

# Dränwasseraufbereitung in Gartenbaubetrieben

- Überführung der vorhandenen Anlage in einen praxisgerechten Ausbau und Betrieb als Biofilter-Anlage -

- Akt.z 17-02.04.01-16/2018

- Abschlussbericht zum Projektantrag Nr. 10042/2018/24414

Projektbearbeitung gemeinsam mit: Wasserschutzkooperation  
Kevelaer-Keylaer

Februar 2021

gefördert durch

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





## Bearbeitung

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

Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
[www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

Dr. Reinhard Fohrmann (Projektleiter)  
Telefon: 0208 40303-250  
[r.fohrmann@iww-online.de](mailto:r.fohrmann@iww-online.de)

Jana Liedtke (M. Sc. agr.)  
Telefon: 0208 40303-254  
[j.liedtke@iww-online.de](mailto:j.liedtke@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](mailto:elke.mattheus-staack@lwk.nrw.de)

Bearbeitungszeitraum: Okt. 2018 bis Feb. 2021

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.  
[IWW\Abschlussbericht\\_2021\\_final.docx](#)



## 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 zweier in den Jahren 2011 – 2014 und 2014 – 2017 auf einem Gartenbaubetrieb im Wasserschutzgebiet Kevelaer-Keylaer durchgeführter Untersuchungsvorhaben wurde untersucht, inwieweit die von einer für die Produktion von Zierpflanzen (*Calluna vulgaris*) genutzten Containerstellfläche abfließenden Dränwässer Belastungen für Grund- und Oberflächengewässer verursachen, wie diese zu quantifizieren und durch Bau und Betrieb einer Biofilteranlage zu minimieren sind. Zu diesem Zweck wurde die ursprünglich zur Fassung der abfließenden Dränwässer auf dem Versuchsbetrieb vorhandene Sickermulde nach einem Konzept der Landwirtschaftskammer NRW – Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln-Auweiler – in eine im Versuchszeitraum als Pilotanlage betriebene Biofilteranlage umgebaut. Diese Anlage war im wesentlichen dreistufig aufgebaut: 1. Vorlagebehälter (zur Zwischenspeicherung der anfallenden Dränwässer); 2. Substratbeet (mit organischem Substrat gefüllte Muldenstruktur zur Filterung der darübergeleiteten Dränwässer bzw. Retention der darin enthaltenen Schadstofffrachten, insbesondere PSM-Rückstände und Nitrat); 3. Pflanzbeet (bepflanzte Versickerungsmulde zur Nachbereitung und Versickerung der aus dem Substratbeet abfließenden Dränwässer).

Insgesamt konnten im Rahmen dieser Untersuchungen u. a. die von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer und die darin enthaltenen Nitrat- und PSM-Frachten quantifiziert werden. Es gelang, diese Schadstofffrachten bzw. -konzentrationen nach Durchfluss des Substratbeetes der Anlage um bis zu 60 % (Nitrat) bzw. um bis zu 80 – 98 % (PSM-Rückstände) zu reduzieren. Die Detailergebnisse aus diesen Studien sind in den zugehörigen Abschlussberichten umfangreich dokumentiert (IWW & WSK Kevelaer-Keylaer 2014, 2017).

Zentraler Kern des hier vorgestellten, dritten Untersuchungsvorhabens war die Überführung der vorhandenen und bisher nur unter Versuchsbedingungen betriebenen Biofilteranlage in einen den betrieblichen Bedingungen des Untersuchungsbetriebes entsprechenden praxisgerechten Ausbau und ihr anschließender Betrieb über den Untersuchungszeitraum.

Die ursprüngliche Pilotanlage wurde im Frühjahr 2019 zurückgebaut und entsprechend den Vorschlägen aus den vorhergehenden Untersuchungsvorhaben durch eine 2-stufige Biofilteranlage bestehend aus Vorlagebehälter (250 m<sup>3</sup>) und Substratbeet (150 m<sup>3</sup>) ersetzt. Das Substratbeet als zentraler Teil der Biofilteranlage, in welchem im Wesentlichen die Prozesse zur Nitrat- und PSM-Retention stattfinden, wurde auf einer Grundfläche von 150 m<sup>2</sup> und mit einer Höhe von 1 m über Flur ausgebaut, u. a. um einen pumpfreien Wasserabfluss aus dem Substratbeet entlang eines hydraulischen Niveauunterschiedes zu ermöglichen. Durch den hier zunächst nach unten nicht abgedichteten Ausbau war die Versickerung eines Teils der beaufschlagten Dränwässer unterhalb des Substratbeetes möglich. Auf die in der

Pilotanlage noch vorhandene dritte Anlagen-Stufe, das bewachsene Pflanzbeet, wurde im aktuellen Ausbau verzichtet, da die Ergebnisse gezeigt hatten, dass diese unter den standörtlichen Bedingungen keine hinreichende Versickerungsleistung erbrachte.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Von dem von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasser konnten im Versuchszeitraum ca. 6.300 m<sup>3</sup> Dränwasser (=ca. 4.300 m<sup>3</sup> pro Jahr) an ca. 99 % der Untersuchungstage, in denen die Anlage in Betrieb war (d. h. ohne die Betriebspause in den Wintermonaten 2019/2020) über die Anlage ausgebracht werden. Im aktuellen Ausbauzustand der Anlage mit dem nach unten offenen Substratbeet versickerten bzw. verdunsteten ca. 43 % dieser in die Anlage eingebrachten Dränwässer. Die Anlage hat sich somit als ausreichend groß dimensioniert erwiesen, um die anfallenden Dränwässer aufzubereiten.
- Die mittleren Nitratkonzentrationen der von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer lagen in den hydrologischen Sommerhalbjahren des Untersuchungszeitraumes bei 135 (hSHj 2019) bzw. ca. 105 (hSHj 2020) mg NO<sub>3</sub>/l und konnten nach Durchfluss des Substratbeetes um ca. 55 bzw. 25 % reduziert werden. Im hydrologischen Winterhalbjahr 2019/2020 ging die mittlere Nitratkonzentration bereits im von der Versuchsfläche abfließenden Dränwasser auf Werte von < 20 mg NO<sub>3</sub>/l zurück.
- Die Reduzierungsleistung des Substratbeetes für PSM-Rückstände lag auch in ihrer veränderten Zusammensetzung mit ca. 55 – 85 % (bei der Berücksichtigung aller untersuchten Wirkstoffe) bzw. ca. 85 – 95 % (bei Berücksichtigung aller Wirkstoffe ohne den nach wie vor als problematisch einzustufenden Wirkstoff Metribuzin) in vergleichbaren Größenordnungen wie die der vorhergehenden Untersuchungsvorhaben.
- Im Rahmen eines Leistungsversuches der Biofilteranlage wurden diese PSM-Reduzierungsraten des Substratbeetes auch bei Beaufschlagungsmengen von 190 m<sup>3</sup>/Tag bestätigt.
- Ob sich die im Untersuchungsvorhaben 2014-2017 errechnete bzw. prognostizierte funktionelle „Lebensleistung“ des Substratbeetes von ca. 4 Jahren auch unter den Bedingungen des aktuellen Anlagenausbaus und –betriebs bestätigt, ist (noch) nicht abschließend zu beantworten. Zu beobachten ist, dass die ursprüngliche Mächtigkeit des Substratkörpers nach der bisherigen Betriebszeit durch Setzungs- und Mineralisationsprozesse um ca. 30 % zurückgegangen ist. Tendenziell scheint das Retentionspotenzial für Nitrat- und PSM-Rückstände (vor allem des Metribuzin) bei

- nach wie vor insgesamt guten Leistungen etwas zurückgegangen zu sein. Allerdings ist damit zu rechnen, dass der Substratkörper auch bereits vor Ablauf dieser prognostizierten 4-Jahresfrist mit frischem Substrat aufgefüllt werden muss.
- Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurde weiterhin ein Leitfaden zum Bau und Betrieb entsprechender Anlagen erstellt, der dem hier vorgelegten Abschlussbericht in der Anlage beiliegt.
- Dieser Leitfaden, der hier vorgestellte Abschlussbericht sowie die der beiden vorhergehenden Untersuchungsvorhaben stehen als pdf-Datei im Volltext auf der Homepage des IWW bzw. der LWK NRW zum Download zur Verfügung (**Links siehe am Berichtsende**).
- Insgesamt hat sich die Anlage somit in ihrem aktuellen Ausbau auch unter den angestrebten, praxisrelevanten Betriebsbedingungen bewährt.

**Mülheim an der Ruhr, im Februar 2021**  
**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für**  
**Wasserforschung gemeinnützige GmbH**

i.V.

i.A.

L. Schüller

Dr. R. Fohrmann

J. Liedtke

**Wasserschutzkooperation Kevelaer - Keylaer**

Andreas Thoenissen  
(Sprecher der Wasserschutzkooperation  
Kevelaer-Keylaer)

Elke Mattheus-Staack  
(Beraterin Zierpflanzenbau/Wasserschutz)



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund .....	1
1.1	Auftrag und Projektdurchführung .....	3
1.2	Ziele der Studie .....	3
2	Material und Methoden .....	4
2.1	Beschreibung des Projektbetriebes .....	4
2.2	Nutzung der Versuchsfläche .....	5
2.3	Auf- bzw. Umbau der Versuchsanlage .....	8
2.3.1	Substratzusammensetzung im Substratbeet .....	12
2.4	Datenerfassung / Messkonzept .....	14
2.4.1	Klima, Bewirtschaftung, Volumenströme .....	14
2.4.2	Hydrochemie .....	15
2.4.2.1	Dränwasserbeschaffenheit .....	15
2.4.2.2	Leistungsversuche Substratbeet .....	16
2.4.2.3	Abschlagsmanagement .....	17
2.4.2.4	Untersuchung des Substratbeet-Substrats .....	18
3	Ergebnisse .....	18
3.1	Bewirtschaftung der Versuchsfläche .....	18
3.2	Witterung .....	20
3.2.1	Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme .....	22
3.2.2	Qualitative Entwicklung der Volumenteilströme .....	25
3.2.2.1	Nitratkonzentrationen und -frachten .....	26
3.2.2.2	PSM-Konzentrationen und Frachten .....	29
3.3	Optimierung des Anlagebetriebs .....	37
3.3.1	Ergebnisse des Leistungsversuches Substratbeet .....	39
3.4	Ergebnisse Substratuntersuchungen .....	40

3.5	„Lebensleistung“ Substratbeet.....	45
4	Empfehlungen für einen praxisgerechten Anlagenausbau und –betrieb .....	47
5	Leitfadenerstellung .....	49
6	Literatur .....	49
7	Anhang.....	51

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Darstellung der Flächennutzung .....	6
Abbildung 2: Schematischer Aufbau der dreistufigen Anlage.....	9
Abbildung 3: Schematischer Aufbau der zweistufigen Biofilteranlage .....	10
Abbildung 4: Das Substratbeet wurde über Flur angelegt.....	11
Abbildung 5: Die Praxisanlage besteht aus zwei Stufen: einem Stahlbehälter mit einer Speicherkapazität von ca. 250 m <sup>3</sup> und dem Substratbeet mit einer Fläche von ca. 150 qm. ....	11
Abbildung 6: In der Pilotanlage 2011 bestand das Substrat zu 1/3 aus Stroh. ....	13
Abbildung 7: In der Praxisanlage wurde der Strohanteil durch Holzhackschnitzel ersetzt...	14
Abbildung 8: Temperaturverlauf (gemessen um 14:00 Uhr) vom 1.1.2019 bis zum 31.10.2020. ....	21
Abbildung 9: Monatliche Niederschlagsmengen am Projektstandort.....	22
Abbildung 10: Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 (kumuliert).....	23
Abbildung 11: Volumenströme von Beregnungs- und Niederschlagsereignissen, sowie die Speichermengen in der Vorlage im Zeitraum vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 auf Tagesbasis.....	24
Abbildung 12: Volumenströme von Beregnungs- und Niederschlagsereignissen, sowie die Versickerungsmengen im Substratbeet und Abschlagsmengen in den Vorfluter im Zeitraum vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 auf Tagesbasis .....	25
Abbildung 13: Entwicklung der Nitratkonzentration im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 – Oktober 2020).....	27
Abbildung 14: Mittlere prozentuale Nitrat-Reduzierungsleistung der Anlage bezogen auf die hydrologischen Sommer- bzw. Winterhalbjahre (hSHj/hWHj).....	28
Abbildung 15: Mittlere Nitrat-Konzentration in den hydrolog. Sommer- und Winterhalbjahren 2019/2020 an den Messpunkten „Vorlage“ und (Ablauf) „Substratbeet“ .....	28
Abbildung 16: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Azoxystrobin im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). ....	31
Abbildung 17: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Boscalid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). ....	31
Abbildung 18: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Carbendazim im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). ....	32
Abbildung 19: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Fluazinam im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). ....	32

Abbildung 20: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Fludioxonil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	33
Abbildung 21: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Iprodion im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	33
Abbildung 22: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Kresoximmethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	34
Abbildung 23: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Metribuzin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	34
Abbildung 24: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Pyraclostrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	35
Abbildung 25: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Thiophanatomethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020). .....	35
Abbildung 26: Füllstandsdaten im Vorlaufschacht, Vorlage, Substratbeet und Ablaufschacht zum Vorfluter vom 1.6.2019 bis 31.10.2020.....	38
Abbildung 27: Konzentrationen der Stoffe Metribuzin und Boscalid zum Start des Leistungsversuchs in der Vorlage (Orange), und im Ablauf (Blau), 19 h (Abl.1) und 26 h nach Versuchsbeginn (Abl.2).....	40
Abbildung 28: Konzentrationen der Stoffe Fluazinam, Metalaxyl, Pyraclostrobin und Aclonifen zum Start des Leistungsversuchs in der Vorlage (Orange), und im Ablauf (Blau), 19 h (Abl.1) und 26 h nach Versuchsbeginn (Abl.2).....	40
Abbildung 29: Nach fast 1,5-jähriger Projektlaufzeit sind deutliche Sackungsverluste im Substratbeet zu beobachten .....	43
Abbildung 30: Im Laufe von 2020 haben sich Wildkräuter auf dem Substratbeet angesiedelt .....	44
Abbildung 31: Zum Schutz gegen Wildkräuter wurde das Substratbeet Ende 2020 mit einem Gewebetuch abgedeckt.....	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die von Juni 2019 bis Oktober 2020 erfolgten Düngegaben .....	6
Tabelle 2: Übersicht über die von April 2019 bis Oktober 2020 erfolgten Pflanzenschutzmaßnahmen .....	8
Tabelle 3: Untersuchte Parameterumfänge .....	16
Tabelle 4: Im Leistungsversuch Substratbeet verwendete PSM-Wirkstoffe sowie die im Vorlagebehälter eingestellten Zielkonzentrationen .....	17
Tabelle 5: Zusammenstellung der im Vegetationszeitraum zugeführten Wassermengen aus Bewässerungs- und Düngemaßnahmen.....	19
Tabelle 6: Zusammenstellung der Wassermengen aus Dünge- und Bewässerungsgaben, bezogen auf das Kalenderjahr im Vergleich zu den Niederschlagsmengen.....	19
Tabelle 7: Anzahl untersuchter Proben und Beprobungsumfänge im Untersuchungszeitraum .....	26
Tabelle 8: Mittlere PSM-Konzentrationen und PSM-Reduzierungsleistung des Substratbeetes in den hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahren 2019/2020. ....	36
Tabelle 9: Physikalische Eigenschaften und N-Bindung (nach Zöttltest) bei der Substratmischung in der Pilotanlage 2011. ....	41
Tabelle 10: Physikalische Eigenschaften und N-Bindung (nach Zöttltest) bei der Substratmischung 2019/20.....	42

## 1 Einleitung und Hintergrund

Mit finanzieller Förderung durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft und Naturschutz NRW führte das IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH mit der Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer und der Landwirtschaftskammer NRW als Projektpartner zwei Untersuchungsvorhaben in den Jahren 2011 – 2014 („Optimierung gartenbaulich genutzter Versickerungsmulden zur Minimierung nachteiliger Beeinflussungen von Grund- und Oberflächengewässern“) sowie 2014 – 2018 („Gartenbaulich genutzte Versickerungsmulden – vertiefende Untersuchungen zur Betriebsoptimierung 2014 – 2017“ durch (IWW & WSK Kevelaer-Keylaer 2014, 2018). Ziel dieser Untersuchungsvorhaben war es, die Gefährdungspotenziale für Grund- und Oberflächengewässer, die von den im Freiland bewirtschafteten Gartenbauflächen bzw. von diesen Flächen abfließenden Dränwässern und den darin enthaltenen Schadstoffen (insbesondere Nitrat und PSM-Rückstände) ausgehen, zu erfassen und zu quantifizieren sowie durch Bau und Betrieb einer Biofilteranlage zu minimieren.

Die Untersuchungen fanden statt auf einem im Wasserschutzgebiet der Stadtwerke Kevelaer gelegenen Gartenbaubetrieb. Die auf dem Betrieb liegende Sickermulde, in welche die von einer angeschlossenen, ca. 1 ha großen und für die Produktion von *Calluna vulgaris* genutzten Containerstellfläche abfließenden Dränwässer ursprünglich zur Versickerung über die belebte Bodenzone in das Grundwasser eingeleitet wurden, wurde nach einem Konzept der Landwirtschaftskammer NRW - Versuchszentrum Gartenbau Straelen/Köln –Auweiler – als Pilotanlage in ein dreistufiges System aus Vorlaufschacht-Vorlagespeicher-Substratbeet-Pflanzbeet umgebaut und im Zuge der Untersuchungen optimiert (siehe auch IWW & WSK Kevelaer-Keylaer, 2014, 2018). Es wurde untersucht, inwieweit die Nitrat- und PSM-Frachten bzw. –Konzentrationen, die mit den Dränwässern über diese Anlage geführt wurden, reduziert bzw. entfernt werden können und wie eine derartige Anlage in Abhängigkeit von der Größe und Bewirtschaftung der angeschlossenen gartenbaulichen Nutzfläche zu dimensionieren ist.

Im folgenden werden die Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen kurz zusammengefasst: Für eine umfassende Darstellung der Ergebnisse wird auf die beiden Abschlussberichte dieser Untersuchungen verwiesen (IWW & WSK Kevelaer-Keylaer, 2014, 2018).

- Dränwasseranfall: Mittlere Niederschläge von 811 mm/a im Untersuchungszeitraum 2014 - 2017 sowie Bewässerungsmengen von ca. 350 – 700 mm/a auf die Versuchsfläche entsprachen in der Größenordnung auch den Ergebnissen des Untersuchungszeitraumes 2011 – 2014. Im Mittel flossen ca. 55 % dieser insgesamt der Versuchsfläche zugeführten Wassermenge als Dränwasser der Versuchsanlage zu. Die der Versuchsfläche zugeführten Bewässerungsmengen konnten dabei weitgehend in Evapotranspiration

umgesetzt werden, so dass Dränwasserabfluss überwiegend als Folge von Niederschlagsereignissen stattfand.

- Nitrat-Konzentration: In den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern konnten in Abhängigkeit von der vorhergehenden Düngung erwartungsgemäß teilweise erhebliche Nitratkonzentrationen gemessen werden. Nach Durchfluss durch die Anlage konnten diese Nitratkonzentrationen insbesondere in den einzelnen hydrologischen Sommerhalbjahren weitgehend auf mittlere Werte von unter 50 mg/l gesenkt werden. In den hydrologischen Winterhalbjahren gingen bereits die Ausgangskonzentrationen in den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern auf Werte von überwiegend deutlich < 50 mg/l zurück.
- PSM-Konzentrationen: Die anfallenden Dränwässer wurden an den verschiedenen Messpunkten in ca. 4-wöchentlichem Abstand (v. a. im Bewirtschaftungszeitraum) (entsprechend den Angaben des Flächenbewirtschafters zu eingesetzten Pflanzenschutzmitteln) auf ein Spektrum von ca. 18 PSM-Wirkstoffen untersucht. Während – je nach Wirkstoff – in den abfließenden Dränwässern teilweise erhebliche PSM-Konzentrationen gemessen werden konnten, gelang nach Durchfluss durch die Anlage eine mittlere Reduzierung dieser Ausgangswerte um 80 – 98 %. Ausgenommen hiervon war vor allem der auf der Fläche verwendete herbizide PSM-Wirkstoff Metribuzin, der bei Spitzenkonzentration von bis zu 160 µg/l im Dränwasser vor Anlagendurchfluss nach Durchfluss der Anlage lediglich um 30 – 60 % reduziert werden konnte.
- „Lebensleistung“ Substratbeet: Von wesentlicher Bedeutung zur Bewertung der Anlageneffizienz und vor allem ihrer zukünftigen Akzeptanz unter Bedingungen der betrieblichen (gartenbaulichen) Praxis ist die Entwicklung des Substratbeets im Zeitverlauf. In Abhängigkeit von den jeweiligen Betriebsbedingungen, insbesondere der Menge des durch das Substratbeet geleiteten (Drän-)Wassers, kommt es in dem organischen Substrat zu Abbau-, Mineralisierungs- und Setzungsprozessen, die die Funktionalität des Substratbeets durch ein reduziertes Sorptions- und Abbaupotenzial, vor allem aber durch eine reduzierte Wasserdurchlässigkeit einschränken. D. h., dass das Substrat in regelmäßigen Abständen ergänzt, ggf. auch vollständig ausgetauscht werden muss. Auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse wurde größenordnungsmäßig eine ca. 4-jährige, funktionelle „Lebensdauer“ des Substrates abgeschätzt, die aber in erheblichem Maße von den tatsächlichen Betriebsbedingungen und der Substratzusammensetzung abhängig ist.

- Die Leistungsfähigkeit zur Dränwasseraufnahme der Anlage war limitiert durch die bewachsene Versickerungsmulde, da hier durch die Standorteigenschaften (hohe Grundwasserstände, schwere Böden) nur geringe Sickerraten/Tag möglich waren.

## 1.1 Auftrag und Projektdurchführung

Im Juli 2018 stellte das IWW mit den Projektpartnern über das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW einen Antrag an das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW auf finanzielle Förderung einer dritten, abschließenden Studie zu dem Untersuchungsthema. Zentraler Kern dieses geplanten, abschließenden Untersuchungsabschnittes war die Überführung der vorhandenen und bisher nur unter Versuchsbedingungen betriebenen Biofilteranlage in einen den betrieblichen Bedingungen des Untersuchungsbetriebes entsprechenden praxisgerechten Ausbau mit anschließendem Betrieb über die Versuchsphase.

Der Projektantrag „Dränwasseraufbereitung in Gartenbaubetrieben – Überführung der vorhandenen Anlage in einen praxisgerechten Ausbau und Betrieb als Biofilter-Anlage“ wurde im Juli 2018 über das LANUV NRW beim MULNV NRW eingereicht und mit Schreiben vom 24.9.2018 (Aktenzeichen 17-02.04.01-16/2018) bewilligt.

Nach Bewilligung des Projektantrages erfolgten die notwendigen Ausschreibungen zur Durchführung der Arbeiten zum Anlagenrück- und Neubau im Winter 2018/im Frühjahr 2019. Nach der Auftragsvergabe im April 2019 wurde die Anlage umgebaut. Von Juni 2019 bis einschl. Oktober 2020 konnte der Anlagenbetrieb vor dem Hintergrund der zu bearbeitenden Fragestellungen dokumentiert und bewertet werden.

## 1.2 Ziele der Studie

Das beantragte Projektvorhaben hatte folgende Ziele:

- Rückbau der Pilotanlage und Neu-Errichtung einer Biofilteranlage, die – unter Berücksichtigung der bisherigen Versuchsergebnisse - den betrieblichen Anforderungen des Untersuchungsbetriebes entspricht sowie ein Betrieb dieser neu errichteten Anlage über einen geplanten 2-jährigen Versuchszeitraum. Die neue Anlage war so zu dimensionieren, dass alle relevanten von der Versuchsfläche anfallenden Dränwasserströme zur Reduzierung der Schadstofffrachten über die Anlage geleitet werden können.
- Die über die Anlage sowie die anschließend in den Vorfluter eingeleiteten Mengen waren im Versuchszeitraum über die Pumpenlaufzeiten quantitativ zu erfassen und zu bewerten.

- Es war ein Leitfaden zum Bau und Betrieb einer Biofilteranlage für von gartenbaulich genutzten Stellflächen abfließende Dränwässer zu erstellen, welcher – die Erkenntnisse der bisherigen Untersuchungen zusammenfassend – sowohl für Anlagenbetreiber als auch für den behördlichen Vollzug als Arbeitshilfe zum Bau und Betrieb entsprechender Anlagen dienen soll.
- Die Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens waren in einem Kurzbericht zusammenfassend darzustellen und zu interpretieren. Die bereits im Abschlussbericht zum vorhergehenden Untersuchungsvorhaben 2014-17 formulierten Empfehlungen zur Einführung entsprechender Anlagen in die Praxis waren zu überprüfen und ggf. anzupassen.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Beschreibung des Projektbetriebes**

Die Untersuchungen in diesem Projektabschnitt werden auf dem am südlichen Rand des Wasserschutzgebiets Kevelaer-Keylaer (WSG) im Kreis Kleve gelegenen Gartenbaubetrieb 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 Dränagerohren wurde eine Lava-Gesteinsschicht mit einer Schichtstärke von ca. 10 cm aufgebracht. Als Abschluss dient ein Maypex-Bändchengewebe, auf dem die Topfpflanzen aufgestellt werden.

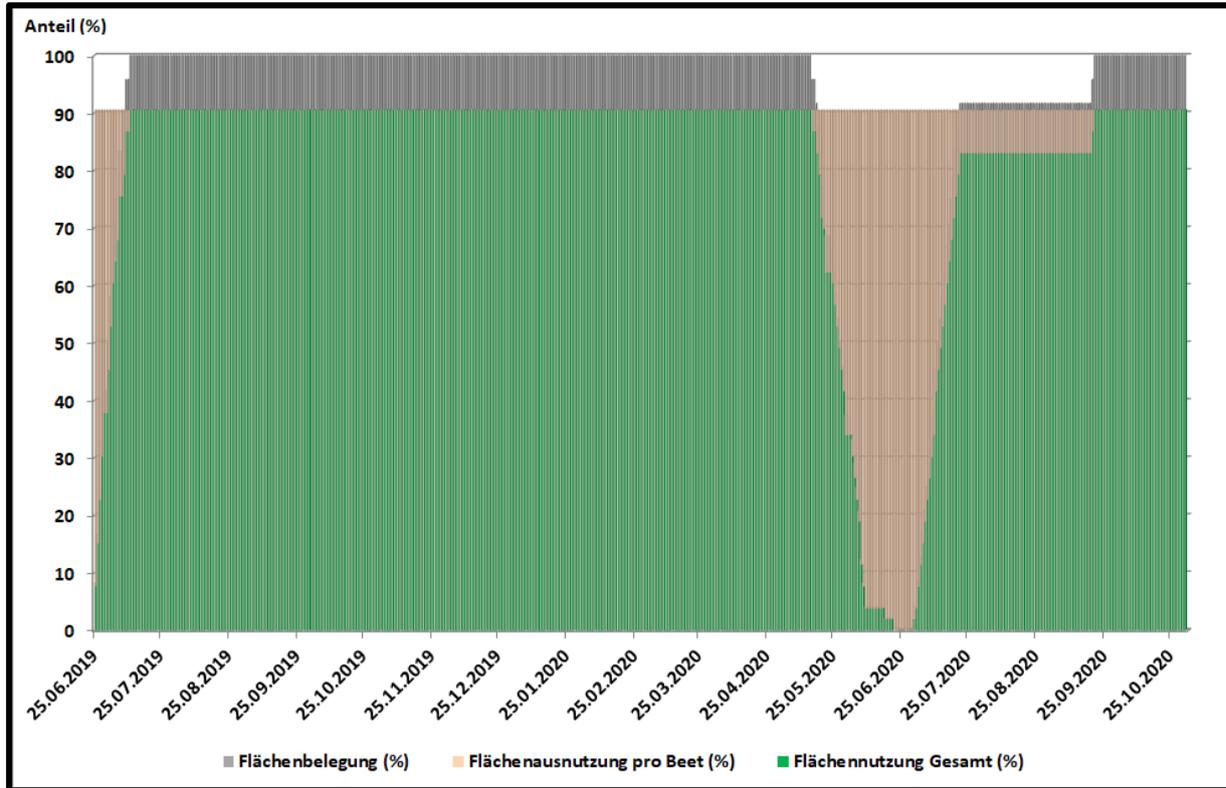
Die Dränagerohre enden in einem Sammelschacht, an dem sich zum einen der Anschluss an einen Notüberlauf zum Vorfluter und zum anderen die Biofilteranlage anschließen.

## 2.2 Nutzung der Versuchsfläche

Auf der Projektfläche wurde in den Jahren 2019 und 2020 die mehrjährige *Calluna vulgaris* (Besenheide) kultiviert. Im Juni 2019 wurden die restlichen für den Verkauf 2019 vorgesehenen Callunen breitgesetzt (Jungpflanzenkultur 2018/2019). Parallel hierzu wurden die „neuen“ Jungpflanzen für den Verkauf 2020 ab dem 25.6. bis zum 10.7.2019 in 12 cm Töpfe getopft und „Topf an Topf“ mit rd. 80 Töpfen/qm auf der Fläche ausgestellt. Im Folgejahr, ab dem 15. Mai 2020 bis zum 24.6.2020, wurden diese auf gewachsenen Boden in Paletten breitgesetzt. Ab dem 30.6.2020 bis zum 21.7.2020 wurden bis auf zwei Beete die Callunen für den Verkauf in 2021 getopft. Diese restlichen zwei Beete wurden in der 2. Septemberhälfte besetzt.

Es wurde im Beobachtungszeitraum die gesamte Fläche genutzt. Nur während des Kulturwechsels auf der Projektfläche durch Breitsetzen der einen Jungpflanzenkultur zum Fertigmultivieren auf andere Freilandflächen und Topfen der Jungpflanzen für das Folgejahr traten temporär freie Kulturflächen auf.

Sowohl durch die Nutzung weitgehend aller Beete, in die die Projektfläche unterteilt ist, als auch durch den engen Topfabstand auf den Beeten kommt es zu einer hohen Flächenausnutzung, die nur durch die Wahl eines eckigen Topfes statt eines runden Topfes noch gesteigert werden könnte. Durch das Topfen von Jungpflanzen auf allen Beeten und die Wahl des engen Topfabstandes „Topf an Topf“ ohne Zwischenräume zwischen den Töpfen auf der gesamten Fläche, kommt es zu der hohen Flächenausnutzung von rd. 91 % (**Abbildung 1**).



**Abbildung 1: Grafische Darstellung der Flächennutzung**

Vom Topfen bis zum „Breitsetzen“ der Pflanzen im Frühjahr werden diese mehrmals gestutzt, regelmäßig gedüngt und im Wesentlichen gegen pilzliche Krankheitserreger mit Fungiziden behandelt.

Die Nährstoffe werden mit der Bewässerung über zwei Gießwagen in flüssiger Form an die Pflanze gebracht.

**Tabelle 1: Übersicht über die von Juni 2019 bis Oktober 2020 erfolgten Düngegaben**

Jahr	Kultur	Düngemittel	Menge (g/l)	Häufigkeit u. Termin/Zeitraum
ab Juni 2019	Jungpflanzenkultur 2018/2019 (im Juni noch Teilflächen)	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	0,25 g/l 1,0 g/l	5 (13.6.-1.7.2019) 1 (16.6.2019)
2019/2020	Jungpflanzenkultur 2019/2020 Topfen: 25.6. bis 10.7.19 Breitsetzen: 15.5. bis 24.6.2020	Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	1,0 g/l	5 (17.7.- 15.9.2019) 10 (6.4.- 9.6.2020)
		NPK 11-11-30	1,0 g/l	1 (19.9.2019)
2020/2021	Jungpflanzenkultur 2020/2021 Topfen: 25.6. bis 18.7.20, M September	Peters Professional Plant Starter (NPK 10-52)	2,0 g/l	1 (18.7.2020)
		Hakaphos Soft Elite (24-6-12)	0,25 g/l 1,0 g/l	1 (2.7.2020) 2 (10.-20.9.2020)
		NPK 11-11-30	0,25 g/l (rd. 0,4 EC)	3 (6.7 bis 30.7.2020)

In der letzten Düngephase vor dem Breitsetzen wurde den Callunen im Juni 2019 mit insgesamt rd. 42 mg N/Pflanze eher eine verhaltene Düngung zuteil. Diese Mengen wurden über einen NPK 24-6-12 auf 6 Termine verteilt gegeben (**Tabelle 1**).

Die Jungpflanzenkultur 2019/2020 hat bei einer Wasseraufnahme/Topf von 100 ml in 2019 bis zum 19. September rd. 130 mg N/Pflanze erhalten. Auch hier wurden mehrmals N-betont ein NPK-Dünger (NPK 24-6-12) und einmal ein K-betonter Mehrnährstoffdünger (NPK 11-11-30) eingesetzt.

In 2019 wurde die letzte Bewässerungsmaßnahme der Kultur am 21.9. durchgeführt. Nach der Winterpause wurden die Pflanzen erstmals am 23.3.2020 bewässert. Anfang April erfolgte die erste Düngegabe mit einem N-betonten Mehrnährstoffdünger (NPK 24-6-12). Ab da erfolgten bis zum 20.6.2020 regelmäßige Düngegaben mit Stickstoff-(N-)Gaben von insgesamt rd. 370 mg N/Pflanze. Durch mehrmaliges Stutzen bekam die Pflanze die erforderliche Anzahl Seitentriebe und eine Dichte, die für die angestrebte Qualität erforderlich ist.

Die Jungpflanzen, die im Sommer 2020 getopft wurden, haben verteilt auf mehrere Gaben insgesamt rd. 82 mg N/Pflanze bis zum 20. September erhalten. Am 23.9.2020 wurde ein letzter Bewässerungsgang durchgeführt.

Die Pflanzenschutzmittel werden über ein separates Spritzgestänge am Gießwagen über den Callunen ausgebracht. Eine Übersicht über die erfolgten Maßnahmen befindet sich in **Tabelle 2**.

**Tabelle 2: Übersicht über die von April 2019 bis Oktober 2020 erfolgten Pflanzenschutzmaßnahmen**

Kultur	Jahr	Anwendungsdatum	Mittel	Wirkstoff	Wirkstoffgehalt	Einheit	Wirkstoff			
							Mittel (kg bzw. l/ha)	g/ha		
JP. Kultur '19/'19	2019	05.04.2019	Malvin	Captan	800	g/kg	1,8	1.440,0		
		10.04.2019	Bandur	Aclonifen	600	g/l	2	1.200,0		
		06.05.2019	Cercobin FL	Thiophanat-methyl	500	g/l	1	TF <sup>1)</sup>	250,0	
		07.05.2019	Cercobin FL	Thiophanat-methyl	500	g/l	1	TF	250,0	
		22.05.2019	Cercobin FL	Thiophanat-methyl	500	g/l	1	TF	250,0	
		27.05.2019	Luna Sensation	Fluopyram	250	g/l	0,8		200,0	
				Trifloxystrobin	250	g/l	0,8		200,0	
		04.06.2019	Collis	Boscalid	200	g/l	0,6		120,0	
				Kresoxim-methyl	100	g/l	0,6		60,0	
		JP. Kultur 2019/2020	2019	27.06.2019	Bandur	Aclonifen	600	g/l	3	TF
28.06.2019	Bandur			Aclonifen	600	g/l	3	TF	900,0	
08.08.2019	Malvin WG			Captan	800	g/kg	1,8		1.440,0	
10.08.2019	Sencor Liquid			Metribuzin	600	g/l	0,5		300,0	
17.08.2019	Cercobin FL			Thiophanat-methyl	500	g/l	1		500,0	
28.08.2019	Dithane			Mancozeb	750	g/kg	2	TF	750,0	
29.08.2019	Dithane			Mancozeb	750	g/kg	2	TF	750,0	
02.09.2019	Mirage 45 EC			Prochloraz	450	g/l	1,2		540,0	
17.09.2019	Gallant Super			Haloxifop-P	104	g/l	0,5		52,0	
24.10.2019	Gallant Super			Haloxifop-P	104	g/l	0,5		52,0	
28.10.2019	Askon			Azoxystrobin	200	g/l	1		200,0	
				Difenoconazol	125	g/l			125,0	
JP. Kultur 2020/2021	2020			06.04.2020	Malvin WG	Captan	800	g/kg	1,8	1.440,0
				28.04.2020	Sencor Liquid	Metribuzin	600	g/l	0,5	300,0
				30.04.2020	Askon	Azoxystrobin	200	g/l	1	200,0
						Difenoconazol	125	g/l		125,0
				26.05.2020	Cercobin FL	Thiophanat-methyl	500	g/l	1	500,0
		18.08.2020	Askon	Azoxystrobin	200	g/l	1	200,0		
				Difenoconazol	125	g/l		125,0		
		02.09.2020	Sencor Liquid	Metribuzin	600	g/l	0,5	300,0		
		04.09.2020	Mirage 45 EC	Prochloraz	450	g/l	1,2	540,0		
		23.09.2020	Gallant Super	Haloxifop-P	104	g/l	0,5	52,0		
24.09.2020	Cercobin FL	Thiophanat-Methyl	500	g/l	1	500,0				
		Fungizid		1) Teilflächenbehandlung						
		Herbizid								
		Insektizid								

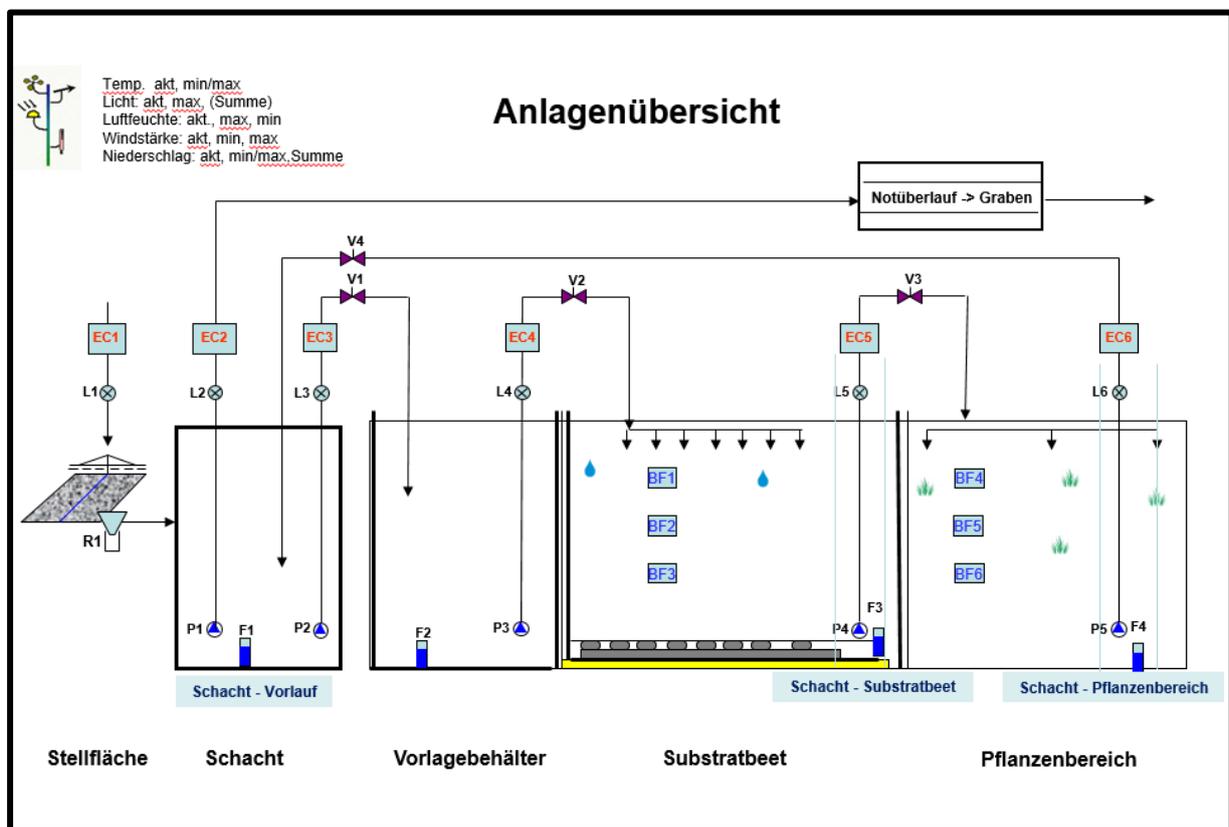
Bei der Jungpflanzenkultur erfolgen angepasst an Infektionsdruck und Witterung Behandlungen gegen den Blattfleckenerreger *Glomorella cingulata* und den Grauschimmelfäuleerreger *Botrytis cinerea*. Zudem erfordert der Zuflug von Wildkräuter- und Gräsersamen die Behandlung der Pflanzen mit Herbiziden über Kopf bzw. der Stellfläche vor Kulturbeginn.

### 2.3 Auf- bzw. Umbau der Versuchsanlage

Im dem hier vorgestellten Untersuchungsvorhaben wurde die in den vorhergehenden Untersuchungsvorhaben der Jahre 2011 – 2014 und 2014 – 2017 errichtete bzw. betriebene Pilotanlage rückgebaut und in eine Anlage überführt, deren Dimensionierung sich an den bisherigen Ergebnissen orientiert. Die bauliche Ausführung wurde mit den Betriebsleitern der Gartenbaubetriebe und zugleich Mitgliedern der Wasserschutzkooperation Kevelaer-Keylaer abgestimmt.

Die in den vorhergehenden Versuchsjahren verwendete Pilotanlage bestand aus den drei Stufen Vorlagebehälter (mit dem vorgelagerten Sammelschacht, in den die Dränageröhre aus der angeschlossenen Fläche mündeten), einem unter Flur angelegten und überdachten Substratbeet als zweite Stufe und einem Pflanzenbereich als Versickerungsfläche als dritte Stufe. Zur Erfassung der qualitativen und quantitativen (Drän-)Wasserbeschaffenheitsdaten und ihrer Entwicklung während des Anlagendurchflusses waren an allen Übergängen der

einzelnen Anlagenstufen Sensoren, vernetzt mit einer Langzeitspeicherung, installiert (**Abbildung 2**). Das von der Versuchsfläche abfließende Dränwasser wurde zunächst im Vorlaufschacht gesammelt. Von hier wurde mittels einer Pumpe die Vorlage beschickt. Über eine zweite Pumpe im Vorlaufschacht wurden überschüssige Wassermengen, die zum jeweiligen Zeitpunkt das Fassungsvermögen des Vorlagebehälters überstiegen, direkt in einen als Notüberlauf verwendeten Vorfluter abgeschlagen. Der weitere Transport der anfallenden Dränwässer durch die Anlage, d. h. aus dem Vorlagebehälter ins Substratbeet, von hier in den Pflanzenbereich zur Versickerung und - soweit notwendig - aus dem Pflanzenbereich in den als Abschlag genutzten Vorfluter, erfolgte ebenfalls über Pumpen. Aufgrund der anfallenden Mengen wurden aus dem Versickerungsbereich keine Wässer zurück in den Vorlaufschacht und als weiteres in die Vorlage gepumpt.



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

### Abbildung 2: Schematischer Aufbau der dreistufigen Anlage

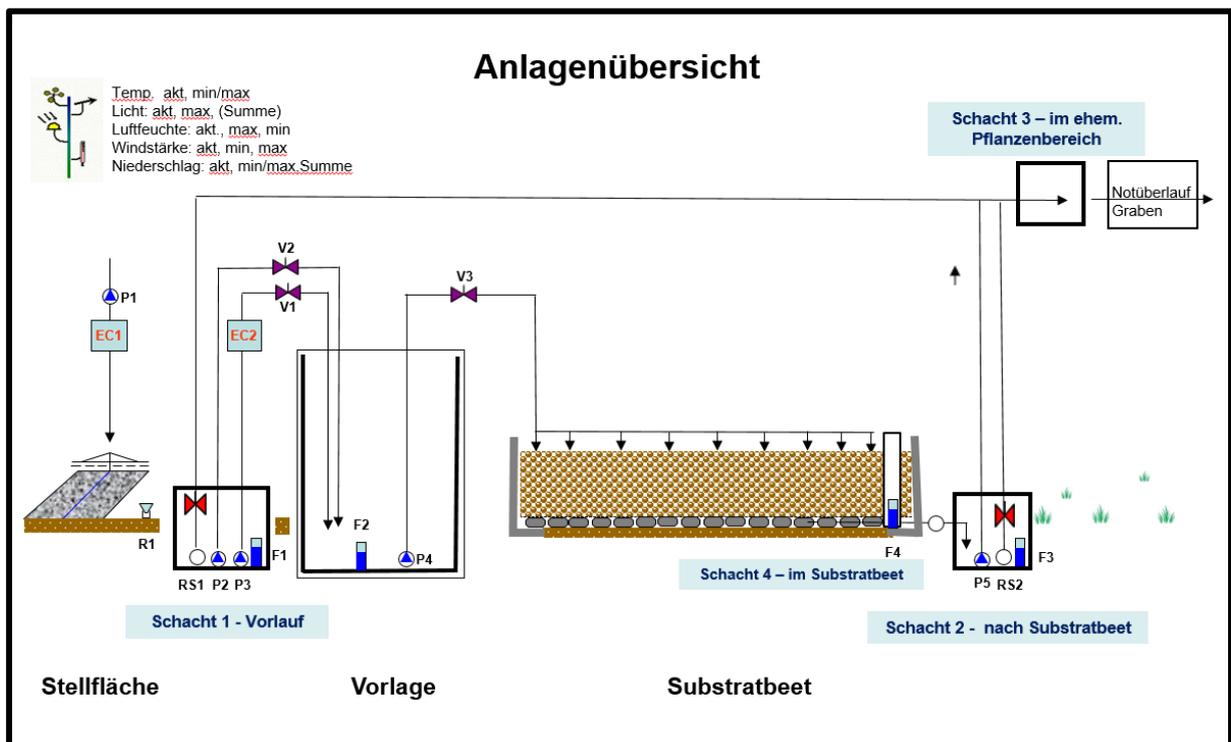
Unter Berücksichtigung der aus dem Betrieb dieser Pilotanlage resultierenden Ergebnisse wurde im Rahmen des hier durchgeführten Untersuchungsvorhabens die dreistufige Anlage um den Versickerungsbereich reduziert und in eine zweistufige Anlage umgebaut (**Abbildung**

3). Hierbei wurde das Volumen des Vorlagebehälters von rd. 120 auf rd. 250 m<sup>3</sup> verdoppelt und die Schichtstärke des Substrats im Substratbeet von rd. 50 cm auf 1 m erhöht.

Das bisher nach unten geschlossene Substratbeet wurde als offenes Beet ausgeführt und über Flur gelegt (**Abbildung 4**). Hiermit wird das Substratbeet vor Überflutung als Folge von z. B. Starkregenereignissen und dem damit verbundenen Verlust des Luftporenvolumens geschützt. Die Einfassung des Substratbeets erfolgte mit L-Betonsteinen.

Unterhalb der Substratschicht wurde eine Dränage zur Fassung der durch das Substratbeet durchsickernden Dränwässer verlegt. Eine auf dem Substratbeet installierte Düsenbewässerung ermöglicht eine Wasserverteilung auf dem Beet von bis zu 250 m<sup>3</sup>/Tag. Das Beet wurde nicht überdacht (**Abbildung 5**).

Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten am Standort und der geringen Versickerungsleistung im Pflanzenbereich der Pilotanlage wurde in der aktuellen Anlage auf einen Pflanzenbereich verzichtet.

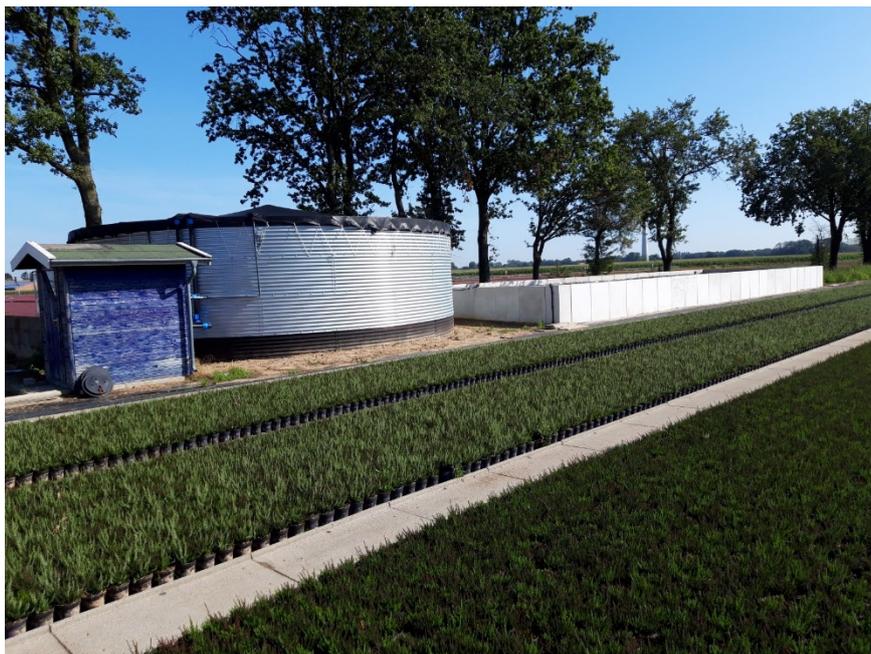


(EC1, EC2: EC-Sensoren, R1: Regenmesser, P1-P5: Pumpen, F1-F4: Füllstandsensoren, V1-V3: Ventile, o: Ablauf über Schwerkraft, RS1-RS2: Rückschlagklappen)

**Abbildung 3: Schematischer Aufbau der zweistufigen Biofilteranlage**



**Abbildung 4: Das Substratbeet wurde über Flur angelegt**



**Abbildung 5: Die Praxisanlage besteht aus zwei Stufen: einem Stahlbehälter mit einer Speicherkapazität von ca. 250 m<sup>3</sup> und dem Substratbeet mit einer Fläche von ca. 150 qm.**

Im Anlagenbetrieb fördern im ersten Schacht, dem sog. Vorlaufschacht, zukünftig beide Pumpen die Wässer in den Vorlagebehälter. Über einen Notüberlauf in diesem Schacht kann bei Dränwasseranfall oberhalb des Fassungsvermögens der Vorlage bzw. der

Pumpenleistung oder in Anlagenpausen (Winter) das Dränwasser entlang eines hydraulischen Gradienten Wasser frei in den Vorfluter abfließen.

Für die Untersuchungsphase wird das im (zweiten) Ablaufschacht hinter dem Substratbeet ankommende Dränwasser mittels einer Pumpe weitertransportiert. Da in dem nach unten offenen Substratbeet Wasserverluste durch Versickerung zu erwarten waren, können durch die Laufzeiten dieser Pumpe die aus dem Substratbeet abfließenden Wassermengen und damit – im Vergleich zu den ins Substratbeet eingeleiteten Dränwassermengen - auch die Versickerungsverluste im Substratbeet quantifiziert werden. Nach Abschluss dieser 3. Projektphase ist ein Rückbau dieser Pumpe vorgesehen, das Dränwasser kann anschließend auf Grund eines Niveauunterschiedes zum Vorfluter (oder einer ggf. noch nachzuschaltenden Versickerungsmulde) frei abfließen.

Der Umbau der Anlage wurde im Frühjahr 2019 durchgeführt. Ab Juni wurde die Anlage in Betrieb genommen.

### **2.3.1 Substratzusammensetzung im Substratbeet**

Eine weitere Änderung wurde bei der Zusammensetzung des organischen Substrats im Substratbeet vorgenommen. Das Substratbeet ist der zentrale Teil der Biofilter-Anlage. In diesem erfolgt im Wesentlichen die Retention bzw. Reduzierung der Nitrat- und Pflanzenschutzmittelrückstände. Das mikrobiell aktive Substrat bestand in der dreistufigen Pilotanlage aus einer Mischung von Stroh, Holzhackschnitzeln und Mutterboden/Torf (jeweils zu gleichen Teilen). Bei einer Fläche von rd. 150 qm und einer Schichtstärke von gemittelt rd. 50 cm stand in der dreistufigen Anlage ein Substratvolumen von rd. 75 m<sup>3</sup> zur Verfügung (**Abbildung 6**).



**Abbildung 6:** In der Pilotanlage 2011 bestand das Substrat zu 1/3 aus Stroh.

Auf Grund von Mineralisierungs- und Setzungsprozessen im organischen Substrat kommt es zu einer natürlichen Sackung des Substratkörpers. In den vorhergehenden Untersuchungsvorhaben wurden erste Sackungsverluste ca. zwei Jahre nach Inbetriebnahme der Pilotanlage zunächst mit derselben Substratmischung ausgeglichen. Anfang 2017 wurde das Substratbeet mit Rindenmulch aufgefüllt.

Um diese Setzungs- und Mineralisierungsprozesse des Substratkörpers - mit denen eine reduzierte Dränfähigkeit und Leistungsfähigkeit einhergeht – zu verlangsamen, wurde im Substrat der aktuellen Anlage der Strohanteil durch Holzhackschnitzel ersetzt. Der Holzhackschnitzelanteil steigt damit auf rd. 60 %. Das vorhandene Altsubstrat wurde zur (mikrobiellen) Aktivierung des in die aktuelle Anlage eingebrachten Substrates (vollständig) wiederverwendet (entspricht einem Anteil von rd. 25 %) und mit Torf aufgefüllt (entspricht rd. 15 %). Um eine minimale Schichtstärke des Substratkörpers von 50 cm trotz der auch im aktuellen Substratkörper zu erwartenden Sackungen über mehrere Jahre zu gewährleisten, wurde die Schichtstärke auf 1 m erhöht (**Abbildung 7**).



**Abbildung 7: In der Praxisanlage wurde der Strohanteil durch Holzhackschnitzel ersetzt**

## **2.4 Datenerfassung / Messkonzept**

Das Messkonzept der beiden vorausgegangenen Studien wurde konzeptionell fortgeführt, allerdings in einem reduzierten Umfang, da es im Rahmen der hier durchgeführten Studie nicht um die Erarbeitung neuer Grundlagendaten, sondern im Wesentlichen um die Verifizierung der Erkenntnisse der Vorgängerstudien unter den Bedingungen des Anlagenbetriebs im Praxismaßstab ging.

### **2.4.1 Klima, Bewirtschaftung, Volumenströme**

Bei den Klimaparametern wurden u. a. die relative Luftfeuchte und Temperatur (14:00 Uhr) über eine Wetterstation am Betrieb sowie die Niederschläge über einen separaten Messer an der Projektfläche erfasst. Weiterhin 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 vom Projektbetrieb zur Verfügung gestellt.

In der Anlage wurde die Messtechnik gegenüber der Pilotanlage deutlich reduziert: Im Vorlaufschacht verblieben die Sensoren zur EC-Messung, in den beiden Schächten, der Vorlage und dem Substratbeet die Füllstandsensoren.

Die Dränwassermengen/Volumenströme an den jeweiligen Anlagenstufen wurden über die Pumpenlaufzeiten ermittelt.

Alle Daten, die über Pumpen und Füllstandsensoren sowie an der Klimastation ermittelt werden, werden als Minutenwerte elektronisch erfasst und über eine entsprechende Software auf einem Computer am Betriebsstandort in eine Langzeitspeicherung abgelegt. Die Software bzw. die hier abgelegten Daten wurden in regelmäßigen Abständen abgefragt und ausgewertet. Die Fortschreibung der Daten erfolgte analog zu den vorangegangenen Projektabschnitten.

## 2.4.2 Hydrochemie

Hydrochemische Untersuchungen wurden durchgeführt zur Erfassung der Dränwasserbeschaffenheit vor und nach Durchlauf durch die Biofilteranlage. Erweitert wurden diese Untersuchungen durch einen Leistungsversuch Substratbeet.

### 2.4.2.1 Dränwasserbeschaffenheit

Zur qualitativen Untersuchung der Dränwasserbeschaffenheit vor und nach dem Durchfluss durch die Biofilteranlage wurden an den beiden Beprobungspunkten „Vorlage“ (Vorlagebehälter) sowie „Ablauf“ (Sammelschacht hinter dem Substratbeet) in ca. 4-wöchentlichem Rhythmus Wasserproben entnommen und auf Rückstände potenziell relevanter Pflanzenschutzmittel sowie die wesentlichen N-Parameter untersucht (**Tabelle 3**).

- Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe (PSM) „Gartenbau“: weitgehend gleicher Untersuchungsumfang wie auch bereits in den Vorgänger-Studien.
- N-Parameter: Umfang von N-Parametern, insbesondere zur Beschreibung der Nitratentwicklung in den untersuchten Wasserproben.
- Auf eine Untersuchung der in den beiden vorhergehenden Studien ebenfalls untersuchten Parameterumfänge „AC<sub>Standard</sub>“ und „PSM-Wirkstoffe 22er-Liste“ wurde im Rahmen des hier durchgeführten Projektes plangemäß verzichtet, da diese im Rahmen des aktuellen Projektes eine nicht mehr für nötig befundene Charakterisierung des verwendeten Beregnungswassers zum Zweck hatten.

**Tabelle 3: Untersuchte Parameterumfänge**

<b>N- und vor-Ort-Parameter</b>	<b>PSM "Gartenbau"</b>
Temperatur	Azoxystrobin
el. Leitfähigkeit	Boscalid
pH	Carbendazim
Nitrat	Chlorthalonil
Nitrit	Cyprodinil
Ammonium	Fenhexamid
	Flonicamid
	Fluazinam
	Fludioxinil
	Imidacloprid
	Iprodion
	Kresoximmethyl
	lambda-Cyhalothrin
	Metalaxyl
	Methiocarb
	Metribuzin
	Pencycuron
	Pyraclostrobin
	Thiophanat-methyl

Die Probenahmen erfolgten im Zeitraum vom 26.6.2019 bis 15.10.2020.

### 2.4.2.2 Leistungsversuche Substratbeet

Da die tatsächliche tägliche Beaufschlagungsmenge des Substratbeetes mit Dränwässern unter „normalen“ Niederschlagsbedingungen deutlich unterhalb ihres maximalen Aufnahmevermögens liegt, wurde innerhalb eines „Leistungsversuches“ getestet, ob diese maximale Beaufschlagungsmenge noch zu einer hinreichenden Retention enthaltener PSM-Rückstände führt.

Zu diesem Zweck wurde der Vorlagebehälter (250 m<sup>3</sup>) am 5.8.2020 mit Unterstützung durch die Stadtwerke Kevelaer mit Trinkwasser gefüllt und mit einer definierten Konzentration ausgewählter Pflanzenschutzmittel versetzt. Aus dem Vorlagebehälter wurde das Substratbeet innerhalb der folgenden 24 Stunden mit ca. 190 m<sup>3</sup> beaufschlagt. Die beaufschlagten Wässer wurden zu Beginn des Versuches auf die tatsächliche Konzentration

der zugesetzten Pflanzenschutzmittel untersucht sowie nach 19 und 26 Stunden auch zweimal die PSM-Konzentrationen im Ablauf des Substratbeetes.

Aufkonzentriert wurde das beaufschlagte Wasser weitgehend mit den Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und Zielkonzentrationen, die auch bereits in den Leistungsversuchen des Untersuchungsvorhabens 2014 - 2017 verwendet worden waren. Ausgewählt worden waren seinerzeit PSM-Wirkstoffe, die in den Untersuchungen durch erhöhte Befunde aufgefallen waren, sowie der Wirkstoff Aclonifen, der potenziell eine Einsatzalternative zu dem Wirkstoff Metribuzin darstellen kann (**Tabelle 4**).

**Tabelle 4: Im Leistungsversuch Substratbeet verwendete PSM-Wirkstoffe sowie die im Vorlagebehälter eingestellten Zielkonzentrationen**

Mittel	Wirkstoff	Zielkonzentration [µg/l]
Signum	Boscalid	100
	Pyraclostrobin	25
Bandur	Aclonifen	60
Sencor Liquid	Metribuzin	210
Epok	Fluazinam	20
	Metalaxyl-M	9,67

### 2.4.2.3 Abschlagsmanagement

Die Fahrweise der Anlage und damit die täglich über die Anlage geführten Wassermengen wurden nach Inbetriebnahme der Anlage zunächst an die Bewirtschaftung der Fläche (Beregnungshäufigkeit und daraus resultierende Dränwassermengen) und an die Witterung angelehnt. Später wurde eine konstante Tagesmenge zur Beaufschlagung des Substratkörpers eingestellt. Im Einzelnen bedeutete dies:

Ab Juni 2019 wurde die Anlage nach der Fertigstellung des Umbaus wieder in Betrieb genommen. Nach einigen Probeläufen wurde die Tagesmenge zur Beaufschlagung des Substratkörpers zunächst auf max. ca. 24 m<sup>3</sup>/Tag eingestellt. Dieser Wert leitete sich ab aus dem Mittelwert der anfallenden Drän-Wassermengen, die in den voran gegangenen (7) Tagen in die Vorlage gepumpt wurden. Aufgrund geringer Niederschläge und regelmäßiger Bewässerungsgaben wurde diese maximal zu beaufschlagende Tagesleistung von Mitte Juni bis Ende September auf rd. 9,5 m<sup>3</sup> herabgesetzt. Im Vordergrund stand die regelmäßige Beschickung der Anlage, um das Substrat in den Sommermonaten nicht trocken fallen zu lassen.

Anfang Oktober wurde die maximale Tagesleistung auf rd. 112 m<sup>3</sup>/Tag erhöht, da ein rd. 46 mm umfassendes Niederschlagsereignis in kurzer Zeit die Vorlage füllte und weitere angekündigte Regenereignisse die zügige Entlastung der Vorlage geboten.

Da weitere Regenereignisse bis zum 10. Oktober eine Niederschlagsmenge von insgesamt rd. 98 mm brachten, wurde die hohe Tagesleistung beibehalten.

Nach den Frostnächten Mitte Januar konnten an den auf dem Substratbeet installierten Bewässerungsdüsen Frostschäden beobachtet werden. Die Anlage wurde aufgrund dessen bis Anfang April außer Betrieb genommen. Vor Inbetriebnahme Anfang April wurden die erforderlichen Reparaturen, Wartungs- und Pflegearbeiten durchgeführt.

Ab Anfang April 2020 wurde die Anlage wieder in Betrieb genommen, die maximal zu beaufschlagende Tagesmenge wurde auf rd. 36 m<sup>3</sup>/Tag festgelegt.

#### 2.4.2.4 Untersuchung des Substratbeet-Substrats

Zur Bewertung der Qualität und Leistungsfähigkeit der im Substratbeet verwendeten Substratmischung wurde das Substrat zu Beginn und ein Jahr nach Inbetriebnahme der Anlage auf seine physikalischen Eigenschaften analysiert. Zudem wurde ein Test zur Bestimmung seiner N-Immobilisierungs-Kapazitäten (Zöttltest) durchgeführt und die Wasserdurchlässigkeit (in Anlehnung an die FLL-Methode Dachsubstrate) bestimmt.

Diese Ergebnisse wurden mit den Werten der ersten Substratmischung aus den vorhergehenden Untersuchungsvorhaben verglichen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Bewirtschaftung der Versuchsfläche

In den Jahren 2019 und 2020 wurden wie in den Vorjahren im Juni/Juli die Callunenjungpflanzen für den Verkauf im Folgejahr mit einer hohen Bestandsdichte getopft. Ab Mai des Folgejahres beginnt das Breitsetzen der Pflanzen und damit das Räumen der Fläche.

Von April bis Mitte September/ Oktober fanden (siehe auch **Kapitel 2.2**) Bewässerungs-, Dünge- und Pflanzenschutzmaßnahmen statt. In der folgenden Tabelle sind die Wassermengen pro Jungpflanzenkultur und pro Kalenderjahr dargestellt (**Tabelle 5** u. **Tabelle 6**).

**Tabelle 5: Zusammenstellung der im Vegetationszeitraum zugeführten Wassermengen aus Bewässerungs- und Düngemaßnahmen**

Callunenkultur	JP 18/19	JP 19/20	JP 20/21
Zeitraum	1. bis 22.6.19	1.7.19-24.6.20	ab 25.06.20
Mengen mit Düngung (m <sup>3</sup> ): Topfen bis Ende Oktober	(nicht erfasst)	502	515
Mengen mit Düngung (m <sup>3</sup> ): April/Mai/Juni	100	922	(nicht erfasst)
<b>Zufuhr über Düngung insgesamt (m<sup>3</sup>)</b>	<b>100</b>	<b>1.424</b>	<b>515</b>
Bewässerungsgaben: Topfen bis Ende Oktober	(nicht erfasst)	3.154	3.553
Bewässerungsgaben: Mitte März bis Breitsetzen (Juni)	Juni: 297	4.510	(nicht erfasst)
<b>Zufuhr über Bewässerung insgesamt (m<sup>3</sup>):</b>	<b>297</b>	<b>7.664</b>	<b>3.553</b>
<b>Zufuhr gesamt (m<sup>3</sup>)</b>	<b>397</b>	<b>9.088</b>	<b>4.068</b>

Aufgrund der vergleichsweise geringen Niederschläge in den Monaten Juli 2019, April, Mai (und Juni) 2020 wurde das Niederschlagsdefizit durch erhöhte Bewässerungsgaben ausgeglichen. Zudem fallen Phasen mit extrem hohen Temperaturen im Juli 2019 in diesen Kulturzeitraum (siehe auch **Kapitel 3.2**).

**Tabelle 6: Zusammenstellung der Wassermengen aus Dünge- und Bewässerungsgaben, bezogen auf das Kalenderjahr im Vergleich zu den Niederschlagsmengen**

Kalenderjahr	2019	2020
Zeitraum	1.6. bis 31.12.	1.1. bis 31.10.
Bewässerung/Düngung (m <sup>3</sup> )	4.053	9.501
Niederschläge (mm bzw. m3)	509,1 (5.010)	492,2 (4.922)

Im Vergleich der beiden Jahre sind in den sieben Monaten in der 2. Jahreshälfte 2019 mehr Niederschläge als in den ersten 10 Monaten 2020 gefallen.

Eine kleine Ausgangspflanze Mitte 2019 erforderte noch N-Gaben von rd. 120 mg/Pflanze bis in den Herbst. Eine größere Jungpflanzenqualität im Sommer 2020 erforderte bis Ende September N-Gaben von insgesamt rd. 82 mg N/Pflanze. Aufgrund der bisher zunehmend milden Temperaturen in den Herbst-/Wintermonaten wird eine gegenüber den Vorjahren kompaktere Qualität als Ausgang für das Folgejahr angestrebt. Mit den Düngegaben von

insgesamt rd. 370 mg N/Pflanze (flüssig) liegt das Düngenniveau der Jungpflanzenkultur 2019/20 im Rahmen der bisherigen Beobachtungen.

### 3.2 Witterung

Im Folgenden werden die Entwicklung der Temperaturen im Projektzeitraum und die Niederschlagsmengen dargestellt.

Die Temperaturen in den beiden Jahren verlaufen in den beiden ersten Monaten nahezu parallel: bis zum 15. Januar steigen in 2019 die Tagestemperaturen auf max. 8 °C. In 2020 werden max. rd. 13 °C erreicht. Im Mittel der 15 Tage liegen die Werte in 2020 rd. 1,5 °K über denen des Vorjahres. In der 2. Januarhälfte kam es in beiden Jahren zu einem Kälteeinbruch mit Tiefsttemperaturen (um 14.00 Uhr) von rd. -2,1 °C (2019) bzw. 1,2 °C (2020).

Im Februar stiegen die Werte auf max. 19,1 °C (2019), bzw. 15,9 °C (2020).

Im März liegen die Höchsttemperaturen bei 18,4 °C (2019) bzw. 16,1 °C (2020). Im Mittel ist der März in 2019 um 0,9 °K wärmer als in 2020.

Im April klettern die Tagestemperaturen erstmals über 20 °C, am 22.4.2019 auf 23,8 °C, am 8.4.2020 auf 23,9 °C.

Im Mai 2020 ist es am wärmsten Tag mit 26,5 °C rd. 3,6 °K wärmer als am wärmsten Tag des Vorjahresmonats. Auch im gesamten Mittel ist es im Mai 2020 rd. 2,5 °K wärmer als im Vergleichsmonat 2019.

Mit Mitteltemperaturen von 23,5 °C ist der Juni 2019 mit Maximaltemperaturen von 32,7 °C um 1,7 °K wärmer als der Vergleichsmonat 2020. Hier stieg das Thermometer am wärmsten Tag auf 28,7 °C.

Der Juli und August 2019 weisen eine Mitteltemperatur von 23,4 °C auf, wobei im Juli das Thermometer bis auf 36,6 °C und im August auf 32,6 °C anstieg.

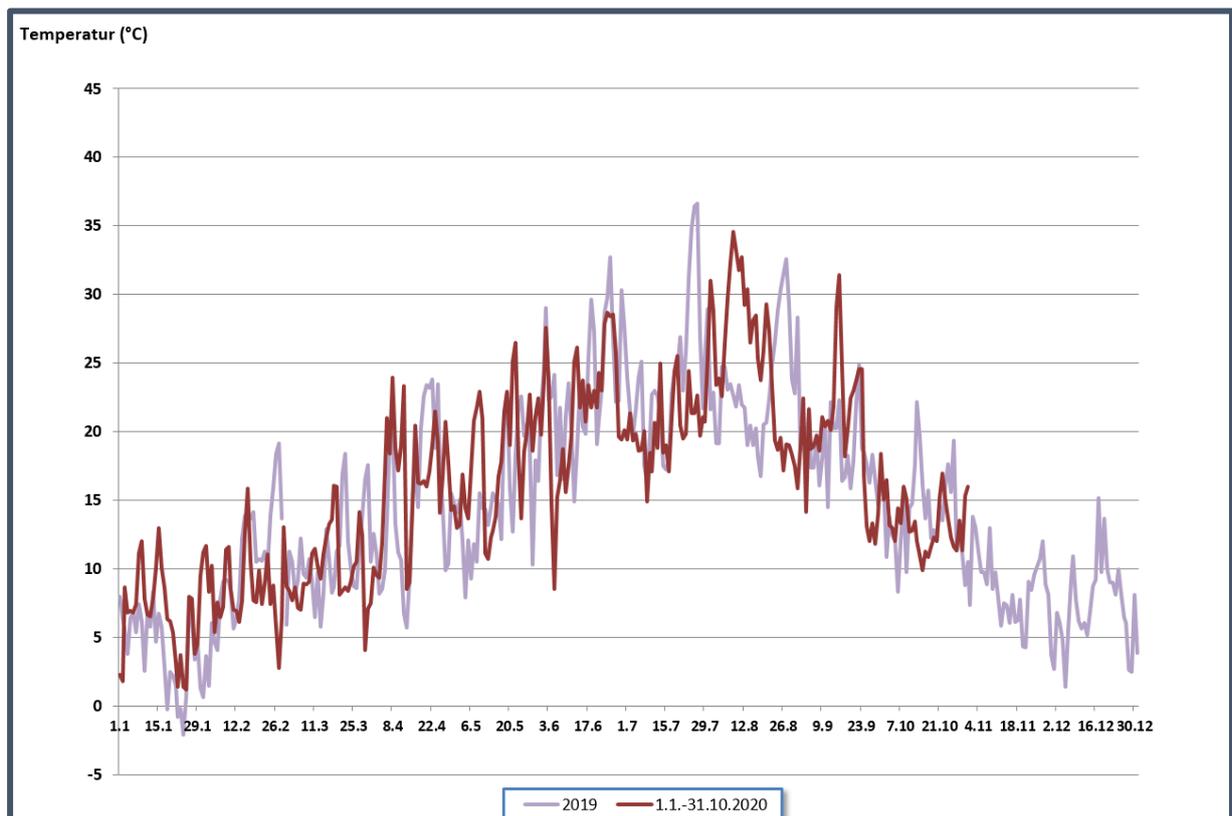
Mit einer Mitteltemperatur von 20,8 °C und einer Höchsttemperatur von 31 °C war der Juli 2020 kühler. Der August war hingegen rd. 1,8 °K wärmer als der entsprechende Vorjahresmonat: im Mittel wurden 25,2 °C und im Maximum 34,6 °C gemessen.

Der September 2020 war mit einer Mitteltemperatur von rd. 20 °C und einer Höchsttemperatur von 31,4 °C rd. 1,4 °K wärmer als der Vorjahresmonat, in dem maximal 24,9 °C gemessen wurde.

Im November 2019 werden noch Tageswerte von bis zu 13,8 °C gemessen, im Dezember steigt die Quecksilbersäule nochmals bis auf 15,2 °C an. Die Mitteltemperaturen liegen im November bei 8,6 °C und im Dezember bei 7,3 °C.

In Betrachtung der monatlichen Tagesmitteltemperaturen von Januar 2019 bis Oktober 2020 waren der Januar, Mai, August und September 2020 wärmer als die Vorjahresmonate. Bei den übrigen 6 Monaten (Februar, März, April, Juni, Juli und Oktober) lagen die Tagesmitteltemperaturen insbesondere in der ersten Jahreshälfte 2019 über denen des Folgejahres.

In **Abbildung 8** sind die Temperaturverläufe vom 1.1.2019 bis zum 31.10.2020 dargestellt.



**Abbildung 8: Temperaturverlauf (gemessen um 14:00 Uhr) vom 1.1.2019 bis zum 31.10.2020.**

Zur Niederschlagsverteilung am Projektort: In **Abbildung 9** ist die Niederschlagsverteilung am Projektstandort als monatliche Niederschlagssumme des Zeitraumes Januar 2019 bis Oktober 2020 einem 9-jährigen Mittel von 2012 bis 2020 sowie dem besonders „nassen“ Jahr 2016 gegenübergestellt (**Abbildung 9**).

Zunächst zu den Eckdaten der Jahre 2019 und 2020: Am Projektstandort wurde mittels Regenmesser eine Gesamtniederschlagsmenge in 2019 von 750 mm gemessen. In 2020 konnten bis einschließlich Oktober insgesamt rd. 492 mm gemessen werden.

Die monatlichen Gesamtmengen bleiben in 2019 von April bis Juli unter 50 mm. Noch extremer ist der Verlauf in 2020: hier kommen zu den Monaten April bis Juli auch im August die

Niederschlagsmengen nicht über 50 mm. Insbesondere im April und Mai sind die Niederschlagsmengen von 8 und 5 mm gefolgt von 24 mm im August extrem niedrig.

Im Vergleich hierzu ergaben sich im 9-jährigen Mittel (2012 – 2020; ermittelt unter Hinzuziehung der Daten der vorhergehenden Untersuchungsvorhaben) mit Ausnahme der Monate März und April monatliche Niederschlagsmengen von mehr als 50 mm.

Im regenreichen Jahr 2016 wurden in den Monaten Juli und September mit 28 bzw. 37 mm sowie im Dezember mit rd. 30 mm Werte unterhalb der 50 mm-Marke gemessen.

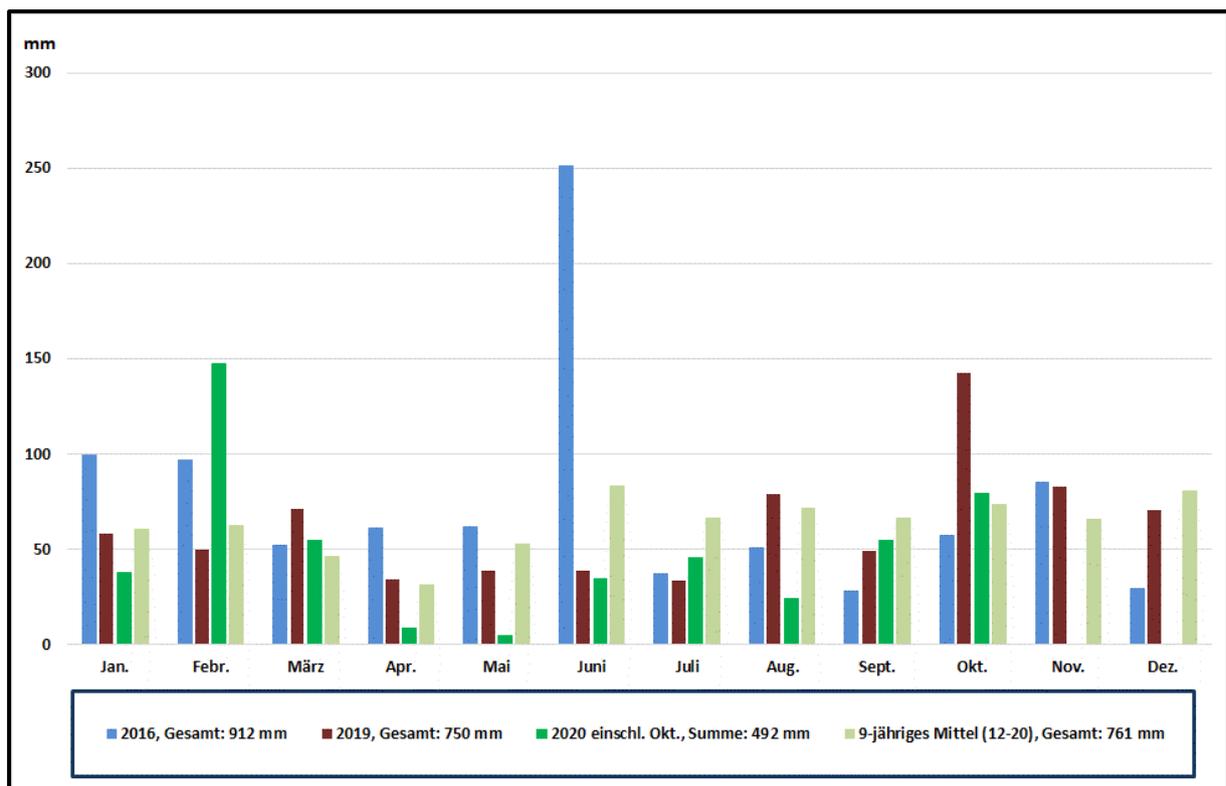


Abbildung 9: Monatliche Niederschlagsmengen am Projektstandort

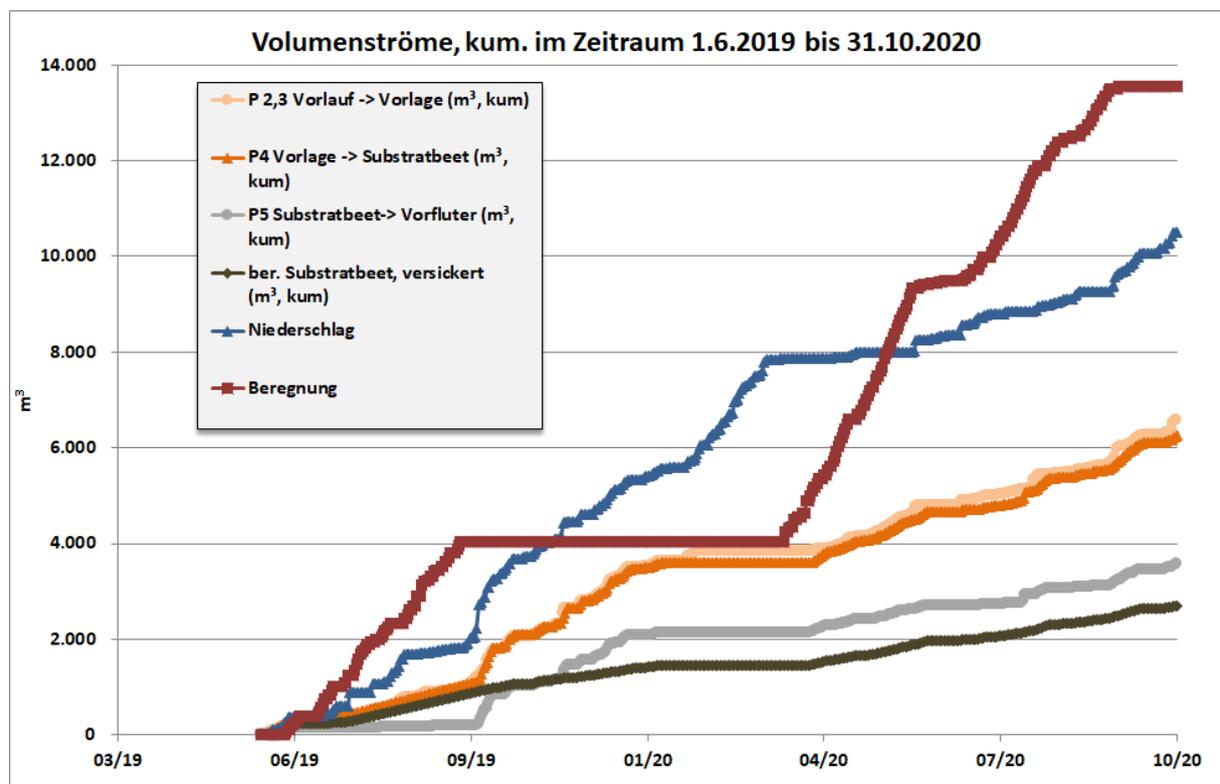
### 3.2.1 Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme

Die quantitative Entwicklung der über die Anlage geleiteten Dränwassermengen wurde über die Laufzeit und Leistung der Pumpen (L1 bis L5, **Abbildung 10**) ermittelt. Aus der Differenz der auf das Substratbeet gepumpten und den über Schacht 3 in den Vorfluter gepumpten Dränwassermengen wurden die im Substratbeet verdunsteten / versickerten Mengen berechnet.

Nicht quantifizieren lassen sich die Wassermengen, die im Vorlaufschacht und nach dem Substratbeet über Schwerkraft abgelaufen sind.

Insgesamt sind im Zeitraum vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 der Kulturfläche Wassermengen von insgesamt 24.067 m<sup>3</sup> zugeführt worden, davon stammen 13.553 m<sup>3</sup> aus der Beregnung und 10.514 m<sup>3</sup> aus Niederschlagsereignissen (**Abbildung 10**).

Im gleichen Zeitraum sind von den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern rd. 6.274 m<sup>3</sup> Dränwasser über die Biofilter-Anlage geführt worden. In der Zeit von Mitte Januar bis Anfang April pausierte der Anlagenbetrieb, die von Anfang Februar bis Anfang April abgeschlagenen Mengen wurden nicht quantifiziert.



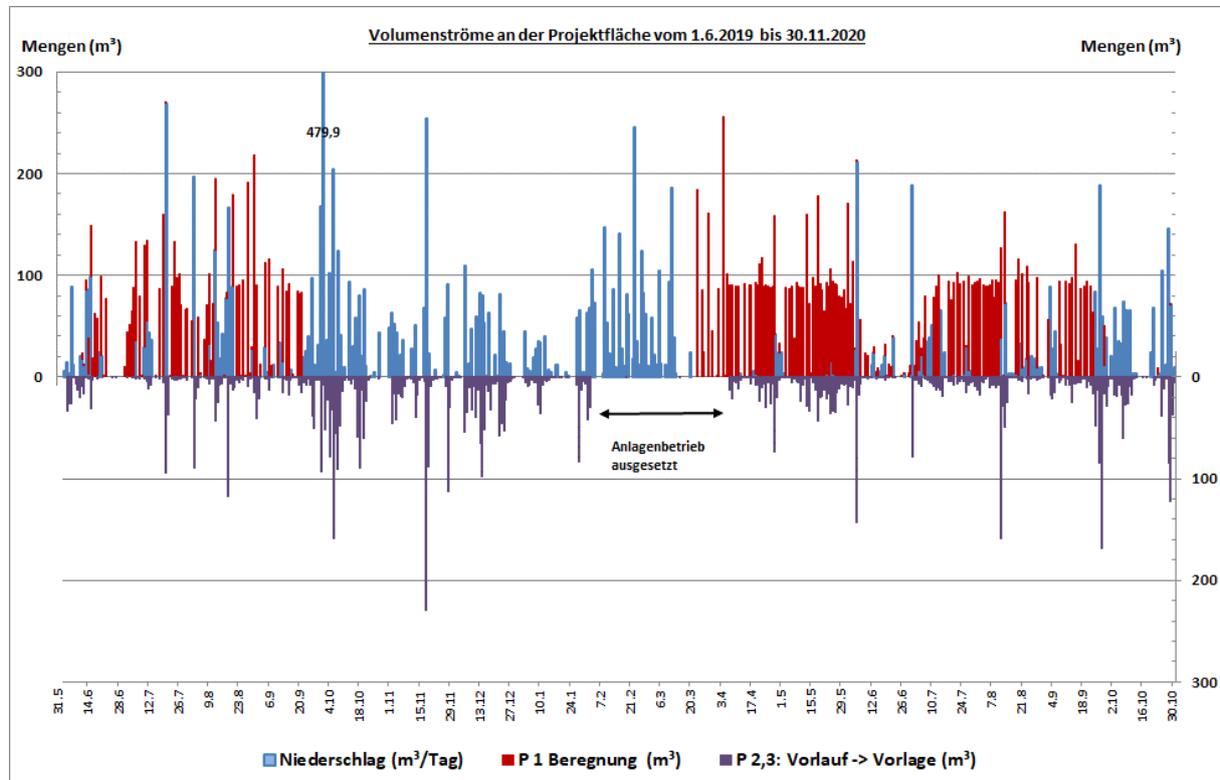
**Abbildung 10: Quantitative Entwicklung der Volumenteilströme vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 (kumuliert).**

Von den Mengen, die auf dem Substratbeet über die Düsenbewässerung verteilt wurden, versickerten/verdunsteten mit 2.702 m<sup>3</sup> rd. 43 %. Nach dem Substratbeet wurden mit 3.579 m<sup>3</sup> rd. 57 % der beaufschlagten Mengen in den Vorfluter abgeführt.

Mit der Erhöhung der Speicherkapazität der Vorlage konnten während der Kulturzeit nahezu sämtliche anfallenden Dränagewässer in der Vorlage gespeichert werden:

An insgesamt acht Tagen (1,5% aller Tage) überschritten die in die Vorlage abgeführten Mengen ein Gesamtvolumen von 100 m<sup>3</sup>, davon nur an einem Tag mit rd. 229 m<sup>3</sup> mehr als 200 m<sup>3</sup>.

In den Bewirtschaftungszeitraum der Kulturfläche fallen insgesamt vier Tage (18.8.2019 sowie 5.6., 11.8. und 27.9.2020), an denen mehr als 100 m<sup>3</sup> Dränwässer/Tag in die Vorlage gepumpt wurden (**Abbildung 11**).



**Abbildung 11: Volumenströme von Beregnungs- und Niederschlagsereignissen, sowie die Speichermengen in der Vorlage im Zeitraum vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 auf Tagesbasis**

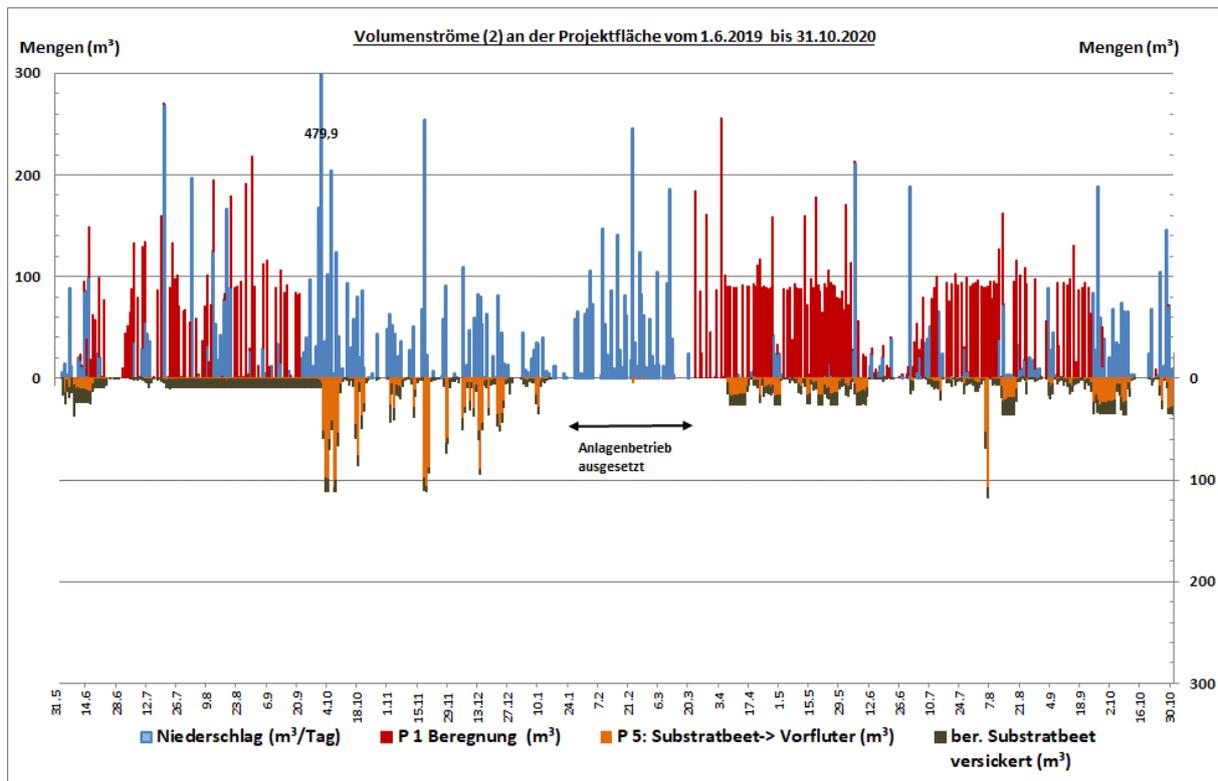
Von den Dränwassermengen, die von der Vorlage auf das Substratbeet gepumpt wurden, verbleibt ein Teil im bzw. versickert unter dem Substratbeet. Die restlichen Wässer werden über die Dränage in den Vorfluter abgeführt. Im Betrachtungszeitraum bedeutet dies im Einzelnen:

Aus der Vorlage wurden je nach Einstellung und Vorrat tägliche Wassermengen von rd. 9,5 m<sup>3</sup> bis zu 112 m<sup>3</sup> auf das Substratbeet gepumpt. Von diesen Mengen nahm das Substratbeet zum Anlagenstart eine Wassermenge von rd. 30 m<sup>3</sup> auf, bevor Dränmengen am Ablauf des Substratbeetes zu beobachten waren. Danach verbleiben im Substratbeet aufgrund von Verdunstung, Versickerung unterhalb der rd. 150 m<sup>2</sup>-großen Fläche bis zu rd. 17 m<sup>3</sup>/Tag (=113 l/m<sup>2</sup>) (**Abbildung 12**).

Die darüber hinausgehenden Wassermengen wurden über die Dränage unterhalb des Substratbeetes gesammelt und in den Vorfluter abgeschlagen. Während des Leistungsversuches am 5. und 6.8.2020 wurde das Substratbeet insgesamt mit ca. 190 m<sup>3</sup>

Wasser beaufschlagt. Davon wurden innerhalb des ca. 24 Stunden laufenden Versuches ca. 162 m<sup>3</sup> im Ablauf des Substratbeetes gefasst und in den Vorfluter abgeschlagen.

Ansonsten werden von Juni 2019 bis zum 30.9.2019 maximal 14 m<sup>3</sup>/Tag in den Vorfluter abgeschlagen. Im regenreichen Oktober 2019 steigt der tägliche Abschlag aus dem Substratbeet in den Vorfluter auf rd. 108 m<sup>3</sup>. Von Mitte März 2020 bis Ende September 2020 (mit Ausnahme des Konzentrationsversuches) werden maximal 26,4 m<sup>3</sup>/Tag nach dem Substratbeet abgeschlagen.



**Abbildung 12: Volumenströme von Beregnungs- und Niederschlagsereignissen, sowie die Versickerungsmengen im Substratbeet und Abschlagsmengen in den Vorfluter im Zeitraum vom 1.6.2019 bis zum 31.10.2020 auf Tagesbasis**

### 3.2.2 Qualitative Entwicklung der Volumenteilströme

Entsprechend des in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Messkonzeptes zur Erfassung der qualitativen (Drän-)Wasserbeschaffenheit im Abfluss von der Versuchsfläche bzw. nach Durchfluss durch die Anlage, wurden insgesamt die in **Tabelle 7** aufgelisteten Proben und Parameterumfänge untersucht. Die Beprobungen fanden statt im Zeitraum vom 26.6.2019 – 15.10.2020.

**Tabelle 7: Anzahl untersuchter Proben und Beprobungsumfänge im Untersuchungszeitraum**

PNS	N-Param. u. Vor-Ort-Parameter (Tabelle 3)	PSM "Gartenbau"
Vorlauf (Schacht 1 in Abbildung 3)	7	7
Vorlage	14	16
Substratbeet (Schacht 2 in Abbildung 3)	16	17
<b>Summe</b>	<b>37</b>	<b>40</b>

Für die weitere Interpretation der Untersuchungsergebnisse sind vor allem die Beprobungen aus den Probenahmestellen „Vorlage“ und Ablauf „Substratbeet“ (Schacht 2 in Abbildung 3) von Interesse. Da der Vorlaufschacht (Schacht 1) den Sammelschacht darstellt, in dem die von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer gefasst und von hier in den Vorlagebehälter gepumpt werden (oder ggf. in den Notüberlauf abfließen), wurde dieser einige Male zur Plausibilitätsprüfung der sich in der Vorlage einstellenden hydrochemischen Parameter mit beprobt. Auf eine weitere Darstellung und Interpretation der hier gemessenen Werte kann aber im Folgenden verzichtet werden. Die vollständigen Ergebnisse aller untersuchten Proben sind im **Anhang** aufgelistet.

### 3.2.2.1 Nitratkonzentrationen und -frachten

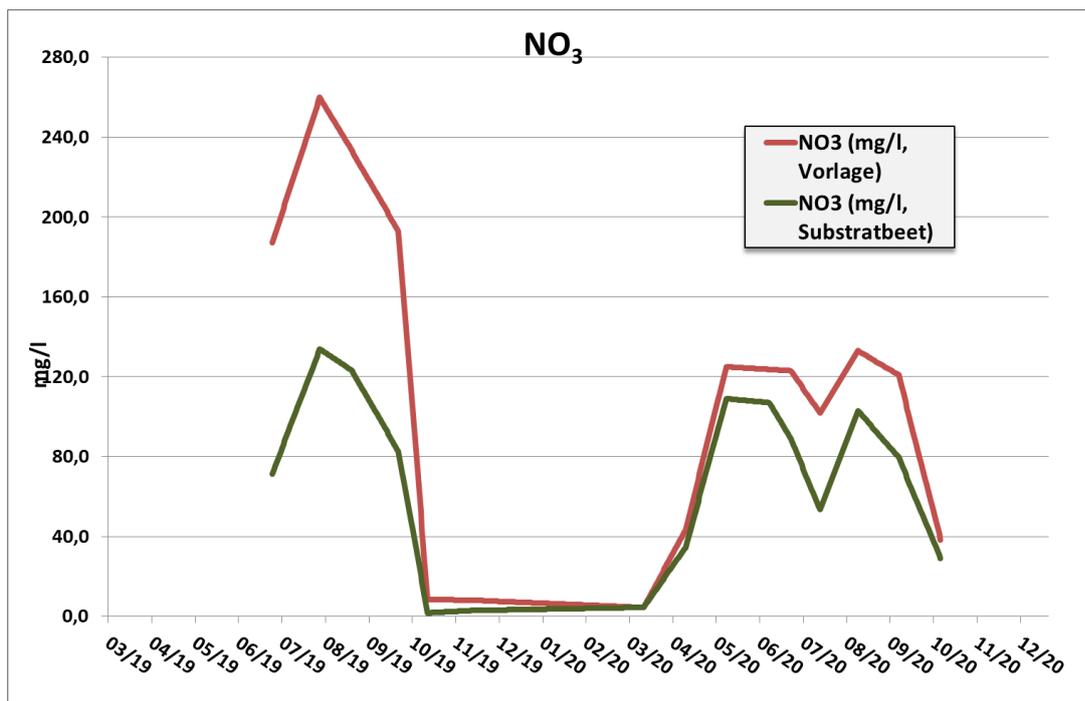
In **Abbildung 13** ist die Entwicklung der Nitratkonzentration in den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern an den beiden Beprobungspunkten „Vorlage“, d. h. vor dem Durchfluss durch die Biofilteranlage, und „Substratbeet“, also nach Durchfluss durch die Anlage, als durchgehende Konzentrationsganglinie dargestellt. Hierzu wurde die zwischen zwei tatsächlichen Messzeitpunkten liegende Konzentrationsentwicklung linear interpoliert.

Generell ist darauf hinzuweisen, dass die in der Vorlage gemessenen Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen nicht zwingend die Spitzenkonzentrationen der zum jeweiligen Zeitpunkt von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässer wiedergeben. Diese können zu einzelnen Zeitpunkten durchaus höher bzw. niedriger sein, da die Vorlage – je nach anfallendem Dränwasservolumen – jeweils ein Mischwasser aus einem mehrtägigen Zeitraum enthält.

Der Ganglinienverlauf in **Abbildung 13** zeigt aber deutlich, dass es sowohl mit der Wahl der Beprobungspunkte als auch mit dem Beprobungsintervall gut gelingt, das Bewirtschaftungsgeschehen auf der Versuchsfläche und die in der Folge mit dem Dränwasser abfließenden Stofffrachten bzw. –Konzentrationen zu erfassen.

Mit Beginn der Bewirtschaftungsperiode 2019 steigen die Nitratkonzentrationen im Vorlagebehälter auf Werte von bis zu 250 mg/l an, um dann im Laufe des verbleibenden Jahres

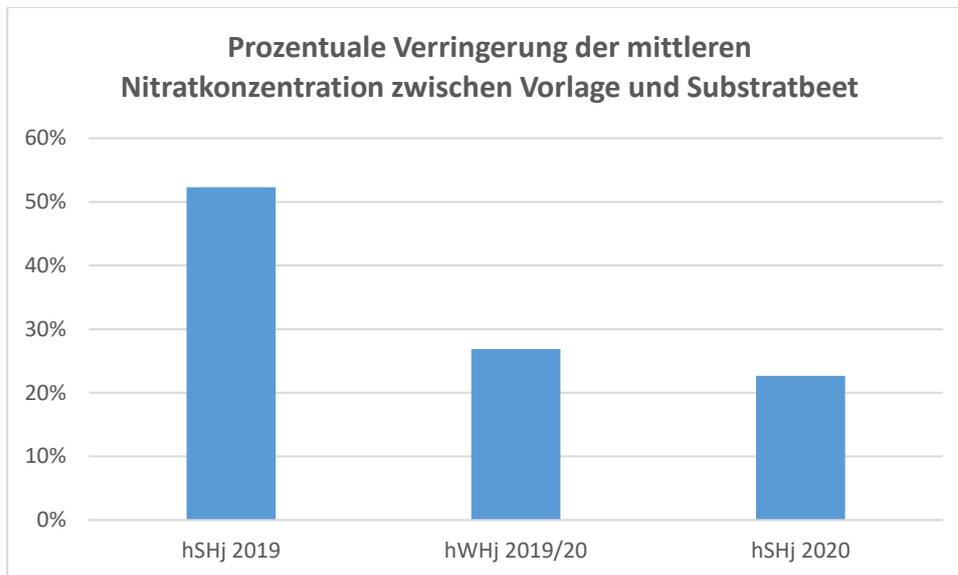
mit zurückgehender Düngungsintensität auf Werte < 10 mg/l zurückzugehen. Über die Wintermonate findet erwartungsgemäß – wie auch bereits die Untersuchungen der vorhergehenden Jahre zeigten – kein nennenswerter Nitrataustrag aus der Versuchsfläche statt. Mit Beginn der Bewirtschaftungsperiode 2020 steigen die Nitratkonzentrationen als Folge der einsetzenden Düngung dann sukzessive wieder an, in 2020 jedoch lediglich auf Spitzenwerte von ca. 120 mg NO<sub>3</sub>/l. Zum Ende der Vegetationsperiode gehen auch in 2020 die Nitratkonzentrationen wieder deutlich zurück. Zum Zeitpunkt der letzten Messung am 11.10.2020 lagen sie bereits bei knapp unter 40 mg NO<sub>3</sub>/l, im Verlauf des weiteren Winters werden diese Werte weiter gegen 0 gehen.



**Abbildung 13: Entwicklung der Nitratkonzentration im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 – Oktober 2020).**

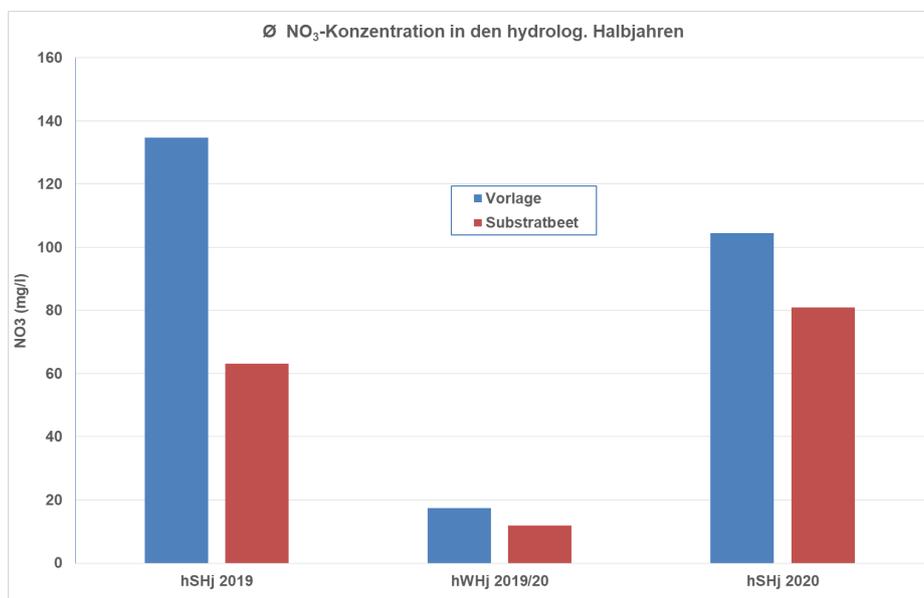
Von besonderem Interesse ist hier die Entwicklung der Nitrat-Konzentrationen am Auslauf des Substratbeetes (Beprobungspunkt „Substratbeet“), d. h. nach Durchfluss der Dränwässer durch die Anlage. Die Ergebnisse bestätigen hierbei die Erkenntnisse der Voruntersuchungen: In der Bewirtschaftungsperiode 2019 wurden die Nitratkonzentrationen in den Dränwässern während des Durchflusses durch das Substratbeet um ca. 50 % reduziert, in 2020 um ca. 20 – 30 %. Dieser Zusammenhang ist in **Abbildung 14** bezogen auf die hydrologischen Halbjahre des Untersuchungszeitraumes dargestellt. Grundsätzlich ist zu vermuten, dass die geringere Reduzierungsleistung in 2020 auch ein Effekt des zunehmend degradierten Substratbeetes ist (es waren deutliche Sackungsprozesse des Substratvolumens zu

beobachten, möglicherweise spielt hier aber auch die im Vergleich zu 2019 höhere tägliche Beaufschlagungsrate des Substratbeetes (ca. 3,8-fach) eine Rolle.



**Abbildung 14: Mittlere prozentuale Nitrat-Reduzierungsleistung der Anlage bezogen auf die hydrologischen Sommer- bzw. Winterhalbjahre (hSHj/hWHj)**

Unter Berücksichtigung der täglichen Durchflussleistung durch die Anlage errechnen sich daraus die in Abbildung 15 dargestellten mittleren Nitratkonzentrationen bezogen auf die hydrologischen Sommer- (hSHj) und Winterhalbjahre (hWHj) des Untersuchungszeitraumes.



**Abbildung 15: Mittlere Nitrat-Konzentration in den hydrolog. Sommer- und Winterhalbjahren 2019/2020 an den Messpunkten „Vorlage“ und (Ablauf) „Substratbeet“**

### 3.2.2.2 PSM-Konzentrationen und Frachten

Analog dem grafischen Aufbau der Abbildung 13 zur Beschreibung der Ganglinienentwicklung der Nitrat-Konzentration in den untersuchten Drän-Wässern ist in **Abbildung 16** bis **Abbildung 25** die Konzentrationsentwicklung der untersuchten PSM-Wirkstoffe dargestellt. In die Abbildungen wurden weiterhin die Mengen (in g/ha) sowie Zeitpunkte der auf der Versuchsfläche ausgebrachten PSM-Wirkstoffe mit aufgenommen, die vom 1.4.2019 bis 31.10.2020 vom Flächenbewirtschafter ausgebracht wurden. Die Zahl der insgesamt untersuchten Wirkstoffe ist größer als die der nachfolgenden Abbildungen (**Tabelle 3**). Soweit zu einzelnen untersuchten Wirkstoffen jedoch im gesamten Untersuchungszeitraum kein Positivnachweis vorlag, wurde auf eine grafische Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet. Zu diesen in den folgenden Abbildungen nicht berücksichtigten PSM-Wirkstoffen lagen im Betrachtungszeitraum (1.4.2019 bis 31.10.2020) auch keine Bewirtschafterangaben zu ihrer Verwendung vor. In die Abbildungen nicht mit aufgenommen wurden die Ergebnisse aus dem am 5./6. August 2020 durchgeführten Leistungsversuch (siehe auch **Kapitel 2.4.2.2** bzw. **Kapitel 3.3.1**), da die im Rahmen dieses Versuches in die Vorlage zugeführten Wirkstoffkonzentrationen keine Folge der tatsächlichen Flächenbewirtschaftung sind. Auf die Ergebnisse dieses Leistungsversuches wird in **Kapitel 3.3.1** separat eingegangen. Allerdings ist nicht auszuschließen, dass einzelne der im Rahmen des Leistungsversuches der Vorlage zugeführten PSM-Wirkstoffe auch eine gewisse Zeitlang nach dessen Beendigung noch an den Beprobungspunkten nachzuweisen sind. Dies scheint z. B. mindestens teilweise Ursache für den Positivbefund des Wirkstoffes Boscalid am 17.8.2020 zu sein (**Abbildung 17**).

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass sich in den folgenden Abbildungen die Größenordnung der y-Achse in Abhängigkeit von den maximalen Nachweiskonzentrationen der jeweiligen Wirkstoffe erheblich unterscheiden kann. Insgesamt zeigen die in **Abbildung 16** bis **Abbildung 25** dargestellten Ergebnisse, dass auch im Versuchszeitraum 2019 – 2020 deutliche PSM-Konzentrationen in den von der Versuchsfläche abfließenden Dränwässern enthalten waren. Die Maximalkonzentrationen für den jeweiligen Wirkstoff im Dränwasser in der Vorlage stellten sich dabei erwartungsgemäß zeitnah nach der entsprechenden PSM-Anwendung auf der Versuchsfläche ein. Das jeweilig in der Vorlage nachzuweisende maximale Konzentrationsniveau wird dabei weniger von der Ausbringungsmenge des einzelnen PSM-Wirkstoffes, als vielmehr von seinen physiko-chemischen Eigenschaften bestimmt. Regelmäßig die höchsten Wirkstoffkonzentrationen mit Werten von bis zu ca. 120 µg/l wurden in der Vorlage – wie bereits in den Vorstudien - für den herbiziden Wirkstoff Metribuzin gefunden. In der Vorlage gemessene Spitzenkonzentrationen für andere Wirkstoffe

lagen für Azoxystrobin, Boscalid und Carbendazim zwischen ca. 10 und 20 µg/l, für die verbleibenden Wirkstoffe bei Werten um bzw. kleiner 1 µg/l.

Besonders hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf den Wirkstoff Thiophanatmethyl (**Abbildung 25**) bzw. auf das Ergebnis der Beprobung vom 22.8.2019, das mit einem Befund von ca. 820 µg/l in der Vorlage extrem hoch war. Zwar wurde zum selben Zeitpunkt auch im Vorlaufschacht Thiophanatmethyl nachgewiesen (allerdings nur mit einem plausibler erscheinenden Wert von 11,6 µg/l). Auch die Angaben zur kurz vorher erfolgten Anwendung dieses Wirkstoffes auf der Versuchsfläche lassen grundsätzlich einen Befund im abfließenden Dränwässer plausibel erscheinen, allerdings nicht in dieser Höhe, zumal dieser Wirkstoff auch in den vorhergehenden Untersuchungsvorhaben bei ähnlichen Ausbringungsmengen vergleichsweise unauffällig war. Die Vorlage war zu diesem Zeitpunkt nahezu vollständig gefüllt (ca. 230 m<sup>3</sup>), so dass bei einer direkten Kontamination dieses Vorlagevolumens (z. B. mit ausgebrachter Spritzbrühe) ein Wirkstoffeintrag von ca. 180 g notwendig gewesen wäre, um eine Wirkstoffkonzentration von ca. 800 µg/l zu erzielen. Eine derartige Kontamination scheint ausgeschlossen. Alternativ besteht hier die Möglichkeit einer Kontamination bei der Probenahme oder eines Messfehlers, wobei jedoch für beides keine Anhaltspunkte gefunden werden konnten. Hinzuwiesen ist weiterhin darauf, dass der Carbendazim-Befund vom 22.8.2019 im Vorlagebehälter vermutlich ebenfalls als Folge der kurz vorher erfolgten Thiophanatmethyl-Ausbringung zu erklären ist, da Carbendazim ein fungizid wirksamer Metabolit des Thiophanatmethyls ist.

Die Untersuchungsergebnisse zu den PSM-Konzentrationen im Ablauf des Substratbeetes zeigen, dass während des Durchflusses durch das Substratbeet die in den Dränwässern enthaltenen PSM-Konzentrationen weitgehend bis vollständig reduziert werden. Der Ganglinienverlauf zur PSM-Konzentration im Ablauf des Substratbeetes verläuft in **Abbildung 16** bis **Abbildung 25** weitestgehend knapp oberhalb oder direkt auf der Null-Linie der X-Achse, in Einzelfällen unterbrochen von einem kurzzeitigen Anstieg parallel zu einem Positivbefund in der Vorlage. Eine Ausnahme – wie bereits in den Vorjahren - stellte hier jedoch wieder der Wirkstoff Metribuzin dar (**Abbildung 23**), der nur zu einem deutlich geringeren Teil im Substratbeet zurückgehalten wurde.

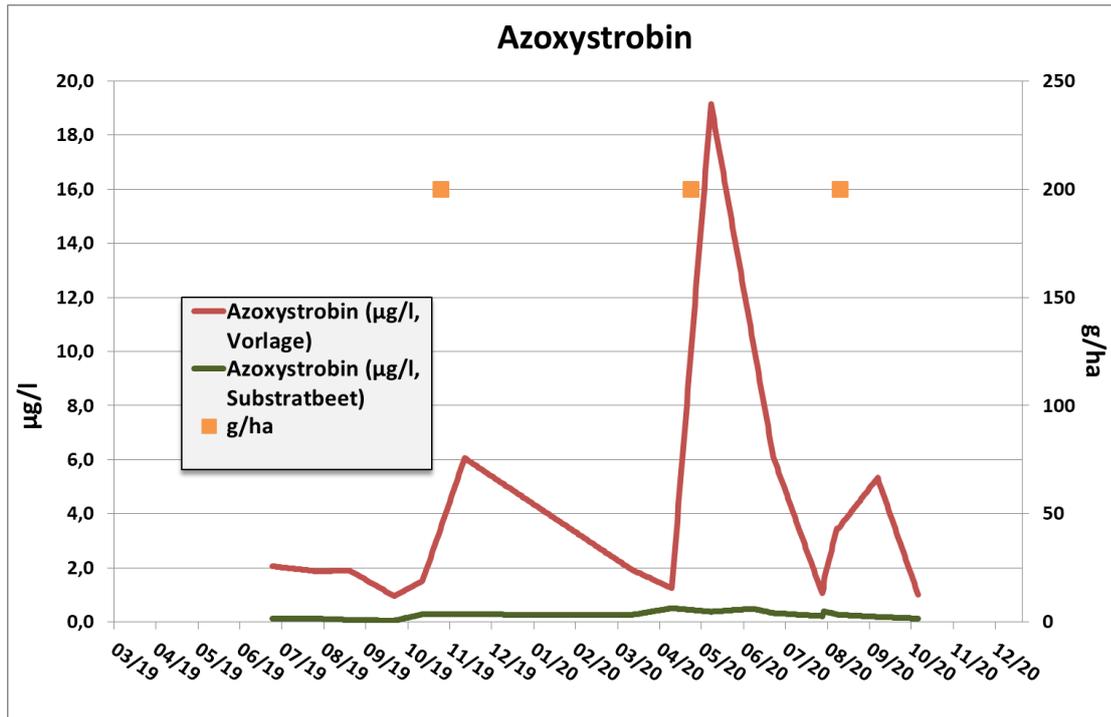


Abbildung 16: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Azoxystrobin im (Drän-)Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

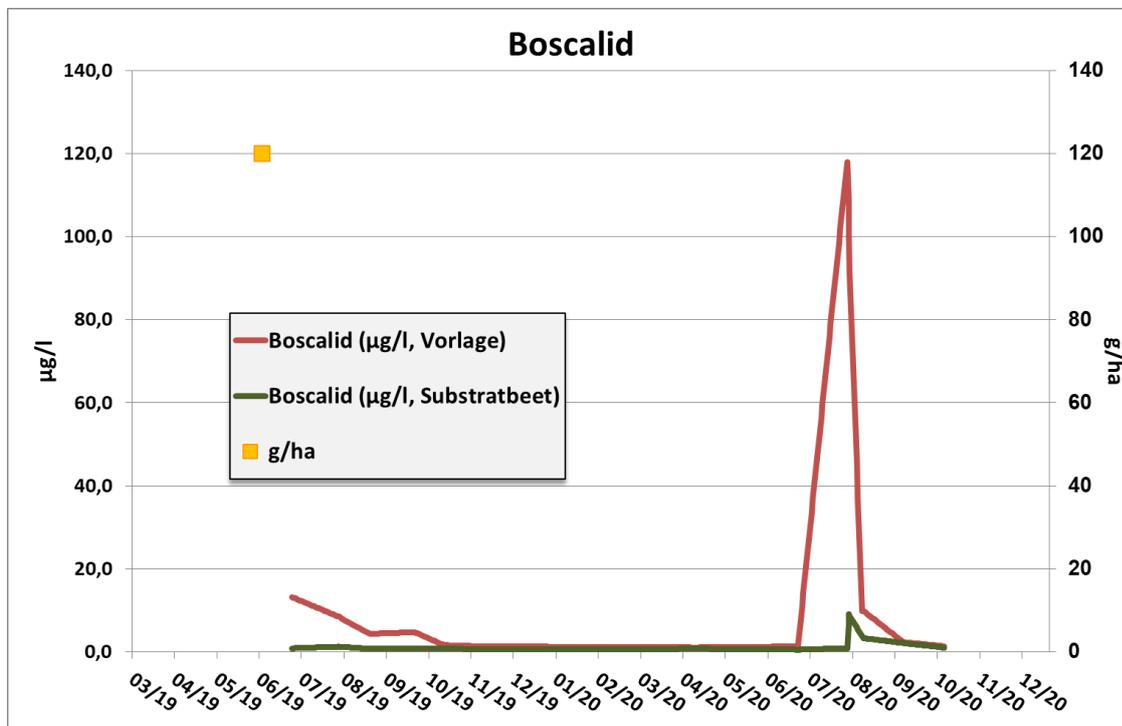


Abbildung 17: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Boscalid im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

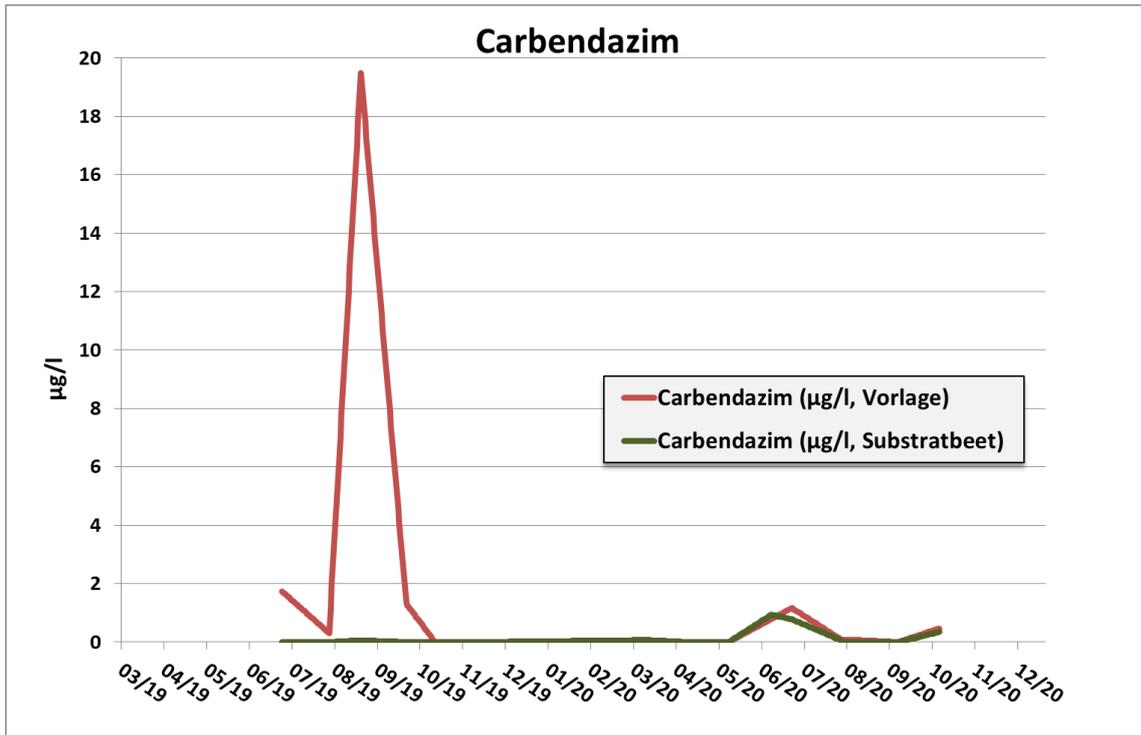


Abbildung 18: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Carbendazim im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

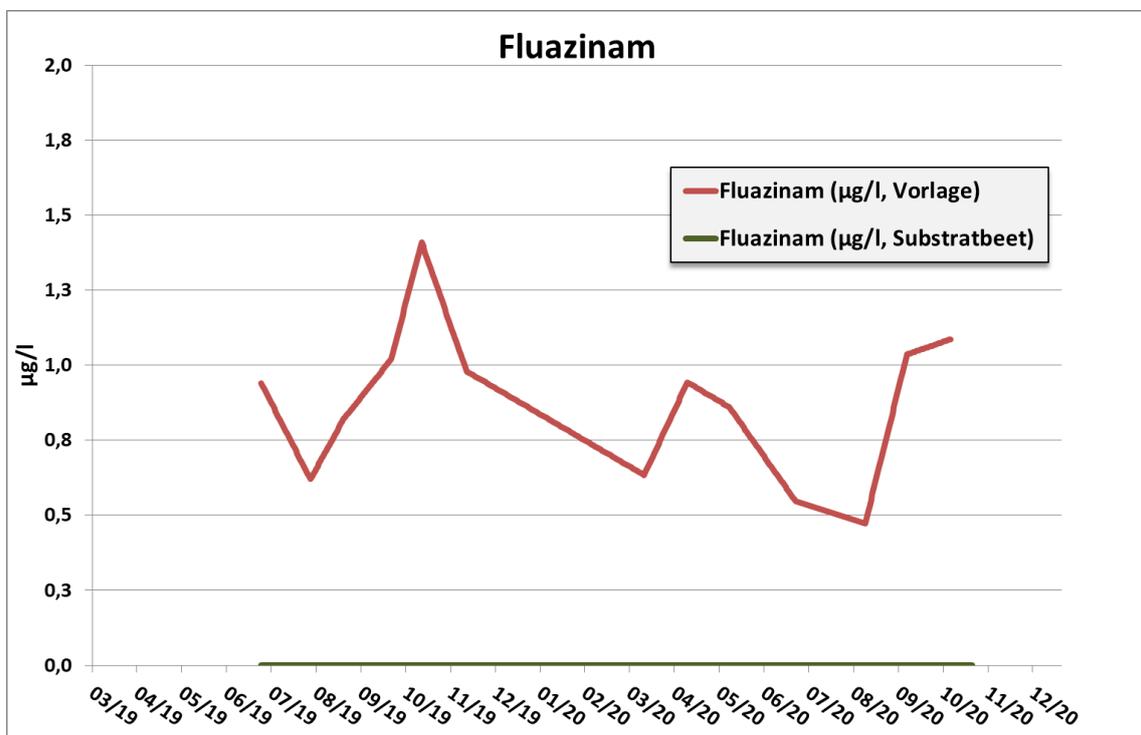


Abbildung 19: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Fluazinam im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

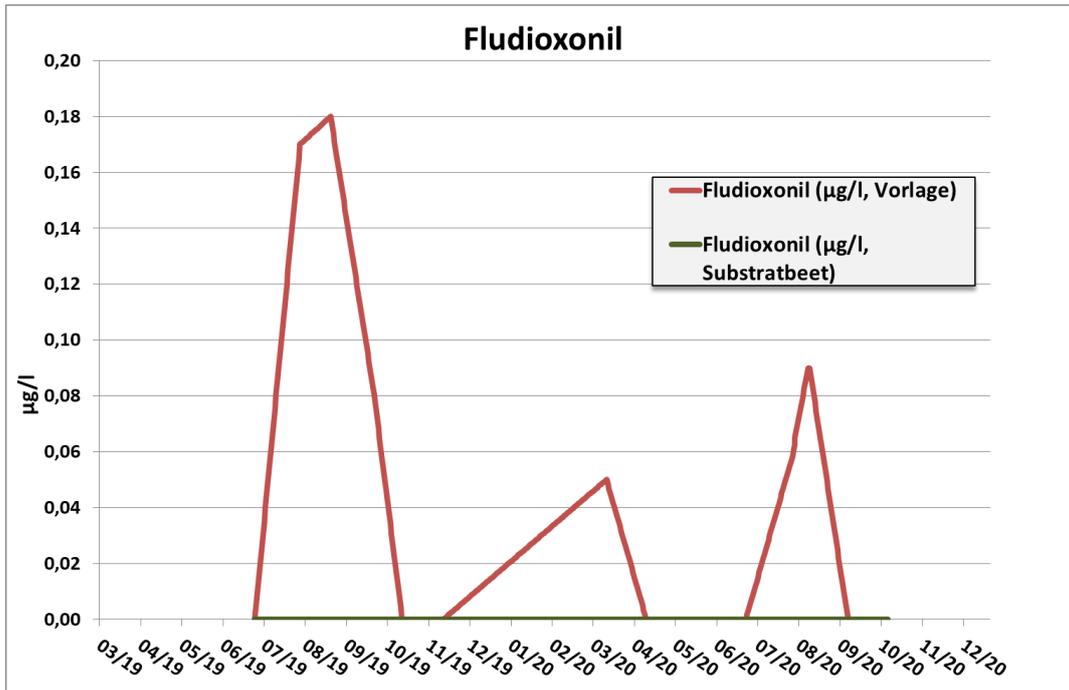


Abbildung 20: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Fludioxonil im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

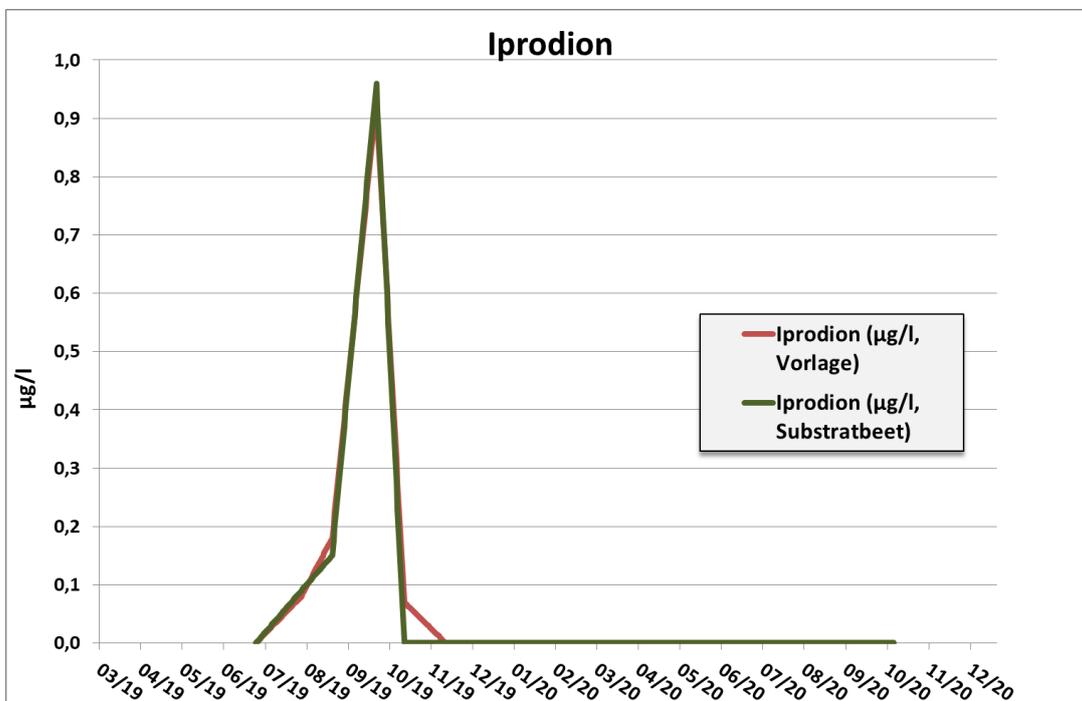


Abbildung 21: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Iprodion im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

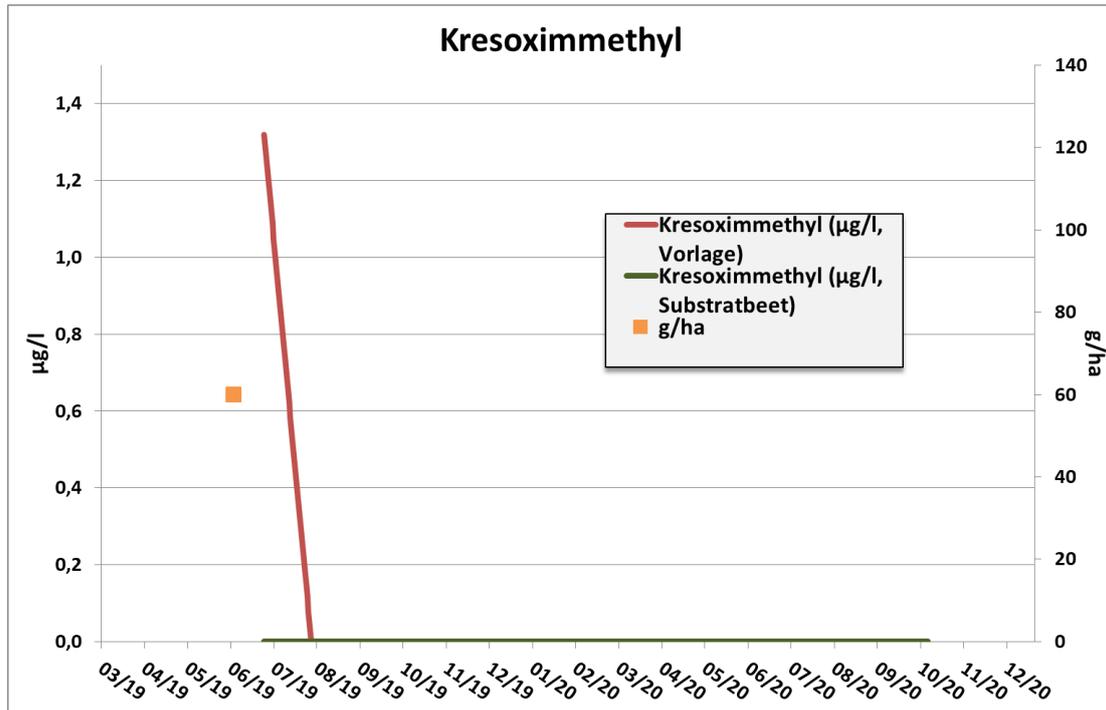


Abbildung 22: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Kresoximmethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

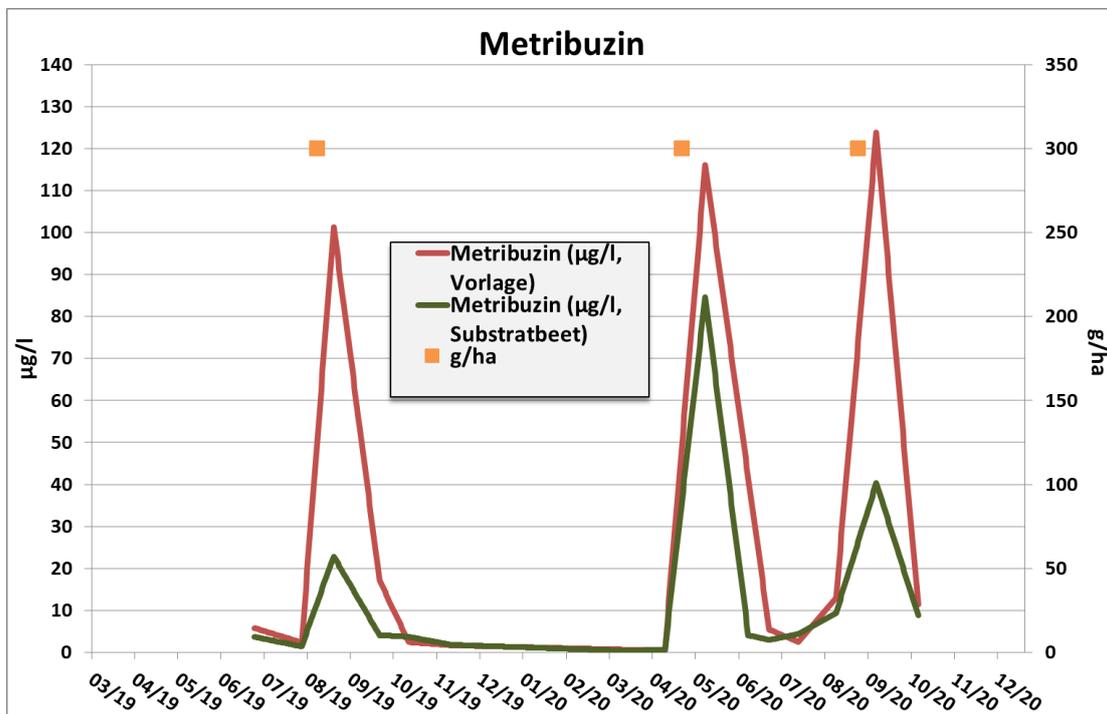


Abbildung 23: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Metribuzin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

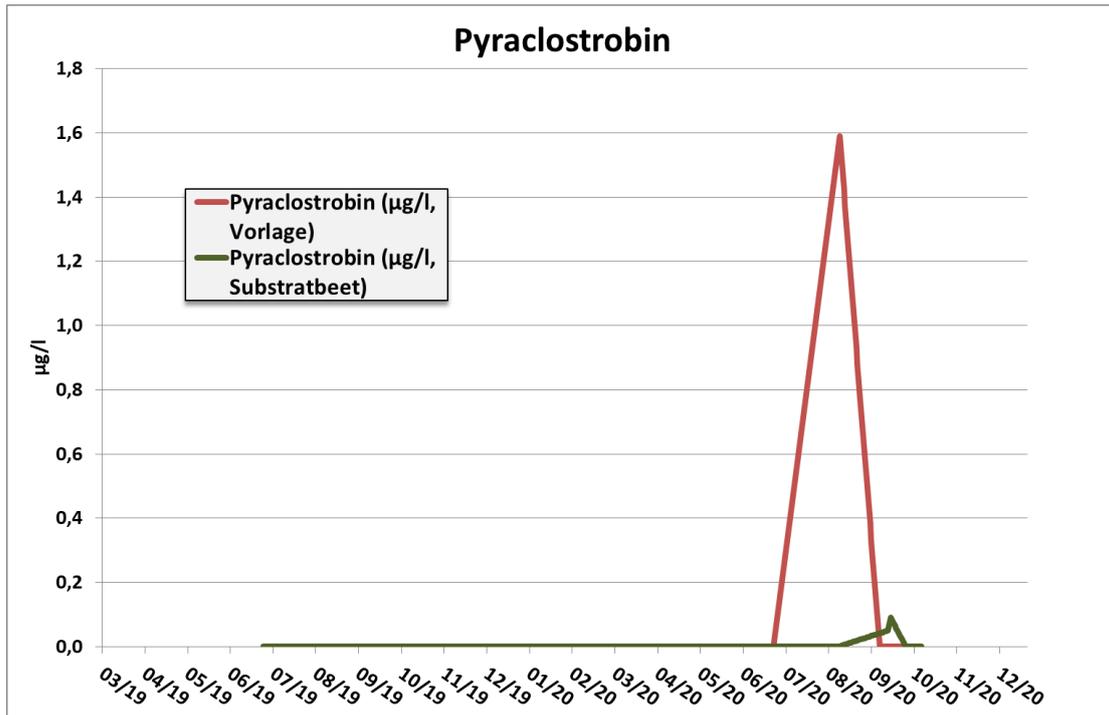


Abbildung 24: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Pyraclostrobin im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

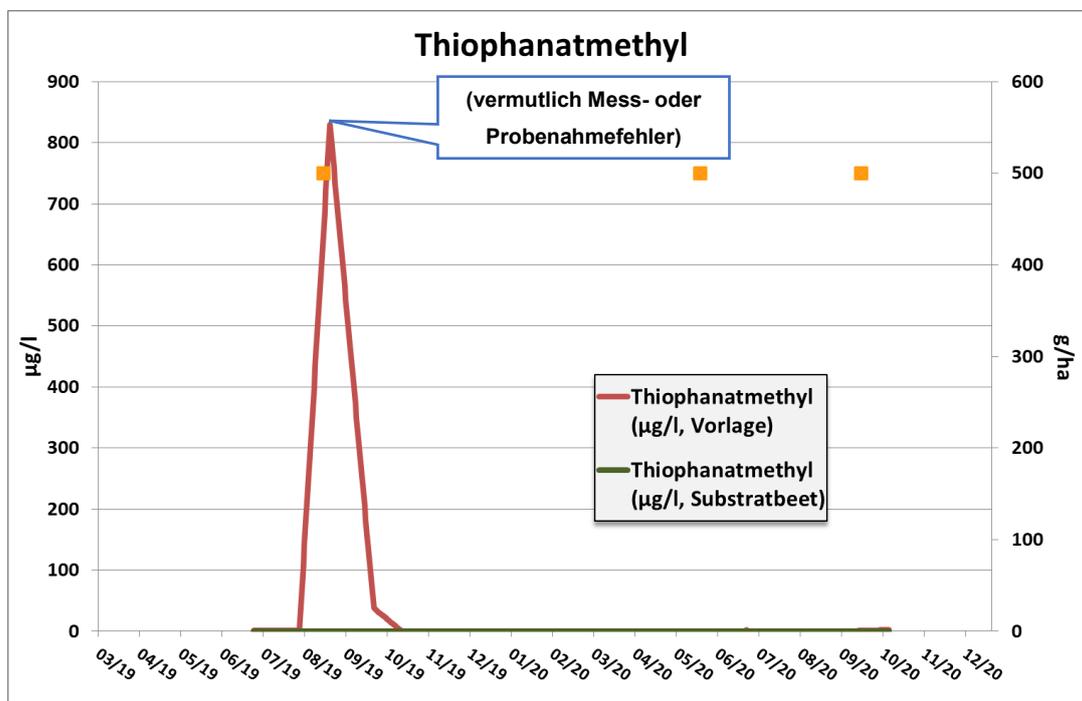


Abbildung 25: Konzentrationsganglinien und Anwendungsmengen (g/ha) des PSM-Wirkstoffes Thiophanatmethyl im (Drän-) Wasser an den verschiedenen Beprobungspunkten der Versuchsanlage (Juni 2019 - Oktober 2020).

In **Tabelle 8** sind nachfolgend die wesentlichen Ergebnisse zur Entwicklung der PSM-Konzentrationen im Durchfluss durch die Anlage, bezogen auf die jeweiligen hydrologischen Halbjahre, zusammengefasst. (Zu berücksichtigen ist, dass die Ergebnisse des hydrologischen Sommerhalbjahres 2019 lediglich den Zeitraum 26.6.2019 – 31.10.2019 umfassen, da die Messungen erst am 26.6.2019 beginnen konnten, und das hydrologische Sommerhalbjahr 2020 lediglich den Zeitraum bis zum 15.10.2020 umfasst, da hier die letzte Beprobung durchgeführt wurde.)

Dargestellt sind die Gesamtmengen der im jeweiligen Zeitraum in das Substratbeet eingeleiteten Dränwassermengen, die sich aus den eingeleiteten Dränwassermengen und den Einzelergebnissen der PSM-Untersuchungen errechnenden mittleren PSM-Konzentrationen der gesamten PSM-Fracht in der Vorlage sowie im Substratbeet(-ablauf) und die sich daraus ergebende mittlere PSM-Reduzierungsleistung des Substratbeetes. Die vorhergehenden Ausführungen haben gezeigt – wie auch bereits die Ergebnisse der Vorstudien 2011 – 2014 und 2014 – 2017, dass der Wirkstoff Metribuzin sowohl hinsichtlich seines quantitativen Auftretens als auch seines Retentionsverhaltens im Substratbeet als besonders problematisch zu bewerten ist. Daher wurden in **Tabelle 8** die Auswertungen zu den mittleren PSM-Konzentrationen bzw. zur PSM-Reduzierungsleistung einmal mit der jeweiligen gesamt gemessenen PSM-Fracht durchgeführt und einmal mit der gesamt gemessenen PSM-Fracht **ohne den Wirkstoff Metribuzin**. (Nicht berücksichtigt in den Auswertungen wurden der als fehlerhaft eingestufte Messwert des Thiophanatmethyls vom 22.8.2019 (830 µg/l).

**Tabelle 8: Mittlere PSM-Konzentrationen und PSM-Reduzierungsleistung des Substratbeetes in den hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahren 2019/2020.**

hydrolog. Halbjahr	Dränwasserbeaufschlagung (von Vorlage in Substratbeet (L4, in m <sup>3</sup> ))	Ø PSM-Konzentration (alle PSM)			Ø PSM-Konzentration (ohne Metribuzin)		
		Ø Konzentration (µg/l)		reduz. um ... (%)	Ø Konzentration (µg/l)		reduz. um ... (%)
		Vorlage	Substratbeet		Vorlage	Substratbeet	
hSHj 2019	2094	38,1	6,4	83,2	19,8	1,1	94,4
hWHj 2019/20	1932	12,3	5,1	58,3	7,3	1,0	86,1
hSHj 2020	2284	100,9	32,7	67,6	32,4	2,6	92,1

Insgesamt zeigen die Auswertungen in **Tabelle 8**, dass bei einem Dränwasseranfall von ca. 1.900 – 2.200 m<sup>3</sup> in den jeweiligen hydrologischen Halbjahren sich bei der Betrachtung der gesamten PSM-Fracht (inkl. Metribuzin) in der Vorlage eine mittlere PSM-Konzentration zwischen ca. 12 - 100 µg/l errechnete, die jedoch nach Durchlaufen des Substratbeetes um ca. 55 – 85 % reduziert worden war (auf ca. 5 – 32 µg/l). Ohne Berücksichtigung des Wirkstoffes Metribuzin war die gesamte angefallene PSM-Fracht im jeweiligen hydrologischen

Halbjahr deutlich geringer (ca. 7 – 32 µg/l) und die Reduzierungsleistung des Substratbeetes deutlich höher (ca. 85 – 95 %). Tendenziell scheint die Retentionsleistung des Substratbeetes insbesondere für den Wirkstoff Metribuzin im bisherigen Versuchszeitraum etwas nachgelassen zu haben.

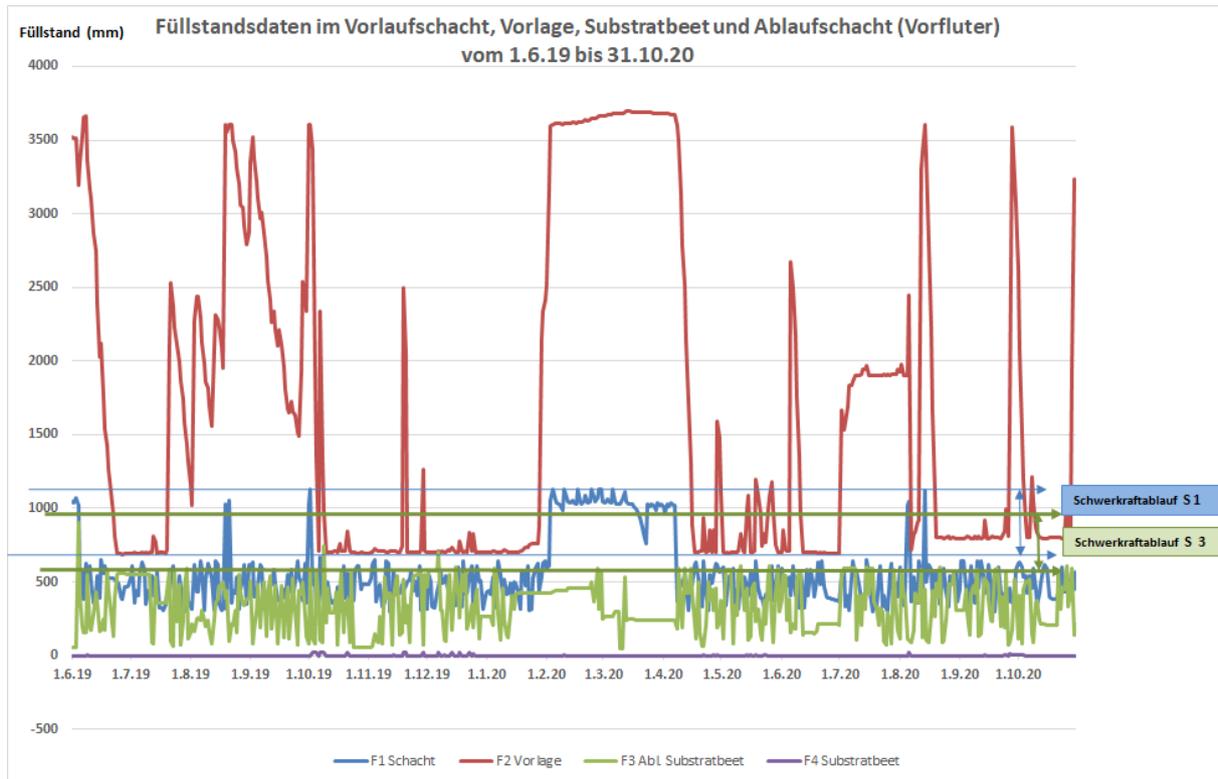
In der Größenordnung decken sich die Angaben in **Tabelle 8** gut mit den Ergebnissen der Vorgängerstudien der Jahre 2011 – 2014 und 2014 – 2017 und bestätigen somit die dort erarbeiteten Ergebnisse.

### 3.3 Optimierung des Anlagebetriebs

Im Betrachtungszeitraum anfallende Dränwassermengen von rd. 6.300 m<sup>3</sup> konnten über die Anlage versetzt werden.

Nachdem sich die über die Anlage versetzten Mengen zunächst an der Witterung und Beregnungshäufigkeiten orientierten, wurde später die als Ergebnis der Untersuchungen in den Jahren 2014 – 2017 ermittelte max. Tagesmenge von rd. 36 m<sup>3</sup>/Tag angehalten. In der Konsequenz würde sich an die kontrollierte Mengenzufuhr auf das Substratbeet eine Versickerungsfläche anschließen können, die auf die Versickerung von diesen maximal 36 m<sup>3</sup>/Tag auszulegen ist.

Für die Beantwortung der Frage, ob die Tagesleistung von 36 m<sup>3</sup>/Tag für eine ausreichende Entlastung der Vorlage sorgt, können die Füllstände im Vorlauf- und Ablaufschacht Substratbeet (3) herangezogen werden. Diese zeigen die Situationen auf, in denen bei Überschreitung von Pumpenleistung und/oder des Speichervermögens der Vorlage, ankommende Dränwasser entlang eines hydraulischen Gradienten frei in den Vorfluter abgefließen waren. Der Füllstand im Vorlagenschacht steigt dann von rd. 650 mm auf 1000 mm, im Schacht nach dem Substratbeet über rd. 600 mm (**Abbildung 26**).



**Abbildung 26: Füllstandsdaten im Vorlaufschacht, Vorlage, Substratbeet und Ablaufschacht zum Vorfluter vom 1.6.2019 bis 31.10.2020.**

Nach der Inbetriebnahme gab es im August 2019 mit dem 18.8. und 19.8. zwei Tage, an denen der Anstieg der Füllstandsdaten im Vorlaufschacht ein freies Abfließen der Wässer entlang des hydraulischen Gradienten in den Vorfluter dokumentiert. In den diesem Ereignis vorangegangenen 7 Tagen fielen Niederschläge von insgesamt rd. 54 mm, mit einem Maximalwert von rd. 16 mm am 18.8.19.

Am 2. Oktober führten 46 mm Regen zur Auslastung des Speichervermögens. Vor dem Hintergrund weiterer vorhergesagter Niederschläge wurde die Tagesleistung auf rd. 112 m<sup>3</sup> hochgesetzt. Dieses führte bei Niederschlagsereignissen in den ersten 5 Oktobertagen mit insgesamt 77 mm zu einer ausreichenden Entlastung.

Aufgrund weiterer zu erwartender Niederschläge wurde die Tagesleistung von rd. 112 m<sup>3</sup> bis Mitte Januar beibehalten. Ab Mitte Januar bis Anfang April pausierte der Anlagenbetrieb. Nach Erreichen der Kapazitätsgrenze der Vorlage wurden von Anfang Februar bis Anfang April die von der Fläche ankommenden Wässer vollständig abgeschlagen.

Im August 2020 wurden während der Durchführung des Leistungsversuches sowie am 14.8.2020 die von der Kulturfläche ankommenden Dränwässer abgeschlagen. Am 14.8.2020 reichte die Tagesleistung von rd. 36 m<sup>3</sup> nicht aus, um die Vorlage ausreichend zu entlasten.

Ansonsten konnten in der Vegetationszeit 2020 sämtliche von der Versuchsfläche abfließenden Dränwassermengen über die Anlage geführt werden.

Fazit:

Während des Bewirtschaftungszeitraumes 2019 und in 2020 konnten mit einer Tagesleistung von rd. 36 m<sup>3</sup> nahezu alle von der Fläche ankommenden Dränwassermengen über die Anlage versetzt werden. Bei erhöhten Niederschlagsmengen (54 mm bzw. 77 mm innerhalb von 7 Tagen) reichte diese Tagesleistung nicht aus, um die Vorlage ausreichend zu entlasten.

Die Erhöhung des Speichervolumens auf 250 m<sup>3</sup> reichte an rd. 99 % aller Tage des Anlagenbetriebs aus, um die ankommenden Dränwässer aufzunehmen.

### 3.3.1 Ergebnisse des Leistungsversuches Substratbeet

In **Abbildung 27 bis Abbildung 28** sind die Ergebnisse des Leistungsversuches vom 5./6. August 2020 (siehe auch **Kapitel 2.4.2.2**) abgebildet, in welchem das Substratbeet innerhalb von ca. 24 h mit ca. 190 m<sup>3</sup> Wasser mit definierten PSM-Konzentrationen beaufschlagt worden war. Die Anfangskonzentrationen aller beaufschlagten PSM-Wirkstoffe wurden während des Substratbeet-Durchflusses deutlich reduziert bzw. vollständig im Substratbeet zurückgehalten. So waren die eingestellten Ausgangskonzentrationen der Wirkstoffe Boscalid, Fluazinam, Pyraclostrobin 19 bzw. 26 h nach Beginn des Leistungsversuches am Ablauf des Substratbeetes um ca. 95 – 100 % reduziert, die der Wirkstoffe Metribuzin und Metalaxyl um ca. 50 – 65 %.

Die Ergebnisse bestätigen damit die Ergebnisse der bereits im Untersuchungsvorhaben 2014 – 2017 durchgeführten Leistungsversuche und die Leistungsfähigkeit zur PSM-Retention des im aktuellen Untersuchungsvorhaben verändert zusammengesetzten organischen Substrates auch bei hohen Durchflussraten. Bestätigt werden in den aktuellen Ergebnissen aber einerseits auch noch einmal die Problematik vor allem des Wirkstoffes Metribuzin, andererseits aber auch die hohe Retentionsrate des Wirkstoffes Aclonifen, der potenziell als Wirkstoff-Alternative zum Metribuzin eingesetzt werden kann.

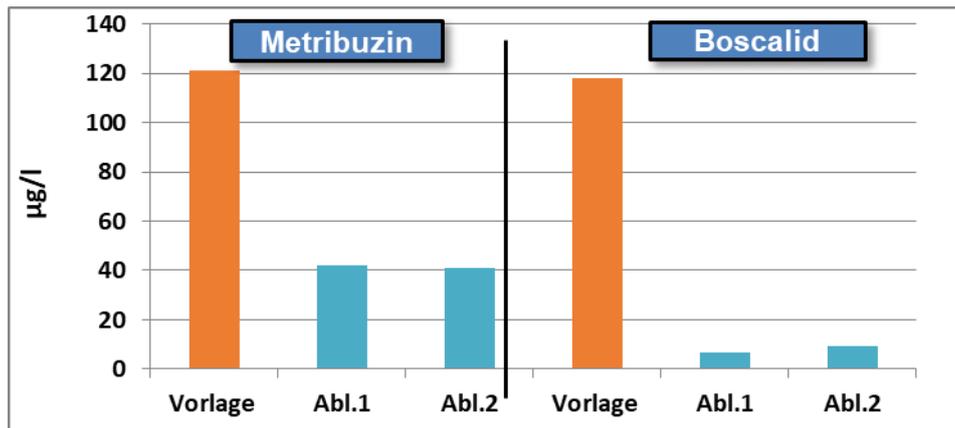


Abbildung 27: Konzentrationen der Stoffe Metribuzin und Boscalid zum Start des Leistungsversuchs in der Vorlage (Orange), und im Ablauf (Blau), 19 h (Abl.1) und 26 h nach Versuchsbeginn (Abl.2).

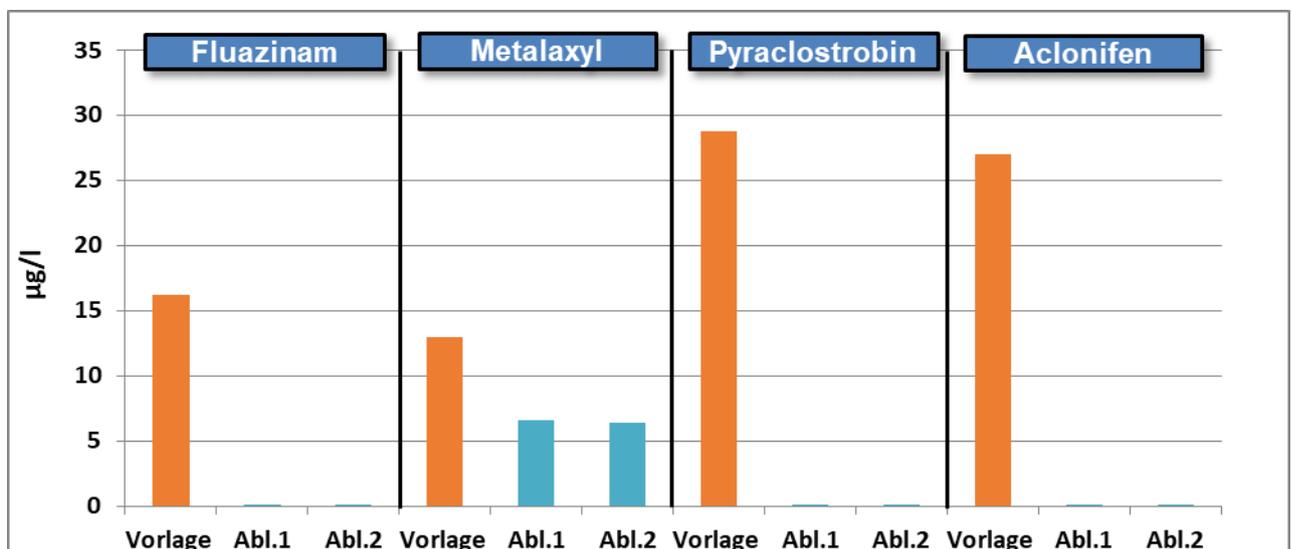


Abbildung 28: Konzentrationen der Stoffe Fluazinam, Metalaxyl, Pyraclostrobin und Aclonifen zum Start des Leistungsversuchs in der Vorlage (Orange), und im Ablauf (Blau), 19 h (Abl.1) und 26 h nach Versuchsbeginn (Abl.2)

### 3.4 Ergebnisse Substratuntersuchungen

Für das Substratbeet der Pilotanlage wurde 2011 eine Substratmischung bestehend aus je einem Drittel Stroh-, Holzhackschnitzel und Mutterboden-/Torfanteil verwendet. In der Mischung des im aktuellen Untersuchungsvorhaben verwendeten Substrates wurde der Strohanteil durch Holzhackschnitzel ersetzt (**Kapitel 2.3**). Beide Substratmischungen wurden zu Beginn und zum Ende der jeweiligen Projektlaufzeit auf verschiedene physikalische Parameter sowie auf ihr N-Bindungsvermögen analysiert.

Das Substrat 2011 hat bei einem Gesamtporenvolumen von 88 %, einen Anteil an Luftporen von 36 Vol.-%.

Zu Beginn des 2. Untersuchungsvorhabens 2014 – 17 wurde das Substratbeet Ende 2014 mit der Substratmischung aufgefüllt, Anfang 2017 mit Rindenmulch.

Nach 5-jähriger Nutzung ist dieser Luftporenanteil auf 5 Vol.-% gesunken, dafür hat der Anteil der Wasserkapazität auf 81 Vol.-% zugenommen. Das N-Bindungspotential ist auf 16 mg N/l zurückgegangen (**Tabelle 9**).

**Tabelle 9: Physikalische Eigenschaften und N-Bindung (nach Zöttltest) bei der Substratmischung in der Pilotanlage 2011.**

Parameter	Stroh/Holzhackschnitzel/ Mutterboden/Torfsubstrat (2011)	Stroh/Holzhackschnitzel/ Mutterboden/Torfsubstrat (2016)
Wassergehalt (Gew.-%)	50,4	67,1
Trockensubstanz (Gew.-%)	49,6	32,9
Rohdichte trocken (g/l)	227	
Gesamtporenvolumen (Vol.-%)	88	86
Luftvolumen (Vol.-%)	36	5
Wasserkapazität (Vol.-%)	52	81
N-Bindung (mg N/l)	-257 NH <sub>4</sub> -N: -197, NO <sub>3</sub> -N: -60	-16 NH <sub>4</sub> -N: -70, NO <sub>3</sub> -N: +54
pH-Wert	6,2	5,6

Visuell war zu beobachten, dass das Substrat deutliche Sackungsverluste aufwies, die während der Laufzeit zweimal ausgeglichen wurden. Ende 2017 waren erneut deutliche Sackungsverluste zu beobachten, zudem hat die Drainagefähigkeit deutlich abgenommen.

Bei dem 2019 im Substratbeet verwendeten Substrat wurde gegenüber der Mischung der Pilotanlage 2011 der Strohanteil durch Holzhackschnitzel ersetzt.

Auch dieses Substrat wurde zu Beginn und zum Ende des Betrachtungszeitraums analysiert (**Tabelle 10**).

**Tabelle 10: Physikalische Eigenschaften und N-Bindung (nach Zöttltest) bei der Substratmischung 2019/20**

Parameter	Holz hackschnitzel/ Mutterboden/Torf (2019)	Holz hackschnitzel/ Mutterboden/Torf (2020)
	Wassergehalt (Gew.-%)	57,3
Trockensubstanz (Gew.-%)	42,7	31,5
Rohdichte trocken (g/l)	209	241
Gesamtporenvolumen (Vol.-%)	88	87
Luftvolumen (Vol.-%)	38	22
Wasserkapazität (Vol.-%)	50	65
N-Bindung (mg N/l)	-459 NH <sub>4</sub> -N: -263, NO <sub>3</sub> -N:-196	-112 NH <sub>4</sub> -N: -102, NO <sub>3</sub> -N:-10
pH-Wert	5,6	6,0

Das 2019 verwendete Substrat zeichnet sich mit 38 Vol.-% durch ein hohes Luftporenvolumen aus. Bemerkenswert ist ebenso das hohe N-Bindungspotential mit -459 mg N/l.

Nach rd. 1,5 Jahren sind von dem vormals hohen N-Bindungspotential noch 25 % vorhanden. Das Luftporenvolumen ist auf 22 % gesunken, die Wasserkapazität ist auf 50 Vol.-% gestiegen. Auch visuell sind Sackungsverluste des Substrates zum Ende der Projektlaufzeit zu beobachten (**Abbildung 29**). Die Schichtstärke hat um rd. 30 cm abgenommen.

Von der ursprünglichen Substratmenge von rd. 150 m<sup>3</sup> sind noch rd. 100 m<sup>3</sup> vorhanden.



**Abbildung 29: Nach fast 1,5-jähriger Projektlaufzeit sind deutliche Sackungsverluste im Substratbeet zu beobachten**

Vergleicht man die Eigenschaften der Ausgangssubstrate ist bei gleichem Gesamtporenvolumen ein um 2 Vol.-% höheres Luftporenvolumen bei der 2019 verwendeten Substratmischung zu beobachten. Das Gewicht mit 209 g/l ist etwas leichter. Auffällig ist der große Unterschied in dem N-Bindungsvermögen. Mit einem Potential von -459 mg N/l liegt dieses beim Substrat 2019 deutlich über dem Substrat 2011 mit -257 mg N/l.

Somit hat die Erhöhung des Holzhackschnitzelanteils diese Eigenschaften positiv beeinflusst.

Das im Verhältnis zur Verwendungszeit stark gesunkene N-Bindungsvermögen lässt sich durch die in den fast 1,5 Jahren beaufschlagten Dränwassermengen von insgesamt rd. 6.300 m<sup>3</sup> (rd. 4.430 m<sup>3</sup>/Jahr) erklären. Im Vergleich hierzu wurden in der Pilotanlage 2011 von 2012 bis 2017 insgesamt rd. 14.400 m<sup>3</sup> über die Anlage geführt, durchschnittlich also rd. 2.400 m<sup>3</sup>/Jahr.

Neben der 1,8-fachen Erhöhung der jährlichen Beaufschlagungsmenge können als weitere Einflussfaktoren für die Veränderung des Substrates in Betracht gezogen werden:

- die Lage des Substratbeets über Flur, eingefasst in Betonsteine, lässt andere Temperaturverhältnisse im Substrat vermuten, als das Substratbeet bei einer Lage unter Flur aufweisen würde. Zudem war die Pilotanlage mit einem Dach (Stahlkonstruktion) abgedeckt. Das Substrat war beschattet. Die Praxisanlage war nicht abgedeckt und das Substrat somit der direkten Strahlung ausgesetzt.

Der mögliche Einfluss dieser Faktoren kann nicht quantifiziert werden.

Das Fehlen des Daches über dem Substratbeet führte als weiteres zu einem stärkeren Bewuchs mit Wildkräutern. Da die Ausbreitung auf die Kulturfläche zu verhindern war, wurde ein Teilbereich des Beetes mit einem Gewebetuch abgedeckt und auf der Freifläche in den Bereichen der Düsen Phacelia bzw. Gelbsenf ausgesät. Der Aufwuchs der Kulturen reichte nicht aus, um den Unkrautbewuchs (u.a. Vogelmiere, Kreuzkraut) ausreichend zu unterdrücken. Ende September wurde das Substratbeet vollständig mit Gewebetuch abgedeckt.



**Abbildung 30: Im Laufe von 2020 haben sich Wildkräuter auf dem Substratbeet angesiedelt**



**Abbildung 31: Zum Schutz gegen Wildkräuter wurde das Substratbeet Ende 2020 mit einem Gewebetuch abgedeckt.**

### 3.5 „Lebensleistung“ Substratbeet

Insgesamt wurde das Substratbeet im Untersuchungszeitraum zwischen dem 4.6.2019 und dem 31.10.2020 mit ca. 6.300 m<sup>3</sup> von der Versuchsfläche abgeflossenem Dränwasser beaufschlagt sowie mit weiteren ca. 190 m<sup>3</sup> Wasser, die im Zuge des Leistungsversuches vom 5./6.August 2020 zugeführt wurden. Da das Substratbeet im aktuellen Ausbau nicht überdacht ist, errechnet sich aus den Niederschlägen eine weitere Wasserzufuhr von ca. 150 m<sup>3</sup> im selben Zeitraum. In der Summe ergibt sich somit eine Wasserzufuhr ins Substratbeet von insgesamt ca. 6.600 m<sup>3</sup>. Bezogen auf den gesamten Messzeitraum errechnet sich daraus eine mittlere tägliche Wasserzufuhr in das Substratbeet von 12,7 m<sup>3</sup>. Auswertungen zur mittleren täglichen Wasserzufuhr in das Substratbeet der Pilot-Biofilteranlage im Zeitraum vom 9.5.2012 bis zum 31.10.2017 ergaben, dass diese bei 7,1 m<sup>3</sup>/d lag, und damit im aktuellen Untersuchungszeitraum um einen Faktor von ca. 1,8 übertroffen wurde. Diese erhöhte Beaufschlagungsmenge ist u. a. von Bedeutung für die funktionelle „Lebensleistung“ des Substratbeetes, d. h. für die (Drän-)Wassermenge, die in das Substrat eingebracht werden

kann, bevor es seine Retentionseigenschaften für PSM-Wirkstoffe und Nitrat bzw. seine Drämfähigkeit bzw. hydraulische Durchlässigkeit verliert. Diese „funktionelle“ Lebensleistung wurde im Abschlussbericht des Untersuchungsvorhabens 2014 – 2017 auf Basis der bis dahin vorliegenden Untersuchungsdaten mit 111 m<sup>3</sup> Dränwasser pro m<sup>3</sup> organisches Substrat berechnet, allerdings auch unter dem Hinweis, dass es sich bei diesen Zahlen auf der Basis verschiedener Annahmen nur um eine größenordnungsmäßige Abschätzung handeln kann. Insgesamt wurde in diesen Berechnungen für die Biofilteranlage in ihren aktuellen Ausmaßen (Substratbeet-Volumen von 150 m<sup>3</sup>) eine funktionelle „Lebensleistung“ von ca. 16.500 m<sup>3</sup> Dränwasser berechnet bzw. auf dieser Basis eine „Lebensdauer“ des organischen Substrates von ca. 4 Jahren prognostiziert (bevor es ausgetauscht werden muss) bei einer kalkulierten jährlichen Beaufschlagungsmenge von 4.000 m<sup>3</sup> /Jahr.

Insgesamt ist festzustellen, dass im aktuellen Untersuchungsvorhaben die jährliche Beaufschlagungsmenge auf das Substratbeet mit ca. 4.500 m<sup>3</sup> höher ausgefallen ist als die seinerzeit zu Grunde gelegte Annahme von 4.000 m<sup>3</sup>/Jahr, diese grundsätzlich aber sicher noch in einem zu erwartenden natürlichen Schwankungsbereich liegt. Im Substratbeet sind zwar bereits nennenswerte Setzungsprozesse des Substrates festzustellen, die zu einer Reduzierung der ursprünglichen Schichtmächtigkeit des Substratkörpers von 1 m um ca. 30 % geführt haben, allerdings ohne bisher die hydraulische Durchlässigkeit des verbleibenden Substratkörpers nachhaltig zu beeinträchtigen. Grundsätzlich waren diese Setzungsprozesse allerdings auch bereits relativ früh im Substratkörper der Pilotanlage festzustellen, die im Untersuchungszeitraum 2011 – 2017 zwar nicht zu einem Austausch, aber zu einer mehrmaligen Wiederauffüllung des Substratkörpers mit frischem Substrat geführt haben.

Derzeit ist nicht wirklich belastbar abzuschätzen, ob das organische Substrat in seiner veränderten Zusammensetzung in der aktuellen Anlage unter ihren veränderten Ausbau- und Betriebsbedingungen stärker in Anspruch genommen wird, als in den Auswertungen der vorhergehenden Untersuchungsvorhaben berechnet bzw. prognostiziert. Es zeichnet sich allerdings ab, dass im nächsten bzw. übernächsten Jahr, spätestens bei einer Unterschreitung der Mächtigkeit des Substratkörpers von 50 cm, eine Wiederauffüllung des Substratkörpers sinnvoll bzw. notwendig wird. Dabei ist es insbesondere von Bedeutung, die hydraulische Durchlässigkeit des Substratkörpers zu gewährleisten, so dass eine entsprechende Vermischung mit dem Altsubstrat einer bloßen Überschichtung vorzuziehen ist.

## 4 Empfehlungen für einen praxisgerechten Anlagenausbau und – betrieb

Die im Abschlussbericht des Untersuchungsvorhabens der Jahre 2014 – 2017 zusammengefassten Vorschläge für einen praxisgerechten Ausbau und Betrieb von Biofilteranlagen wurden im Rahmen des hier vorgestellten Untersuchungsvorhabens umgesetzt und haben sich in dem bisherigen Betrieb bewährt.

Die Erhöhung des Speichervolumens von 123 m<sup>3</sup> in der Pilotanlage auf 250 m<sup>3</sup> in der aktuellen Anlage hat sich als ausreichend hoch erwiesen, um die von der Versuchsfläche (ca. 1 ha) abfließenden Dränwässer weitgehend vollständig vor ihrer Verteilung auf dem Substratbeet zwischenspeichern zu können. Als Folge von extremen Niederschlagsereignissen kann diese Speicherkapazität zwar überschritten werden, so dass Dränwässer unter Umgehung des Substratbeetdurchflusses unbehandelt abgeschlagen oder versickert werden müssen. Generell ist eine wie hier vorgestellte Biofilteranlage – nicht zuletzt auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten – für derartige Extremereignisse nicht auszulegen. Außerdem ist beim Anfall derartig hoher Dränwassermengen auch mit einer entsprechenden Verdünnung der in ihnen enthaltenen Schadstoffkonzentrationen zu rechnen. In dem erstellten „Leitfaden zum Bau und Betrieb einer Biofilter-Anlage zur Aufbereitung von mit Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen belasteten Abwässern aus Gartenbaubetrieben“ (siehe **Kapitel 5** bzw. **Anlage**) werden weitere Hinweise zur Dimensionierung einer Biofilteranlage in Abhängigkeit der angeschlossenen Produktionsfläche gegeben.

Nach bisherigem Kenntnisstand hat sich auch die Erhöhung des Substratbeetvolumens auf 150 m<sup>3</sup> sowie die Erhöhung der Schichtmächtigkeit auf 1 m als hinreichend erwiesen. Zwar war unter den derzeitigen Betriebsbedingungen am Ende des Untersuchungszeitraumes bereits eine Sackung der Substratbeetmächtigkeit um ca. 30 % festzustellen, sowohl die hydraulische Durchlässigkeit als auch das Retentionspotenzial für PSM-Rückstände blieb aber bisher erhalten. Die Wahl des Zeitpunktes zur Wiederauffüllung des Substratkörpers mit frischem Substrat ist insbesondere von den technischen Möglichkeiten zur Durchmischung des Altsubstrates mit dem frisch eingebrachten Substrat abhängig. Grundsätzlich empfiehlt sich eine derartige Durchmischung, um Stauhohizonte im Altsubstrat zu vermeiden und die hydraulische Durchlässigkeit des Substratkörpers zu gewährleisten. Eine Wiederauffüllung sollte spätestens dann erfolgen, wenn die verbleibende Mächtigkeit des Substratkörpers eine Höhe von ca. 50 cm unterschreitet.

Die aktuelle Anlage wurde mit den u. a. in **Kapitel 2.3** beschriebenen Spezifikationen errichtet. Weitere Kennwerte zur Dimensionierung entsprechender Anlagen finden sich in dem erstellten Leitfaden (siehe **Anlage**). Bei grundsätzlicher Einhaltung dieser Eckdaten zur

Anlagendimensionierung lässt sich die tatsächliche bauliche Ausführung in Abhängigkeit der jeweiligen betrieblichen und örtlichen Gegebenheiten sicher auch anders gestalten. So wurde z. B. in der hier errichteten Anlage das Substratbeet nach unten offen und über Flur mit einer Schichtmächtigkeit von 1 m errichtet. Durch den nach unten nicht abgedichteten Ausbau des Substratbeetes kam es im Projektverlauf hier zur Versickerung eines nicht unerheblichen Anteils der aufs Substratbeet aufgebrachten Dränwässer, der insgesamt bei ca. 43 % lag (siehe auch **Abbildung 10**). Soweit diese Wässer durch die belebten Deckschichten des Oberbodens versickern, ist hier mit einer weiteren Reduzierung verbleibender Schadstoffkonzentrationen zu rechnen. Für eine kontrollierte Versickerung in den Untergrund ist bei einem nach unten geschlossenen Ausbau des Substratbeetes eine nachgeschaltete, bewachsene Versickerungsmulde notwendig. Grundsätzlich möglich ist auch eine Anlage des Substratbeetes unter Flur, z. B. als nach unten abgedichtete Muldenstruktur. Nicht zuletzt ist bei einem derartigen Ausbau aber auch der energetische und apparative Mehraufwand eines notwendigen permanenten Pumpbetriebs zu berücksichtigen. Sofern von der hier dimensionierten Grundfläche des Substratbeetes abgewichen wird, ist zu berücksichtigen, dass bei dessen Vergrößerung (und gleichem Substratvolumen), eine für die Filterwirkung notwendige Schichtmächtigkeit von ca. 50 cm nicht unterschritten wird. Eine Verkleinerung der Grundfläche führt (bei gleichem Substratvolumen) zu einer - grundsätzlich akzeptablen - erhöhten Schichtmächtigkeit. Allerdings ist unter diesen Bedingungen u. a. durch den erhöhten Eigendruck des Substratkörpers mit stärkeren Setzungs- und damit Verdichtungseffekten des Substrates zu rechnen.

Durch die gewählten Beaufschlagungsmengen des Substratbeetes konnten die von der Versuchsfläche abfließenden Dränwassermengen während der Betriebszeiten der Anlage weitgehend vollständig über die Anlage geleitet werden. Grundsätzlich empfiehlt sich ein - insbesondere in der Bewirtschaftungsperiode der angeschlossenen Produktionsfläche – durchgehender Betriebszeitraum. Über die Wintermonate ist zur Vermeidung von Frostschäden an der Anlage deren Außerbetriebnahme in Abhängigkeit von den Außentemperaturen nicht zu vermeiden. Diese Außerbetriebnahme sollte möglichst spät im Jahr erfolgen, um den Effekt einer zum Jahresende sukzessiven Abnahme der Nitrat- und PSM-Konzentrationen im Dränwasser möglichst gut zu nutzen. Der Vorlagebehälter sollte vor Außerbetriebnahme noch einmal vollständig gefüllt werden. Eine Wiederinbetriebnahme im folgenden Frühjahr sollte – zur Schonung des Substrates - nicht zu früh, spätestens jedoch mit Wiederaufnahme der Bewirtschaftung der angeschlossenen Fläche erfolgen.

## 5 Leitfadenerstellung

Innerhalb des hier vorgestellten Untersuchungsvorhabens war - neben Rückbau der ursprünglichen Pilot-Biofilteranlage und dem Neubau und Betrieb einer entsprechend den praxisrelevanten Anforderungen des Untersuchungsbetriebes dimensionierten Anlage – eine weitere Aufgabe die Erstellung eines Leitfadens zum „Bau und Betrieb einer Biofilter-Anlage zur Aufbereitung von mit Nitrat und Pflanzenschutzmittelrückständen belasteten Abwässern aus Gartenbaubetrieben“. In diesem Leitfaden waren die zentralen Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungsvorhaben der Jahre 2011 - 2020 zum Bau und Betrieb entsprechender Biofilteranlagen zusammenzufassen. Mittels dieses Leitfadens sollen interessierten Betriebsleitern, ggfs. auch zuständigen bzw. genehmigungspflichtigen Aufsichtsbehörden, Hilfestellungen für den Bau und Betrieb sowie zur Dimensionierung entsprechender Anlagen gegeben werden.

Dieser Leitfaden wurde erstellt und in einer ersten Fassung im April 2020 dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Eine abschließende Fassung dieses Leitfadens, in welcher auch die zusammenfassenden Ergebnisse des hier vorgestellten Untersuchungsvorhabens berücksichtigt wurden, wird dem Auftraggeber zeitgleich mit diesem Abschlussbericht zur Verfügung gestellt.

## 6 Literatur

**IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Wasserschutzkooperation (WSK) Kevelaer-Keylaer (2014):** „Optimierung gartenbaulich genutzter Versickerungsmulden zur Minimierung nachteiliger Beeinflussungen von Grund- und Oberflächengewässern“; Abschlussbericht zum gleichnamigen, durch das MKULNV NRW (Az. 17-02.04.01-11/2011) geförderten und in den Jahren 2011 – 2014 durchgeführten Untersuchungsvorhaben.

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

**Die drei Abschlussberichte sowie der erstellte Leitfaden werden als pdf-Datei auch im Volltext auf der Homepage des IWW Rheinisch-Westfälisches Institut**

**für Wasserforschung gGmbH sowie der Landwirtschaftskammer NRW zum Download zur Verfügung gestellt:**

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

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

## 7 Anhang

**Anhang 1: Analyseergebnisse „PSM Gartenbau“ (in µg/l) (Leistungsversuche sind hervorgehoben)**

Probenahme Datum	Probenahmestelle	PBSM_Gartenbau																			
		Aclonifen	Azoxystrobin	Boscalid	Carbendazim	Chlorthalonil	Cyprodinil	Fenhexamid	Flonicamid	Fluazinam	Fludioxonil	Imidacloprid	Iprodion	Kresoximmethyl	lambda-Cyhalothrin	Metalaxyl	Methiocarb	Metribuzin	Pencycuron	Pyraclostrobin	Thiophanat-methyl
26.06.2019	Vorlaufschacht		1,81	19,31	0,28	0	0	0	0	1,9	0,17	0	0	0,26	0	0	0	4,1	0	0	0
26.06.2019	Vorlage		2,06	13,2	1,73	0	0	0	0	0,94	0	0	0	1,32	0	0	0	5,82	0	0	1,1
26.06.2019	AblBio		0,12	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0
30.07.2019	Vorlaufschacht		0,47	8,7	0,06	0	0	0	0	2,4	0,52	0	0,07	0	0	0	0	2,6	0	0	0
30.07.2019	Vorlage		1,87	8,49	0,31	0	0	0	0	0,62	0,17	0	0,08	0	0	0	0	2,35	0	0	0,46
30.07.2019	AblBio		0,12	1,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0	1,42	0	0	0
22.08.2019	Vorlaufschacht		1,01	2,94	0,45	0	0	0	0	1,25	0,13	0	0,15	0	0	0	0	54,1	0	0	11,6
22.08.2019	Vorlage		1,91	4,34	19,5	0	0	0	0	0,82	0,18	0	0,18	0	0	0	0	101	0	0	830
22.08.2019	AblBio		0,08	0,74	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	22,9	0	0	0
24.09.2019	Vorlage		0,96	4,73	1,32	0	0	0	0	1,02	0,08	0	0,93	0	0	0	0	17,1	0	0	37,7
24.09.2019	AblBio		0,05	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96	0	0	0	0	4,1	0	0	0
15.10.2019	Vorlage		1,53	1,63	0	0	0	0	0	1,41	0	0	0,07	0	0	0	0	2,42	0	0	0
15.10.2019	AblBio		0,29	0,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0	0	0
15.11.2019	Vorlage		6,06	1,29	0	0	0	0	0	0,98	0	0	0	0	0	0	0	1,67	0	0	0
15.11.2019	AblBio		0,28	0,62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,79	0	0	0
19.02.2020	Vorlaufschacht		1,94	1,09	0	0	0	0,05	0	1,19	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0	0	0
17.03.2020	Vorlaufschacht		0,89	1,2	0	0	0	0	0	0,62	0,06	0	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0
17.03.2020	Vorlage		1,95	1,15	0	0	0	0	0	0,63	0,05	0	0	0	0	0	0	0,66	0	0	0
17.03.2020	AblBio		0,26	0,65	0,07		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0
16.04.2020	Vorlaufschacht		0,48	1,39	0		0	0	0	1,3	0	0	0	0		0	0	0,59	0	0	0
16.04.2020	Vorlage		1,25	1,05	0		0	0	0	0,94	0	0	0	0		0	0	0,6	0	0	0
16.04.2020	AblBio		0,51	0,75	0		0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0,6	0	0	0
15.05.2020	Vorlage		19,1	1,18	0	0	0	0	0	0,86	0	0	0	0	0	0	0	116	0	0	0
15.05.2020	AblBio		0,38	0,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84,6	0	0	0
15.06.2020	Vorlaufschacht		2,82	1,52	1,79	0	0	0	0	0,09	0,09	0	0	0	0	0	0	3,03	0	0	0,18
15.06.2020	AblBio		0,49	0,61	0,94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,09	0	0	0
30.06.2020	Vorlage		6,1	1,28	1,17	0	0	0	0	0,55	0	0	0	0	0	0	0	5,43	0	0	2,68
30.06.2020	AblBio		0,33	0,52	0,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,97	0	0	0
21.07.2020	Vorlage		2,66	1,62	0,33	0	0	0	0	0,49	0	0	0	0	0	0	0	2,51	0	0	0,13
21.07.2020	AblBio		0,21	0,6	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,37	0	0	0
05.08.2020	Vorlage.Dot	26,96	1,07	118	0,08	0	0	0	0	16,2	0,06	0	0	0	0	12,97	0	121	0	28,8	0
05.08.2020	AblBio.Dot1	0,51	0,22	0,88	0,06	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	1,74	0	0,05	0
06.08.2020	AblBio.Dot2	0,08	0,36	6,42	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0	0	6,59	0	42,2	0	0,07	0
06.08.2020	AblBio.Dot3	0,09	0,4	9,11	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	6,37	0	41,2	0	0,09	0
17.08.2020	Vorlage		3,46	9,85	0,07	0	0	0	0	0,47	0,09	0	0	0	0	0,95	0	13	0	1,59	0
17.08.2020	AblBio		0,27	3,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,32	0	0	0
15.09.2020	Vorlage		5,33	2,35	0	0	0	0	0	1,04	0	0	0	0	0	0	0	124	0	0	0
15.09.2020	AblBio		0,19	2,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40,4	0	0	0
15.10.2020	Vorlage		1,01	1,37	0,47	0	0	0	0	1,09	0	0	0	0		0	0	11,5	0	0	2,21
15.10.2020	AblBio		0,13	1,02	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	8,87	0	0	0

**Anhang 2: Analyseergebnisse der N- und vor-Ort- Parameter. (Abl.Bio Dot.1 bezieht sich auf die Messung am Tag des Leistungsversuches).**

Probenahme Datum	Probenahmestelle	Temperatur (C°)	Leitfähigkeit (µS/cm)	pH	O2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NH4 (mg/l)
26.06.2019	Vorlaufschacht	19,5	944	6,6		239	0,26	1,2
26.06.2019	Vorlage	22	865	5,8		187	6,7	1,5
26.06.2019	AblBio	22,6	1245	6,7		71	0,04	0
30.07.2019	Vorlaufschacht	23,7	820	7,2	7,7	173	0,15	0
30.07.2019	Vorlage	24	1046	5,2	2,7	260	4,5	2,7
30.07.2019	AblBio	27	1225	6,7	4,6	134	0,06	0
22.08.2019	Vorlaufschacht	18,9	1144	6,5	8,9	241	0,04	0,039
22.08.2019	Vorlage	19,1	1094	6,1	5,4	233	1,5	0,28
22.08.2019	AblBio	21,4	1287	6,6	5,5	123	0	0
24.09.2019	Vorlage	17,5	982	6,5	7,1	193	0,39	0,33
24.09.2019	AblBio	20,1	1135	6,6	5,2	83	0,02	0
15.10.2019	Vorlage	13,8	168	7,2	9,8	8,4	0	0
15.10.2019	AblBio	14,5	397	7,1	8,8	1,7	0	0
15.11.2019	Vorlage	7,2	159	7,4	11	8,1	0	0
15.11.2019	AblBio	10,4	333	7,2	9,6	2,9	0	0
19.02.2020	Vorlaufschacht	6,8	82	7,3	11	2,6	0	0
17.03.2020	Vorlaufschacht	9,2	99,3	7,4	10	1,8	0	0,027
17.03.2020	Vorlage	13,4	110	7,4	9,9	4,4	0,07	0,032
17.03.2020	AblBio	8,6	373	8,1	8,9	4,5	0,06	0,072
16.04.2020	Vorlaufschacht	23,7	694	7,2	9,3	154	0,21	0,038
16.04.2020	Vorlage	22,1	270	7,1	9,3	43	1,1	0
16.04.2020	AblBio	23,7	427	6,6	8	35	0	0
15.05.2020	Vorlage	11	983	6,9	10	125	0,19	0,2
15.05.2020	AblBio	14,7	983	6,8	10	109	0	0,021
15.06.2020	Vorlaufschacht	19,3	902	7,1	8,5	79	0	0,034
15.06.2020	AblBio	17,5	1188	6,4	4,8	107	0,25	0,039
30.06.2020	Vorlage	17,8	991	6,9	8,3	123	0,1	0,051
30.06.2020	AblBio	17,9	1217	6,8	4,8	89	0,3	0,21
21.07.2020	Vorlage	21	715	6,9	7,9	102	0,33	0,26
21.07.2020	AblBio	19,3	812	7,4	8,6	53	0,04	0
05.08.2020	AblBio.Dot1	19,8	845	7	7,8	71	0	0
17.08.2020	Vorlage	24,4	936	6,4	3,8	133	0,19	0,63
17.08.2020	AblBio	25,3	1048	6,3	4,1	103	0,03	0
15.09.2020	Vorlage	17,8	837	7,1	8,3	121	0,5	0,35
15.09.2020	AblBio	20,2	997	6,4	5	80	0	0,022
15.10.2020	Vorlage	11,2	494	7,4	9,2	38	0	
15.10.2020	AblBio	12,1	718	7,2	9,4	29	0	