d die im Dränwasser enthaltenen PSM- und Nitratkonzentrationen auf ein Maß zurückgehen, die einen direkten Abschlag erlauben.

Tabelle 20: Klassifizierter (Sommer-)Dränwasserabfluss von der Versuchsfläche im Zeitraum 5/2012 – 12/2016 und über das Biobed zu leitende Mengen (bis 100 m³/d)

Sommer-Dränwasseranfall (Apr.- Nov., 2012 - 2016) und Beaufschlagung Biobed (bis 100 m³/d)			
Dränwasser- klasse [m³/d]	Anzahl [d]	Dränwasseranfall [m³]	Biobed-Beaufschlagung bis 100 m³/d
0	196	0	0
0 - < 5	467	810	810
5 - < 10	131	946	946
10 - < 25	149	2.382	2.382
25 - < 45	84	2.849	2.849
45 - < 70	54	2.944	2.944
70 - < 100	41	3.408	3.408
100 - < 140	24	2.861	2.400
140 - < 200	20	3.347	2.000
> 200	24	8.142	2.400
Summe Dränwasseranfall		27.688	
Summe Biobed-Beschickung (bis 100 m³/d)			20.139

Nach Tabelle 20 wären innerhalb dieses Zeitraumes und unter diesen Bedingungen ca. 20.000 m³ Dränwasser über das Biobed zu leiten gewesen (\approx ca. 4.000 m³/a), Dränwassermengen von > 100 m³/d wären am Beispiel der dargestellten Berechnungen abgeschlagen worden. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Biobeds größer ist, wie die Ergebnisse der in Kapitel 3.4.3 erläuterten Leistungsversuche zeigen, d. h. bei Bedarf können durchaus auch Dränwassermengen > 100 m³/d über das Biobed geschickt werden. Die „Lebensdauer“ des Biobeds, insbesondere hinsichtlich seiner Dränfähigkeit, geht aber mit zunehmenden über das Biobed geleiteten Dränwassermengen zurück. Im Sinne eines sowohl ökonomisch als auch Gewässerschutz-optimierten Betriebes der Anlage, gilt es also möglichst nur die Dränwassermengen über die Anlage zu schicken, die auf Grund ihrer Belastung zwingend einer Aufbereitung bedürfen.

Die Berechnungen in Kapitel 3.7 haben gezeigt, dass unter den bisherigen Betriebsbedingungen ca. 111 m³ Dränwasser pro m³ Biobedsubstrat über die Anlage geleitet werden konnten (siehe auch Tabelle 17), bevor die nachlassende Dränfähigkeit des Biobeds einen Austausch des Substrates (bzw. eine Auffüllung) erfordert.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden nun verschiedene Berechnungen zur notwendigen Größe bzw. zum notwendigen Substratvolumen eines Biobeds durchgeführt, so dass das Biobed einer praxismgerechten Anlage bei den zu erwartenden anfallenden und über die Anlage zu leitenden Dränwassermengen über einen hinreichend langen Zeitraum betrieben werden kann, bevor es ausgetauscht werden muss. Die Ergebnisse in Tabelle 21 zeigen, dass unter den in Kapitel 3.7 beschriebenen Bedingungen ca. 150 m³ Biobed-Substrat ausreichen, um ca. 16.000 m³ Dränwasser aufzubereiten, bevor die Dränfähigkeit des Substrates nachlässt.

Tabelle 21: Leistungsfähigkeit Biobed (in m³ Dränwasser) bei 150 m³ Substratvolumen

Leistungsfähigkeit Biobed-Substrat			
Zeitraum	Substrat [m³]	Dränwasser [m³]	Dränwasser pro Substrat [m³/m³]
1.5.2012 - 18.12.20	75	3.643	49
19.12.2013 - 31.12.	115	9.098	79
Gesamtleistung		12.741	111
Prognose neues B	150	16.619	111
⁽¹⁾ = inkl. Wassermengen aus 6 Leistungsversuchen 2015/16)			

Nach den in Tabelle 20 dargestellten Ergebnissen errechnet sich hieraus bei einem über das Biobed zu leitenden Dränwasseranfall von ca. 4.000 m³/a (bezogen auf den Zeitraum April – November) eine „Lebensdauer“ des Biobedssubstrates von ca. 4 Jahren, bevor ein Substrataustausch notwendig wird. Dieser zunächst kalkulierte ca. 4-jährige Zyklus scheint auch für den Betrieb einer derartigen Anlage unter Praxisbedingungen akzeptable und ökonomisch vertretbar.

Allerdings soll auch an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei diesen Berechnungen um eine größenordnungsmäßige Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Biobedssubstrates handelt, für die gewisse Annahmen getroffen werden mussten. Andere Betriebsbedingungen oder andere Substratzusammensetzungen können diese Werte durchaus erheblich beeinflussen.

3.10 Kreislaufführung von Dränwässern

Neben der Aufbereitung von Dränwässern durch ein Biobed stellt sich die Frage, inwieweit diese vollständig oder überwiegend durch eine Verwendung als Beregnungswasser auf die Produktionsfläche zurückgebracht werden können, so dass der Wasserkreislauf der Versuchsfläche weitgehend als geschlossenes System betrieben wird. Sowohl im Hinblick auf die Ressourcenansprüche an das derzeit zur Beregnung genutzte Grundwasser als auch das aktuelle Gefährdungspotenzial für Grund- und Oberflächenwässer wäre dies aus Gesichtspunkten des Umweltschutzes die optimale Lösung. Voraussetzung hierfür ist einerseits ein entsprechend groß dimensioniertes Speicherbecken. Kompliziert wird die Eignung der Dränwässer zur Beregnung jedoch durch die darin enthaltenen Stofffrachten. Während die N-Frachten vermutlich unkritisch - und aus Gesichtspunkten der N-Effizienz sogar vorteilhaft - wieder auf die Produktionsfläche ausgebracht werden können, stellen im Dränwasser enthaltene PSM-Rückstände, insbesondere aber phytopathogene Keime, die aus der Produktionsfläche ausgetragen werden, ein Gefährdungspotenzial für die gartenbaulichen Kulturen dar. Durch eine Sichtung der aktuellen Literatur bzw. Bewertung des aktuellen Kenntnisstandes wird im Folgenden zumindest auf einer überschlägigen, theoretischen Ebene geprüft werden, ob und welche technischen Aufbereitungskonzepte zur Verfügung stehen, die sowohl den Ansprüchen der gartenbaulichen Praxis als auch der ökonomischen Verhältnismäßigkeit genügen.

3.10.1 Kreislaufführung von Bewässerungs-/Dränagewasser

Für Bewässerungswasser ist grundsätzlich die DIN-Vorschrift 19650 „Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser“ zu beachten. Gemäß dieser Norm ist „eine Bewässerung - vor allem, wenn sie der Ertragsstabilisierung und Qualitätssicherung von Ernteprodukten dient - so durchzuführen, dass eine Gesundheitsgefährdung für Mensch und Tier vermieden wird“. Ein entsprechendes Gefährdungspotenzial (Fäkalstreptokokken, E.coli, Salmonellen, infektiöse Mensch- und Haustierparasiten) kann allerdings für die Rahmenbedingungen des Versuchsstandortes weitestgehend ausgeschlossen werden. Die empfohlenen Behandlungsverfahren zur Verbesserung der Wasserqualität wie

- Zwischenspeicherung in einem Teich oder Kleinspeicher
- Bewachsener Bodenfilter
- Sandfilter

sind grundsätzlich für Gartenbaubetriebe zur Elimination von Nitrat, Pestiziden und Keimen von Interesse: Die durch derartige Verfahren erzielbare Reinigungsleistung bezieht sich vor allem auf:

- Rückhalt von Schwebstoffen
- Abbau der organischen Substanz (einschließlich der Koloniezahl und der pathogenen Keime) und von Ammonium, Nitrat, Nitrit und Phosphat
- Reduzierung von Eisen und Mangan (unter aeroben Verhältnissen)

Eine Kreislaufführung von Dränwässer ist potenziell problematisch durch die im Kreislauf mitgeführten PSM, den hohen Salzgehalt und die Kulturen schädigende Krankheitserreger (Pflanzenpathogene). In Shukla (2010) wird berichtet, dass es noch keine veröffentlichten Langzeiterfahrungen mit der Wiederverwendung von Dränagewasser gibt. Folgender Untersuchungsbedarf wird in diesem Zusammenhang noch gesehen:

- Effekte auf den Nitrat- und Phosphat-Eintrag in die Umwelt
- Einfluss auf den Nährstoffgehalt des Feldes
- Resistenz, Anpassungsfähigkeit von Pflanzenpathogenen
- Einfluss auf den Düngemittelbedarf

Grundsätzlich erfordern geschlossene Bewässerungssysteme salzarmes Gießwasser (Molitor, 2009) und möglichst eine konstante Wasserqualität. Regenwasser ist dafür am besten geeignet, mit dem aber meist nur ein Teil des Bedarfs gedeckt werden kann. Ein plötzlicher Wechsel auf eine andere Wasserqualität (Brunnen- oder Leitungswasser) kann sich negativ auf die Pflanzenqualität auswirken. In der gärtnerischen Praxis wird deshalb häufig dem eigenen Brunnen der Vorzug gegeben und eher in die technische Aufbereitung investiert. Das Sammeln ausreichender Mengen an Regenwasser erfordert umfangreiche Planungen und teils aufwändige Baumaßnahmen verbunden mit einem hohen Flächenbedarf.

Wichtige Aspekte bei der Kreislaufführung von Bewässerungswasser sind weiterhin die Elimination phytopathogener Keime und von Pflanzenschutzmittelrückständen (Hemming, et al, 2009).

In den Niederlanden werden die meisten Obst- und Gemüsearten sowie einige Blumenkulturen in Gewächshäusern als bodenlose Kulturen angebaut. Der aktuelle Trend geht hier zu geschlossenen Systemen mit einer Kreislaufführung von Wasser und Nährstoffen.

So wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens „Aquareuse“ eine Aufbereitungsanlage für Gärtnerei-Abwässer entwickelt und im April 2015 in Betrieb genommen. Sie wird als erste Anlage der Welt zur Aufbereitung von Bewässerungswasser bezeichnet. Sie beinhaltet folgende Schritte (<http://www.aquareuse.nl/aquareuse-voorzieningen.html>):

- Das Abwasser mehrerer Gärtnereien wird gesammelt und zunächst einer Sickergrube zugeführt (Entfernung großer Partikel).
- Pufferung in einem unterirdischen Behälter, hier werden noch vorhandene absetzbare Partikel entfernt
 - Biologische Reinigung in einem Schilf (Reed)-Filter zur Entfernung von Organischen Verunreinigungen und Keimen, (biologisch) abbaubaren PSM-Rückständen

Die Qualität des gereinigten Wassers ist vergleichbar mit dem gereinigten Wasser aus einer normalen Kläranlage. Für die Wiederverwendung als Bewässerungswasser müssen weitere Aufbereitungsschritte folgen:

- Oxidation von gelösten organischen Verbindungen und Abtötung von Keimen (UV + H₂O₂)
- Umkehrosmose zur Entfernung letzter Verunreinigungen und unerwünschte Salze

Das gereinigte Frischwasser wird Gartenbau-Unternehmen zur Verfügung gestellt. Überschüssiges Wasser wird im Boden als Reserve gespeichert. Für eine Bewässerungsfläche von ca. 64 ha liegen die Kosten der Aufbereitung bei 0,7 bis 0,8 €/m³ (Hemming, 2010).

Ein weiteres Projekt in diesem Bereich wurde von drei Niederländischen Gartenbau-Unternehmen gemeinsam realisiert (Hortidaily.com, 2015). Diese sammeln ihr Dränagewasser in einem Speicher mit einem Volumen von 27.000 m³. Das Wasser wird dann kontinuierlich zur Bewässerung wieder eingesetzt und durchläuft vorher folgende Aufbereitung (5 m³ pro Stunde): Ultrafiltration, Erhitzung und Desinfektion (UV kombiniert mit Peroxide).

3.10.2 Entfernung von phytopathogenen Keimen

Das Problem bei zirkulierenden Bewässerungssystemen ist die rasante Verbreitung phytopathogener Keime. Es wurden bereits mehrere Verfahren zur Minimierung der Phytopathogene in solchen Systemen geprüft. Dazu gehören physikalische Desinfektionsverfahren wie Filtration (Ufer et al, 2008), UV-Bestrahlung (Ehret et al, 2001) und Erhitzung (Runia et al., 1988) sowie chemische Verfahren wie Ozonierung (Runia, 1995) und Chlorung (Hong et al, 2003).

Besonders die Langsandsandfiltration (LSF) wird häufig verwendet und als sehr robust bezüglich der Entfernung suspendierter Feststoffe und der Keimreduzierung in geschlossenen und rezirkulierenden Bewässerungssystemen eingeschätzt (Wohanka, 1995; Van Os et al, 1997; Runia et al, 1997). Die Kosten für dieses Verfahren sind etwa dreimal geringer als z.B. für Erhitzen, UV, Ultrafiltration, Ozonierung, Iodierung und Wasserstoffperoxid plus Aktivator (Ufer et al.; 2008). Die Effektivität von LSF gegenüber Phytopathogenen hängt stark von der angesiedelten Mikroflora ab (Gisi et al, 2009). Diese Filter benötigen deshalb eine gewisse Zeit um maximale Leistung zu erbringen. Einige Studien haben sich damit beschäftigt diesen Prozess zu beschleunigen, z. B. durch die Zugabe von Mikroorganismen aus bereits voll funktionstüchtigen Filtern. Die biologische Aktivität konnte besonders durch die Zugabe von drei *Pseudomonas putida*- und zwei *Bacillus cereus* – Stämmen erweitert werden. Die Einarbeitungszeit von LSF kann so von sechs Monaten auf einen Monat verkürzt werden.

Es wird vermutet, dass LSF besser gegen die Verbreitung von Pflanzenkrankheiten wirken als andere Desinfektionsverfahren, weil sie nicht die gesamte Mikroflora entfernen bzw. zerstören (Gisi et al, 2009).

Die anderen Desinfektionsverfahren weisen zwar meist eine höhere Effizienz im Vergleich zur LSF auf, beeinflussen aber mitunter auch vermeintlich nützliche Mikroorganismen negativ. Bei den chemischen Verfahren ist außerdem eine Akkumulation von Desinfektionsnebenprodukten im Wasser bzw. in den Pflanzen nicht auszuschließen. Keines dieser Verfahren vermag es bislang, pflanzenpathogene Viren zu ökonomisch und ökologisch vertretbaren Bedingungen zu inaktivieren (Schuch et al, 2016).

Die Auswahl eines für den Betrieb am besten geeigneten Entkeimungsverfahrens ist komplex und sehr betriebsspezifisch. Großen Einfluss hat das eingesetzte Kultur- bzw. Bewässerungsverfahren. Ein sinnvoller Kostenvergleich kann erst erfolgen, wenn die Konstellationen für den jeweiligen Betrieb ermittelt wurden.

Wohanka et al. (2015) haben ein Arbeitsblatt für die Entkeimung von Nährlösung oder Gießwasser entwickelt. Die darin enthaltenen Ausführungen und Empfehlungen werden nachfolgend in Kapitel 3.10.2.1 und 3.10.2.2 zusammengefasst wiedergegeben.

Grundsätzlich für den Gartenbau geeignete Wasserentkeimungsverfahren wurden in Tabelle 22 zusammengefasst. Die optimale Lösung ist abhängig von den betriebsspezifischen Bedingungen. Durch die Dosierung von Chemikalien kann gleichzeitig eine Wirkung gegen Biofilme im Bewässerungssystem selber und auf den Kulturflächen erreicht werden. Chemische Verfahren werden deshalb aus Kostengründen vor allem bei großen Rücklaufmengen eingesetzt

(Topfpflanzen, Baumschulen). Physikalische Verfahren haben sich vor allem bei Kulturverfahren mit geringen Mengen an Rücklaufwasser (z.B. Zierpflanzen- und Gemüsebau im Gewächshaus) bewährt.

Tabelle 22: Verfahren zur Wasserentkeimung im Gartenbau (Wohanka et al., 2015)

Thermische Wasserentkeimung
Indirekte Erhitzung (Durchflussverfahren mit Wärmetauscher)
Bestrahlung
UV-Bestrahlung
Fotokatalyse mit UV
Filtration
Langsamfiltration
Ultrafiltration
Chemische Verfahren
Chlor und elektroaktiviertes Wasser
Chlordioxid
Ozon
Wasserstoffperoxid
UVOX (Wasserstoffperoxid und UV)
Kupfer- und Silberionisierung

3.10.2.1 Physikalische Verfahren

Die Desinfektion durch **kurzfristiges Erhitzen** im Durchlaufverfahren wird in den Niederlanden häufig angewendet und stellt ein wirksames Verfahren gegen alle relevanten Keime dar. Das Gießwasser sollte für eine sichere Wirkung ca. 30 Sekunden lang auf mindestens 95°C aufgeheizt werden. Durch integrierte Wärmetauscher wird der Energieverbrauch minimiert. Mit niedrigeren Spitzentemperaturen von 85-95 °C und längeren Aufenthaltszeiten (bis zu 3 Minuten) können ebenfalls gute Wirkungen erzielt werden. Nachteil ist der hohe Energieverbrauch von ca. 8,8 kWh/m³. Die Kosten für ein Gerät mit einer Leistung von 2 bis 3 m²/h liegen bei ca. 30.000 €.

Für den Einsatz einer **UV-Bestrahlung** ist eine Vorfiltration (20-30 µm) erforderlich, da an Partikel gebundene Erreger nicht erfasst werden. Ein weiterer Störfaktor ist die Zusammensetzung des nährstoffhaltigen Wassers. Insbesondere Fe-Chelate können dazu führen, dass mehr als 50 % der Strahlung absorbiert werden. Vor der Installation einer UV-Anlage muss deshalb unbedingt die Transmission bestimmt werden. Bei niedrigen Transmissionswerten ($T_{10} < 50 \%$) wird ein Verschneiden des Dränwassers mit Regen- oder Leitungswasser emp-

fohlen. Die Zerstörung der Fe-Chelate durch UV-Bestrahlung kann unter bestimmten Umständen auch Fe-Mangel verursachen und somit zu Chlorosen bei den Pflanzen führen, wenn dies bei der Düngung nicht berücksichtigt wird.

Es sollten ausschließlich Geräte Verwendung finden, die über eine Kontrolleinrichtung für die UV-Intensität und eine automatische Reinigung der Strahler verfügen. Zu bedenken ist auch, dass die Strahler nur eine begrenzte Betriebsdauer haben und von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden müssen. Die Investitionskosten für eine UV-Behandlung des Gießwassers liegen etwa im gleichen Bereich wie die für eine thermische Entkeimung, der Energieaufwand ist hingegen geringer (ca. 0,3 kWh/m³).

Eine spezielle Form der UV-Bestrahlung ist die sogenannte **UV-Fotokatalyse**. Im Gegensatz zur üblichen UV-Bestrahlung wird langwelliges UV-Licht (UV-A) verwendet, wie es auch im Sonnenlicht vorhanden ist. In der Reaktorkammer befinden sich Oberflächen, die mit dem Fotokatalysator Titandioxid beschichtet sind. Unter dem Einfluss von UV-A entstehen reaktionsfähige OH-Radikale, die eine sehr starke Oxidationskraft haben und auf diese Weise Krankheitskeime und anderes organisches Material abbauen. Da der Katalysator nicht verbraucht wird und die elektrische Leistung zum Betrieb der Strahler geringer als bei der üblichen UV-Bestrahlung sein kann, könnten sich deutliche Kosteneinsparungen ergeben. Hier stehen aber noch umfangreiche Tests unter gartenbauspezifischen Bedingungen aus.

Die im Gartenbau üblichen „**Feinfilter**“, wie sie zum Beispiel in Tropfbewässerungsanlagen installiert werden, vermögen im Allgemeinen nur Partikel zu entfernen, die größer als 80–100 µm sind. Pilzliche Keime haben meist eine Größe zwischen 3 und 50 µm, Bakterien von etwa 1 µm und Viren von 0,03–0,3 µm.

Bei der **Langsandsandfiltration** (LSF) wirken physikalische, chemische und vor allem biologische Komponenten zusammen. Das zu reinigende Wasser durchströmt mit sehr niedriger Geschwindigkeit von 100 bis 300 l/(m² h) eine Filterschicht aus feinem Sand, Steinwolle oder anderem Filtermaterial. Bei hohen Ansprüchen an die Wirkungssicherheit sollte die niedrigere Filtergeschwindigkeit gewählt werden. Einen wichtigen Beitrag zur Filterwirkung leistet eine relativ dünne, intensiv belebte „Schmutzdecke“, die sich in den ersten Wochen nach Inbetriebnahme auf der Oberfläche entwickelt. Über die Größe der Filteroberfläche kann die Filterleistung beliebig an jeden Bedarf angepasst werden. Bisherige Versuche zeigen, dass Pythium- und Phytophthora-Arten sehr sicher entfernt werden können. Gegen Pilze mit sehr kleinen Sporen oder Bakterien besitzt die LSF in ihrer optimierten Form zwar einen sehr hohen Wirkungsgrad, ein geringer Teil dieser Keime kann jedoch den Filterkörper passieren. Nach bisherigen Erfahrungen scheint die Wirkung unter Praxisbedingungen jedoch meist ausreichend zu sein. Gegen Viren und Nematoden ist die Wirkung nach derzeitigem Kenntnisstand noch

nicht zufriedenstellend. Bei Viren konnte jedoch zumindest eine erhebliche Verzögerung der Krankheitsausbreitung im Bestand beobachtet werden. Der übliche Aufbau von LSF ist in Molitor et al (2015) beschrieben.

Die LSF ist grundsätzlich ein kostengünstiges Verfahren. Sie erfordert im Vergleich zur Erhitzung oder UV-Bestrahlung nur geringe Investitions- und Betriebskosten. Eine Anlage mit einer Stundenleistung von ca. 3 m³ erfordert Investitionskosten von ca. 15.000 €. Außer für den Pumpenbetrieb zur Wasserförderung wird keine weitere Energie benötigt. In der Praxis werden die Anlagen oft in Eigenleistung erstellt, was zu einer weiteren Kostensenkung beitragen kann. Wesentlicher Nachteil der LSF ist jedoch der hohe Platzbedarf (ca. 3 m²/m³/h), insbesondere bei großen Wassermengen. Je nach Wasserqualität kann häufiges Reinigen der Filteroberfläche einen erhöhten Aufwand und somit höhere Betriebskosten verursachen.

Will man Krankheitskeime mit Filtration sicher entfernen, so muss mit Methoden der **Membranfiltration** (Ultrafiltration) gearbeitet werden. Aufgrund der sehr hohen Kosten, haben sich diese Verfahren aber in der gartenbaulichen Praxis bisher nicht etabliert.

3.10.2.2 Chemische Verfahren

Problematisch bei allen chemischen Verfahren ist die potentielle Gefahr von Pflanzenschäden durch Überdosierung oder die unzureichende Wirkung durch Unterdosierung. Aus ökonomischer Sicht bieten die chemischen Verfahren (ausgenommen Ozon) Vorteile, da die Gesamtkosten für die Behandlung meist deutlich unter 0,10 €/m³ liegen. Bei großen Anlagen ist jedoch mit Investitionskosten von ca. 30.000 € zu rechnen.

Die **Chlorung** des Wassers ist eine altbekannte Maßnahme zur Trink- und Badewasseraufbereitung, die auch zur Gießwasserdesinfektion eingesetzt wird. Chlorungsverfahren sind relativ preisgünstig, da die Behandlung von einem Kubikmeter Wasser meist weniger als 0,10 € kostet. Die Dosierung erfolgt meist in flüssiger Form mit Natriumhypochlorit (NaClO), seltener in Tablettenform mit Calciumhypochlorit (Ca(ClO)₂).

Seit einigen Jahren wird das sogenannte elektrochemisch aktivierte Wasser (ECA-Wasser) als „Alternative“ zur Chlorung propagiert. Aber auch bei diesem Verfahren ist letztlich Chlor die wirksamste Substanz. ECA-Wasser wird meist mit dem Verfahren der Membran-Elektrolyse hergestellt. Eine Lösung aus Kochsalz (NaCl) oder Kaliumchlorid (KCl) wird in einer durch eine semipermeable Membran geteilten Reaktorkammer in zahlreiche Reaktionsprodukte (u. a. Wasserstoffperoxid, Chlordioxid, Ozon) umgewandelt. Mikrobizid aktiver Hauptbestandteil ist die hypochlorige Säure (HClO). In der Praxis findet man auch Einkammersysteme ohne

Membran. Meist wird das ECA-Wasser auf Vorrat vor Ort erzeugt und bei Bedarf dem Gießwasser zudosiert. Die Investitionskosten für eine mittlere Anlage liegen bei ca. 30.000 €.

Unabhängig davon, welche technische Anwendungsform der Chlorung gewählt wird, erfolgt im Wasser stets eine pH-abhängige Reaktion zu hypochloriger Säure (HClO) und Hypochlorit (OCl⁻). Beide Verbindungen werden zusammengefasst als „freies Chlor“ oder „Aktivchlor“ bezeichnet. Besonders wirksam ist jedoch nur die hypochlorige Säure. Der pH-Wert des Wassers sollte deshalb möglichst im Bereich von 5,5 bis 7,0 liegen. Die Zudosierung von Chlor oder ECA-Wasser erfolgt meist so, dass eine Konzentration von ca. 2 ppm Aktivchlor am Wirkort (z. B. Auslass der Bewässerungsanlage) erreicht wird. Im Bereich von 2–4 ppm Aktivchlor und Einwirkungszeiten von 10–20 Minuten lassen sich Bakterien und die einfachen Sporen vieler Pilze oder pilzähnlicher Organismen zuverlässig abtöten. Dauerformen (Chlamydosporen von *Fusarium* oder *Thielaviopsis* sowie Sklerotien und Mikrosklerotien) werden auch bei höheren Konzentrationen nicht sicher erfasst.

In Schuch et al. (2016a und b) wird folgendes zur Desinfektion mit Chlor berichtet:

Die elektrolytische Wasserdeshinfektion (ECA-Wasser) hat sich bereits zur Aufbereitung von Trink-/Badewasser sowie in der Tierhaltung zur Tränkwasserdeshinfektion bewährt, muss aber im Praxisbetrieb des Gartenbaus seine Effizienz noch unter Beweis stellen. Grundvoraussetzung zur Anwendung im Pflanzenbau ist, dass die toxikologisch unbedenkliche Menge an Desinfektionsnebenprodukten nicht überschritten wird. In entsprechenden Untersuchungen wurde festgestellt, dass bereits während der Salzelektrolyse aufgrund des unter Wärmezufuhr ablaufenden elektrochemischen Prozesses ein gewisser Chloratanteil entsteht. Folglich sollten Techniken erprobt werden, um die Reaktionswärme abzuführen (z. B. durch Lüfter, Wasserkühler oder Peltier-Kühler). Eine weitere Maßnahme betrifft die Lagerung der Desinfektionslösung, v. a. unter warmen Bedingungen, da mit zunehmender Lagerdauer der desinfektionswirksame Anteil des freien Chlors sinkt und der Chloratanteil steigt. Bei der Desinfektion von Bewässerungswasser erscheint demnach die Vor-Ort-Herstellung einer frischen, dem kurzfristigen Mengenbedarf (z. B. eines Tages) angepassten, Desinfektionslösung als vorteilhaft gegenüber den industriell hergestellten großvolumigen Lagergebinden (Fässer). Zudem empfiehlt sich eine Kühlung des Desinfektionsmitteltanks.

Ein weiterer Ansatz zur Chloratminimierung im Wasser bzw. in den damit kultivierten Pflanzen betrifft das Dosiermanagement. So könnte eine diskontinuierliche Desinfektion, z. B. 1 bis 2 Mal je Woche, mit höherer Chlordosis zu weniger Chlorateintrag führen als eine kontinuierliche Chlorung mit geringer Dosis. Vergleichstests zur Pflanzenverträglichkeit und Befallsminderung stehen jedoch noch aus. Bei der Dosierung von elektrolytisch hergestellter Desinfektionslösung in das Bewässerungswasser zeigt sich, dass der Pflanzendünger Ammonium das freie

Chlor schnell bindet und folglich den Desinfektionsmittelverbrauch bzw. Chlorateintrag bis zum Erreichen der Chlorzehrungsgrenze deutlich erhöht. Daher empfiehlt sich eine konzentrationsabhängige Dosierung mittels Chlorsensor, um so auch sich ändernde chemische Vorgänge im Wasser (Chlorzehrung) bei der Dosierregelung zu berücksichtigen. Ferner sollte so wenig Ammoniumdünger wie möglich eingesetzt und stattdessen ein Ausgleich mit anderen Düngestoffen angestrebt werden.

Ein weiteres Desinfektionsmittel ist **Chlordioxid** – ein Gas, welches sich im Wasser löst. Es findet keine Umwandlung in hypochlorige Säure statt. Das starke Oxidationsmittel Chlordioxid ist instabil und kann nicht über längere Zeit gelagert werden. Es wird deshalb meist am Bedarfsort hergestellt und verwendet. Meistens wird das Chlorit-Säure-Verfahren eingesetzt, bei dem verdünnte Lösungen von Natriumchlorit (NaClO_2) und Säure (meist Salzsäure) in einer Reaktorkammer gemischt werden. Das entstehende Chlordioxid bleibt in relativ hoher Konzentration im Wasser gelöst und wird so über ein Bypass-System in das Gießwasser eingespeist. Für die Installation einer entsprechenden Anlage ist mit Investitionskosten von ca. 20.000 € zu rechnen. Die Betriebskosten liegen mit weniger als 0,10 € je m^3 ähnlich niedrig wie bei der Chlorung. Chlordioxid wirkt bereits in sehr niedrigen Konzentrationen von weniger als 1 ppm. Da Chlordioxid, ähnlich wie Chlor, mit organischem Material oder anderen oxidierbaren Substanzen reagiert, muss je nach Wasserqualität meist höher dosiert werden (z. B. 1,5–2 ppm). In verschiedenen Untersuchungen konnte eine sichere Wirkung gegen Bakterien und gegen die Sporen verschiedener Pilze und pilzähnlicher Organismen nachgewiesen werden. Dauerformen, Chlamydosporen von *Fusarium* oder *Thielaviopsis* sowie Sklerotien und Mikrosklerotien werden auch bei sehr hohen Konzentrationen nicht sicher abgetötet. Zur Wirkung gegen pflanzenpathogene Viren gibt es noch keine ausreichenden Forschungsergebnisse. Versuche haben gezeigt, dass bei Überkopfbewässerung bereits sehr niedrige Konzentrationen von Chlordioxid (ca. 0,5 ppm) im Gießwasser die Ausbreitung von Bakterien, z. B. *Xanthomonas* an Kohljungpflanzen oder *Acidovorax* an Orchideen, mit dem Spritzwasser weitgehend verhindern können. Bei der Orchideenkultur ist die Verwendung von Chlordioxid bei der Überkopfbewässerung inzwischen eine gängige Maßnahme zur Verhinderung der Ausbreitung verschiedener Bakterien. Im Gegensatz zur Chlorung ist bei der Anwendung nicht mit der Bildung von Trichlormethan oder anderer unerwünschter Verbindungen zu rechnen. Die desinfizierende Wirkung von Chlordioxid ist im Vergleich zu Chlor praktisch unabhängig vom pH-Wert und von der Einwirkungszeit. Außerdem reagiert Chlordioxid nicht mit Ammonium, sodass es auch bei der Anstaubewässerung oder ähnlichen Verfahren gut einsetzbar ist. Schließlich führt die Behandlung mit Chlordioxid zu einer erheblichen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes des Gießwassers und damit oft zu einem besseren Wurzelbild.

Ozon ist das stärkste bekannt Oxidationsmittel, dessen desinfizierende Wirkung auf der Oxidation von organischen Stoffen beruht, die zu einer Abtötung von Mikroorganismen führt. Bei der Reaktion entstehen keine schädlichen Stoffe, der freiwerdende Sauerstoff ist eher erwünscht. Es gibt nur wenige verlässliche Untersuchungen zum Einsatz von Ozon im Gartenbau. Versuche in den Niederlanden haben ergeben, dass mit 10 g Ozon je Kubikmeter nach einstündiger Einwirkung eine sichere Wirkung gegen alle Arten von Krankheitserregern, einschließlich der schwer bekämpfbaren Viren, erzielt werden kann. Die Wirkung kann durch Absenken des pH-Wertes auf ca. 4 noch gesteigert werden. Allerdings ist zu beachten, dass eine Belastung des Wassers mit organischen Stoffen (Wurzelreste, Huminsäuren usw.) die Wirkung beeinträchtigt. Eine Vorfiltration zur Entfernung organischer Partikel ist in jedem Fall empfehlenswert. Überschüssiges Ozon muss nach der Behandlung vollständig entfernt werden, sodass Pflanzen- oder Gesundheitsschäden durch Restozon normalerweise auszuschließen sind. Das bedeutet allerdings auch, dass im Gegensatz zu Chlor oder Chlordioxid keine Restwirkung auf der Fläche zu erwarten ist. Neben der schwierigen Anwendung dürften jedoch vor allem die sehr hohen Investitionskosten (ca. 60.000 €) dazu geführt haben, dass die Ozonbehandlung keine weite Verbreitung im Gartenbau gefunden hat.

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist ebenfalls ein starkes Oxidationsmittel, das während der Reaktion in Wasser und Sauerstoff zerfällt, sodass keine schädlichen Nebenprodukte entstehen. Aufgrund der schlechten Haltbarkeit wird Wasserstoffperoxid meist als Mischung mit einer organischen Säure und einem Stabilisator (z. B. Silber) gehandelt. Untersuchungen haben sehr hohe Wirkungsgrade auch gegen schwer erfassbare Krankheitserreger wie Tomatenmosaik-Virus oder *Fusarium oxysporum* ergeben. Wenn kein Befall durch Viren oder Nematoden zu erwarten ist, dann reicht nach Untersuchungen in den Niederlanden eine Konzentration von 100 ppm. Diese Konzentration verursacht nach bisherigen Erfahrungen offensichtlich keine Pflanzenschäden. Zur Abtötung von Nematoden oder Viren sollte die Konzentration auf 400 ppm erhöht werden. Bei dieser Konzentration ist jedoch eine anschließende Neutralisation erforderlich, um Pflanzenschäden auszuschließen. Besondere Vorsicht ist bei erdelosen Kulturverfahren geboten, da hier teilweise Wurzelschäden auftreten können. Für eine abschließende Beurteilung dieser Methode sind noch weitere Untersuchungen erforderlich.

Eine Sonderform der Anwendung von Wasserstoffperoxid ist das sogenannte UVOX-Verfahren, eine Kombination von Oxidationsmittel, z. B. Wasserstoffperoxid, und UV-Strahlung. Dadurch entsteht das Hydroxyl-Radikal, das eine wesentlich stärkere Oxidationskraft aufweist als das ursprüngliche Peroxid. Das Verfahren wird vor allem zum Abbau organi-

scher Verunreinigungen oder Pflanzenschutzmitteln im Trinkwasser verwendet. Zur Wasserentkeimung im Gartenbau liegen noch keine wissenschaftlich gesicherten Versuchsergebnisse vor.

Kupfer und Silber haben in Ionenform bereits in sehr niedrigen Konzentrationen eine keimtötende oder keimhemmende Wirkung. Zur Wasserbehandlung sind Geräte auf dem Markt, die in einem elektrolytischen Verfahren positiv geladene Kupfer- und/oder Silberionen von metallischen Elektroden in das vorbeiströmende Wasser abgeben. Die Elektroden können in Kunststoffrohre oder Tanks eingebaut oder in Form von Platten an Schwimmkörpern angebracht werden. Speziell für die Anwendung im Gartenbau sind Geräte geeignet, die in Abhängigkeit von schwankenden Salzgehalten oder Volumenströmen über die Regelung der Stromstärke für eine stets gleichbleibende Konzentration der metallischen Ionen im Gießwasser sorgen, (z. B. AquaHort®). Die Investitionskosten für ein Röhrengerät mittlerer Leistung liegen bei ca. 10.000 €, der Verbrauch an elektrischer Leistung und Kupfer ist mit weniger als 0,10 € / m³ zu veranschlagen. Zahlreiche Labortests haben gezeigt, dass vor allem Bakterien, aber auch verschiedene Pilzsporen sowie die Zoosporen von *Pythium* und *Phytophthora* bei Konzentrationen von 1 bis 4 ppm Kupfer abgetötet werden können. Im Gegensatz zu den Oxidationsmitteln (Chlor, Chlordioxid, Ozon, Wasserstoffperoxid) sind jedoch in der Regel wesentlich längere Einwirkungszeiten von meist mehreren Stunden erforderlich. Bisherige Versuche haben eine gute Wirksamkeit gegen die Ausbreitung von *Phytophthora* in Topfpflanzkulturen gezeigt. Zahlreiche Praxisberichte weisen darauf hin, dass auch andere Krankheitserreger wirkungsvoll erfasst werden können. Ungeklärt ist bislang, ob bei Kulturen mit längerer Standzeit durch höhere Kupferkonzentrationen (z. B. 2–4 ppm) langfristig Pflanzenschäden entstehen können. Bei Verwendung von organischen Substraten (z. B. Torfkultursubstraten) ist dies jedoch nicht zu erwarten, da Kupfer mit organischer Substanz sehr feste Komplexbindungen eingeht und dann nicht mehr pflanzenverfügbar ist. Kupfer ist, im Gegensatz zu Silber, ein wichtiger Spurennährstoff. Insofern kann die Kupferionisierung des Gießwassers auch als Düngemaßnahme mit einem Nebeneffekt gegen Krankheitserreger gesehen werden. Wie bei allen chemischen Wasserbehandlungsverfahren sollte auch bei der Ionisation regelmäßig die Konzentration im Gießwasser bestimmt werden. Im Falle von Kupfer ist das relativ einfach mithilfe eines Schnelltests (z. B. Microquant®, Merck) durchführbar. Für Silber gibt es solche Schnelltests für den sehr niedrigen Konzentrationsbereich bislang nicht.

4 Vorschlag für einen praxisgerechten Anlagenausbau und -betrieb

Unter Berücksichtigung der vorhergehend beschriebenen Ergebnisse und bisherigen Erfahrungen mit dem Betrieb der Versuchsanlage in ihrem aktuellen Ausbau, wird im Folgenden eine Anlagenkonzeption vorgeschlagen, deren Betrieb sowohl den wasserwirtschaftlichen Ansprüchen als auch denen der gartenbaulichen Praxis gerecht werden soll:

Da am Versuchsstandort keine hinreichenden Mengen an Dränwasser über ein Pflanzbeet in den Untergrund versickert werden können, wird für die weitere Konzeption einer praxisgerechten Anlage auf ein Pflanzbeet verzichtet. (An Standorten mit bessere Versickerungseigenschaften ist durch ein dem Biobed nachgeschaltetes Pflanzbeet aber durchaus noch mit einer Verbesserung des Aufbereitungserfolges zu rechnen.)

Eine zukünftige, auch den Anforderungen der Praxis genügende Anlage soll somit im Kern aus den drei Elementen „Vorlaufschacht“, „Vorlagespeicher“ und „Biobed“ bestehen. Nachdem das Dränwasser die Anlage durchlaufen hat, wird es vom Auslauf Biobed in einen Vorfluter abgeschlagen.

- Das Vorlagespeichervolumen wird von aktuell 123 m³ auf 250 m³ erhöht.
- Das Biobed behält weitgehend seine Grundfläche von ca. 150 m², Substrat wird aber mit einer Schichtmächtigkeit von 1 m eingefüllt, so dass sich das Substratvolumen auf 150 m³ erhöht.
- Grundsätzlich kann die Anlage (und hier v. a. das Biobed) mit Dränwassermengen von bis zu 200 – 250 m³/d beaufschlagt werden.
- Im Sommerbetrieb (April bis November) erfolgt jedoch lediglich eine Beaufschlagung des Biobeds mit Beaufschlagungsmengen von max. 100 m³/d. Diese Dränwassermenge wird im Mittel des bisherigen Versuchszeitraumes an 95 % der Tage nicht überschritten. In Einzelfällen kann die tägliche Beaufschlagungsmenge bei Bedarf erhöht werden.
- Zur Vermeidung von Frostschäden erfolgt kein oder nur begrenzter Winterbetrieb der Anlage (Dezember bis März). Innerhalb dieses Zeitraumes ist von unkritischen Nitratkonzentrationen bzw. deutlich reduzierten PSM-Konzentrationen im Dränwasser auszugehen.
- Unter diesen Betriebsbedingungen ist nach den bisherigen Erfahrungen mit einer hinreichenden Leistungsfähigkeit des Biobeds über einen Zeitraum von ca. 4 Jahren zu rechnen.

5 Literatur

DIN 19650 (1999): Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser

Ehret, D.; Alsanus, B.; Wohanka, W.; Menzies, J.; Utkhede, R. (2001): Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie* 21(4):323-339.

Gisi, U.; Chet, I.; Gullino, M.L. (2009): *Recent Developments in Management of Plant Diseases*. Springer Science & Business Media, 378 S.

Hemming J.; van Os, E.; Balendonck J. (2009): Intelligent bewässern im Gartenbau: Forschungstrends in den Niederlanden. *Landbauforschung – Sonderheft 328*

Hemming, S. (2010): Intelligent water use in horticulture – trends in Dutch research. Präsentation, Public workshop 20. August, UWS Hawkesbury, Australien

Hortidaily.com (2015): Breakthrough: Zero emission of drain water at Dutch greenhouses. <http://www.hortidaily.com/article/17388/Breakthrough-Zero-emision-of-drain-water-at-Dutch-greenhouses>

Hong, C.X.; Richardson, P.A.; Kong, P.; Bush, E.A. (2003): Efficacy of chlorine on multiple species of *Phytophthora* in recycled nursery irrigation water. *Plant Dis.* 87, 1183–1189.

Molitor, H.-D. (2009): Bewässerung in Gewächshäusern bei Bodenkulturen und erdelosen Systemen. *Landbauforschung – Sonderheft 328*

Runia, W.T.; van Os, E.A.; Bollen, G.J. (1988): Disinfection of drain water from soilless cultures by heat treatment. *Neth. Journal of Agricultural Science* 36:231-238.

Runia, W.T. (1995): A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures. *Acta Hort. (ISHS)* 382:221-229.

Runia, W.Th., Michielsen, J.M.G.P., Van Kuik, A.J. and Van Os, E.A. (1997): Elimination of root infecting pathogens in recirculation water by slow sand filtration. *Proceedings 9th of international congress on Soilless culture, Jersey* 395 – 408

Schuch, I.; Bandte, M.; Berberich, J.; Marlon Hans Rodriguez, M.-H.; Büttner, C.; Schmidt, U. (2016a): Entwicklung eines rezirkulierenden Bewässerungssystems mit vermindertem phytosanitärem Risiko in Gewächshäusern – Teilprojekt 2. Abschlussbericht, gerichtet an das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Schuch I., Dannehl, D.; Bandte, M.; Suhl, J.; Gao, Y.; Schmidt, U. (2016b): Chloratminimierung bei der elektrolytischen Desinfektion von Gießwasser. *Landtechnik* 71(2), 25–34

Shukla, S.; Boman B.J., Ebel, R.C.; Roberts, P.D.; Hanlon E.A. (2010): Reducing Unavoidable Nutrient Losses from Florida's Horticultural Crops. *HorTechnology*, February 2010 20(1)

Ufer, T.; Posner, M.; Wessels, H.-P.; Werres, S. (2008): Untersuchungen zur Eliminierung von Phytophthora spp. aus Recyclingwasser in Baumschulen mit Hilfe von Filtrationsverfahren. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 60(3), 45–61.

Van Os E.A., Ruijs M.N.A, van Weel P.A. (1991): Closed business systems for less pollution from greenhouses. Acta Horticulturae 294: 49-57

Van Os, E.A., Bruins, M.A., Van Buuren, J., Van der Veer, D.J. and Willers, H. (1997): Physical and chemical measurements in slow sand filters to disinfect recirculating nutrient solutions. Proceedings 9th of international congress on Soilless culture, Jersey, 313-328

Wohanka, W. Disinfection of recirculation nutrient solutions by slow sand filtration. Acta Horticulturae 382, 246-255 (1995)

Wohanka, W., Domke, O., Schmidt, J. (2015): Entkeimung von Nährlösung oder Gießwasser –Verfahren, Einsatzbereiche und Bewertung. Arbeitsblatt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), lfd. Nr. 0738

6 Anhang

Anh.-Tabelle 1: Analysenergebnisse „AC-Standard“ plus „N-Parameter“

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	AC-Standard/N-Parameter																		
		Temperatur vor Ort (°C)	LF25 (µS/cm)	Trübung (NTU)	pH	Redoxpot. (mV)	O ₂ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	KS4,3	SO4 (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ ges	Fe (mg/l)	DOC
11.12.14	X-Vorlaufschach	7,2	245	7,58	394							6,17	0			0				
11.12.14	X-Vorlage	6,2	253	7,66	321							6,27	0			0,024				
11.12.14	X-AbiBio	8,8	295	6,06	354							5,88	0			0				
11.12.14	X-AbiPflanzbett	6,8	484	6,98	328							6,69	0			0,053				
12.2.15	X-Vorlaufschach	6	175	7,65		12						4,9	0			0				
12.2.15	X-Vorlage	5,3	130	7,41		12						2,36	0			0,032				
12.2.15	X-AbiBio	7,2	128	6,2		7,2						1,52	0			0				
12.2.15	X-AbiPflanzbett	6,2	144	6,25	0	11						1,71	0			0,033				
21.4.15	X-Bereg.brunnen	16,2	569	6,91		14	68	9	16,6	19,2	14,6	25,7	0,1	1,06	156	0	0,18	0,812	6,2	
21.4.15	X-Vorlaufschach	13,6	882	6,69		6,3						63,5	0,72			3,8				
21.4.15	X-Vorlage	15,1	595	6,94		8,7						165	0,96			3,8				
21.4.15	X-AbiBio	12,4	471	5,99		5,7						128	0			0,054				
21.4.15	X-AbiPflanzbett	13,9	435	6,37		5,4						92,8	0,057			0,058				
21.4.15	Vorflut-1	18	657	7,38		13						71,2	0,95			0,43				
21.4.15	Vorflut-2	19,5	602	7,15		9						55,9	0,72			0,37				
21.4.15	Vorflut-3	19,5	576	7,03		9,3						47,1	0,37			0,37				
21.4.15	Vorflut-4	18,3	608	6,86		9,4						49,4	0,32			0,19				
26.5.15	X-Vorlaufschach	16,1	841	6,89	235							162	0,15			4				
26.5.15	X-Vorlage																			
26.5.15	X-AbiBio	16,9	1518	5,74	147							474	0,024			0,056				
26.5.15	X-AbiPflanzbett	14,3	1323	6,47	113							427	0,46			0,14				
26.5.15	Vorlage_Dot.	13,9	514	7,95	237							42,3	0			1,2				
28.5.15	X-AbiBio	13,7	754	5,79								384	0			0,025				
29.5.15	Vorlage_Dot.	15,7	402	7,79																
29.5.15	X-AbiBio	13,2	700	5,91								143	0			0				
2.6.15	X-AbiBio			6,16								31,4	0			0				
2.7.15	X-Vorlaufschach	23,1	788	6,84	381	8,6						127	0			0,089				
2.7.15	X-Vorlage	22,3	842	6,75	341	8,3						125	0,038			0,13				
2.7.15	X-AbiBio	18,6	911	5,94	383	4,2						153	0			0,022				
2.7.15	X-AbiPflanzbett	20,3	988	6,4	349	2,9						161	0,5			0,3				
2.7.15	Vorflut-1	23,3	540	6,73	421	9,3						88,7	0,09			0,026				
2.7.15	Vorflut-2	21,9	513	6,88	425	9,7						89,2	0,094			0,021				
2.7.15	Vorflut-3																			
2.7.15	Vorflut-4																			
4.8.15	Vorlaufschacht	20,9	912	7,19	418	8,2						108	0			0				
4.8.15	Vorlage	20,1	764	6,95	442	8,3						110	0,03			0,074				
4.8.15	AbiBio	17,5	885	6,04	528	5,2						131	0			0				
4.8.15	AbiPflanzbett	19,2	876	6,78	449	2,5						62,6	0,39			0,36				
24.8.15	Vorflut-1	19,8	364	7,52	365	0,2						16,2	2,2			0,19				
24.8.15	Vorflut-2	19,5	380	7,32	368	3,5						18,3	1,5			0,098				
24.8.15	Vorflut-3	19,7	375	7,3	354	2,6						16,5	1,9			0,063				
24.8.15	Vorflut-4	19,9	371	7,39	365	4						16,1	1,9			0,058				
24.8.15	Vorlaufschacht	19,3	770	6,98	418	9,1						25	0			0				
24.8.15	Vorlage																			
24.8.15	AbiBio	17,9	913	6,07	405	5						50,7	0			0				
24.8.15	AbiPflanzbett	19	871	6,63	storniert	3,7						36,5	0,085			0,13				
24.8.15	Vorlage_Dot.	19,3	459	7,6	379	9,8						29,3	0			0,04				
26.8.15	AbiBio	18,5	511	6,16		5,7						24,6	0			0				
26.8.15	Vorlage_Dot.	20,1	417	8,22		9,6														
27.8.15	AbiBio	17,3	443	6		4,1						18	0			0,021				
28.8.15	AbiBio	16,4	414	6,06		4,1						16,5	0			0				
5.10.15	X-Bereg.brunnen	15,2	540	6,41		10	63,5	8,74	16,7	19,6	13,5	43,2	0,024	1,2	147	0	0	0,69	5,6	
5.10.15	X-Vorlaufschach	14,5	495	7,16		10						92	0			0,1				
5.10.15	X-Vorlage	14,4	514	7,1		9,8						96,7	0,33			0,24				
5.10.15	X-AbiBio	14,4	512	6,11		9,2						82,2	0			0				
5.10.15	X-AbiPflanzbett	14,4	669	6,87		3,4						10,8	0,13			0,41				
05.10.2015	Vorlage_Dot.	15,3	418	8		11							0,054			0,044				
06.10.2015	Vorlage_Dot.	16,3	400	8,45		11														
06.10.2015	AbiBio	15,5	422	6,14		5						39,4	0			0				
08.10.2015	AbiBio	14	406	6,23		4,5						22,6	0			0				
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 1	12,5	262	7,24		9,3						23,3	0			0,082				
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 2	11,6	249	6,82		9,3						23,2	0			0,051				
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 3	11,9	253	7,08		9,7						21,5	0			0,057				
19.11.15	SR-Vorlaufschacht	11,3	252	7,23		9,7						18,3	0			0				
20.11.15	SR-Vorlaufschacht	10,5	243	7,18		10						16,7	0			0				

Anh.-Tabelle 1: Analysenergebnisse „AC_{Standard}“ plus „N-Parameter“ (Fortsetzung)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	AC-Standard/N-Parameter																		
		Temperatur vor Ort (°C)	LF25 (µS/cm)	Trübung (NTU)	pH	Redoxpot. (mV)	O ₂ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	KS4,3	SO4 (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ ges	Fe (mg/l)	DOC
03.12.2015	Vorlage	13	317		7,14		9,1						38,3	0,053			0			
03.12.2015	AblBio	12,9	404		6,14		7,3						31,6	0			0			
03.12.2015	AblPflanzbett	13	307		6,56		2						3,56	0,081			0,5			
03.12.2015	Vorflut-1	13	527		6,6		0						14,9	2,4			0,69			
03.12.2015	Vorflut-2	13	512		6,91		0,3						16,2	2			0,66			
03.12.2015	Vorflut-3	13	526		6,74		0,4						28,9	1,7			0,63			
03.12.2015	Vorflut-4	13	539		6,68		0,3						34,6	1,8			0,52			
7.4.16	Beregnungsbrunnen, Leiter	11,2	573		7,32	458	11	63,7	8,37	16,2	18,5	11,4	30,3	0,044	1,22	156	0,099	0	0,514	6
7.4.16	Vorlaufschacht	10,3	303		7,72	438	11						59,4	0			0,032			
7.4.16	Vorlage	9,6	247		7,48	431	11						15,9	0,091			0,17			
7.4.16	AblBio	10,5	256		6,13	532	7,9						4,84	0			0			
7.4.16	AblPflanzbett	9,9	196		6,85	481	6,5						1,35	0,03			0,16			
7.4.16	Vorflut-1	10,5	497		7,13	429	11						20	0,32			0,78			
7.4.16	Vorflut-2	10,2	489		7,14	440	10						20,3	0,36			0,75			
7.4.16	Vorflut-3	12	502		6,97	472	8,4						27,4	0,31			0,52			
7.4.16	Vorflut-4	11,5	528		6,9	473	8,5						33,3	0,28			0,39			
7.4.16	Biobed-Substrat oben																			
7.4.16	Biobed-Substrat unten																			
12.5.16	Vorlaufschacht	19,3	581		7,18	369	9						64,8	0			0			
12.5.16	Vorlage	18,2	519		7,07	391	9,5						88,9	0,75			0			
12.5.16	AblBio	15	463		5,95	416	6,5						74,4	0			0			
12.5.16	AblPflanzbett	18,2	446		6,73	385	2,7						48,7	0,39			0,3			
1.6.16	Vorlaufschacht	17,4	509		6,83	377	8,4						25,1	0			0			
1.6.16	Vorlage	17,6	655		6,7	372	8,1						54,5	0,41			0,033			
1.6.16	AblBio	16,1	689		5,96	445	4,6						60	0			0			
1.6.16	AblPflanzbett	17,5	427		6,6	418	3,4						16,2	0,55			0,19			
1.6.16	Vorlage_Dot.	17,1			7,77	375	9,5						29	0			0			
2.6.16	Vorlage_Dot.																			
2.6.16	AblBio																			
3.6.16	AblBio																			
15.6.16	Vorlaufschacht	storniert	372		6,91	storniert	8,1						28,5	0			0			
15.6.16	Vorlage	18,7	342		6,8	storniert	7,5						25,7	0,18			0,11			
15.6.16	AblBio	17,3	360		6,15	storniert	4,4						17,6	0			0			
15.6.16	AblPflanzbett	18,7	309		6,67	storniert	2,3						1,53	0,06			0,19			
15.6.16	Vorflut-1	18,2	447		6,89	storniert	0,7						19,4	0,47			0,89			
15.6.16	Vorflut-2	19,9	443		6,91	storniert	1						18,5	0,41			0,94			
15.6.16	Vorflut-3	17,8	444		6,91	storniert	0						16,4	2,3			0,47			
15.6.16	Vorflut-4	17,2	452		6,85	storniert	0						14,6	5,8			0,37			
15.6.16	Vorlage_Dot.	18,8	354		7,22	storniert	8,9						24,1	0,076			0,056			
16.6.16	Vorlage_Dot.	18,3	368		8,33	storniert	9,9						21,4	0			0,036			
16.6.16	AblBio	17,1	357		6,24	storniert	5,4						21,1	0			0			
17.6.16	AblBio	16	363		6,31	storniert	5,5						18,8	0			0			
20.6.16	AblBio	14,8	368		6,3	storniert	4,4						10,4	0			0			
21.6.16	SR-Vorlauf	17,2	311		7,08		9,1						31,4	0,031			0,089			
24.6.16	SR-Vorlauf	22,2	132		6,49		5,8						21,9	0,036			0,21			
25.6.16	SR-Vorlauf	19,9	259		6,99		7,3						40,2	0,036			0,032			
8.8.16	Vorlaufschacht	19,2	971		7,4	366	8,1						95,1	0,023			0			
8.8.16	Vorlage	18,3	662		6,95	369	8						101	0,039			0,039			
8.8.16	AblBio	17,5	630		6,17	384	6,5						60,7	0			0			
8.8.16	AblPflanzbett	18	380		6,87	356	3,2						17,6	0,1			0,13			
30.8.16	Vorlaufschacht	19,9	721		6,65	352	7,9						87,9	0			0			
30.8.16	Vorlage	18,9	804		7,02	371	8,2						94,1	0,025			0			
30.8.16	AblBio	20,6	647		6,13	369	5,7						79,1	0			0			
30.8.16	AblPflanzbett	20,6	641		6,79	339	4						44,8	0,14			0,22			
31.8.16	Biobed-Substrat oben																			
31.8.16	Biobed-Substrat unten																			
30.8.16	Vorlage_Dot.	21,4	502		7,45	348	9,3						49,8	0			0			
31.8.16	AblBio	19,5	533		6,4	384	5,8						53,1	0			0			
31.8.16	Vorlage_Dot.	21,6	408		8,27	350	9,5						27,5	0			0			
1.9.16	AblBio	17,6	440		6,37		5,9						30,3	0			0			
5.9.16	AblBio	17,3	468		6,24		5,7						13,2	0			0			

Anh.-Tabelle 1: Analysenergebnisse „AC_{Standard}“ plus „N-Parameter“ (Fortsetzung)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	AC-Standard/N-Parameter																			
		Temperatur vor Ort (°C)	LF25 (µS/cm)	Trübung (NTU)	pH	Redoxpot. (mV)	O ₂ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	KS4,3	SO ₄ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ gas	Fe (mg/l)	DOC	
26.10.2016	Vorlaufschacht	10,4	828		7,08								15,7	0							
26.10.2016	Vorlage	6	984		6,85								45,3	0							
26.10.2016	AblBio	12	855		6,25								46,9	0					0,022		
26.10.2016	AblPflanzbett	12,3	624		6,79								4,99	0,033					0,3		
26.10.2016	Vorlage_Dot.	12,5	586		7,36								33	0					0		
27.10.2016	AblBio	11,6	650		6,31								8,9								
27.10.2016	Vorlage_Dot.	12	448		8,18																
28.10.2016	AblBio	11,6	491		6,29								8,2						0		
31.10.2016	AblBio	11,8	509		6,35								9,1						0		
23.11.2016	Vorlaufschacht	10,8	243		7,27								11						0,022		
23.11.2016	Vorlage	9,3	407		7,16								8,81	0					0,023		
23.11.2016	AblBio	10,2	466		6,15								8,3						0		
23.11.2016	AblPflanzbett	10,2	472		6,52								2						0,31		
23.11.2016	Vorflut-1	11,3	459		6,94								0,2						0,94		
23.11.2016	Vorflut-2	10,6	454		6,96								0,2						2,6		
23.11.2016	Vorflut-3	10,3	503		6,72								0,2						2,4		
23.11.2016	Vorflut-4	10,6	511		6,58								0,2						3,2		
21.2.17	Vorlaufschacht	7,9	798		7,46	443							12						0,022		
21.2.17	Vorlage	6,5	197		7,37	424							12						0,058		
21.2.17	AblBio	7,4	193		6,27	459							9,1						0		
21.2.17	AblPflanzbett	7,2	410		6,76	90							0,2						2,5		
21.3.17	Vorlaufschacht	9,9	179		7,42	370							11						0		
21.3.17	Vorlage	9,8	157		7,36	375							11						0,028		
21.3.17	AblBio	9,4	186		6,44	503							8,9						0		
21.3.17	AblPflanzbett	9,8	217		6,94	475							7,4						0,1		
18.4.17	Vorlaufschacht		332		7,25								12						0,022		
18.4.17	Vorlage		369		7,1								11						0,033		
18.4.17	AblBio		290		6,19								9,3						0,022		
18.4.17	AblPflanzbett		237		6,8								6,6						0,022		
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1																				
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2																				
23.5.17	Vorlage	19	561		7,1	417							8,2						3		
23.5.17	Vorlaufschacht	18,8	669		7,22	378							8,8						2,3		
23.5.17	AblBio	13,5	516		6,35	392							5,9						0		
23.5.17	AblPflanzbett	15,9	434		6,62	431							2,7						0,25		
23.5.17	Vorlage_Dot.	15,9	501		7,28	410							9,5						4,4	0,385	5,4
23.5.17	Biobed-Substrat oben	0	0		0	0							0						0		
23.5.17	Biobed-Substrat unten	0	0		0	0							0						0		
23.5.17	Vorlage	18,8	531		6,74	416							0						0,67		
24.5.17	Vorlage_Dot.	14,7	476		7,05	429							9,4						0,37		
24.5.17	AblBio	16,2	495		6,31	393							6,1						0		
25.5.17	AblBio	14	454		6,41	storniert							6,6						0,036		
26.5.17	AblBio	14,7	457		6,4	storniert							7,1						0,028		
21.6.17	Vorlage	21,7	650		6,84	375							10						0,17		
21.6.17	Vorlaufschacht	22,6	858		6,77	370							9,6						0		
21.6.17	AblBio	19,2	647		6,33	415							6,1						0		
21.6.17	AblPflanzbett	20,2	685		6,69	407							6,6						0,048		
7.8.17	Vorlage	21	512		7,09	324							8,4						0,027	0	0
7.8.17	Vorlaufschacht	21,7	354		7,37	308							9,1						0	0	0
7.8.17	AblBio	19,6	546		6,41	352							4,2						0	0	0
7.8.17	AblPflanzbett	19,5	552		6,72	404							5,4						0,14	0	0
7.8.17	Vorlage_Dot.	22,7	429		7,49	335							9,5						0,022	6,7	0,297
8.8.17	Vorlage_Dot.	19,8	397		7,95	373							9,6						0,039		
8.8.17	AblBio	19,6	470		6,47	365							4,4						0,03		
9.8.17	AblBio	0	0		6,51	0							3,6						0,034		
11.8.17	AblBio	0	0		6,48	0							3,8						0		
14.9.17	Vorlage	9,6	888		6,79	403							8,5						0		
14.9.17	Vorlaufschacht	13	559		7,31	401							9,5						0,028		
14.9.17	AblBio	13,6	683		6,45	419							6,4						0		
14.9.17	AblPflanzbett	13	709		6,73	406							5,5						0,085		
14.11.2017	Beregnungsbrunnen, Leiter	8,2	516		7,23	465							11						1,37	128	0,08
14.11.2017	Vorlaufschacht	7,6	296		7,07	410							11						0,071	0	0
14.11.2017	Vorlage	9,6	289		7,04	416							11						0	0	0
14.11.2017	AblBio	9,4	315		6,59	460							7,8						0,024	0	0
14.11.2017	AblPflanzbett	9,2	347		6,83	470							5,7						0,052	0	0

Anh.-Tabelle 1: Analysenergebnisse „AC_{Standard}“ plus „N-Parameter“ (Fortsetzung)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	AC-Standard/N-Parameter																		
		Temperatur vor Ort (°C)	LF25 (µS/cm)	Trübung (NTU)	pH	Redoxpot. (mV)	O ₂ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	KS4,3	SO4 (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ <small>ggs</small>	Fe (mg/l)	DOC
15.11.2017	Vorlage_Dot.	9,7	370		7,78	462	9,7						20,3	0			0,026			
15.11.2017	AblBio	9,5	330		6,81	478	6,1						1,42	0			0,022			
16.11.2017	AblBio	9,2	363		6,77	storniert	5,9						14,6	0			0			
17.11.2017	AblBio	9,6	363		6,72	storniert	6,7						11,8	0			0			
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1																			
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2																			
23.5.17	Biobed-Substrat oben																			
23.5.17	Biobed-Substrat unten																			

Anh.-Tabelle 2: Analysenergebnisse „PSM Gartenbau“ (in µg/l) (Leistungsversuche sind hervorgehoben)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Gartenbau																						
		Aclonifen	Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Cyprodinil	Fenhexamid	Flonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Flusilazol	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lamda-cyhalothr	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Prochloraz	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl	Mancozeb	Metiram	dithiocarbama-s
11.12.14	X-Vorlaufschach		0,17	4,4	0	0	0	0	11,1	0,15		9,5	0	0,31		8	0	0						
11.12.14	X-Vorlage		0,15	4,6	0	0	0	0	10,8	0,13		8,1	0	0,25		8,4	0	0						
11.12.14	X-AbiBio		0	0,14	0	0	0	0	0,06	0		0,17	0	0		10,7	0	0						
11.12.14	X-AbiPflanzbett		0	0,52	0	0	0	0	0	0,05		0,1	0	0		7	0	0						
12.2.15	X-Vorlaufschach		0,08	5	0	0	0	0	7,6	0,06	0	0	0,2	0	0	3	0	0,06	0					
12.2.15	X-Vorlage		0,09	4,1	0	0	0	0	5,6	0,08	0	0	0,91	0	0	3,8	0	0	0					
12.2.15	X-AbiBio		0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0	0	3,4	0	0	0					
12.2.15	X-AbiPflanzbett		0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	3,4	0	0	0					
21.4.15	X-Bereg.brunnen		0	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0					
21.4.15	X-Vorlaufschach		0	4,1	0	0	0	0	6,3	0,12	0	0	0,42	0	0	60	0	0	0					
21.4.15	X-Vorlage		0	3,7	0,18	0	0	0	7,9	0,12	0	0	0,72	0	0	20,5	0	0	0					
21.4.15	X-AbiBio		0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0	2,1	0	0	0					
21.4.15	X-AbiPflanzbett		0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	1,9	0	0	0					
21.4.15	Vorflut-1		0	1,7	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,19	0	0	0					
21.4.15	Vorflut-2		0	1	0	0	0	0	0,12	0,07	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0					
21.4.15	Vorflut-3		0	0,67	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0					
21.4.15	Vorflut-4		0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0					
26.5.15	X-Vorlaufschach		0	8,3	0	0	0	0,24	7,9	0,27	0	0	0,26	0	0	2,6	0	0,22	0					
26.5.15	X-Vorlage																							
26.5.15	X-AbiBio		0	0,33	0	0	0	0	0,14	0	0	0	0,23	0	0	4,9	0	0,14	0					
26.5.15	X-AbiPflanzbett		0	0,41	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0					
26.5.15	Vorlage_Dot.		0	92,2	0	0	0	0	18,3	0	0	0	4,3	0	0	196	0	21,8	0					
28.5.15	X-AbiBio		0	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0,62	0	0	8,5	0	0,07	0					
29.5.15	Vorlage_Dot.		0	80	0	0	0	0	16,9	0	0	0	5	0	0	178	0	20,5	0					
29.5.15	X-AbiBio		0	0,7	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,54	0	0	12,2	0	0,11	0					
2.6.15	X-AbiBio		0	0,55	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,65	0	0	47,3	0	0,1	0					
2.7.15	X-Vorlaufschach		0,15	8,5	0,68	0	0	0	6,6	0,34	0	0	0,83	0	0	2,1	0	0,39	0					
2.7.15	X-Vorlage		0,12	8,07	0,64	0	0	0	4,4	0,35	0	0	0,79	0	0	2,1	0	0,26	0					
2.7.15	X-AbiBio		0	0,38	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	20	0	0	0					
2.7.15	X-AbiPflanzbett		0	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	20,2	0	0	0					
2.7.15	Vorflut-1		0	0,52	0	0,06	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0					
2.7.15	Vorflut-2		0	0,5	0	0,05	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0					
2.7.15	Vorflut-3																							
2.7.15	Vorflut-4																							
4.8.15	Vorlaufschacht		0	11,1	0,08	0	0	0	5,1	0,33	0	0	0,76	0	0	1,2	0	0,25	0					
4.8.15	Vorlage		0	6,8	0,13	0	0	0	1,2	0,2	0	0	3,8	0	0	1,6	0	0,21	0					
4.8.15	AbiBio		0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	0	0	10	0	0	0					
4.8.15	AbiPflanzbett		0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0					
24.8.15	Vorflut-1		0	16,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0,08	0					
24.8.15	Vorflut-2		0	11,9	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,22	0	0	0,61	0	0	0					
24.8.15	Vorflut-3		0	12,5	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0,24	0	0	0,6	0	0,06	0					
24.8.15	Vorflut-4		0,06	12,8	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,26	0	0	0,61	0	0,09	0					
24.8.15	Vorlaufschacht		0,09	7,6	0	0	0	0	1	0,1	0	0	0,65	0	0,05	1,3	0	0,07	0					
24.8.15	Vorlage																							
24.8.15	AbiBio		0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	3,5	0	0	0					
24.8.15	AbiPflanzbett		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	3,3	0	0	0					
24.8.15	Vorlage_Dot.		0	77,6	0	0	0	0	21,2	0	0	0	7,7	0	0	160	0	18,1	0					
26.8.15	AbiBio		0	3,9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30,8	0	0,15	0					
26.8.15	Vorlage_Dot.		0	103	0	0	0	0	22,5	0	0	0	3,9	0	0	225	0	24,7	0					
27.8.15	AbiBio		0	2,4	0	0	0	0	0,16	0	0	0	2	0	0	46,5	0	0,24	0					
28.8.15	AbiBio		0	2,6	0	0	0	0	0,16	0	0	0	2,7	0	0	70,1	0	0,26	0					
5.10.15	X-Bereg.brunnen		0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	1,3	0	0	0					
5.10.15	X-Vorlaufschach		0,13	21,1	0	0	0	0	4	0,34	0	0	0,25	0,26	0	0,66	0	0,5	0					
5.10.15	X-Vorlage		0,13	28,7	0,97	0	0	0	4,1	0	0	0	0,31	0	0	1,7	0	1,1	0					
5.10.15	X-AbiBio		0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	0	0	22,8	0	0	0					
5.10.15	X-AbiPflanzbett		0	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	22,8	0	0	0					
05.10.2015	Vorlage_Dot.		0	84	0,36	0	0	0	27,6	0,07	0	0	3,9	0,13	0	174	0	19,1	0					
06.10.2015	Vorlage_Dot.		0	83	0,1	0	0	0	22,6	0	0	0	3,7	0	0	195	0	19,4	0					
06.10.2015	AbiBio		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,82	0	0	35,9	0	0,13	0					
08.10.2015	AbiBio		0	0,99	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	0	0	75,3	0	0,16	0					
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 1		0	9,5	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0,2	0,08	0	57,1	0	0,19	0					
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 2		0	8,6	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0,23	0,1	0	73,7	0	0,19	0					
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 3		0	11,4	0	0	0	0	3,2	0,06	0	0	0,25	0,08	0	63,5	0	0,25	0					
19.11.15	SR-Vorlaufschacht		0	10,5	0	0	0	0	8,1	0,07	0	0	0,34	0,05	0	58,8	0	0,29	0					
20.11.15	SR-Vorlaufschacht		0	8,6	0	0	0	0	4,3	0,06	0	0	0,23	0,05	0	53,3	0	0,21	0					

Anh.-Tabelle 2: Analysenergebnisse „PSM Gartenbau“ (in µg/l) (Leistungsversuche sind hervorgehoben)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Gartenbau																					
		Aclonifen	Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Cyprodinil	Fenhexamid	Fonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Flusilazol	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lambda-cyhalothr	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Prochloraz	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl	Mancozeb	Metiram
03.12.2015	Vorlage	0	10,3	0	0	0	0	3,8	0	0	0	0,17	0	0	0	91,4	0	0,3	0				
03.12.2015	AbiBio	0	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	68,3	0	0	0				
03.12.2015	AbiPflanzbett	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	40,8	0	0	0				
03.12.2015	Vorflut-1	0	2,5	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	0,33	0	0	0				
03.12.2015	Vorflut-2	0	2,6	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0				
03.12.2015	Vorflut-3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0	0	0				
03.12.2015	Vorflut-4	0	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,41	0	0	0				
7.4.16	Beregnungsbrunnen, Leiter	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0	0	0				
7.4.16	Vorlaufschacht	0,06	8,6	0	0	0	0	1,1	0,18	0	0	0,08	0	0	0	4,8	0	0,1	0				
7.4.16	Vorlage	0,05	7,9	0	0	0	0	0,75	0,14	0	0	0,08	0	0	0	12,3	0	0,07	0				
7.4.16	AbiBio	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,3	0	0	0				
7.4.16	AbiPflanzbett	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18,4	0	0	0				
7.4.16	Vorflut-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0				
7.4.16	Vorflut-2	0	1	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0	0	0				
7.4.16	Vorflut-3	0	0,79	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0				
7.4.16	Vorflut-4	0	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0	0	0				
7.4.16	Biobed-Substrat oben	0	60168	0	0	0	0	0	0	0	0	5670	0	0	0	6150	0	9699	0				
7.4.16	Biobed-Substrat unten	0	22622	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5941	0	0	0				
12.5.16	Vorlaufschacht	0	8,8	0	0	0	0	3,9	0,23	0	0	0,13	0	0	0	20,5	0	0,63	0				
12.5.16	Vorlage	0	12,3	0	0	0	0	2,4	0,09	0	0	0,13	0	0	0	31,6	0	0,35	0				
12.5.16	AbiBio	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	18,3	0	0	0				
12.5.16	AbiPflanzbett	0	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	13,1	0	0	0				
1.6.16	Vorlaufschacht	0	4,8	4,3	4,2	0	0	0,48	3,5	0	0	0,21	0	0	0	5,9	0	0,21	>10				
1.6.16	Vorlage	0	4,5	9,3	3,4	0	0	0,28	2,4	0	0	0,18	0	0	0	8,1	0	0,14	>10				
1.6.16	AbiBio	0	0,66	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	12,4	0	0	0				
1.6.16	AbiPflanzbett	0	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,2	0	0	0				
1.6.16	Vorlage_Dot.	51,6	0	72	3,7	0,61	0	0	0,41	0	0	11,1	0	0	0	172	0	10	>7				
2.6.16	Vorlage_Dot.																						
2.6.16	AbiBio																						
3.6.16	AbiBio																						
15.6.16	Vorlaufschacht	0	13,1	0,08	0	0	0	0,83	1,7	0	0	0,27	0	0	0	9,1	0	0,29	0				
15.6.16	Vorlage	0	40,6	3,2	0,56	0	0	5	1,4	0	0	11,2	0	0	0	88	0	10,9	0				
15.6.16	AbiBio	0	1,7	0,08	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	33,4	0	0,08	0				
15.6.16	AbiPflanzbett	0	1,3	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,57	0	0	0	15,7	0	0	0				
15.6.16	Vorflut-1	4,6	0	1,6	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
15.6.16	Vorflut-2	0	1,7	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0	4,3	0	0	0				
15.6.16	Vorflut-3	0	0,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	0	0	0				
15.6.16	Vorflut-4	0	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96	0	0	0				
15.6.16	Vorlage_Dot.	0	0	71,9	1,9	0,38	0	0	11,8	0,65	0	0	21,6	0	0	198	0	21,1	0				
16.6.16	Vorlage_Dot.	0	0	104	0,47	0,14	0	0	12,9	0,18	0	0	7,8	0	0	240	0	29,4	0				
16.6.16	AbiBio	0	0	5,4	0,2	0	0	0	0,11	0	0	4,6	0	0	0	98	0	0,3	0				
17.6.16	AbiBio	0	0	12,8	0,16	0	0	0	0,21	0	0	10,4	0	0	0	136	0	0,76	0				
20.6.16	AbiBio	0	0	8,2	0,08	0	0	0	0,07	0	0	5,6	0	0	0	97,8	0	0,38	0				
21.6.16	SR-Vorlauf	0	20,1	0,17	0	0	0	2,7	1,7	0	0	2	0	0	0	27,1	0	3,1	0				
24.6.16	SR-Vorlauf	0	11,3	0,46	0,19	0	0	0,25	1,3	0	0	0,49	0	0	0	1,9	0	0,79	0				
25.6.16	SR-Vorlauf	0	7,3	0	0	0	0	0,77	0,93	0	0	0,11	0	0	0	2,7	0	0,33	0				
8.8.16	Vorlaufschacht	0	7	0	0	0	0	2,6	1,3	0	0	0	0	0	0	123	0	0,46	0				
8.8.16	Vorlage	0	10,8	0	0	0	0	2,4	2,2	0	0	0	0	0	0	167	0	0,88	0				
8.8.16	AbiBio	0	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0	0	0	25,5	0	0	0				
8.8.16	AbiPflanzbett	0	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0	0	0	11,1	0	0	0				
30.8.16	Vorlaufschacht	0	2,7	0	0	0	0	1,7	0,38	0	0	storniert	0	0	0	77,4	0	0,1	0				
30.8.16	Vorlage	0	6,1	0	0	0	0	1,7	1,9	0	0	storniert	0	0	0	132	0	0,47	0				
30.8.16	AbiBio	0	1,1	0	0	0	0	0,1	0	0	0	1,6	0	0	0	61,8	0	0	0				
30.8.16	AbiPflanzbett	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,79	0	0	0	41,1	0	0	0				
31.8.16	Biobed-Substrat oben	0	4550	0	0	0	0	99	0	0	0	997	0	0	0	2934	0	717	0				
31.8.16	Biobed-Substrat unten	0	2294	0	0	0	0	97	0	0	0	413	0	0	0	1773	0	224	0				
30.8.16	Vorlage_Dot.	0	0	96,6	0	0	0	13,7	0,76	0	0	30,4	0	0	0	220	0	21	0				
31.8.16	AbiBio	0	0	8,6	0	0	0	0	0,13	0	0	10,1	0	0	0	125	0	0,39	0				
31.8.16	Vorlage_Dot.	0	0	117	0	0	0	14,7	0,18	0	0	27,4	0	0	0	242	0	20,9	0				
1.9.16	AbiBio	0	0	17,1	0	0	0	0,27	0	0	0	17,7	0	0	0	164	0	1	0				
5.9.16	AbiBio	0	0	5,6	0	0	0	0,11	0	0	0	4,9	0	0	0	100	0	0,37	0				

Anh.-Tabelle 2: Analysenergebnisse „PSM Gartenbau“ (in µg/l) (Leistungsversuche sind hervorgehoben)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Gartenbau																							
		Aclonifen	Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Cyprodinil	Fenhexamid	Flonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Flusilazol	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lambda-cyhalothr	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Prochloraz	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl	Mancozeb	Metiram	dithiocarbama-s	
26.10.2016	Vorlaufschacht		0,08	3	0	0	0	0	1,4	0,52	0	0		0	0	0	20,5	0	0,1	0					
26.10.2016	Vorlage		0	2,7	0	0	0	0	0,84	0,48	0	0		0	0	0	29,7	0	0,25	0					
26.10.2016	AbiBio		0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	24,8	0	0,31	0					
26.10.2016	AbiPflanzbett		0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0	0	0	9,8	0	0	0					
26.10.2016	Vorlage_Dot.	45,8	0	81,8	0	0	0	0	9,7	0,19	0	0	31,2	0	0	0	189,7	0	23,4	0					
27.10.2016	AbiBio	0,87	0	7,5	0	0	0	0	0,15	0	0	0	8,1	0	0	0	89,6	0	0,74	0					
27.10.2016	Vorlage_Dot.	59,6	0	99,4	0	0	0	0	10,2	0,07	0	0	8,9	0	0	0	212,9	0	29,1	0					
28.10.2016	AbiBio	1,8	0	16,5	0	0	0	0	0,24	0	0	0	14	0	0	0	136,9	0	1,4	0					
31.10.2016	AbiBio	0,77	0	12,8	0	0	0	0	0,17	0	0	0	5,1	0	0	0	130,15	0	0,91	0					
23.11.2016	Vorlaufschacht		0	2,6	0	0	0	0	1,6	0,44	0	0		0	0	0	9,5	0	0,18	0					
23.11.2016	Vorlage		0	17	0	0	0	0	3,2	0,47	0	0		0	0	0	46,7	0	4,4	0					
23.11.2016	AbiBio		0	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	41	0	0,14	0					
23.11.2016	AbiPflanzbett		0	0,74	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	31,4	0	0	0					
23.11.2016	Vorflut-1	0	0	3,9	0	0,23	0	0	0	0,49	0	0		0	0	0	11	0	0,05	0					
23.11.2016	Vorflut-2	0	0	3,6	0	0,19	0	0	0	0,5	0	0		0	0	0	11,2	0	0	0					
23.11.2016	Vorflut-3	0	0	3	0	0,18	0	0	0	0,27	0	0		0	0	0	9,1	0	0	0					
23.11.2016	Vorflut-4	0	0	2,4	0	0,13	0	0	0	0,17	0	0		0	0	0	7,3	0	0	0					
21.2.17	Vorlaufschacht		0	2,98	0	0	0	0	1,45	0,37	0	0		0	0	0	3,3	0	0	0					
21.2.17	Vorlage		0	3,41	0	0	0	0	1,32	0,38	0	0		0	0	0	5,11	0	0,17	0					
21.2.17	AbiBio		0	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	14,8	0	0	0					
21.2.17	AbiPflanzbett		0	0,99	0,2	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	5,97	0	0	0					
21.3.17	Vorlaufschacht		0	3,13	0	0	0	0	1,59	0,52	0	0		0	0	0	2,48	0	0,08	0					
21.3.17	Vorlage		0	3,36	0	0	0	0	1,38	0,51	0	0		0	0	0	4,28	0	0	0					
21.3.17	AbiBio		0	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	13	0	0	0					
21.3.17	AbiPflanzbett		0	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	7,84	0	0	0					
18.4.17	Vorlaufschacht		0	1,53	0	0	0	0	0,45	0,32	0	0		0	0	0	32,6	0	0,07	0					
18.4.17	Vorlage		0	1,69	0	0	0	0	0,7	0,43	0	0		0	0	0	54,1	0	0,11	0					
18.4.17	AbiBio		0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	14,7	0	0	0					
18.4.17	AbiPflanzbett		0	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	9,13	0	0	0					
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1		0	1076,8	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	131,2	0	204,2	0					
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2		0	1940,9	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	147	0	269,4	0					
23.5.17	Vorlage	0	0	2,49	0	0	0	0	0,38	0,67	0	0	0	0	0	0	13,96	0	0,15	0					
23.5.17	Vorlaufschacht	0	0	2,49	0	0	0	0	0,52	0,63	0	0	0	0	0	0	6,81	0	0	0					
23.5.17	AbiBio	0	0	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,37	0	0	0					
23.5.17	AbiPflanzbett	0	0	0,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,91	0	0	0					
23.5.17	Vorlage_Dot.	31,18	0	91,93	0	0	0	0	7,73	0,36	0	0	22,57	0	0	0	204,7	0	21,02	0					
23.5.17	Biobed-Substrat oben	0	0	690,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,8	0	36,9	0					
23.5.17	Biobed-Substrat unten	0	0	1714,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	334,7	0	72,1	0					
23.5.17	Vorlage	0	0	41,53	0	0	0	0	4,05	0,16	0	0	16,24	0	0	0	122,2	0	9,33	0					
24.5.17	Vorlage_Dot.	36,84	0	111,07	0	0	0	0	10	0,11	0	0	40,43	0	0	0	254,3	0	25,88	0					
24.5.17	AbiBio	0,25	0	4,11	0	0	0	0	0	0	0	0	4,09	0	0	0	84,16	0	0,29	0					
25.5.17	AbiBio	0,47	0	9,49	0	0	0	0	0	0	0	0	7,7	0	0	0	166,1	0	0,43	0					
26.5.17	AbiBio	0,2	0	5,82	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0	0	0	145	0	0,23	0					
21.6.17	Vorlage		0	2,08	1,22	0	0	0	1,14	0,68	0	0	0	0	0	0	3,84	0	0,28	0,93					
21.6.17	Vorlaufschacht	0,07	2,13	0,16	0	0	0,07	1,82	0,45	0	0	0	0	0	0	0	5,04	0	0,14	0					
21.6.17	AbiBio		0	0,95	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,73	0	0	0					
21.6.17	AbiPflanzbett		0	1,46	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,11	0	0	0					
7.8.17	Vorlage	0	0,07	3,22	0,06	0	0	1,09	2,15	0,75	0	0	0	0	0	0	38,5	0	0,2	0,08					
7.8.17	Vorlaufschacht	0	0	3,51	0,05	0	0	0,48	3,26	0,88	0	0	0	0	0	0	15,82	0	0,17	0					
7.8.17	AbiBio	0	0	0,59	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	37,84	0	0	0					
7.8.17	AbiPflanzbett	0	0	1,13	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0	0	49,93	0	0	0					
7.8.17	Vorlage_Dot.	29,79	0	87,04	0	0	0	0,41	14,38	0,38	0	0	35,7	0	0	0	185,63	0	22,78	0					
8.8.17	Vorlage_Dot.	44,35	0	112,23	0	0	0	0,17	18,2	0,14	0	0	23,93	0	0	0	239,04	0	31,29	0					
8.8.17	AbiBio	0,27	0	4,43	0	0	0	0,33	0,1	0	0	0	3,65	0	0	0	93,49	0	0,33	0					
9.8.17	AbiBio	0,93	0	13,02	0	0	0	0,2	0,41	0	0	0	8,51	0	0	0	140,36	0	0,95	0					
11.8.17	AbiBio	0,51	0	8,46	0	0	0	0,18	0,15	0	0	0	5,1	0	0	0	120,59	0	0,51	0					
14.9.17	Vorlage	5,49	3,3	0	0	0	0	1,87	0,4	0	0	0	0	0	0	0	93,22	0	0,49	0					
14.9.17	Vorlaufschacht	5,53	3,47	0	0	0	0	2,3	0,48	0	0	0	0	0	0	0	126,17	0	0,1	0					
14.9.17	AbiBio	0,19	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35,09	0	0	0					
14.9.17	AbiPflanzbett	0,22	1,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36,37	0	0	0					
14.11.2017	Beregnungsbrunnen, Leiter																								
14.11.2017	Vorlaufschacht																								
14.11.2017	Vorlage																								
14.11.2017	AbiBio																								
14.11.2017	AbiPflanzbett																								

Anh.-Tabelle 2: Analysenergebnisse „PSM Gartenbau“ (in µg/l) (Leistungsversuche sind hervorgehoben)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBM Gartenbau																						
		Aclonifen	Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Cyprodinil	Fenhexamid	Fonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Flusilazol	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lambda-cyhalothr	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Prochloraz	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl	Mancozeb	Metiram	dithiocarbama-s
15.11.2017	Vorlage_Dot.	53,08	0,38	111,66	0	0	0	0	24,14	0	0	0	34,89	0	0	0	238,24	0	31,84	0				
15.11.2017	AbiBio	3,72	0,25	8,13	0	0	0	0	1,7	0	0	0	5,96	0	0	0	77,44	0	2,41	0				
16.11.2017	AbiBio	2,49	0,25	20,32	0	0	0	0	1,3	0	0	0	14,01	0	0	0	166	0	1,95	0				
17.11.2017	AbiBio	1,68	0,18	11,26	0	0	0	0	0,6	0	0	0	5,85	0	0	0	114,98	0	1,2	0				
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1	0	0	826,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226,3	0	0	0	0	0	0	0
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2	0	0	1218,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230,5	0	116,1	0	0	0	0	0
23.5.17	Biobed-Substrat oben	0	0	2086,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	249,1	0	259,3	1	0	0	0	0
23.5.17	Biobed-Substrat unten	0	0	967	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116,6	0	0	0	0	0	0	0

Anh.-Tabelle 3: Analysenergebnisse „PSM 22er-Liste“ (in µg/l)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Standard																						
		Aldicarb	Atrazin	Bentazon	Bromacil	Chloridazon	Chlortoluron	Clopyralid	Diuron	Endosulfan	Isoproturon	MCPA	Mecoprop	Metazachlor	methabenzthiazu	Metobromuron	Metolachlor	Metoxuron	Propazin	Simazin	Terbutylazin	Metaxyl	nn-di-me-sulfam	
11.12.14	X-Vorlaufschach																							
11.12.14	X-Vorlage																							
11.12.14	X-AblBio																							
11.12.14	X-AblPflanzbett																							
12.2.15	X-Vorlaufschach																							
12.2.15	X-Vorlage																							
12.2.15	X-AblBio																							
12.2.15	X-AblPflanzbett																							
21.4.15	X-Bereg.brunnen																							
21.4.15	X-Vorlaufschach																							
21.4.15	X-Vorlage																							
21.4.15	X-AblBio																							
21.4.15	X-AblPflanzbett																							
21.4.15	Vorflut-1																							
21.4.15	Vorflut-2																							
21.4.15	Vorflut-3																							
21.4.15	Vorflut-4																							
26.5.15	X-Vorlaufschach																							
26.5.15	X-Vorlage																							
26.5.15	X-AblBio																							
26.5.15	X-AblPflanzbett																							
26.5.15	Vorlage_Dot.																							
28.5.15	X-AblBio																							
29.5.15	Vorlage_Dot.																							
29.5.15	X-AblBio																							
2.6.15	X-AblBio																							
2.7.15	X-Vorlaufschach																							
2.7.15	X-Vorlage																							
2.7.15	X-AblBio																							
2.7.15	X-AblPflanzbett																							
2.7.15	Vorflut-1																							
2.7.15	Vorflut-2																							
2.7.15	Vorflut-3																							
2.7.15	Vorflut-4																							
4.8.15	Vorlaufschacht																							
4.8.15	Vorlage																							
4.8.15	AblBio																							
4.8.15	AblPflanzbett																							
24.8.15	Vorflut-1																							
24.8.15	Vorflut-2																							
24.8.15	Vorflut-3																							
24.8.15	Vorflut-4																							
24.8.15	Vorlaufschacht																							
24.8.15	Vorlage																							
24.8.15	AblBio																							
24.8.15	AblPflanzbett																							
24.8.15	Vorlage_Dot.																							
26.8.15	AblBio																							
26.8.15	Vorlage_Dot.																							
27.8.15	AblBio																							
28.8.15	AblBio																							
5.10.15	X-Bereg.brunnen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,39	20,2	
5.10.15	X-Vorlaufschach																							
5.10.15	X-Vorlage																							
5.10.15	X-AblBio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	11,7	
5.10.15	X-AblPflanzbett																							
05.10.2015	Vorlage_Dot.																							
06.10.2015	Vorlage_Dot.																							
06.10.2015	AblBio																							
08.10.2015	AblBio																							
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 1																							
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 2																							
17.11.15	SR-Vorlaufschacht 3																							
19.11.15	SR-Vorlaufschacht																							
20.11.15	SR-Vorlaufschacht																							

Anh.-Tabelle 3: Analysenergebnisse „PSM 22er-Liste“ (in µg/l)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Standard																						
		Aldicarb	Atrazin	Bentazon	Bromacil	Chloridazon	Chlortoluron	Clopyralid	Diuron	Endosulfan	Isoproturon	MCPA	Mecoprop	Metazachlor	methabenzthiazu	Metobromuron	Metolachlor	Metoxuron	Propazin	Simazin	Terbuthylazin	Metolaxyl	nn-di-me-sulfam	
03.12.2015	Vorlage																							
03.12.2015	AbIBio																							
03.12.2015	AbIPflanzbett																							
03.12.2015	Vorflut-1																							
03.12.2015	Vorflut-2																							
03.12.2015	Vorflut-3																							
03.12.2015	Vorflut-4																							
7.4.16	Beregnungsbrunnen, Leiter																							
7.4.16	Vorlaufschacht																							
7.4.16	Vorlage																							
7.4.16	AbIBio																							
7.4.16	AbIPflanzbett																							
7.4.16	Vorflut-1																							
7.4.16	Vorflut-2																							
7.4.16	Vorflut-3																							
7.4.16	Vorflut-4																							
7.4.16	Biobed-Substrat oben																							
7.4.16	Biobed-Substrat unten																							
12.5.16	Vorlaufschacht																							
12.5.16	Vorlage																							
12.5.16	AbIBio																							
12.5.16	AbIPflanzbett																							
1.6.16	Vorlaufschacht																							
1.6.16	Vorlage																							
1.6.16	AbIBio																							
1.6.16	AbIPflanzbett																							
1.6.16	Vorlage_Dot.																							
2.6.16	Vorlage_Dot.																							
2.6.16	AbIBio																							
3.6.16	AbIBio																							
15.6.16	Vorlaufschacht																							
15.6.16	Vorlage																							
15.6.16	AbIBio																							
15.6.16	AbIPflanzbett																							
15.6.16	Vorflut-1																							
15.6.16	Vorflut-2																							
15.6.16	Vorflut-3																							
15.6.16	Vorflut-4																							
15.6.16	Vorlage_Dot.																							
16.6.16	Vorlage_Dot.																							
16.6.16	AbIBio																							
17.6.16	AbIBio																							
20.6.16	AbIBio																							
21.6.16	SR-Vorlauf																							
24.6.16	SR-Vorlauf																							
25.6.16	SR-Vorlauf																							
8.8.16	Vorlaufschacht																					0		
8.8.16	Vorlage																					0		
8.8.16	AbIBio																					0		
8.8.16	AbIPflanzbett																					0		
30.8.16	Vorlaufschacht																					0		
30.8.16	Vorlage																					0		
30.8.16	AbIBio																					0,55		
30.8.16	AbIPflanzbett																					0,19		
31.8.16	Biobed-Substrat oben																							
31.8.16	Biobed-Substrat unten																							
30.8.16	Vorlage_Dot.																					14,1		
31.8.16	AbIBio																					4,2		
31.8.16	Vorlage_Dot.																					12,1		
1.9.16	AbIBio																					4,4		
5.9.16	AbIBio																					1,6		

Anh.-Tabelle 3: Analysenergebnisse „PSM 22er-Liste“ (in µg/l)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Standard																					
		Aldicarb	Atrazin	Bentazon	Bromacil	Chloridazon	Chlortoluron	Clopyralid	Diuron	Endosulfan	Isoproturon	MCPA	Mecoprop	Metazachlor	methabenzthiazu	Metobromuron	Metolachlor	Metoxuron	Propazin	Simazin	Terbuthylazin	Metaxy	nn-di-me-sulfam
26.10.2016	Vorlaufschacht																					0	
26.10.2016	Vorlage																					0	
26.10.2016	AbiBio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,57
26.10.2016	AbiPflanzbett																					0	
26.10.2016	Vorlage_Dot.																					10,3	
27.10.2016	AbiBio																					3,3	
27.10.2016	Vorlage_Dot.																					14	
28.10.2016	AbiBio																					5,1	
31.10.2016	AbiBio																					0,73	
23.11.2016	Vorlaufschacht																					0	
23.11.2016	Vorlage																					1,4	
23.11.2016	AbiBio																					0,44	
23.11.2016	AbiPflanzbett																					0,32	
23.11.2016	Vorflut-1																					0	
23.11.2016	Vorflut-2																					0	
23.11.2016	Vorflut-3																					0	
23.11.2016	Vorflut-4																					0,1	
21.2.17	Vorlaufschacht																					0	
21.2.17	Vorlage																					0,09	
21.2.17	AbiBio																					0	
21.2.17	AbiPflanzbett																					0,11	
21.3.17	Vorlaufschacht																					0	
21.3.17	Vorlage																					0	
21.3.17	AbiBio																					0	
21.3.17	AbiPflanzbett																					0	
18.4.17	Vorlaufschacht																					0	
18.4.17	Vorlage																					0	
18.4.17	AbiBio																					0	
18.4.17	AbiPflanzbett																					0	
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1																					0	
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2																					0	
23.5.17	Vorlage																					0	
23.5.17	Vorlaufschacht																					0	
23.5.17	AbiBio																					0	
23.5.17	AbiPflanzbett																					0	
23.5.17	Vorlage_Dot.																					10,9	
23.5.17	Biobed-Substrat oben																					0	
23.5.17	Biobed-Substrat unten																					0	
23.5.17	Vorlage																					5,88	
24.5.17	Vorlage_Dot.																					13,83	
24.5.17	AbiBio																					2,64	
25.5.17	AbiBio																					5,08	
26.5.17	AbiBio																					3,25	
21.6.17	Vorlage																					0,88	
21.6.17	Vorlaufschacht																					0	
21.6.17	AbiBio																					0	
21.6.17	AbiPflanzbett																					0	
7.8.17	Vorlage																					0	
7.8.17	Vorlaufschacht																					0	
7.8.17	AbiBio																					0	
7.8.17	AbiPflanzbett																					0	
7.8.17	Vorlage_Dot.																					13,32	
8.8.17	Vorlage_Dot.																					15,58	
8.8.17	AbiBio																					2,94	
9.8.17	AbiBio																					6,59	
11.8.17	AbiBio																					2,13	
14.9.17	Vorlage																					0	
14.9.17	Vorlaufschacht																					0	
14.9.17	AbiBio																					0	
14.9.17	AbiPflanzbett																					0	
14.11.2017	Beregnungsbrunnen, Leiter	0	0					0				0											
14.11.2017	Vorlaufschacht	0	0					0				0											
14.11.2017	Vorlage	0	0					0				0											
14.11.2017	AbiBio	0	0					0				0											
14.11.2017	AbiPflanzbett	0	0					0				0											

Anh.-Tabelle 3: Analysenergebnisse „PSM 22er-Liste“ (in µg/l)

Probenahme-Datum (PN-Dat)	Probenahme-stelle (PNS)	PBSM Standard																							
		Aldicarb	Atrazin	Bentazon	Bromacil	Chloridazon	Chlortoluron	Clopyralid	Diuron	Endosulfan	Isoproturon	MCPA	Mecoprop	Metazachlor	methabenzthiazu	Metobromuron	Metolachlor	Metoxuron	Propazin	Simazin	Terbutylazin	Metaxy	nn-di-me-sulfam		
15.11.2017	Vorlage_Dot.																						15,93		
15.11.2017	AbIBio																							3,05	
16.11.2017	AbIBio																							6,69	
17.11.2017	AbIBio																							3,18	
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 1																								
18.4.17	Biobed-Substrat Misch 2																								
23.5.17	Biobed-Substrat oben																								
23.5.17	Biobed-Substrat unten																								