



Vermeiden von Gewässerverunreinigungen durch Punktquellen

**TOPPS**

**Biologische Reinigungsverfahren für  
Spritzflüssigkeitsrückstände auf  
landwirtschaftlichen Betrieben**

## Topps

TOPPS ist ein dreijähriges Projekt mit vielen Akteuren (Stakeholdern) in 15 EU-Ländern – die Abkürzung steht für **T**rainig the **O**perators to **P**revent **P**ollution from point **S**ources. TOPPS wird gefördert (finanziert) durch das EU – Programm Life und ECPA, die European crop protection organisation.

TOPPS hat das Ziel, die „Best Management Practises“ zu definieren und sie durch Beratung, Training und Demonstrationen großräumig in Europa zu verbreiten mit der Absicht, den Eintrag von PSM in Gewässer zu reduzieren.

Diese Broschüre soll die Unterstützung durch die Hersteller von Geräten und PSM ergänzen sowie die Umsetzung von Richtlinien und Verordnungen unterstützen.

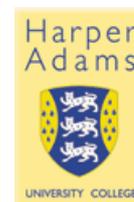
### Projektpartner



[www.ecpa.be](http://www.ecpa.be)



[www.pcfruit.be](http://www.pcfruit.be)



[www.harper-adams.ac.uk](http://www.harper-adams.ac.uk)



[www.landscentret.dk](http://www.landscentret.dk)



[www.insad.pl](http://www.insad.pl)



[www.imuz.edu.pl](http://www.imuz.edu.pl)



[www.deiafa.unito.it](http://www.deiafa.unito.it)



[www.esab.upc.es](http://www.esab.upc.es)



[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)



[www.arvalisinstitutduvegetal.fr](http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr)



[www.povlt.be](http://www.povlt.be)



[www.landwirtschaftskammer.de](http://www.landwirtschaftskammer.de)

## Inhalt

1. Einführung.....	4
2. Betriebliche Bedingungen.....	8
3. Zu verarbeitende Chemikalien und Flüssigkeiten.....	8
4. Bautypen von biologischen Reinigungssystemen.....	12
5. Dimensionierung von biologischen Reinigungssystemen.....	25
6. Aktivsubstratmischungen.....	25
7. Ansetzten von Substraten.....	27
8. Sorptions- und Abbauprozesse.....	29
9. Auslaufende Flüssigkeiten (Sickerwasser).....	30
10. Substratmischungen nach dem Gebrauch.....	30
11. Überlegungen zur Entscheidung für ein geeignetes biologisches Reinigungssystem.....	31

Dank

Literatur

## Absicht dieser Broschüre

Diese Broschüre soll Landwirte, Berater und Behörden über die Möglichkeiten informieren, Oberflächengewässerverunreinigungen durch PSM durch den korrekten Umgang mit kontaminierten Flüssigkeiten, wie sie beim Befüllen und Reinigen von Spritzen auf landwirtschaftlichen Betrieben anfallen, zu vermeiden. Das TOPPS Projekt hat bestmögliche Praktiken (BMP`s) zur Vermeidung von Punktquellen definiert und den Umgang mit kontaminierten Flüssigkeiten (Rückstände) als kritische Prozesse herausgestellt.

### **(Rückstände: PSM-kontaminierte Flüssigkeiten, die nach ersten Reinigungsschritten im Feld anfallen, sowie Washwasser nach Reinigung, Befüllen und Pflegemaßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben)**

In den meisten beteiligten Ländern hat das Management von Restflüssigkeiten nicht die nötige Beachtung gefunden und klare Empfehlungen und/oder Verordnungen fehlen. Wir sind der Ansicht, dass Anwender eindeutige und klare Empfehlungen benötigen. Allgemeine Anweisungen reichen nicht aus und deshalb streben wir mit dieser Broschüre an, dass durch die Einbringung der Erfahrungen von Experten aus unterschiedlichen Ländern klare Empfehlungen entwickelt werden.

## 1. Einführung in das operative Umfeld von biologischen Reinigungssystemen

### a) Wasserrahmenrichtlinie (WFD)

Die meisten EU Mitgliedsstaaten haben die Wasserrahmenrichtlinie (WFD) 2000/60/EC bereits in nationale Gesetze umgesetzt. Ziel ist es, den Zustand aller Rohwässer zu schützen und zu verbessern und zum Schluss den Mindestzustand „gute Gewässerqualität“ in der dritten Überprüfungsperiode (2027) zu erreichen. Nach dem Inkrafttreten im Dezember 2003 gibt die WFD einen Zeitrahmen vor, der zu befolgen ist, damit die Ziele erreicht werden können. Beginnend mit der Bestandsaufnahme (Auflistung der zuständigen Behörden, Einrichtung und Beschreibung von Flusseinzugsgebieten) sind für jedes Einzugsgebiet Monitoringsysteme einzurichten, Flussgebietsmanagementpläne (RBMP`s) und Berichte zu erstellen. Ebenso sind Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität umzusetzen und regelmäßig zu überprüfen (alle 6 Jahre).

Das Gerüst der WFD beinhaltet so genannte Tochterrichtlinien zu Grundwasser (2006/118/EC - die im Januar 2009 in Kraft treten) und Oberflächenwasser (EQS Tochterrichtlinie betreffend Umweltqualitätsstandards, deren Inkrafttreten Mitte 2010 erwartet wird). Diese geben Ziele für Qualitätsstandards in Oberflächen- und Grundwasser vor. Sowohl Grundwasser als auch Oberflächenwasser werden in Europa zur Trinkwassergewinnung genutzt. Der Trinkwassergrenzwert ist auf 0,1 µg/l für PSM festgesetzt (98/88/EC). Dies entspricht 1 g a.i. in 10 Mio. Liter Wasser. Der 0,1 µg/l Grenzwert stellt im Prinzip eine Nulltoleranz im Trinkwasser dar. Zur Erreichung dieser ehrgeizigen Ziele sind spezielle Maßnahmenpakete zum lokalen Risikomanagement sowie die generelle Einhaltung der BMP`s nötig. Wenn PSM den 0,1 µg/l Wert überschreiten, sogar vor der Behandlung der Rohwässer, können Mitgliedsstaaten den PSM-Einsatz der betreffenden Wirkstoffe einschränken oder verbieten, was die verfügbaren Möglichkeiten der Landwirte für Problemlösungen einschränkt.

**b) Eintrittspfade von PSM in Gewässer**

**1) Punktquellen**

Punktquellen sind vorrangig beim Umgang mit PSM zu beachten. Schlüsselbedeutung haben die Arbeitsvorgänge Befüllen, Reinigen und Management von Restflüssigkeiten. Restflüssigkeiten sind mit PSM kontaminierte Flüssigkeiten, die in der Spritze verbleiben können, wenn sie nicht komplett im Feld gereinigt wird oder sie beruhen auf verschütteten PSM, Tanküberläufen auf dem Befüllplatz oder Innen- und Außenreinigung der Spritze auf der Hofstelle. Untersuchungen haben gezeigt, dass Punktquellen 40 – 90 % der Einträge von PSM in Gewässer ausmachen und somit den wichtigsten Eintragsweg darstellen.

**2) Diffuse Quellen**

Diffuse Quellen entstehen meist während der Anwendung von PSM im Feld. Kritische Schlüsselbereiche sind Ablauf (runoff) durch Erosion, Einträge durch Dränagen und Abdrift.

**c) Biologische Reinigungssysteme**

**1) Prinzip**

Biologische Reinigungssysteme behandeln PSM-kontaminierte Flüssigkeiten auf landwirtschaftlichen Betrieben, indem sie angepasste Mikroorganismen nutzen, um PSM Wirkstoffe biologisch abzubauen. Diese Systeme können im Eigenbau erstellt und an die spezifische Betriebssituation angepasst werden. Falsche Dimensionierung und falscher Einsatz dieser Systeme können allerdings die Funktion erheblich beeinträchtigen. Daher ist es notwendig, diesen Anweisungen sorgfältig zu folgen. Untersuchungen haben gezeigt, dass biologische Reinigungssysteme unter optimalen Verhältnissen Reinigungsgrade von 95 % bis mehr als 99 % für die meisten PSM erzielen können. Abb. 1 zeigt den generellen Aufbau eines biologischen Reinigungssystems (De Wilde et al. 2007).

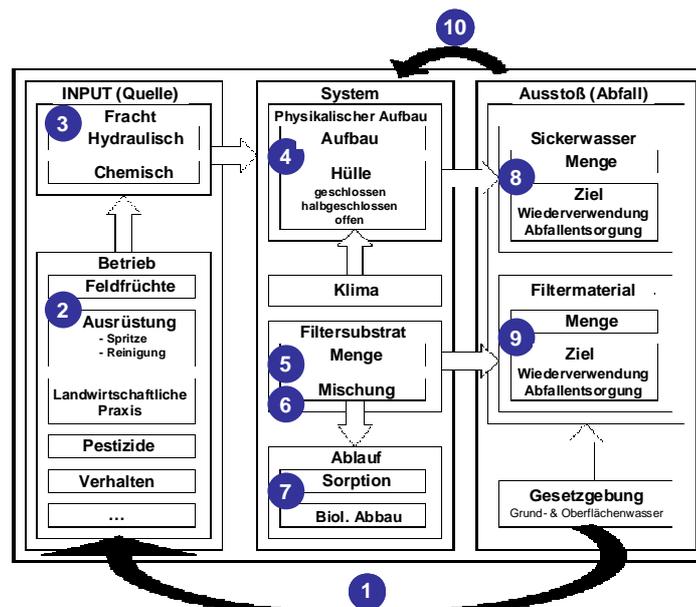


Abb. 01: Schematischer Überblick der operativen Zusammenhänge eines biologischen Reinigungssystems (Quelle: De Wilde et al. 2007).

## II) Biobedsysteme

Biobed's sind ausgewiesene Flächen für das Befüllen und Reinigen von Spritzmaschinen. Wichtig ist, dass beim Gebrauch von Biobedsystemen die Spritze im Feld gereinigt wird und nur verbleibende, verdünnte Restflüssigkeiten die im Feld nicht ausgebracht werden können auf das Biobed gelangen. Dies ergibt eine bessere Reinigung mit der Möglichkeit kleinere und billigere Systeme zu nutzen. Die empfohlenen Biobedsysteme (Thorstenson et al., 1997 & 2000; Basford et al., 2004) sollten geschlossen sein, um das Austreten von Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser zu verhindern. Im Prinzip sind dies entweder Ausschachtungen im Boden oder Konstruktionen auf der Erde, die die Flüssigkeit sammeln und anschließend verarbeiten. Das geschlossene Biobedsystem ist mit einer aktiven Substratmischung aus Mutterboden (enthält die natürlichen Mikroorganismen, die die Pflanzenschutzmittel abbauen), Torf und Stroh gefüllt.



Abb. 02: biobed (Quelle: Visavi)



Abb. 03: Biobac (Quelle: Mybatec)

Das Abdichten von Biobedsystemen sollte mit undurchlässigem Material wie Beton oder Hartplastik erfolgen und eine offene Oberfläche nach oben haben. Geschlossene Biobeds sind Systeme, wo überflüssige Flüssigkeiten gesammelt werden und verdunsten können. In einigen Gebieten haben Biobeds eine Grasdecke, welche durch Verdunstungsförderung die Flüssigkeit weiterhin reduziert. In einigen Gebieten werden Biobeds als direkte Befüll- und Reinigungsplätze mit der daraufstehenden Spritze genutzt (Abb. 02). Meistens werden Biobeds in Kombination mit einem separaten Befüll- und Reinigungsplatz genutzt, von dem überflüssiges Wasser gesammelt wird und direkt dem Biobed zugeleitet oder in einem Puffertank zwischengelagert wird, um dann dem Biobed zugeführt zu werden (Abb. 03). Bei einer solchen Bauart können die Flüssigkeiten über die gesamte Fläche des Biobeds und während des ganzen Jahres für eine optimale Nutzung ausgebracht werden. In Regionen mit extremen Niederschlägen wird vorgeschlagen, die Biobeds abzudecken, um ein Überfluten zu verhindern. (Zahlreiche Variationen von Biobeds existieren bereits: Gegenwärtig werden nicht abgeschlossene Biobeds auch dort genutzt, wo die Intensität der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln gering ist und auch der Austrag ins Grundwasser kein Risiko darstellt, die BMP's für neue Biobeds empfehlen grundsätzlich abgeschlossene Systeme).

Biobedsysteme enthalten in der Regel 10 - 30 m<sup>3</sup> einer aktiven Substratmischung. Sie werden meistens auf großen landwirtschaftlichen Betrieben genutzt, um große Mengen von kontaminierten Flüssigkeiten zu verarbeiten, aber auch mehrere kleinere Betriebe nutzen ein gemeinsames Biobed. Die Nutzungsdauer beträgt

normalerweise 6-8 Jahre, danach muss die Substratmischung ersetzt werden. Übliche Empfehlung ist es, die Substratmischung mit einem Miststreuer auf dem Betrieb auszubringen. Diese ausgesprochene Empfehlung gibt es derzeit nur in wenigen Ländern. Man sollte grundsätzlich mit den lokalen Behörden klären, was in der entsprechenden Region erlaubt ist.

### III) Biofiltersystem

Das Prinzip des Biofilters ähnelt dem des Biobeds. Es wird ausdrücklich empfohlen, dass die Spritze im Feld gereinigt wird und das nur verbleibende, verdünnte Flüssigkeiten, die im Feld nicht ausgebracht werden können, dem Biofilter zugeführt werden. Das verbessert die Reinigung und eröffnet die Möglichkeit kleinere und billigere Systeme zu nutzen. Der Biofilter (Pussemier et al., 2004) besteht aus zwei bis drei Behältern oder aus Sammelbehältern (IBCs) von 1 m<sup>3</sup> Größe, die übereinander gestapelt werden und mit einer ähnlichen Substratmischung wie die Biobeds befüllt sind (Abb. 04). Das Biofiltersystem kann modifiziert werden (Debaer & Jaeken, 2006), indem zusätzliche horizontale Einheiten auf dem Boden aufgestellt werden, zwecks zusätzlicher Reinigung und Verdunstung, welche Pflanzen enthalten (Abb. 05). Biofiltersysteme sind grundsätzlich kleiner als Biobeds und haben geringere Mengen an Filtersubstrat oder Biomix (2-5 m<sup>3</sup>). Um höhere Wasservolumina verarbeiten zu können, kann man parallele Biofiltersysteme einrichten. Das verunreinigte Wasser wird auf einem separaten Befüll- und Reinigungsplatz gesammelt und dann auf den Biofilter ausgebracht. Biofilter sind offene Systeme mit der Möglichkeit, Sickerwasser zu sammeln. Diese Flüssigkeiten können durch Pumpen wieder auf das Biofilter ausgebracht werden oder nach



Abb. 04: Biofilter (Quelle: CRAw)



Abb. 05: Modifizierter Biofilter (Quelle: pcfruit)

der Reinigung im Feld z.B. mit der Applikation eines nicht selektiven Herbizids ausgebracht werden. Das modulare Design eines Biofilters ist sehr flexibel, billig und

erfordert nicht viel Platz. Das Konzept, die kontaminierte Flüssigkeit in einem Tank zu sammeln und täglich 30 l auf das Filter auszubringen, verteilt das Aufbringen der kontaminierten Flüssigkeit über eine lange Zeitspanne und verhindert eine Überladung. Diese Vorgehensweise liefert ständig Feuchtigkeit, hält die Mikroorganismen aktiv und befähigt sie, die Pflanzenschutzmittel abzubauen. Biofilter können leicht abgedeckt werden, so dass kein Regenwasser ins System gelangt. Wie Biobeds erfordern die Biofilter von Zeit zu Zeit zusätzliches abbaubares Material, um die Mineralisation der Substratmischung auszugleichen. Der Biofilter kann 6-8 Jahre genutzt werden, danach wird eine komplette Neufüllung mit Substrat empfohlen. Generelle Empfehlung ist es, die alte Substratmischung mit einem Miststreuer auf dem Feld auszubringen. Eine solche offizielle Empfehlung existiert nur in sehr wenigen Ländern. Man sollte grundsätzlich mit den lokalen Behörden klären, was in der entsprechenden Region erlaubt ist.

## 2. Betriebliche Bedingungen

Die speziellen Bedingungen auf dem landwirtschaftlichen Betrieb bestimmen, wie viel Wasser und Pflanzenschutzmittel auf dem Biobed anfallen und die Auswahl des optimalen Systems zur Gewährleistung der Effektivität. Die Anzahl der angebauten Kulturen und der entsprechende Spritzplan bestimmen, wie oft die Spritze gereinigt werden muss, um Schäden an Folgekulturen oder Rückstände zu vermeiden. Neben dem Verhalten des Anwenders hat die Bauart der Maschine einen erheblichen Einfluss darauf, welche Mengen zu verarbeiten sind. Konventionelle Feldspritzen haben höhere interne Flüssigkeitsrestmengen während luftunterstützte Spritz- und Sprühgeräte (Obst- und Weinbau) an den Außenflächen stärker kontaminiert sind. Weiterhin unterscheiden sich die Mengen in Abhängigkeit von den Dimensionierungen von Schläuchen und Gestänge und der Bauart des Spritztanks. Das Volumen des Klarwassertanks und die Verfügbarkeit von Spülwasser bestimmen die PSM Mengen in und auf der Spritze nach dem Spritzen und der Reinigung im Feld. Eine Spritze mit dem geringst möglichen Restvolumen und einem Klarwassertank von ausreichender Größe erfüllt die BMP und reduziert die Wasser- und PSM-Mengen die im Bioreinigungssystem behandelt werden müssen.

## 3. Zu verarbeitende Chemikalien und Flüssigkeiten

Eine bedeutende Frage, die beantwortet werden muss, bevor man ein Bioreinigungssystem aufbaut, ist die genaue Abschätzung in Bezug auf die Konzentration an PSM in den Flüssigkeiten und des zu behandelnden Wasservolumens. Abgesehen von verschütteten Mengen hochkonzentrierten Materials vor der Behandlung bestehen die Hauptquellen einer potentiellen Wasserkontamination auf landwirtschaftlichen Betrieben im Umgang mit inneren und äußeren Rückstandsmengen nach dem Spritzen. Der europäische Standard (EN 12761) definiert Mindestanforderungen an Pflanzenschutzgeräte. Ein wichtiger Faktor ist das maximale Volumen an Restflüssigkeiten einer Spritze wie sie durch ISO 13440 definiert wird. Das gesamte Restvolumen in einer Spritze ist die Menge, die nicht mit einer gewünschten Applikationsrate ausgebracht werden kann. Dies wird angezeigt, wenn der Druck am Manometer um 25 % abfällt. Die empfohlenen maximalen Grenzen des EU Standards EN 12761-2 für Feldspritzen und EN 12761-3 für luftunterstützte Raumsprühgeräte sind in Tabelle 1 und 2 angegeben. Als Hilfsmittel zur Abschätzung der verdünnten Spritzflüssigkeit kann der gegenwärtige EU Standard EN 12761 bei der Ermittlung der Menge behilflich sein. Wenn detaillierte Angaben

des Herstellers über das Restvolumen verfügbar sind, sollten diese Informationen für die Berechnung genutzt werden (Untersuchungen haben ergeben, dass große Unterschiede des gesamten Restvolumens bei unterschiedliche Spritzen existieren).

**Tab. 01: Maximales Volumen der technisch bedingten Restmenge für Feldspritzen**

Technisch bedingte Restmenge in l (EN 12761-2)				
Tank		Gestänge		
Volumen (l)	0,5 %	Länge (m)	2 l/m	Liter Gesamt
800	4	15	30	34
3000	15	21	42	57
4200	21	36	72	93

**Tab. 02: Maximales Volumen der technisch bedingten Restmenge für Sprühgeräte**

Technisch bedingte Restmenge in l (EN 12761-3)		
Tankvolumen (l)	%	Liter Gesamt
400	4 %	16
800	3 %	24
1500	2 %	30

Zusätzlich zu diesen anfallenden Volumina muss auch die Außenreinigung der Spritze berücksichtigt werden. Gegenwärtig reinigen die meisten Landwirte ihre Spritzen auf der Hofstelle. Aber Untersuchungen haben gezeigt, dass äußere Anlagen am besten im Feld entfernt werden und dass dies besonders für luftunterstützte Spritzen von Wichtigkeit ist. Eine andere wichtige Ausrüstung die der EU Standard berücksichtigt oder betrachtet, ist das Volumen des Klarwassertanks für Feldspritzen. Dieser sollte mindestens 10 % des Nennvolumens des Spritztanks oder mindestens das 10-fache des Restvolumens der Spritze betragen. Landwirte sollten auf diese EU Standards achten, da Untersuchungen gezeigt haben, dass nicht alle Spritzen die Anforderungen erfüllen. Eine effektive Nutzung des Klarwassertanks ist wichtig, da die Außenreinigung auf das Feld verlagert werden sollte, wie die BMP's es für eine Risikoreduzierung empfehlen. Basierend auf den ENTAM Spritzenuntersuchungen haben Debaer et al., 2008 gezeigt, wie wichtig es ist, dass Restvolumen durch dreimaliges Spülen zu verdünnen. Für Feldspritzen wurde die Menge an Chemikalien im Durchschnitt um den Faktor 72 zwischen Nichtspülen (2900 g a.i.) und Dreifachspülen (40 g a.i.) reduziert. Das Spülverfahren hat daher einen großen Einfluss auf die Menge an Chemikalien und auf das, was das biologische Reinigungssystem tatsächlich zu leisten hat. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Unterschiede zwischen den Spritzen und den Einfluss der Spülvorgänge für Feld- und Obstbauspritzen. Dies bestimmt die Menge an Chemikalien, die im biologischen Reinigungssystem zu behandeln ist.

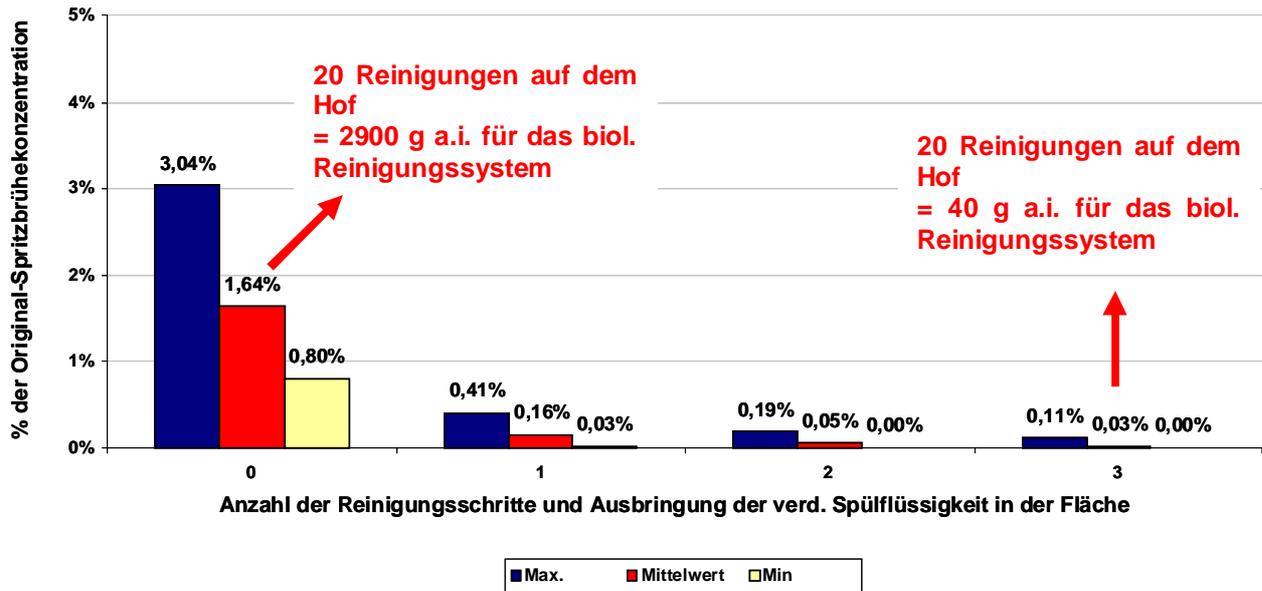


Abb. 06: Chemische Frachten die durch biologische Reinigungssysteme abgebaut werden müssen, basierend auf ENTAM Feldsprizentests (94 geprüfte Spritzen) abhängig von der Spritze und Reinigungsmethode. Ausgehend von 20 Reinigungen auf dem Hof und einer Tankkonzentration von 1000 g a.i. in 250 l/ha, kann durch dreifaches Spülen die chem. Fracht um 2860 g reduziert werden (Quelle: Debaer et al., 2008)

Für luftunterstützte Obstbauspritzern sind äußerliche Verunreinigungen die größte Quelle der Kontamination. In Abhängigkeit von der Spritzenkonstruktion und der Luftunterstützung, den verwendeten Düsen und der Luftleistung beträgt die äußerliche Kontamination 0,33 % und 0,83 % der angewandten Menge (Balsari, 2006 ISO Tests).

Beispiel: Ein Apfelanbauer setzt 25 kg a.i. pro ha und Jahr ein, die daraus resultierende äußerliche Kontamination der Spritze kann zwischen 82,5 g und 207,5 g/ha betragen.

Für Feldspritzen kann die äußerliche Kontamination der Spritzen ohne Luftunterstützung zwischen 0,01 % und 0,1 % der applizierten Menge betragen, aber bis zu 0,47 % für luftunterstützte Feldspritzen (Wehmann 2006/ ISO Tests). Für einen Ackerbauern der 1,5 kg a.i. pro ha und Jahr einsetzt, entspricht das einer äußerlichen Kontamination von bis zu 1,5 g/ha für eine konventionelle Feldspritze und bis zu 7,5 g / ha für eine luftunterstützte Spritze. Die Außenreinigung von Sprühgeräten auf dem Feld reduziert die Menge an Chemikalien, die auf das biologische Reinigungssystem gelangen beträchtlich (beachte: äußerliche Verunreinigungen variieren in der Praxis beträchtlich).

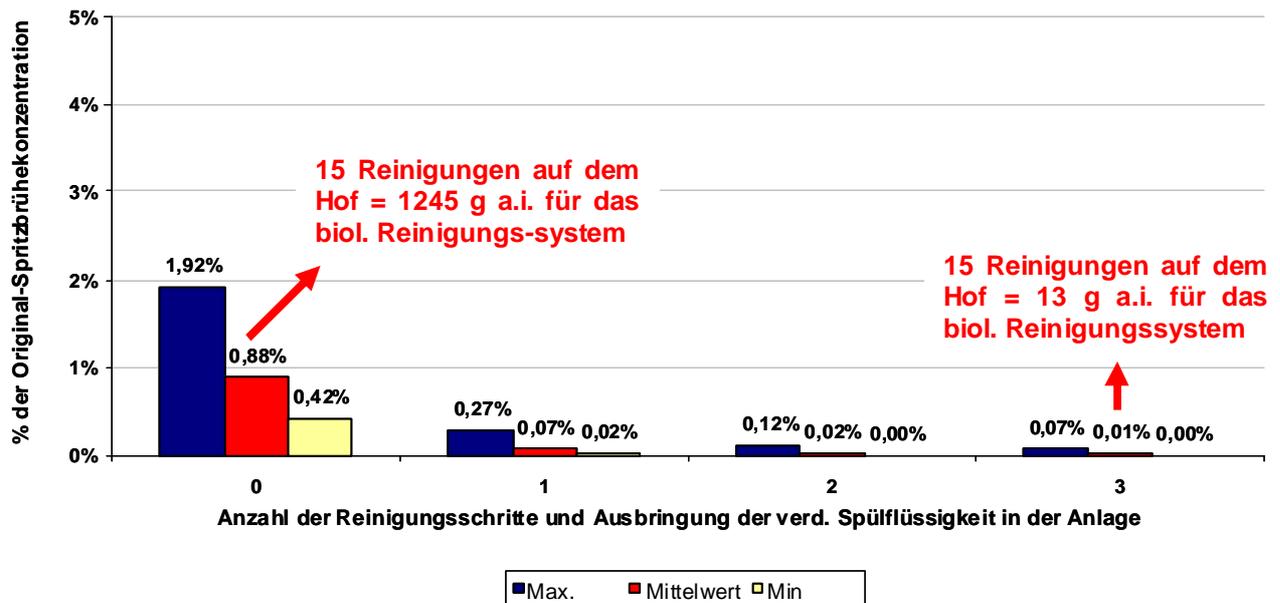


Abb. 07: Chemische Frachten, die durch biologische Reinigungssysteme abgebaut werden müssen, basierend auf ENTAM Sprüherätetests (23 geprüfte Sprüheräte), abhängig von dem Sprüherät und Reinigungsmethode. Ausgehend von 15 Reinigungen auf dem Hof und einer Tankkonzentration von 2000 g a.i. in 250 l/ha, kann durch dreifaches Spülen die chem. Fracht um 1232 g reduziert werden (Quelle: Debaer et al., 2008)

Das Entfernen äußerlicher Verunreinigung im Feld, während sie noch feucht sind, ist wesentlich effektiver als zu versuchen, trockene Rückstände auf der Hofstelle zu entfernen. Bei geringem Druck (4 bar) können mit lediglich 2,5 l/m<sup>2</sup> 97,5 % an Kupfer entfernt werden, wenn die Rückstände noch feucht sind. Nach 10 Stunden sind es lediglich 70 % und nach weiteren 10 Stunden können nur noch 40 % mit der gleichen Wassermenge entfernt werden. Der gleiche Reinigungseffekt nach mehr als 10 Stunden Trocknungszeit erfordert bei niedrigem Druck die 5 fache Wassermenge (12,75 l/m<sup>2</sup>); für eine durchschnittliche Obstbauspritze bei einer geschätzten Oberfläche von 10 m<sup>2</sup> macht die Reinigung im Feld verglichen mit der Reinigung auf der Hofstelle einen Unterschied von 100 l aus (25,5 l im Feld, 127,5 l auf der Hofstelle). Hochdruckreinigungssysteme können die Außenreinigung weiter verbessern und den Verbrauch von Wasser reduzieren. Jeder Rückstand außen an der Spritze kann durch Witterungseinflüsse und Regen langfristig entfernt werden und auf der Hofstelle landen. Um den Betrag an Chemikalien, der auf die Hofstelle gelangt, zu reduzieren, ist es wichtig, die Reinigung auf dem Feld durchzuführen. Dies reduziert nicht nur das Risiko der Gewässerverunreinigung durch Punktquellen, sondern es verringert die erforderliche Kapazität des biologischen Reinigungssystems.

#### IV) Biologische Reinigungssysteme / Zusammenfassung

Die Biologischen Reinigungssysteme sollten als der letzte Schritt der Risikominimierung betrachtet werden, um die Gewässerverunreinigung durch Pflanzenschutzmittel zu verhindern.



**Abb. 08 + 09: Außenreinigung eines Sprühgerätes (Quelle: pcfruit) und einer Feldspritze (Quelle: Landwirtschaftskammer NRW)**

Die Flüssigkeits- und Chemikalienmenge auf dem Betrieb bestimmt den Aufbau des biologischen Reinigungssystems. Für geringe Mengen von kontaminierten Flüssigkeiten von geringer Konzentration, z.B. im Zusammenhang mit Reinigungen auf dem Feld - bei nur wenigen Reinigungen pro Jahr, ist nur ein kleiner Biofilter erforderlich. Große Mengen von kontaminierten Flüssigkeiten mit hohen Konzentrationen bedeuten ein großes biologisches Reinigungssystem in Kombination mit einer speziellen Infrastruktur wie einem speziellen Befüll- und Reinigungsplatz. Dieser Aufbau ist erforderlich, wenn keine Reinigung auf dem Feld erfolgt und viele Reinigungsarbeiten auf der Hofstelle erfolgen. Das zweckmäßigste System ist in diesem Falle wohl ein großes Biobed. Landwirte haben die Möglichkeit das Risikomanagement stärker ins Feld zu verlagern, was geringere Investitionen auf der Hofstelle bedeutet, sowohl für den Umgang mit Pflanzenschutzmitteln als auch für Reinigungen.

#### 4. Bautypen von biologischen Reinigungssystemen

Ein integrierter Befüll- und Reinigungsplatz ermöglicht verschiedene Arbeitsprozesse in geordneter Weise und reduziert die Risiken des Umgangs mit Pflanzenschutzmitteln auf der Hofstelle (Abb. 19). Verschüttete Mengen und nicht gewollte kontaminierte Flüssigkeiten können gesammelt und aufbereitet werden.

##### 1) Direkte oder separate Reinigungsflächen

Die Befüll- und Reinigungsfläche kann sich direkt auf dem installierten Biobed befinden oder in unmittelbarer Nähe. Beispiele für ein kombiniertes Biobed mit Befüll- und Reinigungsplatz sind in Abb. 11 und 12 zu sehen. Wenn der Schlepper und/oder die Spritze auf das Biobed gefahren werden, dann ist natürlich eine genügend belastbare Struktur erforderlich, die das Gewicht der vollen Spritze tragen kann. Diese Systeme sind am besten durch Grasbewuchs abgedeckt, um die Feuchtigkeit gleichmäßig zu verteilen und den Wasseranfall zu reduzieren (Evapotranspiration). Da kontaminierte Flüssigkeiten direkt von der Spritze aufgetragen werden, ist eine gute gleichmäßige Verteilung auf der Oberfläche des Biobeds schwierig. In einigen Fällen wird nur das Spritzgestänge direkt über dem Biobed platziert (Abb. 13).

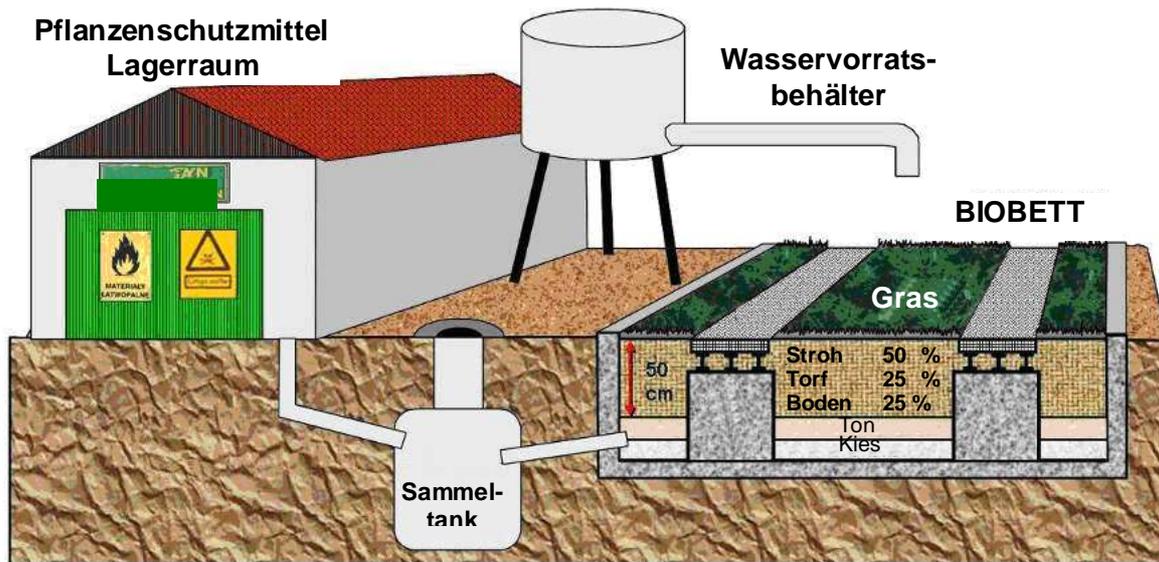


Abb. 10: Schematische Übersicht eines Wasch- und Befüllplatzes (Quelle: ISK).

Ähnliche Bausysteme können für Biofilter-Installationen genutzt werden, bei denen kontaminierte Flüssigkeiten gesammelt und direkt auf den Biofilter aufgebracht werden (Abb. 14). Dieser Aufbau garantiert eine bessere Verteilung der kontaminierten Flüssigkeiten im System. Grasschichten sind nicht geeignet für Biofilter (sie würden mit Gräserherbiziden kontaminierte Flüssigkeiten nicht überleben). Der Biofilter sollte vor Regen geschützt sein und eine Zirkulation der aufgesammelten Flüssigkeiten ist notwendig, um ein Austrocknen der oberen Schichten während diskontinuierlicher Befüllung zu verhindern.

Die in Abb. 14 gezeigte Übersicht erlaubt die Innenreinigung des Tanks. Verschüttungen während des Befüllens und Waschrückstände von Außenreinigungen müssen gesammelt und auf den Biofilter aufgebracht werden. Getrennte Füll- und Reinigungsflächen auf der Hofstelle müssen undurchlässig für mit Pflanzenschutzmittel kontaminierte Flüssigkeiten sein und sie sollten direkt oder indirekt in das biologische Reinigungssystem eingebracht werden.



Abb. 11: Rampe über einem Biobed (Foto: Visavi)



Abb. 12: Überfahrgitter auf einem Biobed

Eine separate Fläche erlaubt es, alle kontaminierten Flüssigkeiten zu sammeln (Sammeltank) und sie dann auf das biologische Reinigungssystem aufzubringen. Dies ermöglicht es, die verunreinigten Flüssigkeiten gleichmäßig über das Reinigungssystem zu verteilen und auch zeitlich zu strecken. Für den Fall, dass der Befüll- und Reinigungsplatz nicht vor Regenwasser geschützt ist, ist ein separater Umlauf nötig, der verhindert, dass Regenwasser in das biologische Reinigungssystem gelangt. Untersuchungen haben gezeigt, dass von Verschüttungen auf Befüllplätzen aus Pflanzenschutzmittel lange Zeit an Oberflächenwasser abgegeben werden können. Falls nicht der gesamte Regen aufgefangen werden kann, ist eine sorgfältige Reinigung des Befüllplatzes erforderlich. Empfehlungen unterscheiden sich in den Ländern.

Das biologische Reinigungssystem sollte grundsätzlich vor Regenwasser geschützt sein, bes. dort, wo Regenwasser das System überladen kann.

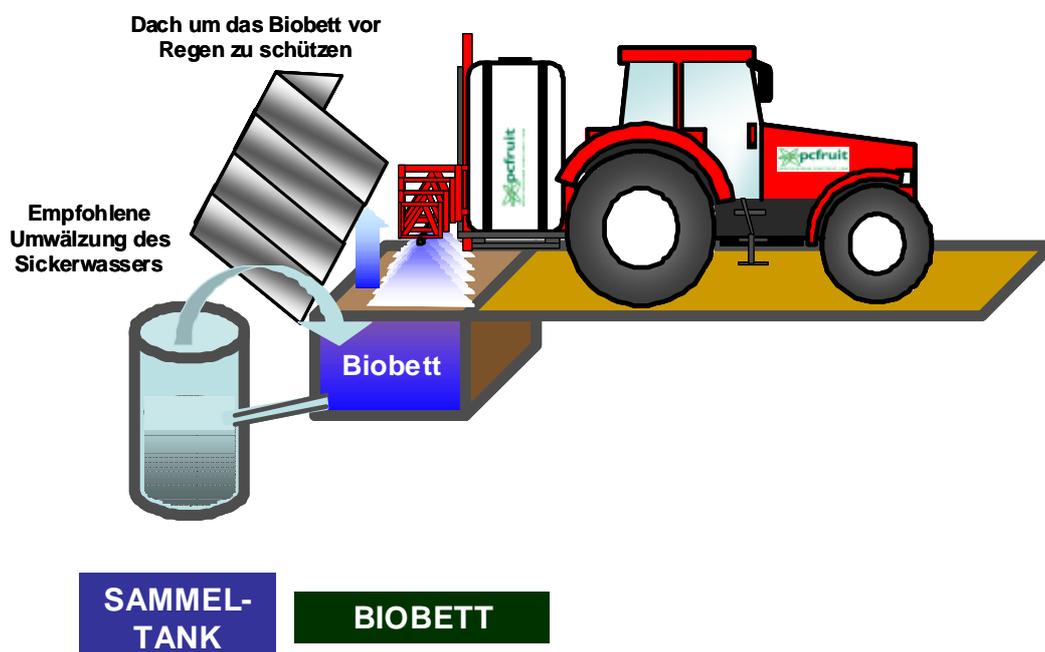
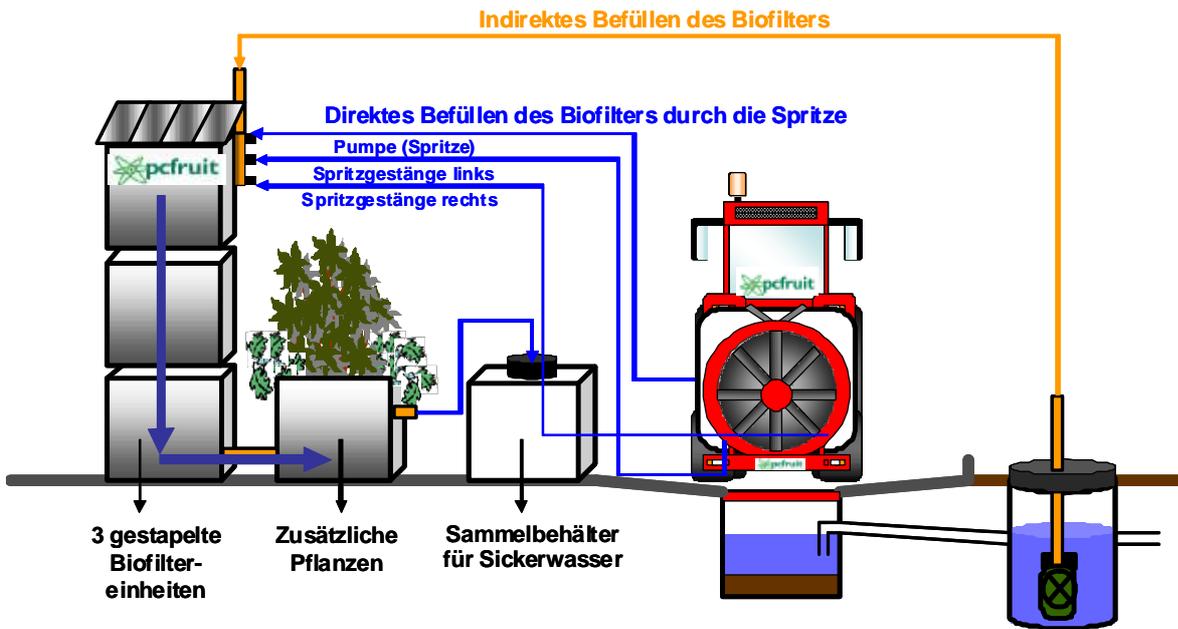


Abb. 13: Schematisches Beispiel eines Biobeds, das als direkte Reinigungsfläche verwendet wird. Das Spritzgestänge ist direkt über dem Biobed platziert, um die Reinigungsflüssigkeiten aufzufangen (Quelle: pcfuit)



**BIOFILTER**

**Befüll- und Waschplatz**

**Sammel- und Reservebehälter**

Abb. 14: Schematische Darstellung der direkten und indirekten Befüllung des Biofilters. Direkte Befüllung gestattet nur die Befüllung mit verdünnten Rückständen aus der Innenreinigung. Indirekte Befüllung von einem separaten Befüll- und Waschplatz erlaubt das Befüllen mit den gesamten kontaminierten Flüssigkeiten (Quelle: pcfruit)



Abb. 15: Separater, befestigter Befüll- und Waschplatz mit entsprechender Ausrüstung, der die anfallenden kontaminierten Flüssigkeiten zum Biofilter leitet (Foto: DAAS)



**Abb. 16 + 17: Separater, betonierter Befüll- und Waschplatz der die anfallenden kontaminierten Flüssigkeiten über eine betonierete Rinne (links) oder Drainagegitter (rechts) zum Biofilter leitet (Fotos: ADAS)**

Es muss sichergestellt sein, dass die Befüll- und Reinigungsfläche eine befestigte Randbegrenzung besitzt oder ein Gefälle und dass kontaminierte Flüssigkeiten in der Fläche verbleiben.

## II) Puffer- oder Sammeltank

Ein Puffertank verursacht zusätzliche Kosten, wird aber empfohlen, da er es erlaubt, die Menge und die Zudosierung von Flüssigkeiten in das biologische Reinigungssystem besser zu steuern. Die Größe des Puffertanks sollte der jährlich anfallenden Flüssigkeitsmenge entsprechen. In Abhängigkeit vom Klima ist ein biologisches Reinigungssystem während 200 - 300 Tagen im Jahr aktiv. Niedrige Wintertemperaturen reduzieren bzw. verhindern die biologische Aktivität. Reinigungen sind auf der anderen Seite nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt. Für optimales Arbeiten sollten Wasser und Chemikalien gleichmäßig während der aktiven Periode zugeführt werden um eine gleichmäßige biologische Aktivität zu gewährleisten. Beispiel: Wenn die jährlich anfallende Flüssigkeitsmenge 5000 l beträgt und die aktive Periode des Systems (Tage > 15-20 °C) sich auf 200 Tage beläuft, bedeutet dies, dass dem System täglich 25 Liter zugeführt werden sollten. In Verbindung mit einem Puffertank arbeitet das System optimal und die Dimension kann begrenzt werden. Um dem biologischen Reinigungssystem täglich geringe Volumina zuzuführen, ist eine Pumpe mit geringem Durchfluss in Kombination mit einem elektronischen Timer (diskontinuierlich) oder eine Dosierpumpe (kontinuierlich) im Gebrauch (Abb. 18,19).

In Fällen, wo verbleibende Spritzflüssigkeit nicht verdünnt und nicht im Feld ausgebracht werden kann, erlaubt ein Puffertank, der alle Flüssigkeiten auffängt, dass die Flüssigkeit im Puffertank durch Zufuhr von Frischwasser verdünnt werden kann, da verdünnte Flüssigkeiten besser abbaubar sind.

## III) Offene oder geschlossene Systeme

In Abb. 20 findet sich eine schematische Darstellung eines offenen und geschlossenen Biobedsystems. Geschlossene Systeme sind ähnlich wie abgesetzte Verfahren, wo überschüssiges Wasser oder Feuchtigkeit das System nur durch Verdunstung verlassen kann. Aus 1 m<sup>3</sup> Substrat verdunsten während eines Jahres im Durchschnitt 400 – 500 l Wasser (in Abhängigkeit vom Klima). Das bedeutet, dass ein geschlossenes System 2 m<sup>3</sup> Substrat benötigt, damit 1000 l kontaminierte Flüssigkeit behandelt werden können. (Die Zahlen bilden die Situation in Belgien und Westfalen-Lippe ab, mit einer Durchschnittstemperatur von 11 bzw. 10°C und einer

jährlichen Niederschlagsmenge von 800 mm). Wir empfehlen, mit der ortsansässigen Beratung abzuklären, wie viel Wasser in ihrer Region verdunstet wird. Grundsätzlich besteht in geschlossenen Systemen das Risiko, dass bei geringer Verdunstung oder größerer Flüssigkeitszufuhr das System übersättigt wird oder überläuft. Sättigung wird die Absorption und den Abbau von PSM negativ beeinflussen und dazu führen, dass PSM auslaufen (Fogg et al., 2004). Sättigung kann verhindert werden, indem man das System vor Regen schützt und die Flüssigkeitszufuhr über die Zeit streckt. Der große Vorteil geschlossener Systeme ist, dass kein Flüssigkeitsauslauf stattfindet. Dies stimmt aber nur, wenn die Verdunstung größer ist als die Zufuhr von kontaminierter Flüssigkeit.



**Abb. 18 + 19: Beispiel für einen 4000 l PE-Puffertank und einen unterirdisch betonierten 5000 l Puffertank in der Nähe des Befüll- und Waschplatzes mit Separierungsventil für Regenwasser (Quelle: pcfruit)**

Ein offenes System ähnelt eher einem Durchflusssystem, wo ein Teil des Wassers verdunstet wird und das verbleibende Wasser als Sickerwasser gesammelt wird. In einem offenem System kann 1 m<sup>3</sup> aktiven Substrats 1,5 m<sup>3</sup> kontaminierte Flüssigkeit verarbeiten, von der 0,5 m<sup>3</sup> Wasser verdunstet und 1 m<sup>3</sup> Auslauf verbleibt. Dieses Beispiel zeigt, dass offene Systeme größere Mengen mit kontaminierter Flüssigkeit mit der gleichen Mengen aktiver Substratmischung behandeln können, aber das verbleibende Sickerwasser in einem separaten Tank gesammelt werden muss. Dieses Sickerwasser kann als Flüssigkeit für selektive Herbizidmaßnahmen im Feld benutzt werden oder es kann im biologischen Reinigungssystem recycelt werden. Die Nutzung von Vegetation sorgt für zusätzliche Reinigung und Verdunstung von Flüssigkeiten. Eine optimale Feuchtigkeit von 95 % innerhalb des Systems sorgt für die günstigsten Resultate, wenn es kontinuierlich befüllt wird.

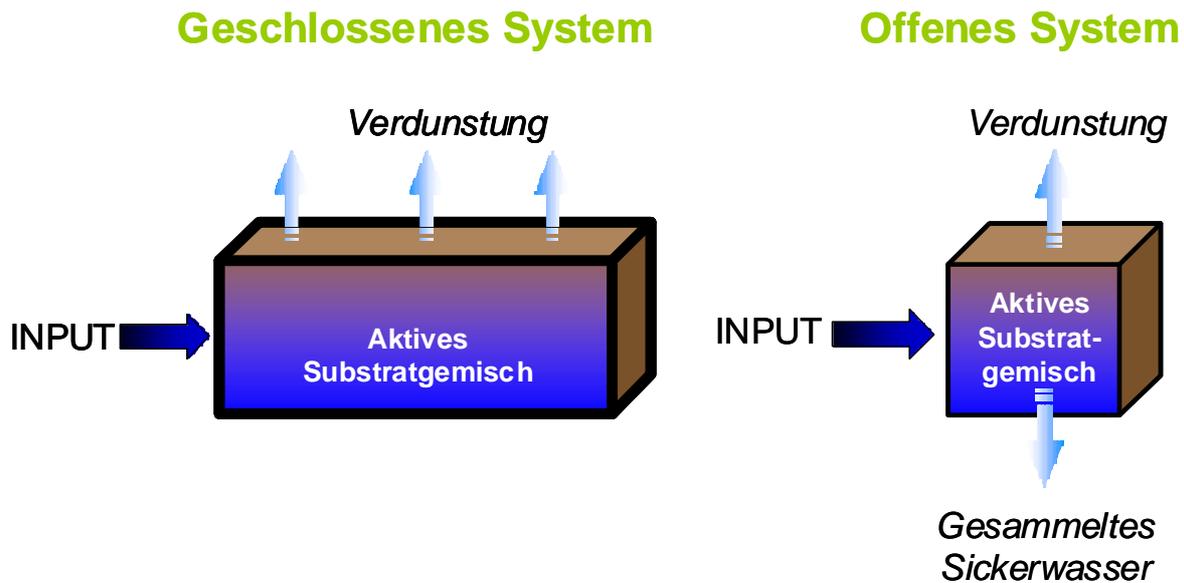


Abb. 20: Schematische Darstellung eines geschlossenen und offenen Systems

#### IV) Ausrüstung zur Beschickung des biologischen Reinigungssystems

Kontaminierte Flüssigkeit sollte gleichmäßig auf der Oberfläche des biologischen Systems verteilt werden. Unterschiedliche technische Lösungen sind möglich. In Abbildung 21 verteilt eine Metallplatte die kontaminierte Flüssigkeit über die Oberfläche der Aktivsubstratmischung eines Biofilters. Ein perforierter, ringförmiger Schlauch (Abb. 22) auf der Oberfläche des Substrats eines Biofilters ist eine exakte Möglichkeit kontaminierte Flüssigkeiten zu verteilen. Auch Spritzdüsen können für eine optimale Verteilung genutzt werden (Abb. 23).

Unabhängig von Spritzdüsen, die in kleinen und großen Systemen genutzt werden können, sind durchbohrte Röhren oder Tropfbewässerungssysteme (Abb. 24, Basford, et al. 2004) einfache Wege, kontaminierte Flüssigkeiten auf einer großen Fläche zu verteilen. Die regelmäßige Zufuhr zu biologischen Reinigungssystemen erfordert einen Tank, in dem kontaminierte Flüssigkeit gesammelt wird.

#### V) Abdichtung von Systemen

Biologische Reinigungssysteme müssen durch undurchlässiges Material abgedichtet sein. Üblicherweise sind die Seiten eines Biobeds aus Beton hergestellt, aber auch Plastikmaterial wie z. B. EPDM (Abb. 25) oder PE (Abb. 26) sind Möglichkeiten. Biofiltersysteme werden üblicherweise aus 1 m<sup>3</sup> Containern oder IBC's aus PE hergestellt. Die Lebensdauer von Plastik ist allerdings deutlich kürzer als die von Beton. Werden Kunststoffbehälter dem Licht ausgesetzt, halten PE Behälter ungefähr 10 Jahre.



Abb. 21 + 22: Verteilung der kontaminierten Flüssigkeit auf der Oberfläche durch eine Metallplatte (links - Foto: CRAw) bzw. einen perforierten Schlauch (rechts - Foto: pcfruit)



Abb. 23 + 24: Verteilung der kontaminierten Flüssigkeit auf der Oberfläche durch Spritzdüsen (links - Foto: POVLT) bzw. gebohrte Röhren (rechts - Foto: Bayer CropScience)



Abb. 25 + 26: Eine Alternative zu Beton stellen Plastikfolien wie EPDM (links - Foto: ADAS) und PE-Kisten/Container (rechts - Foto: Mybatec) dar.

## VI) Schutz vor Regen und / oder ein unterschiedlicher Kreislauf für Regen und nichtkontaminiertes Wasser

Biologische Reinigungssysteme sollten vor Regen geschützt sein wenn eine separate Befüll- und Reinigungsfläche genutzt wird. Lediglich wenn das biologische Reinigungssystem zusätzliche Vegetation nutzt, sollte es offen oder mit einem durchsichtigen Material versorgt sein, damit genügend Licht vorhanden ist. Beispiele für abgedeckte biologische Reinigungssysteme sind in den Abb. 3, 4, 24, 26, 32, 33 u. 37 gezeigt.

Abgedeckte biologische Reinigungssysteme schließen sauberes Regenwasser aus und vermeiden eine Sättigung und Überladung des Biobeds. Alles nichtkontaminierte Wasser vom Befüll- und Reinigungsplatz sollte nicht in das Reinigungssystem eingebracht werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass Verschüttungen von betonierten Befüllplätzen über längere Zeiträume ausgetragen werden können. Deshalb müssen Verschüttungen nach den entsprechenden Arbeiten sorgfältig gereinigt werden, ansonsten muss das Regenwasser vom Befüllplatz aufgefangen werden und dem biologischen Reinigungssystem zugeführt werden.

## VII) Drainage des Systems

Offene Systeme wie Biofilter benötigen stets ein Drainagesystem am Boden jeder Reinigungseinheit, um die Flüssigkeiten der nächsten Einheit oder dem Sammeltank zuzuführen. Der praktikabelste Weg besteht darin, eine Entwässerungsleitung, wie in Abb. 27 gezeigt, zu nutzen. Die Benutzung eines Drainrohrs sorgt nicht nur für eine aktive Drainage sondern auch dafür, dass keine Partikel aus der Substratmischung Verstopfungen im hydraulischen System oder in den Ventilen verursachen. Drainrohre können auch für Biobeds benutzt werden. Wie in Abb. 10 gezeigt, ist es auch eine Möglichkeit, Grobkies in Kombination mit Ton zu benutzen. Allerdings verzögert Ton den Drainageabfluss beträchtlich. Wenn der Ton austrocknet, bilden sich Risse.



Abb. 27: Entwässerungsleitung am Boden

## VIII) Einsatz von Vegetation

Der Einsatz von Vegetation kann viele Vorteile haben. Die Grasschicht an der Oberfläche von direkt befüllten Biobeds hält eine gute Feuchtigkeitsbilanz aufrecht, indem überschüssiges Wasser verdunstet wird und somit verhindert wird, dass die oberste Schicht austrocknet (Abb. 2, 10, 11 + 28). Zusätzlich können durch das Wurzelsystem die Verhältnisse für die Bodenorganismen verbessert und optimiert werden, die für den Abbau von PSM verantwortlich sind. Kontaminierte Flüssigkeiten, die direkt dem Biobed zugeführt werden, können phytotoxisch für die Grasschicht sein, wenn sie nicht ausreichend verdünnt sind. Biofilter können zusätzliche Vegetation in abgeschlossenen Einheiten nutzen, wenn die Konzentration der Pflanzenschutzmittel (speziell Herbizide) niedrig genug ist, um das Überleben der spezifischen Vegetation zu garantieren (Abb. 29). Untersuchungen haben gezeigt, dass Gräser (*Carex spp.*) resistenter gegenüber Herbiziden sind, aber Büsche und Bäume (*Salix spp.*) ein

höheres Verdunstungsvermögen haben. *Carex spp.* erhöhte die Verdunstung eines Systems um mehr als 500 l pro bepflanztem m<sup>2</sup> pro Jahr während *Salix spp.* die Verdunstung um mehr als 1000 l pro Jahr erhöhte. Beim Gebrauch von genügend Pflanzen, die das überschüssige Wasser verdunsten, können Biofiltersysteme eine ausgeglichene Wasserbilanz haben.



**Abb. 28 + 29: Grasschicht auf einem direkt zu befüllenden Biobed (links - Foto: VISAVI) und *Carex spp.* in der letzten Einheit eines modifizierten Biofilters (rechts - Foto: pcfruit)**

Zur Vermeidung des Einwanderns von Unkräutern in Nutzflächen ist es nötig nicht invasive Pflanzen auszuwählen. Die ausgewählten Pflanzen sollten nicht toxisch und nicht zum Verzehr geeignet sein. Wenn keine Herbizide auf dem biologischen Reinigungssystem verarbeitet werden, sollte ein dikotyle Busch ausgewählt werden, der möglichst viel Wasser verdunstet. Für Situationen wo Herbizide mit mono- oder dikotyle Wirkung eingesetzt werden, sollten die oben erwähnten Carex- und Salixarten verwendet werden.

IX) Beispiele:

a) undurchlässige oder abgedichtete Biobedsysteme

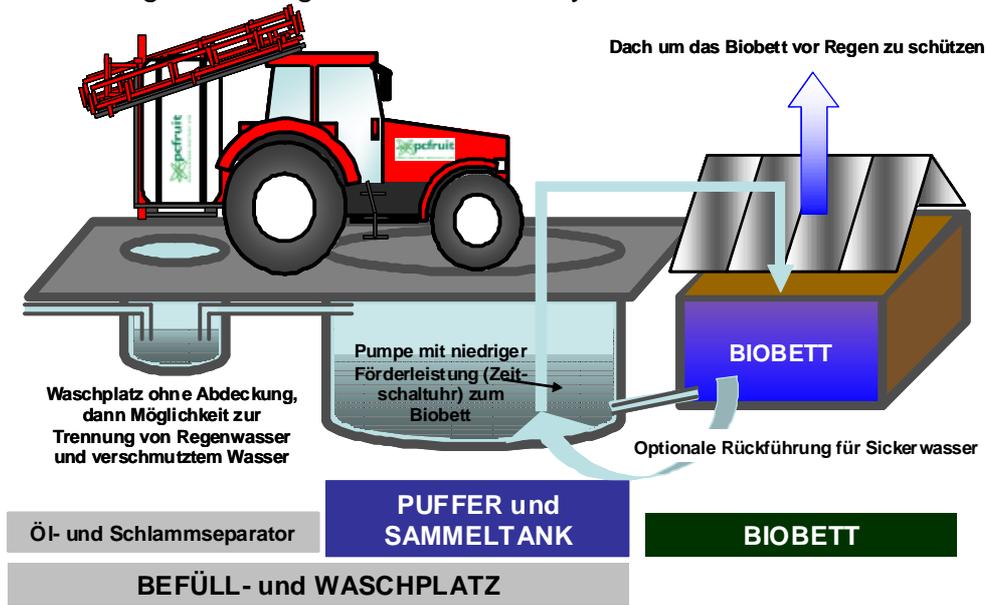


Abb. 30: Schema der technischen Ausstattung eines modernen Biobeds. Kontaminierte Flüssigkeiten werden vom Regen und Schlamm getrennt. Der Puffer- und Sammel tank erlaubt, die Flüssigkeiten und chemischen Frachten des separaten Befüll- und Waschplatzes zeitgerecht zu verteilen. Mögliche Sättigung kann vermieden werden, wenn das Biobed mit einem Dach vor Regen geschützt wird und mögliches Sickerwasser wieder eingeleitet wird. (Quelle: pcfruit)

b) Beispiele von Biofiltersystemen

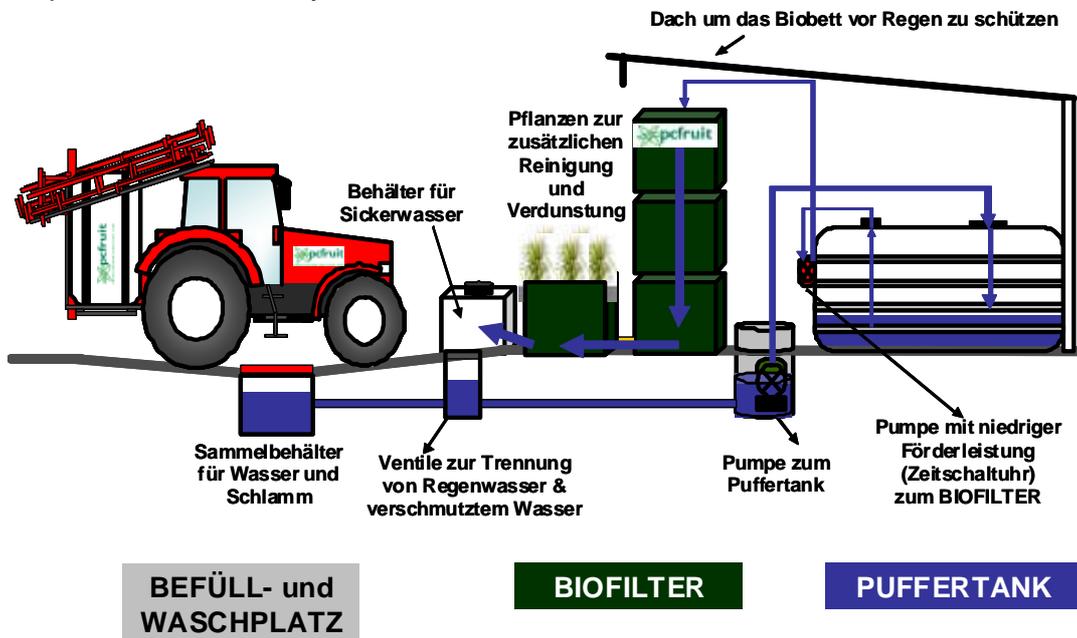


Abb. 31: Befüll- und Waschplatz im Freien, ausgestattet mit einem überdachten, modifizierten Biofilter mit 3 + 1 Einheiten (Quelle: pcfruit). Trennung von Regen- und Waschwasser wird durch ein Ventilsystem überwacht. Kontaminierte Flüssigkeiten werden in einen 4000 l Puffertank gepumpt. Von diesem Puffertank werden täglich 25 l in den Biofilter eingebracht. Dieses System wurde 2007 mit 6300 l beladen, wobei 4000 l Sickerwasser gesammelt wurden und somit 2300 l Wasser verdunstet sind (Debaer et al., 2007)



Abb. 32: Integrierter Befüll- und Waschplatz, ausgestattet mit einem modifizierten Biofilter mit 3 + 1 Einheiten (Foto: pcfuit). Der Überlauf der Pflanzeneinheiten befindet sich auf der Höhe der Wurzelzone der spezifischen Pflanzen. Das gesamte restliche Sickerwasser wird gesammelt

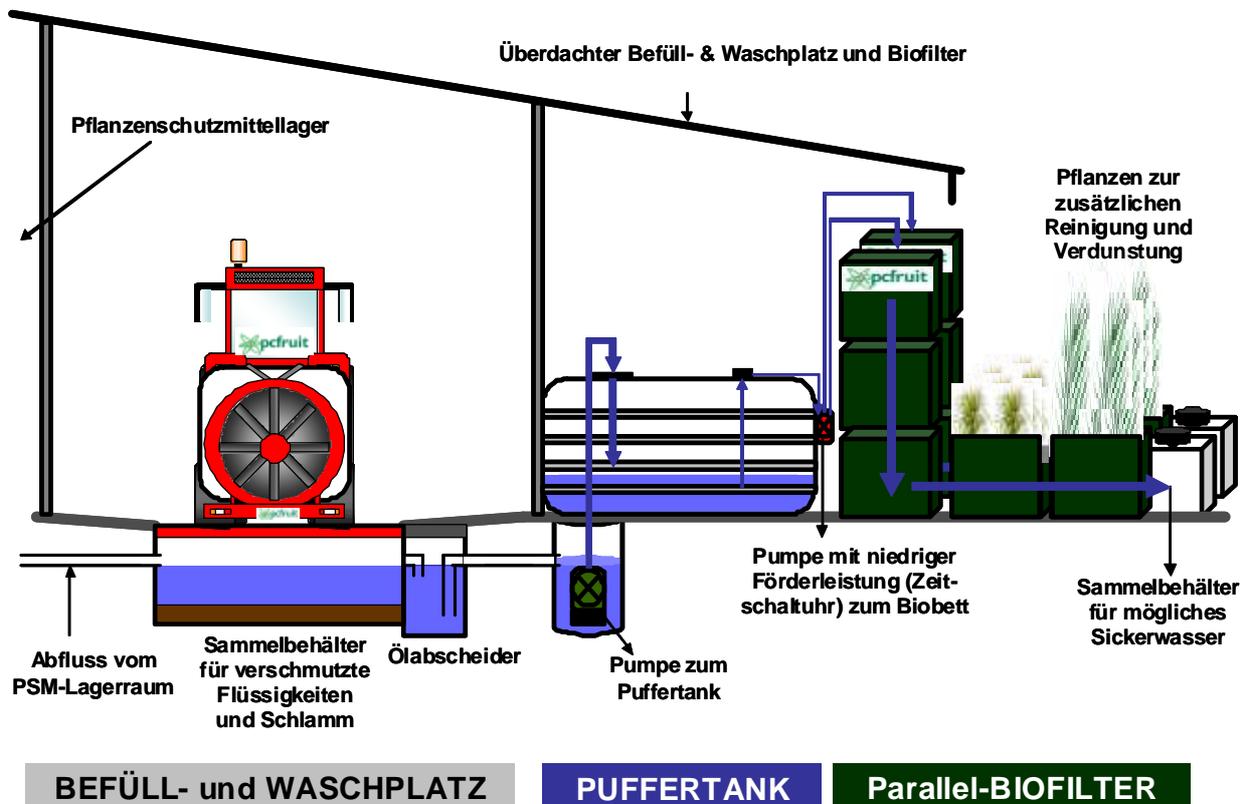


Abb. 33: Integrierter Befüll- und Waschplatz, ausgestattet mit 2 parallelen modifizierten Biofiltern mit je 3 + 2 Einheiten (Quelle: pcfuit). Sowohl der Befüll- und Waschplatz als auch der Biofilter (außer den Pflanzeneinheiten) sind überdacht um sie vor Regen zu schützen. Sämtliches Sickerwasser wird aufgefangen.

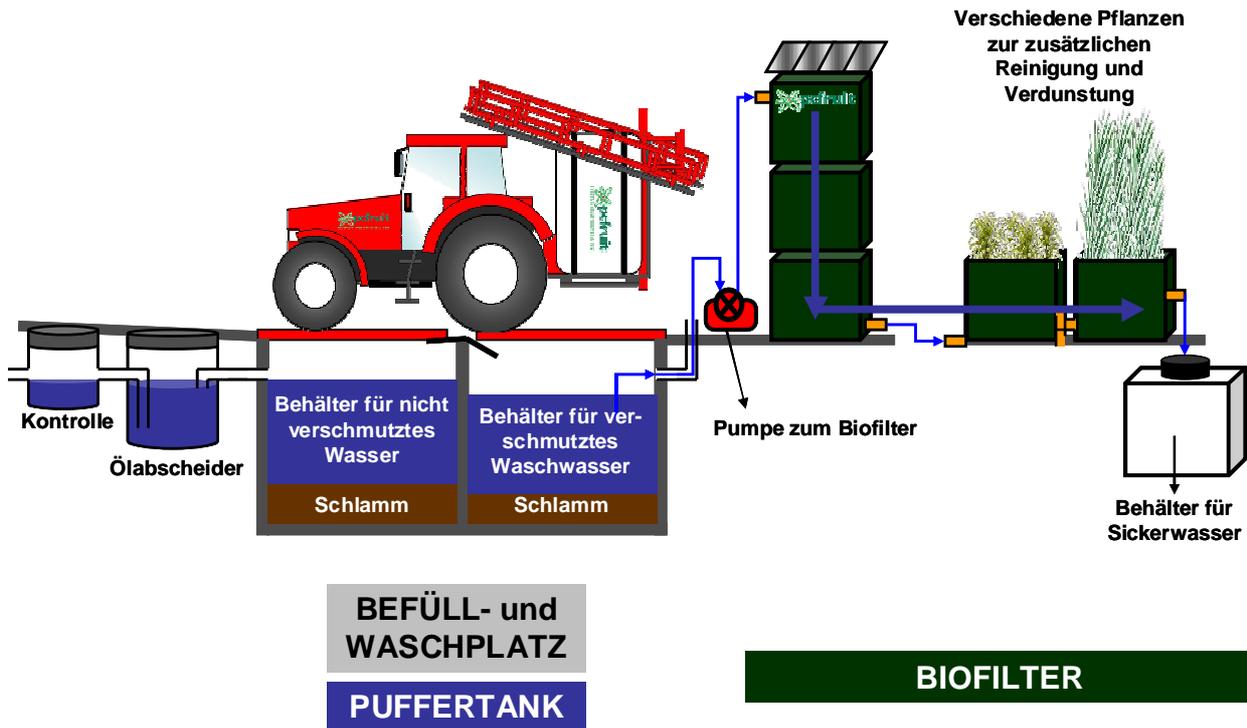


Abb. 34: Befüll- und Waschplatz mit einem modifizierten Biofilter mit 3 + 2 Einheiten (Quelle: pcfuit) Trennung von Regen und Waschwasser durch 2 Puffertanks unter dem Waschplatz. Kontaminierte Flüssigkeiten werden zeitgesteuert in den Biofilter gepumpt. Die restlichen Sickerwässer werden gesammelt.



Abb. 35 + 36: Um eine optimale Feuchtigkeit zu gewährleisten, ist in zwei der oberen Einheiten des modifizierten Biofilters eine Sättigungszone am Boden der Einheiten gegeben. Hier kann das Wasser kapillar aufsteigen. Dies kann erreicht werden, indem am Auslass der Einheit ein Schlauch der aufwärts gebogen ist installiert wird. Dadurch entsteht eine Art Luftsäule zur Spitze hin. Die Höhe der wassergesättigten Zone ist von der Höhe dieses Luftschlauchs abhängig. Es können verschiedene Zonen realisiert (links), oder nur eine gesättigte Zone von 300 l angelegt werden (rechts). Das gebogene Auslassrohr wird mit der nächsten Einheit verbunden und verteilt hier das Sickerwasser wie in Abb. 21 bis 24 beschrieben. Weitere Ventile, wie in den Bildern gezeigt, sind zu Probennahme oder um das System vor dem Winter zu entleeren, um die Ventile vor Auffrieren zu schützen (Quelle: pcfuit)

## 5. Dimensionierung von biologischen Reinigungssystemen

Die Menge an Filtersubstrat, die benötigt wird um bestimmte Volumina kontaminierter Flüssigkeiten in geschlossenen oder offenen Systemen zu behandeln, ist bereits diskutiert worden (Kapitel 4, Sektion 4).

Für geschlossene Systeme basieren Kapazitätsüberlegungen auf der möglichen Verdunstung, um eine Sättigung des Substratgemisches zu vermeiden. Wichtig für offene Systeme ist die Filtereffektivität (Pussemeier et al., 2004; Pigeon et al., 2005; Debaer et al., in Vorbereitung).

Es gibt ein generelles Missverständnis, dass Biobeds (geschlossene Systeme) größere Mengen kontaminierter Flüssigkeiten verarbeiten können als Biofilter (offene Systeme). Das mag zurückzuführen sein auf die Tatsache, dass Biobeds als große Systeme dimensioniert sind, die größere Volumina an Aktivsubstrat nutzen als kleinere Biofilter. Tatsächlich kann das gleiche Volumen an Aktivsubstrat in offenen Systemen größere Mengen an kontaminierten Flüssigkeiten verarbeiten wenn der verbleibende Ausfluss gesammelt und recycelt wird. Offene Systeme mit Vegetation können allerdings bei entsprechender Dimensionierung Null-Output-Systeme ohne Ausflüsse sein. Es ist klar, dass unter allen Umständen die Zufuhr an Flüssigkeiten und Chemikalien so gering wie möglich gehalten werden sollte. Auf der Abgabeseite des Systems sollten flüssige und feste Rückstände durch passende Dimensionierung so gering wie möglich gehalten werden. Das Grundprinzip der Reinigung ist der Abbau von PSM, nicht lediglich eine Reduktion der Konzentration. Daher benötigt die Planung von biologischen Reinigungssystemen einen Ausgleich der Ein- und Austräge. Dies kann am besten mit einem Beispiel für ein geschlossenes System (Biobed) und ein offenes System (Biofilter) als auch für ein Null-Ausfluß offenes System (modifizierter Biofilter) gezeigt werden (siehe Abbildung 37).

## 6. Aktivsubstrat Mischung (unterschiedliche Substrate und Funktion)

Ursprünglich bestand die typische Substratmischung, welche in biologischen Reinigungssystemen eingesetzt wurde, aus 50 % Stroh, 25 % Torf, 25 % Mutterboden. Unterschiedliche Studien haben die Mischungsverhältnisse und den Einsatz alternativer Substrate für den besten PSM Abbau untersucht.

### 1) Mutterboden – Quelle für Mikroorganismen

Mutterboden, den man von Feldern entnimmt, auf denen die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln stattgefunden hat, enthält die notwendigen Mikroorganismen zum Abbau von Pflanzenschutzmitteln, wenn er in die Substratmischung eingebaut wird. Mikroorganismen im Mutterboden können Pilze oder Bakterien sein, sie benutzen die PSM als Kohlenstoffquelle für ihre Ernährung. Es ist wichtig, Mutterboden von einem landwirtschaftlichen Betrieb zu nehmen, weil er die angepassten Mikroorganismen enthält. Mutterboden ist die einzige Komponente der Aktivsubstratmischung, die nicht durch andere Alternativen ersetzt werden kann. Das Verhältnis oder der Anteil an Mutterboden kann reduziert werden ohne dass die Abbauaktivität zurück geht. Dies kann dann ein Vorteil sein, wenn die Ausbringung des Aktivsubstrats nicht möglich ist und es verbrannt werden muss. (Dies ist der Fall, wenn keine Empfehlung, Verordnung für biologische Reinigungssysteme vorhanden ist).

## II) Stroh

Stroh dient als zusätzliche Nahrungsquelle für Mikroorganismen. Stroh ist eine Quelle für Lignin, welches wichtig ist für Mikroorganismen, die über ligninabbauende Enzyme verfügen und die ein breites Spektrum von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen abbauen können. Stroh ist weiterhin eine Stickstoffquelle, mit der man ein gutes C/N Verhältnis für abbauende Bakterien einstellen kann. Aktivsubstratmischungen mineralisieren Stroh sehr schnell, was zu einem Verlust von 10 % des Substrates pro Jahr führt. Stroh muss daher in der Saison dem System zugeführt werden.

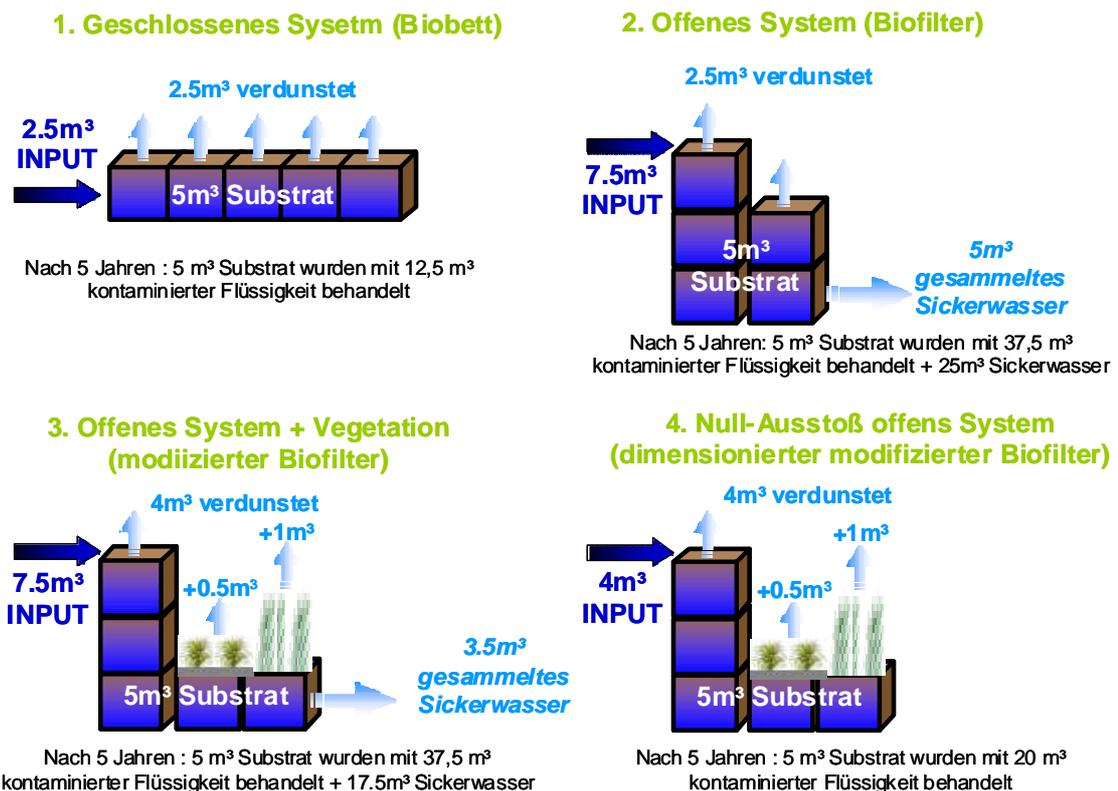


Abb. 37: Beispiele für eine Betrachtung der Dimensionierung von biol. Reinigungssystemen:

- 1) Typisches Biobed-System. Große Volumen von Aktivsubstrat werden benötigt.
- 2) Typisches Biofiltersystem mit großen Volumen von Sickerwasser, dass im Feld wiederverwendet oder recycelt werden muss.
- 3) Beispiel für den Beitrag der Vegetation bei der Verdunstung überschüssigen Wassers, das nur in offenen Querstromsystemen möglich ist (2,5+0,5+1=4m<sup>3</sup>). Die Erfahrung bei diesem speziellen Bsp. zeigt, dass die Reinigung der 3 Einheiten für das Überleben der Pflanzen in den Einheiten 4 + 5 nicht ausreicht, wenn man konzentrierte Flüssigkeiten einbringt (ohne Reinigung im Feld).
- 4) zeigt, dass ein gut dimensioniertes offenes System mit Pflanzen ein Null Output-System darstellt, um mit der höchsten Kapazität und Effektivität kontaminierte Flüssigkeiten zu behandeln. Bei der Verarbeitung großer Mengen kontaminierter Flüssigkeiten verlangt das materielle Design größere Ansprüche.

## III) Kokosfasern

Kokosfasern können (teilweise) eine Kohlenstoffquelle als Ersatz für Stroh sein. Sie verbinden eine gute Wasserhaltekapazität mit guter Durchlüftung. Aktivsubstratmischung mit Kokosfasern oder Kokosabfall bauen sehr viel langsamer ab, als Stroh, wodurch das jährliche Auffüllen und Mischen entfällt. Der Ersatz von Stroh durch Kokosabfälle beeinträchtigt die Abbauwirkung nicht.

#### IV) Torf

Torf ist ein Substrat, das vielfältige Möglichkeiten für die PSM Anlagerung bietet. Es hilft aerobe Verhältnisse zu erhalten, verbunden mit der notwendigen Feuchtigkeit durch sein Wasserbindungsvermögen. Torf ist allerdings ein Nicht-nachhaltiges Rohmaterial.

#### V) Blumenerde

Blumenerde hat die gleiche Funktion und Eigenschaften wie Torf und kann ihn in der Aktivsubstratmischung ersetzen. Blumenerde enthält oft Weiß- und Schwarztorf, aber in einigen Blumenerden ist der Torf teilweise oder komplett ersetzt.

#### VI) Kuhmist / Gülle

Mist ist ein zusätzliches Substrat, um die Stickstoffquelle durch Zufuhr von Nitrat zu erhöhen. Eine Untersuchung (Genot et al., 2002) hat gezeigt, dass die Zufuhr von Mist den Abbau von PSM erhöhen kann. Dies ist hauptsächlich der Fall durch den Abbau der Bakterien. Untersuchungen, in denen der Abbau hauptsächlich durch Pilze hervorgerufen wurde, zeigten, dass niedrige N-Gehalte die Bereitschaft der Mikroorganismen zum Abbau erhöhten (Castillo et al., 2008). Als Faustregel kann gelten, dass ein C/N Verhältnis von 10:20 angestrebt werden sollte.

### 7. Ansetzen von Substraten

Ursprünglich bestand die typische Substratmischung, welche in biologischen Reinigungssystemen eingesetzt wurde, aus 50 % Stroh, 25 % Torf, 25 % Mutterboden. Neuere Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass:

- die Mutterbodenfraktion am besten für die Inokulation des Systems geeignet ist. Anschließend kann sie bis auf 5 % ohne Verlust der Abbaukapazität reduziert werden (Sniegowski et al., in Vorbereitung). Die Reduktion des Oberbodenanteils kann sogar die Retention der PSM im System sowie den biologischen Abbau fördern (De Wilde et al., in Vorbereitung).
- Alternativen wie Kokosreste und Blumenerde in unterschiedlichen Mengen, vermischt mit Aktivsubstrat, die Retention nicht verändern (De Wilde et al., in Vorbereitung).
- der Zusatz von 5 –10 % Kuhdung/Gülle die Retention und den Abbau der PSM in Aktivsubstratmischungen erhöhen kann (Genot et al., 2002; De Wilde et al., in Vorbereitung).

Abb. 38 zeigt unterschiedliche Möglichkeiten von aktiven Substratmischungen in Anlehnung an die aktuelle Forschung. Wird Stroh in der oberen Einheit durch Kokosfasern ersetzt, erhält man einen Puffer für das ganze System. In den nächsten Einheiten wird der Mutterboden um 5 - 10 % reduziert und Blumenerde auf 40 % angehoben. Diese Mischung gibt ein besseres Haltevermögen durch steigenden biologischen Abbau. Durch Zusätze von 5 - 10 % Kuhmist kann der Anteil an Blumenerde auf 30 - 35 % reduziert werden. Die Pflanzeneinheiten sollten mit einer drainierten Schicht von Kokosshalen am Boden (10 %), 80 - 90 % Blumenerde und mit 0 -10 % Kuhmist gemischt befüllt werden.

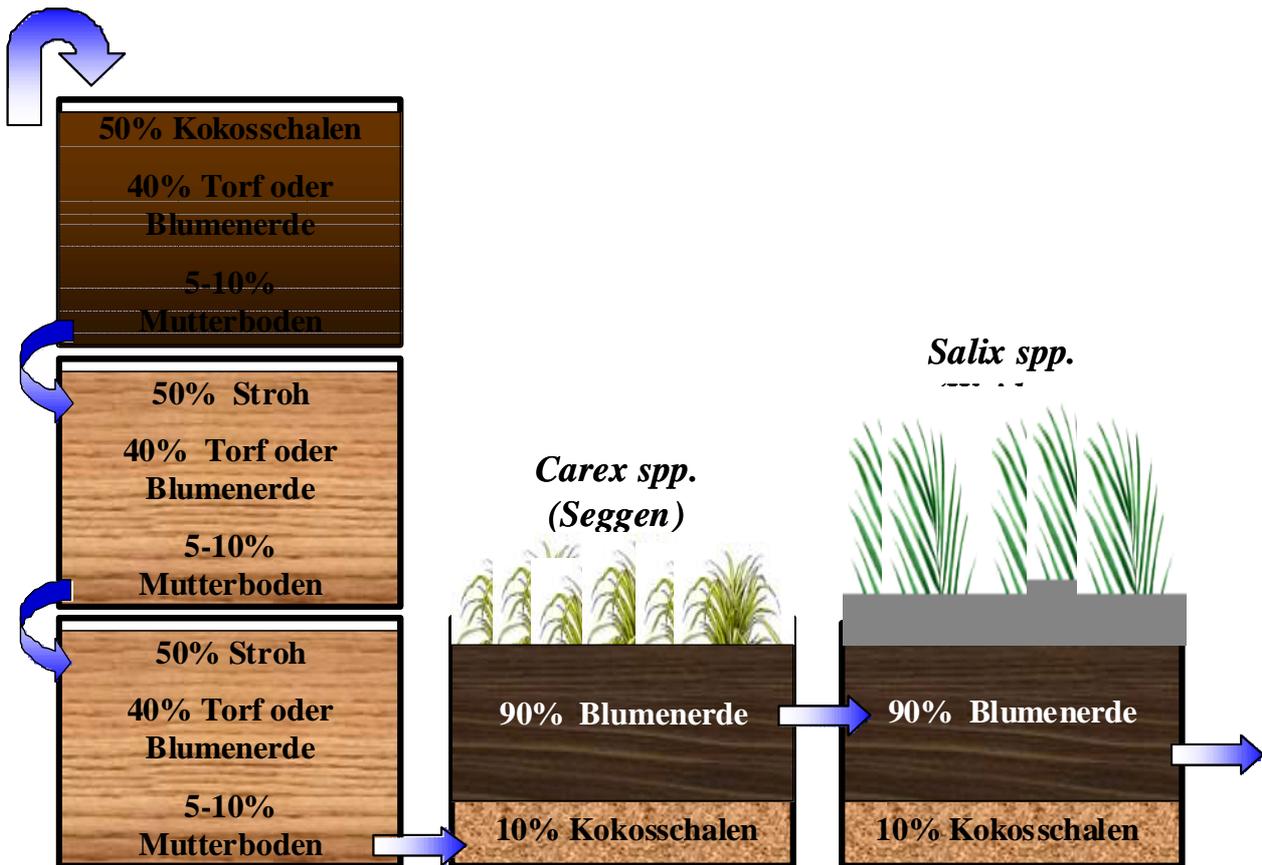


Abb. 38: Bsp. einer aktiven Substratmischung eines modifizierten Biofilters (Quelle: pcfrit).

Die Verhältnisse der Substratanteile sind immer als Volumenanteile ausgedrückt. Zur Herstellung homogener Mischungen sollte die max. Partikelgröße in der Mischung bei 2 – 4 cm gehalten werden. (z.B. sollte die Strohlänge max. 4 cm betragen). Eine gründliche Durchmischung des Substrats kann mit einem Betonmischer erzielt werden.

#### a) Befüllen des biologischen Reinigungssystems mit der Substratmischung

Das Befüllen des abgedichteten Systems mit der Substratmischung ist ein Balanceakt. Wenn die Mixtur gut rückverfestigt ist, wird die Retention durch langsame Penetration und intensiven, langen Kontakt der kontaminierten Flüssigkeiten mit der Substratmischung hoch sein. Auf der anderen Seite ist die Belüftung, die für den aeroben Abbau erforderlich ist, bei stark verfestigtem Substrat eingeschränkt. Ohne Rückverfestigung ist die Retention gering, speziell wenn kontaminierte Flüssigkeiten ungleichmäßig aufgetragen werden und daraus ein schnelles Durchlaufen erfolgt. Mixturen, die höhere Anteile an Torf oder Blumenerde enthalten, sind auch bei dichter Lagerung besser durchlüftet.

#### b) Erhalt der aktiven Matrix

Nach längerem Gebrauch nehmen der Gesamtkohlenstoffgehalt und die mikrobielle Aktivität wegen der Mineralisation des Aktivsubstrats ab. Die Mineralisationsrate ist abhängig von der Partikelgröße. Eine Mixtur, die 50 % Stroh hacksel enthält, mineralisiert und verringert den Substratanteil um ca. 10 cm / Jahr. Zur Kompensation kann alle ein bis zwei Jahre frisches Material mit dem verbleibenden Material vermischt

werden. Die Filtertiefe sollte grundsätzlich >60 cm sein. Nach einigen Jahren muss das Gemisch komplett ersetzt werden, da es erschöpft ist. Torstensson (2000) legt für Südschweden dar, dass das Substrat nach 5-6 Jahren ersetzt werden muss.

## 8. Sorptions- und Abbauprozesse

Internationale Untersuchungen haben gezeigt, dass unter verschiedenen und oft suboptimalen Bedingungen 93 % der PSM, die aufgebracht wurden, biologisch abgebaut werden können, während 4 % im Durchfluss gefunden wurden und 3 % im Substrat verblieben. Unter optimalen Bedingungen wurden mehr als 99 % der PSM in biologischen Reinigungssystemen zurückgehalten, ausgenommen einige wenige „mobile PSM“.

### a) Prinzip

Die Kontrolle und Optimierung des biologischen Reinigungsprozesses ist ein komplexes System mit vielen Einflussfaktoren. Diese Faktoren schließen die Existenz der Populationen der Mikroorganismen, die den Abbau bewerkstelligen und ihr Vorhandensein auf dem landwirtschaftlichen Betrieb ein. Umweltfaktoren wie Art des Bodens, Temperatur, pH-Wert, die Gegenwart von Sauerstoff oder anderen Elektronenakzeptoren und Nährstoffe beeinflussen ebenso den Abbau (Vidall, 2001). Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Verfügbarkeit der PSM für Mikroorganismen (Bioverfügbarkeit –Thompson, 2001). Der biologische Abbau findet ausschließlich dort statt, wo PSM in der Bodenfeuchtigkeit gelöst sind, welche die Mikroorganismen umgibt. Mit anderen Worten: in dem Flüssigkeitsfilm, der die Substratpartikel umgibt und in dem die Mikroorganismen aktiv sind. Daher verbessert die Erhöhung der Substratoberflächen den biologischen Abbau, sofern Mikroporen in Tonfraktionen die Verfügbarkeit nicht herabsetzen (Abb. 39).

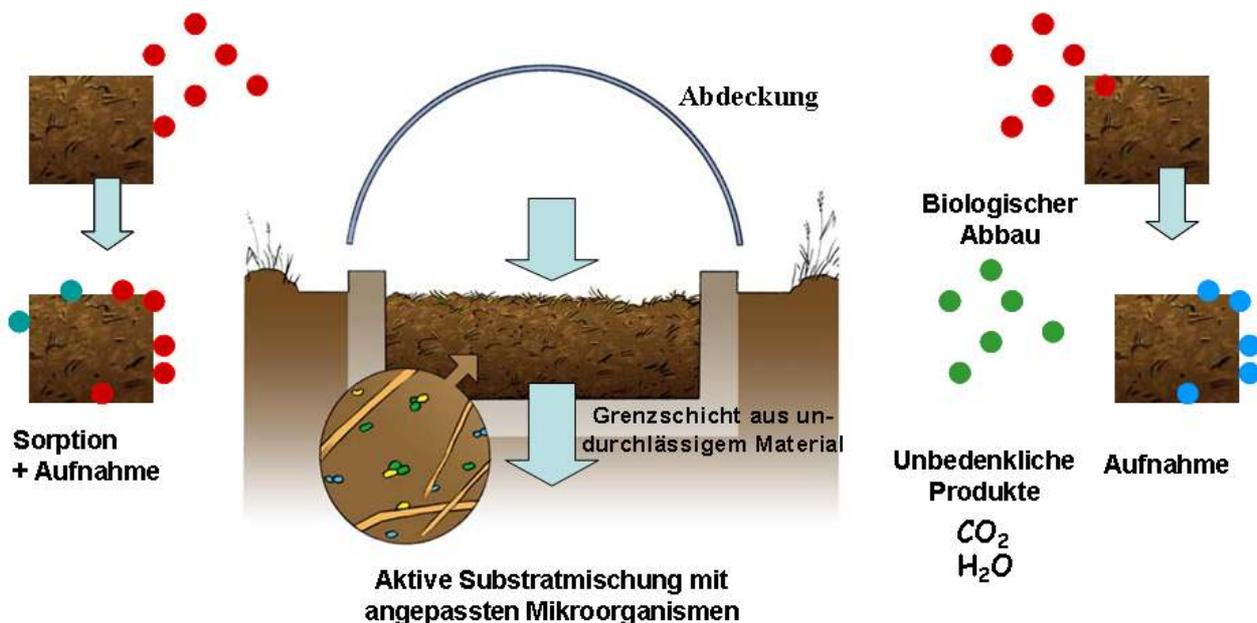


Abb. 39: Die zwei chemischen Prozesse, die an der biologischen Reinigung beteiligt sind. Auf der linken Seite sind die Sorption und die Aufnahme dargestellt und auf der rechten Seite ein weiterer biologischer Abbau. Dieser findet nach der Sorption von PSM am Substrat statt, welches die PSM abbaut (Quelle: Bayer CropScience).

## b) Wichtige Faktoren, die Sorption und biologischen Abbau beeinflussen

Der Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf den Abbau von PSM:

- Hohe PSM-Konzentrationen können den biologischen Abbau begrenzen (Fogg et al., 2003). Daher wird strengstens empfohlen, die Spritze im Feld zu reinigen und nur stark verdünnte Spritzflüssigkeiten einzubringen.
- Der Abbau im Oberboden kann gehemmt sein, wenn PSM-Mischungen appliziert werden. Dies wird nicht in Aktivsubstratmischungen beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass Reinigungssysteme eine Vielzahl von PSM abbauen können (Fogg et al., 2003).
- Der Feuchtigkeitsgehalt im biologischen Reinigungssystem ist entscheidend für den Reinigungsprozess (optimal 96 %). Sättigung (100 %) kann zu Durchlaufen von PSM, direkt korreliert mit der Flüssigkeitszufuhr, führen (Fogg et al., 2004). Zur Vermeidung des Durchlaufens mobiler PSM kann die Filtertiefe erhöht werden oder die Sättigung des Substrats muss vermieden werden.
- Der wiederholte Gebrauch von bestimmten PSM kann durch Anpassung der Mikroorganismen zu einem erhöhten Abbau führen (Fournier et al., 2004).

## 9. Auslaufende Flüssigkeiten (Sickerwasser)

Das Sickerwasser sollte ständig aufgefangen werden. **Niemals das Sickerwasser in oder in der Nähe von Oberflächenwasser beseitigen.** In Abhängigkeit von der rechtlichen und betrieblichen Situation sind folgende Zielorte und Aktionen möglich:

- Wiedereinbringung des Sickerwassers in das Reinigungssystem (erhöht die Verdunstung).
- Verwenden des Sickerwassers für die Ausbringung von nicht selektiven Herbiziden.
- Ausbringen des Sickerwassers auf Betriebsflächen unter Beachtung von Pufferzonen.
- Verdunstung der Flüssigkeit durch Ausbringen auf einer bewachsenen Fläche in der letzten Reinigungsphase.
- Abgabe an eine Entsorgungsfirma wenn keine andere gesetzliche Möglichkeit existiert.

## 10. Substratmischungen nach dem Gebrauch

Die Substratmischung muss nach einigen Jahren komplett ersetzt werden (6 – 8 Jahre). In Abhängigkeit von der rechtlichen und betrieblichen Situation sind folgende Zielorte und Aktionen denkbar:

- Ausbringen mit einem Miststreuer auf einem Feld und weiterer Abbau der verbliebenen PSM-Reste.
- Kompostieren der Substratmischung auf einer abgedeckten, undurchlässigen Fläche ohne Wasseraustritt für ein bis zwei Jahre. Zweimaliges Durchmischen pro Jahr und Feuchthalten fördert den weiteren Abbau der PSM-Reste. Nach 1 bis 2 Jahren kann der Kompost ohne Bedenken im Feld ausgebracht werden.
- Verbrennen in einer Entsorgungsfirma falls keine anderen rechtlichen Möglichkeiten existieren.

## 11. Überlegungen zur Entscheidung für ein geeignetes biologisches Reinigungssystem

Die folgenden Betrachtungen basieren auf Untersuchungen, die vorwiegend in Belgien durchgeführt wurden. Anpassungen können aufgrund des Lokalklimas oder lokaler Empfehlungen/Verordnungen nötig sein.

Beachten Sie die folgenden Fragen zur Unterstützung der Anpassungen an ihre spezifische Situation.

### a) Das biologische Reinigungssystem soll große Volumina und konzentrierte Lösungen verarbeiten (keine Reinigung im Feld)

In jedem Jahr fallen mehr als 10.000 l an kontaminierten Flüssigkeiten auf ihrem Betrieb an und es gibt wenige oder keine Möglichkeiten, die Spritze im Feld zu reinigen. In einer derartigen Situation ist die beste Option ein abgedichtetes Biobettssystem, welches groß genug ist, um die kontaminierten Flüssigkeiten/Wasservolumina zu verarbeiten.

- Für je 1000 l an kontaminierten Flüssigkeiten werden 2 m<sup>3</sup> Aktivsubstrat benötigt.
- Die Zufuhr soll gleichmäßig auf der Fläche und während des Jahres erfolgen.
- Das Regenwasser und nicht kontaminiertes Wasser soll nicht in das System gelangen. Dies verhindert Sättigung und möglichen Durchfluss von PSM.

### b) Die kontaminierten Flüssigkeiten werden direkt auf das Reinigungssystem aufgebracht

Es gibt keine Möglichkeit, die kontaminierten Flüssigkeiten vorübergehend in einem Puffertank zu sammeln. Der Flüssigkeits- und Chemikalienanfall ist nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt. Die beste Option ist ein abgedichtetes Biobett, dessen Auslegung den Flüssigkeitsanfall ohne Probleme verarbeiten kann.

- Für je 1000 l an kontaminierten Flüssigkeiten werden 2 m<sup>3</sup> Aktivsubstrat benötigt.
- Die Zufuhr soll gleichmäßig auf der Fläche erfolgen. Ein Durchlaufen an den Seiten ist zu verhindern.
- Die Beschickung wird unregelmäßig sein. Wiederholte Zirkulation zur Vermeidung des Austrocknens der Oberfläche wird vermutlich erforderlich sein, damit der Abbauprozess nicht unterbrochen wird. Bei höherem Flüssigkeitsauftrag ist mit Sickerwasser von PSM zu rechnen. Erneute Zirkulation des Sickerwassers garantiert einen ausreichenden Abbau ohne Verluste.
- Das Regenwasser und nicht kontaminiertes Wasser darf nicht in das System gelangen. Dies verhindert Sättigung und möglichen Durchfluss von PSM.

### c) Nach Gebrauch kann das Aktivsubstrat aus gesetzlichen Gründen nicht auf dem Feld entsorgt werden

Biobetts haben höhere Mengen an Aktivsubstrat. Falls das Substrat aus gesetzlichen Gründen nicht auf dem Feld entsorgt werden kann, wird eine Verbrennung der gesetzlich vorgeschriebene Weg sein aber sehr hohe Kosten verursachen. In diesem Fall ist ein **geschlossenes Biofiltersystem** dem Biobett vorzuziehen.

#### d) Das biologische Reinigungssystem soll indirekt zugeführte Volumina von verdünnten kontaminierten Flüssigkeiten verarbeiten (Reinigung im Feld)

Jährlich fallen weniger als 1000 l an kontaminierten Flüssigkeiten an und/oder die Spritze wird auf dem Feld gereinigt. Eventuell anfallendes Sickerwasser kann wieder verwendet oder legal auf dem Feld ausgebracht werden. Die beste Option ist ein **geschlossenes Biofiltersystem**, das ausreichend dimensioniert ist, um die anfallenden Flüssigkeitsmengen zu verarbeiten.

- Für jeweils 1500 l zugegebener Flüssigkeit wird 1 m<sup>3</sup> Aktivsubstrat benötigt. Dies ergibt 1000 l Durchlauf (Filtrat) wenn keine zusätzlichen bepflanzten Einheiten genutzt werden. Das Filtrat sollte gesammelt werden und kann für nicht selektive Herbizideinsätze verwendet werden.
- Weder Regen noch unbelastetes Wasser dürfen in das System gelangen. Dies verhindert Sättigung und Durchlaufen von Flüssigkeit. Wenn Pflanzeneinheiten benutzt werden, ist auf ausreichende Belichtung zu achten.
- Die aufgebrachten Flüssigkeiten sollen gleichmäßig über die Fläche und das Jahr verteilt werden. Kontaminierte Flüssigkeiten und Sickerwasser sollten in einem Sammeltank aufgefangen werden. Eine Dosierpumpe mit geringer Durchflussrate oder eine normale Pumpe mit Zeitschaltuhr zur Beschickung mit geringen Mengen (ca. 30 l) sind verwenden. Beispiel: 5000 l/Jahr über 200 Tage = 25 l/Tag.
- Schwarze Behälter oder IBC's sind als Baumaterialien für biologische Reinigungssysteme vorzuziehen. Dies erzeugt mehr Wärme und stimuliert die Aktivität der Mikroorganismen.
- Wenn die Beschickung während des Jahres ungleichmäßig erfolgt, wird empfohlen, die untere Hälfte des Biofilters wassergesättigt zu lassen, um die aktive Matrix mit Feuchtigkeit zu versorgen.
- Bepflanzungen in Biofilterinstallationen können verwendet werden, um den Durchlauf zu reduzieren bzw. das System so zu fahren, dass keine Restflüssigkeiten anfallen.

#### DANK

Diese Richtlinien für den praktischen Gebrauch von biologischen Reinigungssystemen sind von Christof Debaer von pcfuit npo verfasst, basierend auf Versuchserfahrungen und in Anlehnung an wissenschaftliche und praktische Arbeiten. Beiträge und Kommentare von verschiedenen TOPPS-Partnern haben das Dokument vervollständigt.

Die deutsche Übersetzung und nötige Anpassungen dieses Dokumentes an die speziellen Verhältnisse und gesetzlichen Rahmenbedingungen wurden durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen vorgenommen.

## LITERATUR

**Balsari, P., Marucco, P., Oggero, G. (2006).** External contamination of sprayers in vineyards. *Aspects of Applied Biology* **77**: 215-221.

**Basford, W. D., Rose, S.C., Carter, A.D. (2004).** On-farm bioremediation (biobed) systems to limit point source pesticide pollution from sprayer mixing and washdown areas. *Aspects of Applied Biology*. **71**: 27-34.

**Castillo, M. d. P., von Wirén-Lehr, S., Scheunert, I., Torstensson, L. (2001).** Degradation of isoproturon by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Biol Fertil Soils* **33**: 521-528.

**Castillo, M. d. P., Torstensson L., Stenström, J. (2008)**

Biobeds for Environmental Protection from Pesticide - Uses A Review, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008

**De Wilde, T., Spanoghe, P., Debaer, C., Ryckeboer, J., Springael, D., Jaeken, P. (2007).** Overview of on-farm bioremediation systems to reduce the occurrence of point source contamination. *Pest Manag Sci* **63**: 111-128.

**De Wilde, T., Mertens, J., Simunek, J., Sniegowski, K., Ryckeboer, J., Jaeken, P., Springael, D. & Spanoghe, P. In preparation.** Characterizing pesticide sorption and degradation in macro scale biopurification systems using column displacement experiments.

**Debaer, C., Jaeken, J. (2006).** Modified bio filters to clean up leftovers from spray loading and cleaning; experience from pilot installations. *Aspects of Applied Biology* **77**: 247-252.

**Debaer C., Springael D., Ryckeboer J., Spanoghe P. & Jaeken P. 2007.** The use of plants for optimization of a biofilter system used for bio purification of spray remnants. *Oral Communication on 2<sup>nd</sup> Biobed Workshop* 11-12 December 2007, Ghent.

**Debaer C., Springael D., Ryckeboer J., Spanoghe P., Balsari P., Taylor WA. & Jaeken P. 2008.** Volumes of residual of sprayers and their International Standards: impact on farm water treatment systems. *Aspect of Applied Biology* **84**: pp. 193 – 199. International Advances in Pesticide Application 2008, Robinson College, Cambridge, UK.

**Debaer C., Rutten N., Springael D., Ryckeboer J., Spanoghe P. & Jaeken P. In preparation.** Influence of different surface treatments, volumes of cleaning water and dry time on the removal of external copper contamination on PE surfaces of a sprayer.

**Debaer C., Rutten N., Springael D., Ryckeboer J., Spanoghe P. & Jaeken P. In preparation.** Modified biofilters used in practise: chemical and hydraulic load, retention efficiency and optimized evaporation of leachate by plants.

**Fogg, P., Boxall, A.B.A., Walker, A. (2003).** Degradation of Pesticides in Biobeds: The Effect of Concentration and Pesticide Mixtures. *J. Agric. Food. Chem.* **51**(18): 5344-5349.

**Fogg, P., Boxall, A.B.A., Walker, A., Jukes, A. (2004).** Leaching of Pesticides from Biobeds: Effect of Biobed Depth and Water Loading. *J. Agric. Food. Chem.* **52**(20): 6217-6227.

**Fournier, J. C. 2004.** A survey of INRA studies on biobeds. *European Biobed Workshop*, 28-29 September, Malmö, Sweden.

**Franssens, V., De Rocker, E. & Debaer C., In preparation.** Risk of point source contamination by PPP in the Demer catchment area: results of a questionnaire on spray equipment, operator behaviour and farm infrastructure.

**Genot, P., Van Huynh, N., Debongnie, Ph., & Pussemier, L. 2002.** Effects of addition of straw, chitin and manure to new or recycled biofilters on their pesticides retention and degradation properties. *Med Fac Landbouww Univ Gent* **67**: 117-128.

**Pigeon, O., De Vleeschouwer, C., Cors, F., Weickmans, B., De Ryckel, B., Pussemier, L., Debongnie, Ph., Culot, M. (2005).** Development of biofilters to treat the pesticides wastes from spraying applications. *Comm. Appl. Biol. Sci.* **70**(4): 1003-1012.

**Pussemier, L., De Vleeschouwer, C., Debongnie, Ph. (2004).** Self-made biofilters for on-farm clean-up of pesticides wastes. *Outlooks on Pest Management April 2004*: 60-63.

**Sniegowski, K., Ryckeboer J., Spanoghe P, Jaeken P. and Springael D. (in preparation).** Pesticide-primed Soils as Supplement for On-farm Biofilters to improve Pesticide-Contaminated-Wastewater Treatment.

**Thompson, I. P., Singer, A.C., Bailey, M.J. (2001).** Improving the exploitation of microorganisms in environmental clean-up. *Pesticide Behaviour in Soils and Water*, BCPC Symposium Proceedings No. 78: 197-204.

**Torstensson, L., Castillo, M. d. P. (1997).** Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment. *Pesticide Outlook* **8**(3): 24-27.

**Torstensson, L. (2000).** Experiences of biobeds in practical use in Sweden. *Pesticide Outlook* **11**(5): 206-211.

**Vidali, M. (2001).** Bioremediation. An overview. *Pure Appl. Chem.* **73**: 1163-1172.

**Wehmann, H. J. (2006).** Cleaning of sprayers; an emerging ISO standard that is critical to environmental interests. *Aspects of Applied Biology* **77**: 31-38.