

DRAINAGEABFLUSS + VERSICKERUNG

Best Management Praktiken zur Verringerung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln durch Drainageabfluss und Versickerung in Gewässern



TOPPS
Water Protection



ÜBER TOPPS

TOPPS-Projekte haben das Ziel, Methoden und Maßnahmen zur Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Grund- und Oberflächengewässer zu entwickeln und zu verbreiten.

Die TOPPS-Projekte begannen 2005 mit einem vom europäischen Pflanzenschutzverband (European Crop Protection Association - ECPA) und der EU-Kommission mitfinanzierten dreijährigen EU-LIFE-Programm zur Verringerung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Oberflächenwasser durch Punktquellen. Das TOPPS-Projekt wird mit lokalen Partnern aus verschiedenen Fachrichtungen europaweit durchgeführt. Bis heute wurden alle relevanten Eintragswege von PSM bearbeitet und Aktivitäten in 23 Ländern realisiert.

Der jetzt vorliegende letzte Teil der Best Management Praktiken (BMPs) zur Verringerung der PSM-Einträge durch Drainageabfluss und Versickerung bietet praktische Empfehlungen, mit deren Hilfe sich die Gefahr des Austrags von PSM in das Grund- und Oberflächenwasser verringern lässt. Aspekte wie die Optimierung der Applikationsgeräte und die Verbesserung der Infrastruktur werden im Sinne eines gesamtheitlichen Gewässerschutzes in die Empfehlungen miteinbezogen.

Weitere Informationen für Landwirte, Berater und Interessenvertreter (Broschüren, Flyer, Präsentationen, Schulungen sowie eine Bild- und Videogalerie) finden Sie auf folgenden TOPPS-Webseiten:

www.TOPPS-life.org (Dokumentenseite)

www.TOPPS-drift.org (Online-Tool zur Risikobewertung und zur Vermeidung von Abdrift)

www.TOPPS-eos.org (Schulungstool zur Optimierung von Applikationsgeräten für mehr Gewässerschutz)

www.STEP-water.org (Informationen zur Konfiguration und zu den Anforderungen von Applikationsgeräten die für den Wasserschutz wichtig sind: Gemeinschaftsprojekt zwischen Herstellern von Applikationsgeräten (CEMA) und ECPA)

www.IVA.de (Informationen zum Gewässerschutz)

Ein weiterer wichtiger Aspekt in den TOPPS-Projekten ist die Schulung von Landwirten, Beratern und anderen Interessierten mit dem Ziel die TOPPS-Empfehlungen in der Praxis umzusetzen. Schulungen werden in den Ländern durch die lokalen TOPPS-Partner durchgeführt. Bis Ende 2018 wurden ca. 90.000 Landwirte, Berater, andere Beteiligte in Präsentationen sowie in eintägigen Trainings mit praktischen Demonstrationen für den Gewässerschutz geschult und informiert.

Autoren:

Projektteam Drainageabfluss und Versickerung

Brown, Colin (York University, GB)
Dyson, Jeremy (Syngenta, Basel, CH)
Ferrero, Aldo (Universität Turin, IT)
Kubiak, Roland (Agroscience Mussbach, DE)
Laabs, Volker (BASF, Limburgerhof, DE)
Marks Perreau, J. (Arvalis, Boigneville, FR)
Real, Benoit (Arvalis, Boigneville, FR)
Roettele, Manfred (BetterDecisions, DE)
Sur, Robin (Bayer, Monheim, DE)
Trapp, Matthias (Agroscience, Mussbach, DE)

TOPPS Gewässerschutz - Partner 2015 - 2018

European Crop Protection Association (ECPA)
9 Rue Guimard, 1040 Brussels, Belgium; www.ecpa.be
In Zusammenarbeit mit lokalen Pflanzenschutzverbänden.

Belgien:
Inagro vzw, B8800 Rumbeke-Beitem

Frankreich:
Arvalis Inst. du vegetal, FR 91720 Boigneville.
Institut Français de la Vigne et du Vin, 34196 Montpellier

Deutschland:
Industrieverband Agrar e. V., 60329 Frankfurt am Main

Griechenland:
University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop
Production and Rural Environment, Volos

Ungarn:
Peter Laszlo, Budapest

Italien:
Università degli Studi di Torino,
Dipartimento di Scienze Agrarie Forestali e Alimentari,
10095 Grugliasco (TO)

Niederlande:
Toolbox consortium/Nefyto, Den Haag

Polen:
Inhort, Research Institut Pomology and Floriculture, Skierniewice

Portugal:
Confederação dos Agricultores de Portugal, Lissabon, Confederação
Nacional das Cooperativas Agrícolas e do Crédito Agrícola de Portugal,
Lissabon

Rumänien:
USAMV Cluj-Napoca, Department Soil Technical Sciences and Soil Sciences,
Cluj-Napoca

Slowakei:
AgroInstitute Nitra, Water Res. Inst, Bratislava
Soil Science Inst. Bratislava. Profesional servis s.r.o., 935 87 Santovka

Spanien:
Universidad Cordoba, Dept. Ingenierio Rural, 14014 Cordoba
Universitat Polytechnica de Catalunya: Departamento de Ingeniería
Agroalimentaria y Biotecnología Casteldelfels, Barcelona

Fotos:
Bilder ohne Quellenangaben stammen von TOPPS-Partnern.

Inhalt

Vorwort	10
Einleitung	12
GRUNDLEGENDE INFORMATIONEN ÜBER DRAINAGEABFLUSS UND VERSICKERUNG – BEST MANAGEMENT PRAXIS	14
1 Begriffe und Definitionen	14
a) Bodenprofil	14
b) Bodenart und -struktur	15
c) Bodensporen	16
d) Organische Bodensubstanz	16
e) Bodenwasser	17
2 Faktoren, die die Mobilität von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Böden beeinflussen	19
a) Stoffeigenschaften	19
b) Boden- und Klimabedingungen	22
3 Gesetzliche Ziele und Rahmenbedingungen für den Gewässerschutz	24
a) Grenzwert für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metaboliten in Trink- und Grundwasser	24
b) Grenzwerte für Oberflächengewässer	25
BEST MANAGEMENT PRAXIS (BMPS) ZUR REDUZIERUNG VON PSM-EINTRÄGEN DURCH DRAINAGEN	26
1 Entwässerungssysteme und Schlüsselfaktoren	26
a) Einleitung	26
b) Drainagesysteme	27
c) Überlegungen zur Entscheidungsfindung	29

2 Risikodiagnose	30
3 Entwicklung von BMPs durch Verknüpfung der Risikodiagnose mit BMP-Maßnahmen	32
4 BMP-Maßnahmen zur Reduktion und Verzögerung des Drainageabflusses (BMP-Toolbox)	34
1. Wahl des Zeitpunkts der Pflanzenschutzmittelanwendung	34
2. Reduzierung der Menge an PMS pro Feld	34
a) Reduzierung der Ausbringmenge eines Pflanzenschutzmittels (auch über Mischprodukte) durch Split-Applikationen	34
b) Reduzierung der Ausbringmenge durch Split-Applikationen	36
c) Reduzierung der Pflanzenschutz-Ausbringmenge durch Teilflächenbehandlung (Spotbehandlung)	36
d) Reduzierung der ausgebrachten Menge an Pflanzenschutzmitteln durch Saatgutbehandlung	37
3. Optimierung der Pflanzenschutzmittelwahl und des Einsatzes im Wassereinzugsgebiet	38
a) Anpassung der Pflanzenschutzmittel-Anwendung im Einzugsgebiet	38
b) Beschränkung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in gefährdeten Feldern	39
4. Optimierung der Fruchtfolge	40
5. Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden	41
6. Einsatz von Zwischenfrüchten	41
a) Richtige Zwischenfrucht bzw. Gründüngung auswählen	42
b) Nur gut entwickelte Bestände der Zwischenfrucht erbringen den vollen Nutzen	42
c) Zwischenfrüchte müssen bewirtschaftet werden	42
d) Zwischenfrüchte sollten die nachfolgende Hauptfrucht nicht beeinträchtigen	42
7. Optimierung der Entwässerungsverfahren/Drainagen	45
8. Nutzung von Wasserrückhalteeinrichtungen	46
9. Optimierung von Bewässerungsverfahren	48
BEST MANAGEMENT PRAXIS ZUR REDUZIERUNG DER VERSICKERUNG VON PFLANZENSCHUTZMITTELWIRKSTOFFEN	50

1 Schlüsselfaktoren für das Versickern von PSM-Wirkstoffen	50
2 Risikodiagnose	51
3 Entwicklung von Best Management Praxis durch Verknüpfung der Risikodiagnose mit BMP-Maßnahmen	53
4 BMP-Maßnahmen zur Reduktion der Versickerung von PSM-Wirkstoffen (Toolbox)	54
1. Anpassung des Zeitpunkts der PSM-Anwendung	54
2. Reduzierung der Wirkstoffmenge	54
a) Reduzierung der ausgebrachten Menge einzelner Wirkstoffe durch Reduktion der Aufwandmenge und PSM-Mischungen	54
b) Reduzierung der Ausbringmenge durch Splitting-Anwendungen	56
c) Reduzierung der Wirkstoffmenge pro Feld durch Bandapplikation und Teilflächenbehandlung	56
d) Reduzierung der ausgebrachten PSM-Menge durch Saatgutbehandlung	57
3. Optimierung der PSM-Auswahl, Wirkstoffrotation und Wirkstoffvielfalt	59
a) Wirkstoffrotation auf dem Feld	59
b) Anpassung der Nutzungshäufigkeit von lokal kritischen Wirkstoffen im Einzugsgebiet (Wirkstoffvielfalt)	59
c) Beschränkung des Einsatzes von PSM auf sensiblen Feldern oder in Einzugsgebieten	60
4. Optimierung der Fruchtfolge	61
5. Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden	62
6. Anbau von Zwischenfrüchten bzw. Gründüngung	63
a) Richtige Zwischenfrucht auswählen	63
b) Nur gut entwickelte Bestände der Zwischenfrucht erbringen den vollen Nutzen	63
c) Zwischenfrüchte müssen bewirtschaftet werden	63
d) Zwischenfrüchte sollten die nachfolgende Hauptfrucht nicht beeinträchtigen	63
7. Optimierung der Bewässerungsverfahren	65
Glossar und Abkürzungen	66
Anmerkungen/Literaturnachweise	70



Vorwort

Gewässerschutz und Pflanzenschutz sind kein Gegensatz. Wasser ist neben Licht, Luft und Boden die Grundlage für das Leben auf der Erde. Bäche, Flüsse und Seen sind Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten. Ob als Lebensraum für Tiere und Pflanzen oder als Grundlage für die Trinkwasserversorgung – der Schutz der Gewässer nutzt allen. Daher setzt sich der Industrieverband Agrar (IVA) aktiv für den Gewässerschutz ein. Der Anspruch unserer Aktivitäten ist es, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Sinne einer nachhaltigen und produktiven Landwirtschaft kontinuierlich zu verbessern.

Zusammen mit dem europäischen Pflanzenschutzverband ECPA (European Crop Protection Association) und zahlreichen internationalen Partnern, arbeiten wir an der Entwicklung und Verbreitung geeigneter Maßnahmen, Empfehlungen und Schulungsunterlagen, so genannte Best Management Praktiken – kurz BMPs, die alle Aspekte des Gewässerschutzes umfassen. Diese gemeinsame Anstrengung zum Aufbau und zur Verbesserung von verfügbaren Werkzeugen für den Gewässerschutz fügt sich sehr gut in die Nachhaltigkeitsstrategie der UN (Sustainable Development Goals) ein, die mittlerweile als Leitbild für die Entwicklung einer nachhaltigen Gesellschaft gilt. Zudem decken sich unsere Aktivitäten mit den Zielen von diversen Rechtsvorschriften in der EU wie der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Richtlinie für die nachhaltige Anwendung von PSM (2009/128/EG). Diese Bemühungen haben dazu geführt, dass das TOPPS-Projekt nun schon seit mehr als 12 Jahren besteht.

Die erste Phase des Projekts lief im Jahr

2005 in 15 EU-Ländern an und wurde zu 50% durch das EU-LIFE Programm gefördert. Schwerpunktmäßig wurde in dieser Phase die Reduzierung von Punkt-Einträgen (Überlaufen beim Befüllen und nicht sachgerechte Reinigung von Spritzgeräten) behandelt. In der laufenden TOPPS-Projektphase, welche wieder mehrere Partner umfasst, konnten die Aktivitäten inzwischen auf 23 Länder ausgedehnt werden. Die daraus entstandenen Unterlagen umfassen Diagnose-Tools, Schulungsmaterialien und BMPs, die neben den Eintragspfaden aus Punktquellen nun auch die Haupteintragspfade aus diffusen Quellen wie der Abdrift und Runoff / Erosion behandeln. Mit der nun hier vorliegenden Broschüre wird das Paket der BMPs um den Bereich Vermeidung der Einträge von PSM in Gewässer durch Drainage und Versickerung ergänzt. Somit bieten die TOPPS BMPs praktische Lösungen und Empfehlungen, die Einträge von PSM in Grund- und Oberflächenwasser auf ein Minimum reduzieren können. Ziel des TOPPS-Projekts ist es dem Anwender zu vermitteln, dass Gewässerschutz alle Bereiche des Pflanzenschutzes umfasst, angefangen vom korrekten Verhalten bei der Ausbringung bis hin zur optimierter Ausbringtechnik und Infrastruktur, um die Belastung von Gewässern auf ein Minimum zu reduzieren. Wir erhoffen uns, dass die BMPs als Information und als Grundlage für die Aus- und Weiterbildung von Anwendern, Beratern und Interessenvertretern in unterschiedlichster Weise – z. B. im Klassenzimmer, auf dem Betrieb, in der Berufsschule, in der Universität, etc. dienen wird. Der IVA wird sich für die Umsetzung dieser BMPs einsetzen.

Ich möchte allen Partnern und Experten, die zur Entwicklung der BMPs, der Durchführung der TOPPS-Projekte und auch zum Gelingen dieser Broschüre beigetragen haben ausdrücklich für ihre Bemühungen danken. Nur durch eine gemeinsame Anstrengung verschiedener Experten wurde das möglich. Ich hoffe, dass die hier vorgestellten Best Management Praktiken - BMPs Neugier wecken und ein Bewusstsein für die Möglichkeiten des Gewässerschutzes im Pflanzenschutz schaffen, die ihre langfristige Umsetzung und Implementierung in der Praxis gewährleisten. Denn nur so erreichen wir eine nachhaltige Anwendung von PSM und ein hohes Maß an Gewässerschutz.



Pradt

Dr. Dietrich Pradt

Hauptgeschäftsführer
Industrieverband Agrar e.V. (IVA)
Frankfurt am Main

Industrieverband

Agrar



Einleitung

Versickerung beschreibt den nach unten gerichteten Transport von Wasser im Bodenprofil. Mit dem Wasser können PSM-Wirkstoffe und Nährstoffe in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Die beiden Begriffe Drainageabfluss und Versickerung werden in dieser Broschüre verwendet, um zu unterscheiden, wohin das Wasser fließt. Demgemäß wird der Begriff „Drainageabfluss“ verwendet, wenn das Wasser in ein mit dem Oberflächenwasser verbundenes unterirdisches Entwässerungsnetz fließt, während der Begriff „Versickerung“ dann verwendet wird, wenn eine Verlagerung ins Grundwasser gemeint ist. Der Schwerpunkt dieser Broschüre ist die Vermittlung von Informationen und Empfehlungen zur „Best Management Praxis“ (BMPs) mit dem Ziel die Belastung von Gewässern mit PSM, durch Drainageabfluss und Versickerung zu reduzieren. Die Umsetzung dieses BMP-Ansatzes kann auch dazu dienen, den Eintrag von Nährstoffen bzw. Düngemitteln in Oberflächengewässer und ins Grundwasser zu vermindern.

Die Verwendung von PSM, muss so erfolgen, dass negative Auswirkungen auf den Naturhaushalt möglichst vermieden werden. Mit Blick auf Drainageabfluss und Versickerung bedeutet dies, dass es zu keiner unakzeptablen Kontamination des Oberflächen- oder Grundwassers kommen sollte. Die Verfahren für die Zulassung von PSM in der EU stellen sicher, dass das unter den allermeisten Umständen gegeben ist. So zeigen beispielsweise die letzten EU-FOCUS Risikobewertungsmodelle, dass unzulässige Konzentrationen von PSM in Oberflächengewässern oder im Grundwasser infolge von Drainageabfluss und Versickerung nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit auftreten.

Dennoch werden bei einer begrenzten Anzahl von PSM-Wirkstoffen und deren Abbauprodukten (Metaboliten) unter speziellen Bedingungen unzulässige Konzentrationen in Gewässern durch Drainageabfluss und Versickerung nachgewiesen. In der Regel ist dies auf die Art der Anwendung von PSM, auf Wechselwirkungen zwischen PSM-Eigenschaften, den lokalen Boden- und Klimaverhältnissen sowie der Art der Flächenbewirtschaftung zurückzuführen. Aus diesem Grund sind die BMPs in Bezug auf den Einsatz von PSM in dieser Broschüre weitgehend als Risikomanagementinstrumente gedacht, mit deren Hilfe die Einträge bestimmter PSM in Oberflächengewässer oder ins Grundwasser begegnet werden kann. Pflanzenschutzexperten und Wasserberater können diese Broschüre als Leitfaden zur Erarbeitung praktischer Empfehlungen in Zusammenarbeit mit den Landwirten verwenden. Die Umsetzung dieser Empfehlungen trägt zur Reduktion des Eintragsrisikos von PSM in Gewässer infolge von Drainageabfluss und Versickerung bei.

Die TOPPS Broschüre zur Reduktion von PSM-Einträgen durch Versickerung und Drainageabfluss komplettiert die Serie von TOPPS Best Management Praxis (BMPs) Empfehlungen zum Gewässerschutz.

Beachten Sie auch die BMPs zur Reduktion von Einträgen durch:

- Punkteinträge (Einträge durch unsachgemäße Handhabung auf dem Hof)
- Runoff und Erosion (Abfluss vom Feld)
- Abdrift (Verlagerung vom Feld) sowie Diagnose-Hilfsmittel, Foliensets, Videos, Illustrationen und Bilder.
- www.TOPPS-life.org / www.TOPPS-drift.org/www.TOPPS-eos.org



GRUNDLEGENDE INFORMATIONEN ÜBER DRAINAGEABFLUSS UND VERSICKERUNG – BEST MANAGEMENT PRAXIS

1 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

a) Bodenprofil

Das Bodenprofil zeigt den Vertikalschnitt des Bodens in einer Aufgrabung bzw. Bohrung von der Bodenoberfläche bis zum darunter liegenden geologischen Material wie Festgestein oder nicht verfestigtem geologischem Material wie z. B. Gletscherschutt. Aus der Bodenprofilentwicklung ergibt sich eine Schichtung von unterschiedlichen Bodenhorizonten, die zeigen, wie sich die Bodenbeschaffenheit in Abhängigkeit von der Tiefe verändert.



Abbildung 1:
Typisches Bodenprofil (Anm. 2)

Diese Beschaffenheit ist maßgeblich für das Verhalten und die Eigenschaften verschiedener Böden und bestimmt zum Beispiel wie Wasser sich im Boden bewegt, wie sich die mikrobielle Aktivität verändert (Indikator für die Fähigkeit, organische Chemikalien wie PSM abzubauen) und wie groß ihr Ertragspotential für die Pflanzenproduktion ist. Gut entwickelte Ackerböden umfassen in der Regel drei wesentliche Bodenhorizonte (A, B, C), die in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt sind.

A Horizont:

Dieser auch als Oberboden bezeichnete Horizont ist gekennzeichnet durch eine Akkumulation organischer Substanz (d.h. zersetzten Überresten von Pflanzen und Tieren, die eine Humusschicht bilden), die sich mit mineralischen Komponenten vermischt. Dadurch ist der A-Horizont in der Regel dunkler als die darunter liegenden Bodenschichten. In Ackerböden wird dieser Horizont oft durch mechanische Bodenbearbeitung (z. B. durch Pflügen) durchmischt.

B Horizont:

Dieser Horizont wird auch als Einwaschungs- oder Anreicherungshorizont bezeichnet. Verlagert werden z. B. Ton, Metalloide oder organische Substanz aus dem Oberboden. Die biologische Aktivität ist im Allgemeinen niedriger als im Oberboden. Der B-Horizont enthält typischerweise weniger als halb so viel organische Substanz wie der Oberboden, ist weniger durchwurzelt und wird von weniger Regenwürmern besiedelt. Der B-Horizont wird in der Regel nicht bearbeitet, es sei denn, der Boden verfügt über eine Drainage oder wird zur Vermeidung von Verdichtungen tiefengelockert.

C Horizont:

Hierbei handelt es sich um den Übergangsbereich zwischen Boden und geologischem Material. Er besteht weitgehend aus verwittertem Gestein, wobei die biologische Aktivität und der Gehalt an organischer Substanz im Vergleich zum B-Horizont gering ist.

b) Bodenart und -struktur

Die Größenverteilung der Bodenpartikel (Ton: $< 2 \mu\text{m}$; Schluff: 2 bis $63 \mu\text{m}$; Sand: 63 bis $2000 \mu\text{m}$) im Boden bestimmt die Bodenart, die üblicherweise mithilfe eines speziellen Diagramms, (Bodenartendreieck), klassifiziert wird (siehe Abbildung 2). Die Bodenart ist eine der stabilsten Bodeneigenschaften und ein hilfreicher Indikator für mehrere andere Eigenschaften, die das pflanzenbauliche Potential eines Bodens bestimmen. Insbesondere sind hier Wasserhaltevermögen und Durchlässigkeit von Bedeutung, die sich auf die Bewegung des Wassers und die Wasserdurchlässigkeit im Bodens auswirken.

Abbildung 2:
Bodenartendreieck
(Ref. 3:
Ernährungs- und
Landwirtschaftsorga-
nisation der Vereinten
Nationen, World
Reference Base for Soil
Resources, 2014)



Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens wird auch stark durch die Bodenstruktur (räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile) beeinflusst. Sie bestimmt die Art der entstehenden Bodenporen, die wesentlich für die Wasserbewegung sind. Die Bodenstruktur wird stark von der Bodenart und dem Gehalt an organischer Substanz beeinflusst.

Es lassen sich unterschiedliche Bodenstrukturen identifizieren und in Beziehung zur Wasserdurchlässigkeit (siehe Abbildung 3), zur Luftzirkulation, zur biologischen Aktivität, zum Wurzelwachstum und zur Keimlingsentwicklung setzen. Zu den wichtigsten Bodenstrukturen gehören:

Einzelkorn- und Granular(Krümel)struktur

Diese Strukturen bestehen (hauptsächlich in Sandböden) aus Sand-, Schluff- und Tonpartikeln, die einzeln oder lose verbunden in Krümeln vorkommen. Diese Struktur findet sich häufig im A-Horizont, sodass hier Wasser und Luft leicht zirkulieren können.

Blockstruktur

Diese Strukturen bestehen aus Partikeln, die fest miteinander verbunden sind und quadratische oder eckige Aggregate mit scharfen Kanten bilden. Sie finden sich am häufigsten in B-Horizonten mit höherem Tongehalt, der die Wasserdurchlässigkeit einschränken kann, wenn zwischen den Aggregaten nicht genügend Risse vorhanden sind.

Prismatische und säulenförmige Struktur

Diese Strukturen bestehen aus Partikeln, die vertikale säulenförmige Aggregate von 1 bis 10 cm Länge bilden. Diese sind durch schmale vertikale Risse getrennt und von flachen oder leicht abgerundeten vertikalen Flächen begrenzt. Solche Strukturen sind häufig in B-Horizonten mit höheren Tonanteilen in trockenen Regionen und in schwellenden/schrumpfenden Tonen zu finden. Wenn nicht genügend Risse zwischen den Aggregaten vorhanden sind, schränkt diese Struktur den Wasserdurchfluss ein.

Plattenstrukturen

Diese Strukturen bestehen aus Bodenpartikeln, die horizontal in flachen, übereinander geschichteten Platten oder Lamellen angeordnet sind. In der Regel schränken Plattenstrukturen den Wasserdurchfluss und die Wurzelbildung stark ein. Sie treten häufig, insbesondere infolge starker Niederschläge, bei schluffigen Böden als „Bodenkruste“ an der Bodenoberfläche auf. Zusätzlich können sie in Unterböden beobachtet werden, die durch schweren Maschinenverkehr oder durch nicht optimale Bodenbearbeitung (Pflugsole) verdichtet wurden.

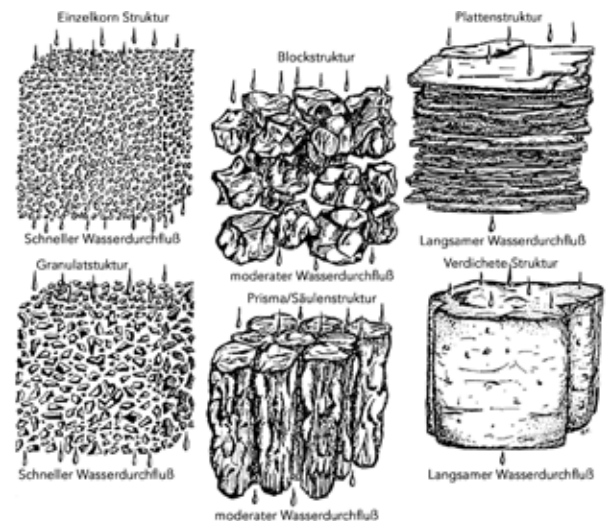


Abbildung 3: Klassifizierung von Bodenaggregaten und deren durchschnittliche Wasserdurchlässigkeit (Anm. 4)

c) Bodenporen

Ähnlich der Verteilung der Partikelgrößen variieren auch die Größen der Bodenporen. Die Poren werden gemäß ihrer Größe und der daraus resultierenden Funktion im Boden, insbesondere in Bezug auf den Wasserdurchfluss klassifiziert. Die Größenklassen der Bodenporen können anhand der durchschnittlichen Porendurchmesser unterschieden werden. Poren unterschiedlicher Größe stellen Wasser für Pflanzen zur Verfügung, unterstützen die Versickerung durch Schwerkraft oder binden Wasser (Tabelle 1 bietet einen Überblick):

Grobe Makroporen (> 50 µm Durchmesser) sind große Bodenporen, die durch Risse zwischen Bodenaggregaten, Regenwurmgänge und alte Pflanzenwurzeln gebildet werden. In Verbindung mit der Schwerkraft ermöglichen diese Poren einen schnellen Wasserdurchfluss. In diesen Poren leben häufig kleine Bodentiere. Sie erleichtern zudem die Belüftung und das Wachstum von Pflanzenwurzeln.

Feine Makroporen (10 bis 50 µm) gibt es in und zwischen den Bodenaggregaten. Ein Großteil des Wasserstroms und der Belüftung in Böden erfolgt über diese Poren. Sie speichern Wasser für Pflanzen und lebende Organismen, da das Wasser diese Poren langsamer durchdringt. Feine Makroporen können mit feinen Wurzeln und kleinen Bodentieren durchsetzt sein.

Mittelporen (0,2 bis 10 µm) halten das Wasser gegen die Schwerkraft fest; sie sind die bedeutsamsten Poren für den Kapillaraufstieg von Wasser und speichern das pflanzennutzbare Bodenwasser. Diese Poren können noch feine Seitenwurzeln von Pflanzen, Pilzhypen und Mikroorganismen enthalten.

Mikroporen (< 0,2 µm) finden sich am häufigsten in Tonpartikeln oder in stark humifiziertem organischem Material. Sie halten das Wasser mit Kräften > 1,5 MPa fest. Dieses Bodenwasser ist daher definitionsgemäß wenig beweglich und nicht verfügbar für Pflanzen und Mikroorganismen.

d) Organische Bodensubstanz

Die organische Bodensubstanz setzt sich aus zersetzten Überresten von Pflanzen und Tieren sowie humifizierter Substanz zusammen. Sie findet sich vornehmlich im Oberboden und nimmt mit zunehmender Bodentiefe ab. Die organische Substanz des Bodens ist der Schlüssel zur Bodengesundheit. Vom chemischen Gesichtspunkt aus, speichert sie organischen Kohlenstoff- und Bodennährstoffe und setzt diese über die Mineralisierung durch Mikroorganismen frei (z. B. Magnesium, Stickstoff in Form von Ammonium oder Nitrat). Vom biologischen Gesichtspunkt aus, regt die org. Bodensubstanz das Bodenleben durch Abbau- und Umbauprozesse an. Vom physikalischen Gesichtspunkt aus beeinflusst sie die Bodenstruktur, Wasserdurchlässigkeit und das Wasserhaltevermögen (organische Substanz kann etwa das 20-fache ihres Gewichts an Wasser halten). Deshalb hat die organische Substanz im Boden einen erheblichen Einfluss auf die Wasserspeicherung und den Transport des Wassers im Boden. Ein gutes Management der organischen Bodensubstanz gilt daher als ein wichtiger Erfolgsfaktor für eine nachhaltige Landwirtschaft.

Tabelle 1: Porentypen im Boden, Wassertransport und Pflanzenverfügbarkeit von Wasser (Anm. 5)

Porenklassifikation	Grobe Makroporen	Feine Makroporen	Mittelporen	Mikroporen
Durchmesser in µm	> 50	50 bis 10	10 bis 0.2	< 0.2
pF-Wert ¹	< 1.8	1.8 bis 2.5	2.5 bis 4.2	> 4.2
Porenfunktion	Schneller Wassertransport	Langsamer Wassertransport	pflanzenverfügbar	nicht pflanzenverfügbar
¹ Bodenwasserspannung (lg cm Wassersäule; dekadischer Logarithmus)	Gesamtvolumen der Poren			
	Gravitationswasser		Gebundenes Wasser	
	Luftspeicher	pflanzenverfügbare Wasserkapazität		Nicht verfügbares Wasser
		Wasserhaltevermögen (Feldkapazität)		

e) Bodenwasser

Die Speicherung des Bodenwassers ist abhängig von der Anzahl der Bodenporen und der Porengrößenverteilung im Boden. Sie steht daher wesentlich mit der Bodenart und dem Gehalt an organischer Substanz im Zusammenhang (siehe Abbildung 4). Wenn ein Boden mit Wasser gesättigt ist, sind alle Poren mit Wasser gefüllt. Nach ein bis drei Tagen ist das gesamte Gravitationswasser (Wasser, das durch die Schwerkraft nach unten bewegt wird) abgeflossen und versetzt den Boden in den Zustand der Feldkapazität (Bodenwasser, das nicht durch die Schwerkraft versickert) zurück. Die Pflanzen entziehen nun den Kapillarporen (feine Makroporen + Mittelporen) so lange Wasser, bis die Haltekräfte (Kapillarkraft) so stark sind, dass dies nicht mehr möglich ist. Dieser Zeitpunkt ist definiert als der Welkepunkt. Das pflanzenverfügbare Wasser ist definiert als die Differenz zwischen dem Bodenwassergehalt bei Feldkapazität und dem gebundenen, nicht verfügbaren Wasser, das von Pflanzen nicht genutzt werden kann (siehe Tabelle 1). Die aus der Porengrößenverteilung in Böden resultierende Bodenwasserspannung ist messbar und wird als Saugspannung (pF-Wert) bezeichnet.

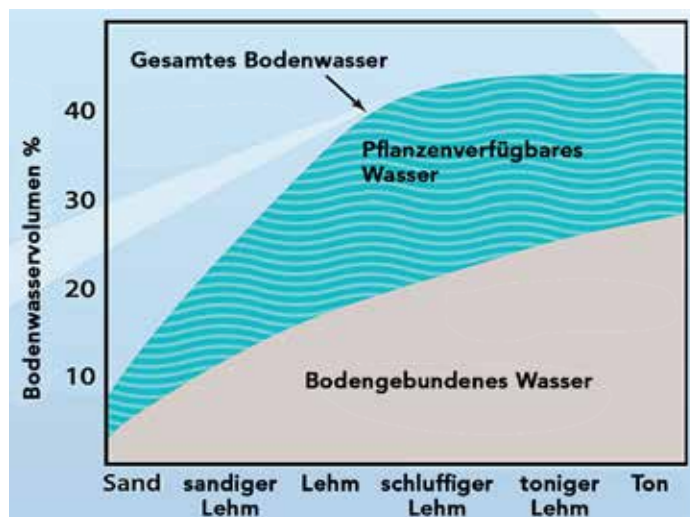


Abb. 4: Die Wasserspeicherung und die Pflanzenverfügbarkeit von Wasser hängen stark von der Bodenart ab (Anm. 6)

Nicht verfügbares Wasser, das weitgehend in den Mikroporen gebunden ist, kann von Pflanzen nicht aufgenommen werden und bewegt sich nicht im Bodenprofil. Am höchsten ist der Anteil von nicht verfügbarem Wasser in Tonböden, am nied-

rigsten in Sandböden. Nur ein Teil des pflanzenverfügbaren Wassers kann im Bodenprofil versickern (feine Makroporen). Der Gehalt an organischer Substanz beeinflusst ebenfalls die Wasserspeicherung in Böden, durch Wasserbindung an organische Stoffpartikel und durch höhere Anteile von Makroporen. Angesichts der zahlreichen Varianten von Böden, die auf die verschiedenen Texturen, Strukturen und organische Substanzgehalte zurückzuführen sind, ist es nicht erstaunlich, dass die Wasserbewegung in Böden sehr unterschiedlich ist. Diese Varianten lassen sich aber grob anhand von drei wesentlichen Kriterien voneinander unterscheiden:

Wasserspeicherung

Wie tief Wasser pro mm Regen in den Boden eindringt und wie viel davon gespeichert wird, ist in erster Linie abhängig von der Bodenart und der Tiefgründigkeit des Bodens. Maß für die Wasserspeicherung ist die Feldkapazität (Wasserhaltevermögen = mm Wasser je cm Bodentiefe das nicht durch Schwerkraft versickert). Für den Zweck einer Risikodiagnose sollte die Feldkapazität eines Bodens bis in 1 m Tiefe oder bis zu einer signifikanten Durchflussbegrenzung im Bodenprofil untersucht werden. Falls das Grundwasser höher ansteht oder vorher ein unterirdisches Drainagesystem liegt, sollte die Feldkapazität bis in diese Tiefe ermittelt werden. Die Feldkapazität von Böden steigt im Allgemeinen von grob zu fein strukturierten Bodenarten an (Tabelle 2). Landwirte können das Wasserhaltevermögen ihrer Böden mittels Bodenbearbeitungsmethoden, Anreicherung mit organischer Substanz, Kalk zur Verbesserung der Bodenaggregation, Auflösung von Bodenverdichtungen und durch das Anbausystem (Wurzeln haben großen Einfluss auf das Porensystem im Boden) beeinflussen. Abhängig von den Bodeneigenschaften kann das Wasserhaltevermögen von Feld zu Feld oder sogar innerhalb eines Feldes variieren. Daher ist es wichtig, auf Abweichungen zu achten. In den Risikoanalyse-Entscheidungstabellen (Abb. 14/22) bergen daher Böden mit einem Wasserhaltevermögen (Feldkapazität) von z. B. < 150 mm (bis 1 m Bodentiefe) aufgrund ihres geringeren Wasserhaltevermögens ein höheres Risiko in Bezug auf Drainageabfluss oder Versickerung. Daher ist es wichtig, einen angemessenen Schätzwert des Bodenwasserhaltevermögens der Felder zu ermitteln.

Wasserfluß im Bodenprofil

Der Wasserfluss im Bodenprofil zeigt eine beträchtliche räumliche Variabilität.

Wasser wird in den größeren Bodenporen viel schneller und

weiter transportiert, als es der durchschnittliche Wasserfluss im Boden vermuten ließe. Dies ist teilweise auf die Bodenart zurückzuführen, wobei sandige Böden eine geringere Streuung aufweisen als tonhaltige Böden. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass lehmige/tonige Böden größer strukturierte Aggregate mit größeren Poren zwischen den Aggregaten bilden, während innerhalb der Aggregate die kleinen Poren zwischen den Tonpartikeln dominieren. Große Poren können auch durch Regenwürmer und durch Wurzelgänge entstehen. Große Poren werden als Makroporen bezeichnet und sind im wesentlichen für den schnellen Wassertransport im Boden verantwortlich (zur Veranschaulichung siehe Abb. 7).

BODENART	FELDKAPAZITÄT (WASSERHALTE- VERMÖGEN)	PFLANZEN- VERFÜGBARES WASSER
Sand	1.0	0.5
Lehmiger Sand	1.2	0.7
Sandiger Lehm	1.8	1.0
Lehm	2.8	1.4
Schluffiger Lehm	3.1	2.0
Schluff	3.0	2.4
Sandig-toniger Lehm	2.7	1.0
Toniger Lehm	3.6	1.4
Schluffig-toniger Lehm	3.8	1.7
Schluffiger Ton	4.1	1.4
Sandiger Ton	3.6	1.1
Ton	4.2	1.2

Tabelle 2: Wasserspeicherung (mm/cm Bodentiefe) verschiedener Bodenarten*
(Durchschnittswerte für Böden mit 2,5 % organischer Substanz gemäß USDA; Anm. 7)

Das Vorhandensein und die Dichte von Makroporen im Boden ist ein Schlüsselfaktor für eine potenziell schnelle Verlagerung von PSM im Bodenprofil und gilt aus diesem Grund als Schlüsselkriterium für die Beurteilung des Risikos hinsichtlich des Austrags von PSM aus dem oberen Bodenprofil (siehe Entscheidungstabellen in den BMP-Abschnitten zu Drainageabfluss und Versickerung).

* Genauere Informationen zu den lokalen Gegebenheiten sind bei den jeweiligen Geologischen Landesdiensten erhältlich

Niederschlagsverteilung

Jahreszeitliche Schwankungen bei Niederschlägen und Pflanzenbewuchs spielen im Zusammenhang mit der Verlagerung von PSM durch Drainageabfluss und/oder Versickerung eine erhebliche Rolle, da sie maßgeblich bestimmen, wann im Verlauf eines Jahres ein Wasserfluss in tiefere Schichten im Boden stattfindet. Eine großflächige Wasser- versickerung im Boden findet dann statt, wenn die Niederschlagsmenge die Eva- potranspiration übersteigt (Abb. 5).

Die Abbildung 5 veranschaulicht, dass die Grundwasserneubildung unter mittel- europäischen Bedingungen im Zeitraum von November bis April stattfindet, obwohl die Niederschlagsmengen in den Sommermonaten höher sind. Die Winter- und Frühjahrsmonate sind folglich die Perioden, in denen im Wesentlichen Ver- sickerung oder entsprechende Entwässe- rung durch Drainagen stattfindet und da- mit potenziell auch ein Eintrag von PSM. Für Mitteleuropa wird geschätzt, dass ca. 20% bis 30% der jährlichen Niederschlä- ge ins Grundwasser gelangen, während der Rest von Pflanzen genutzt wird oder an der Bodenoberfläche verdunstet. Neben den Wintermonaten kann auch bei Starkregen im Sommer Wasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden, wenn z. B. die Böden durch Trockenheit tiefe Risse aufweisen (z. B. Tonböden). Bei bewässerten Feldern ist es wichtig, dass insbesondere kurz nach der Ausbrin- gung von PSM übermäßige Bewässerung (die eine Tiefenversickerung verursachen kann) vermieden wird.

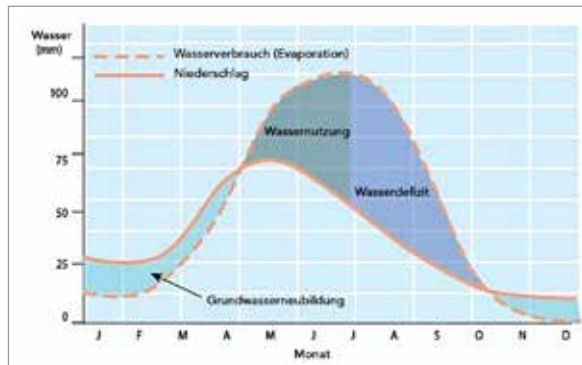


Abbildung 5: Veranschaulichung des Bodenwasserhaushalts im Verlauf eines Jahres (Anm. 8)

2 FAKTOREN, DIE DIE MOBILITÄT VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN BÖDEN BEEINFLUSSEN

Die Mobilität der in PSM enthaltenen Wirkstoffe und ihrer Abbauprodukte (Metaboliten) im Boden wird durch die Wechselwirkung zwischen den lokalen Boden- und Klimabedingungen und den Substanz-Eigenschaften bestimmt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden nur von Wirkstoffen gesprochen. Die Aussagen treffen aber auch auf ihre Metaboliten zu.

a) Stoffeigenschaften

Zwei Stoffeigenschaften werden als primäre Indikatoren für die Beweglichkeit von Wirkstoffen im Boden verwendet: Die Adsorptionsstärke an Boden/organische Substanz und die Abbaubarkeit. Diese Eigenschaften sind Indikatoren zur Bewertung des Risikos für die Verlagerung von Wirkstoffen durch Versickerung und Drainageabfluß.

Adsorption von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen

Die Adsorptionsstärke von Wirkstoffen im Boden hängt hauptsächlich von deren chemischer Struktur und den Bodeneigenschaften ab. Wirkstoffe die nur schwach an Bodenpartikel binden, gelten als mobil, da die schwache Adsorption kaum dazu beiträgt, ihren Transport mit dem Wasserfluss im Boden zu verzögern. Damit sind diese Substanzen aber auch leichter zugänglich für Mikroorganismen, die die Wirkstoffe abbauen. Stark adsorbierte Wirkstoffe gelten als relativ unbeweglich, da sie an der Oberfläche der Bodenteilchen „haften“ bleiben, so dass sie nicht durch Wasser im Boden verlagert werden. Produkte die stark am Boden gebunden sind zeichnen sich durch einen relativ gesehen langsameren Abbau aus.

Zahlreiche Wirkstoffe sind ungeladene und lipophile Substanzen. Das bedeutet, dass sie an lipophile Oberflächen im Boden binden, insbesondere an solche, die in der organischen Substanz vorkommen. Die Tendenz zur Adsorption eines Wirkstoffs an den organischen Kohlenstoff der organischen Substanz lässt sich mit dem Adsorptionskoeffizienten - kurz KOC – messen (OC: organic carbon = organischer Kohlenstoff). Ein hoher KOC-Wert bedeutet, dass eine Substanz stark an organischen Kohlenstoff im Boden adsorbiert und sich kaum durch das Bodenwasser verlagern lässt. Ein niedri-

ger KOC-Wert bedeutet, dass eine Substanz nur schwach an organischen Kohlenstoff im Boden adsorbiert und sich damit leichter vom Bodenwasser transportieren lässt. Tabelle 3 enthält eine grobe Klassifizierung des KOC in Bezug auf die Mobilität.

Bezogen auf den KOC, variiert die Adsorption je nach Bodentyp – im Allgemeinen steigt sie in Böden mit einem höheren Gehalt an organischer Substanz im Oberboden an, wohingegen sie mit zunehmender Bodentiefe und damit abnehmendem Gehalt an organischer Substanz sinkt.

Mobilität von Pflanzenschutzmitteln	Adsorptionskoeffizient KOC (mL/g)
Geringe Mobilität	≥1,000
Mittlere Mobilität	100 bis 1.000
Hohe Mobilität	≤100

Tabelle 3:
Allgemeine Klassifizierung der Mobilität von Pflanzenschutzmitteln in Böden

Einige Wirkstoffe (z. B. Säuren oder Basen), die nicht primär lipophil sind, adsorbieren kaum an organische Substanz, sondern werden durch Tonminerale oder -oxide im Boden gebunden: Bei diesen Stoffen wird der Boden-Verteilungskoeffizient (Kd) verwendet, um ihr Sorptionspotenzial im Boden zu charakterisieren. Es gilt zu berücksichtigen, dass die Adsorption solcher Wirkstoffe oft auch vom pH-Wert des Bodens beeinflusst wird, insbesondere bei schwachen Säuren und Basen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es möglich ist, alle Wirkstoffe in Bezug auf ihre Mobilität im Boden von mobil bis unbeweglich einzuordnen.

Abbaubarkeit von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen im Boden

Die Geschwindigkeit, mit der Wirkstoffe im Boden abgebaut werden, ist variabel. Der Abbau von Wirkstoffen zu Metaboliten kann durch biotische Prozesse (Mikroorganismen) und abiotische Prozesse (Hydrolyse, Photolyse oder katalytische Oxidation) erfolgen. Letztendlich führt der Abbau von Wirkstoffen zu deren Zersetzung (Mineralisierung) in ihre einfachen anorganischen Bestandteile wie Kohlendioxid, Ammoniak und Wasser. Die Geschwindigkeit des Abbaus wird mittels der Halbwertszeit (DT50) gemessen: Das ist die Zeit, die benötigt wird, um 50 % der ursprünglichen Menge des Wirkstoffs im Boden abzubauen. Sie wird in der Regel unter Laborbedingungen (konstante Temperatur und Feuchte) für verschiedene Böden gemessen, um einen repräsentativen DT50-Wert zu ermitteln. Wenn DT50-Werte unter Feldbedingungen bestimmt werden, können sie unter Umständen durch andere Prozesse wie Verflüchtigung und Photolyse (Abbau durch Licht) beeinflusst sein. In tieferen Bodenschichten ist die Geschwindigkeit des Abbaus durch die geringere mikrobiologische Aktivität verlangsamt.

Zusammenhang von Adsorption und Abbau von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen

Der Transport von Wirkstoffen im Boden hängt einerseits von der Adsorptionsstärke und andererseits von der Geschwindigkeit ab, mit der die Substanz im Boden abgebaut wird. Letzteres ist besonders für die mittel- bis langfristige Mobilität im Boden relevant. Es wurden verschiedene Versuche unternommen, die Abhängigkeit des Transport vom Zusammenspiel der zwei Prozesse zu veranschaulichen. Ein Beispiel hierfür ist der GUS (Groundwater Ubiquity Score)-Index (Abbaubarkeit), der die Mobilität und Persistenz von Wirkstoffen nutzt, um die potentielle Wahrscheinlichkeit eines Auftretens der Wirkstoffe im Grundwasser abzuschätzen. Der GUS-Index sollte allerdings aus folgenden Gründen nicht unter europäischen Bedingungen verwendet werden:

1. Er basiert auf Boden- und Klimadaten der USA.
2. Es wird nicht berücksichtigt, dass Wirkstoffe der USA und Europa in unterschiedlichen Aufwandmengen ausgebracht werden.
3. In der EU werden nur solche Wirkstoffe zugelassen, die unter normalen Einsatzbedingungen nicht $> 0,1 \mu\text{g/L}$ im Grundwasser auftreten.

Dessen ungeachtet kann das GUS-Konzept dazu genutzt

werden, um in der Theorie die Abhängigkeit des Versickerungspotenzials von Wirkstoffen hinsichtlich der Mobilität und Persistenz der Substanz im Boden zu veranschaulichen (siehe Abb. 6).

In der Praxis hängt das Risiko einer Verlagerung von Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten auch von der Zeitspanne zwischen der Anwendung und einem nachfolgenden signifikanten Regenereignis ab. Ist die Zeitspanne zwischen Applikation und Regenereignis kurz, steht im Oberboden aufgrund der geringen Zeit für den Abbau mehr Wirkstoff für die Versickerung zur Verfügung. Gleichzeitig ist die Bindung an Bodenpartikel noch nicht so stark ausgeprägt (viele Wirkstoffe binden sich mit der Zeit stärker an den Boden). Beide Faktoren tragen in einem solchen Fall dazu bei, dass Wirkstoffe mit dem Wasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden, insbesondere wenn im Oberboden Risse oder viele Makroporen vorhanden sind. Daher sollte bei einer Planung der PSM-Applikation immer berücksichtigt werden, dass kurz nach der Ausbringung möglichst keine starken Niederschläge zu erwarten sind. Hierbei handelt es sich um ein wesentliches Element der Guten Fachlichen Praxis zur Verringerung des Risikos von PSM-Einträgen in Gewässer.

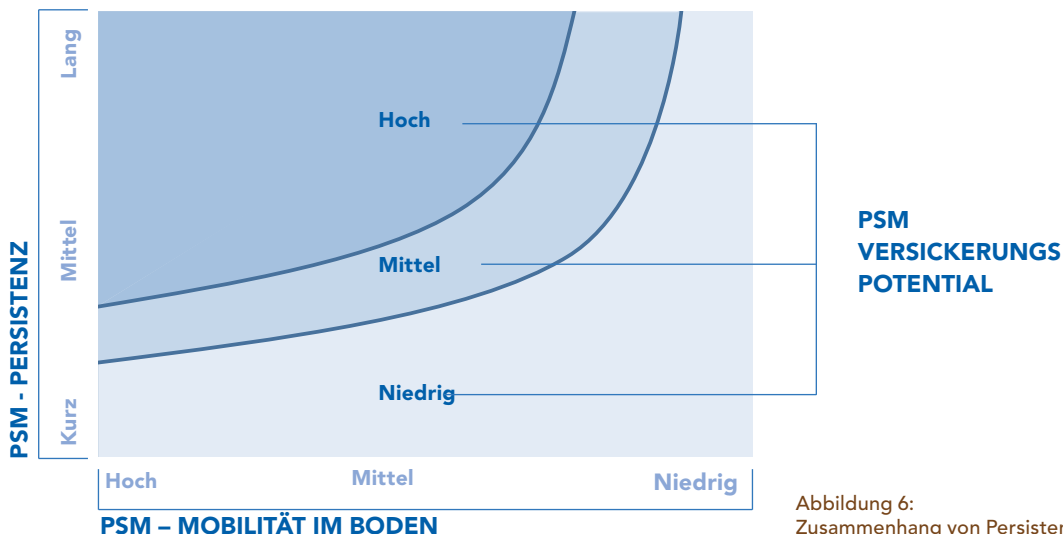


Abbildung 6:
Zusammenhang von Persistenz und Mobilität von Pflanzenschutzmitteln hinsichtlich ihres Verlagerungsrisikos im Boden (auf Grundlage des GUS-Konzepts)

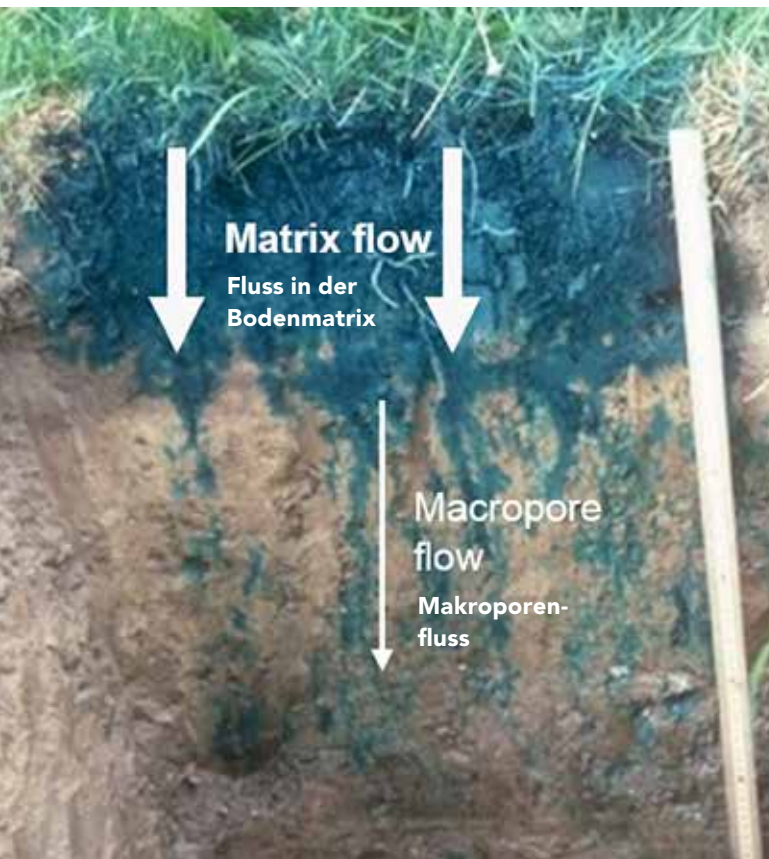


Abbildung 7: Muster des Wasserdurchflusses in einem Bodenprofil (links) und Färbungsmuster von Makroporen (rechts), die mittels Infiltrationsversuchen mit Farbstoff sichtbar gemacht wurden. (Anm. 9)

b) Boden- und Klimabedingungen

Der Einfluss von Boden- und Klimabedingungen hinsichtlich des Risikos von Wirkstoff-Einträgen in Oberflächengewässer oder in das Grundwasser, wird hier nur ganz generell behandelt. Im Einzelfall sind die lokalen Bedingungen zu beschreiben und zu berücksichtigen. Es lassen sich drei Haupttypen von Boden-/Landschaftsfaktoren unterscheiden, die Auswirkungen auf das Abfluss- und Versickerungspotenzial von PSM haben:

Bodenart

Die Bodenart beeinflusst das Wasserhaltevermögen des Bodens und somit auch den Wasserfluss im Boden. Die Risiko-Entscheidungstabellen (Abb. 14/22) geben einen Schwellenwert von < 150 mm Wasserhaltevermögen im Bodenprofil (bis 1 m Tiefe) für ein Risiko einer Verlagerung von Wirkstoffen an. In diesen Böden dringen Niederschläge tiefer ein (geringeres Speichervermögen), sodass ein höheres Risiko der Verlagerung von Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten besteht.

Bodenstruktur

Die Bodenstruktur kann die Eindringgeschwindigkeit von Wasser in den Boden deutlich beeinflussen, insbesondere durch das Vorhandensein von Rissen (zwischen den Aggregaten) und Bioporen (wie Regenwurmgänge und Wurzelröhren). Über solche Makroporen kann der Wasserfluss bei der Versickerung die Bodenmatrix umgehen (siehe Abb. 7). Dies erfolgt meistens in den Sommermonaten, wenn vor allem schwerere Böden infolge von Trockenheit „aufreißen“.

Die Bodenbewirtschaftungsmethoden beeinflussen die Bodenstruktur maßgeblich, wobei keine oder eine nur eingeschränkte Bodenbearbeitung die Entstehung größerer und stabilerer Bodenaggregate und des damit verbundenen Makroporensystems begünstigt. Dadurch wird das Eindringen von Wasser in den Boden über Makroporen verbessert und so das Potenzial für Oberflächenabflüsse (Runoff) reduziert. Zugleich erfolgt dadurch jedoch auch ein schnellerer Wassertransport in tiefere Bodenschichten. Bei einer intensiven Bodenbearbeitung (z. B. wendende Bodenbearbeitung) wird die Verbindung über Makroporen in tiefere Bodenschichten unterbrochen und damit das Wasserinfiltrationsvermögen reduziert. Als Kompromiss empfiehlt sich eine flache Bodenbearbeitung, um die oberflächennahen Makroporen zu unterbrechen und ein schnelles Versickern in tiefere Schichten zu vermeiden. Schnelle Wasser- und Stoffbewegungen durch Bodenrisse/Makroporen, die häufiger in schwereren Böden vorkommen, gelten als ein bedeutender Einflussfaktor für Konzentrationen von PSM-Wirkstoffen im Drainagewasser. In geringerem Umfang erhöhen sie auch direkt die Versickerung von Wirkstoffen, insbesondere bei hohem Grundwasserstand.

Tiefe des Drainagesystems, Grundwasserstand

Das Drainagesystem (Einträge in Oberflächenwasser) und die Tiefgründigkeit des Bodens (Einträge ins Grundwasser) bestimmen die tatsächliche Strecke, die Wirkstoffe im Boden zurücklegen müssen, um ins Oberflächen- oder ins Grundwasser zu gelangen. Diese Faktoren werden deshalb in der Risikoanalyse (Abb. 14/22) berücksichtigt.

Andere Faktoren, wie z. B. der Gehalt an organischer Substanz im Boden (außer bei torfhaltigen Böden) und der pH-Wert des Bodens, wurden nicht berücksichtigt, um die Allgemeingültigkeit der Klassifizierung aufrechtzuerhalten. Weitere Informationen zu diesen Aspekten des Drainageabflusses und der Versickerung von Wirkstoffen erhält man bei der lokalen Pflanzenschutzberatung oder durch eine spezifische Beratung der PSM-Hersteller (Anm. 10).

Eine abschließende Bemerkung: Der Zustand des Bodens wird wesentlich durch die Bearbeitungsmethoden beeinflusst und bestimmt die Bewegung des Wassers im Bodenprofil. So beeinflussen beispielsweise Zwischenfrüchte den Gehalt an organischer Substanz im Boden, Anteile von Makroporen, die mikrobielle Aktivität und den Wasserhaushalt. Zusätzlich erhöht eine nur eingeschränkte Bodenbearbeitung den Gehalt an organischer Substanz und die mikrobielle Aktivität in der oberen Bodenschicht und hat von daher auch Vorteile, was die Reduktion von Versickerung angeht.

3 GESETZLICHE ZIELE UND RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN GEWÄSSERSCHUTZ

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) setzt den rechtlichen Rahmen für die Wasserpolitik der Europäischen Union. Sie dient einer nachhaltigen und umweltverträglichen Wassernutzung und berücksichtigt sowohl Grund- als auch Oberflächenwasser sowie die Küstengewässer.

Sie fordert eine umfassende und regelmäßige Überwachung der Gewässer im Hinblick auf chemische und biologische Parameter, die die Grundlage für die Bewertung des Gewässerzustands bilden (guter bis ungenügender chemischer und ökologischer Zustand). Wird festgestellt, dass der Zustand eines Wasserkörpers schlecht ist, müssen Aktionspläne erstellt werden, um den Zustand auf Grundlage der sechsjährigen Planungszyklen für ein Flusseinzugsgebiet zu verbessern. Spätestens bis 2027 sollen sich alle Gewässer in einem guten chemischen und ökologischen Zustand befinden. Das bedeutet, dass es an der Zeit ist, die Aktionspläne durch geeignete Maßnahmen umzusetzen.

a) Grenzwert für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metaboliten in Trink- und Grundwasser

In der EU wurde in den 1980er Jahren ein vorsorglicher, nicht gesundheitsorientierter Grenzwert von 0,1 µg/L für alle PSM für Trinkwasser festgelegt (Vorsorgewert). Dieser Grenzwert gilt für alle PSM-Wirkstoffe und alle toxikologisch „relevanten“ Metaboliten (Abbauprodukte). Da Grundwasser in vielen Mitgliedstaaten als wichtigste Trinkwasserquelle dient, wurde dieser Grenzwert auch auf das Grundwasser ausgedehnt.

Für die toxikologisch unbedenklichen nicht relevanten Metaboliten von PSM-Wirkstoffen (die im Richtlinienpapier der EU-Kommission SANCO/221/2000 definiert sind) sind im Trinkwasser oder Grundwasser auf EU-Ebene keine Grenzwerte festgelegt. In der Zulassung wird für das Grundwasser ein Leitwert von 10 µg/L für die akzeptable Exposition angesetzt. In Deutschland wurden zudem für Trinkwasser Leitwerte eingeführt. Diese gesundheitlichen Orientierungswerte liegen bei entweder 1 µg/L oder 3 µg/L abhängig von der toxikologischen Datenverfügbarkeit je Substanz. Vorübergehend (mehrere Jahre) sind auch Trinkwasserkonzentrationen bis 10 µg/L duldbar (Vorsorge-Maßnahmenwert).

Vor der Zulassung von PSM-Produkten in der EU werden behördliche Beurteilungen der Gewässergefährdung durchgeführt, um die Anzahl der Nachweise von PSM-Wirkstoffen und Metaboliten, die möglicherweise die geltenden Grenzwerte überschreiten, zu minimieren. Wenn es dennoch zu häufigeren Überschreitungen von Grenz- oder Leitwerten kommt, kann dies zu lokalen Einschränkungen oder Verboten von PSM auf nationaler Ebene führen.

b) Grenzwerte für Oberflächengewässer

In Oberflächengewässern gelten für einzelne Stoffe (auch für PSM-Wirkstoffe und Metaboliten) stoffspezifische Umweltqualitätsnormen (UQN), die auf öko-toxikologischen Studien zum Schutz von Ökosystemen vor chemischer Belastung basieren. EU-weite Umweltqualitätsnormen wurden für eine Liste prioritärer Stoffe festgelegt, die ausgewählte PSM-Wirkstoffe und andere anthropogene Stoffe umfasst, sowie Jahresmittelwerte (JD-UQN) und zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK-UQN) festlegt. Üblicherweise wird der Jahresmittelwert im Oberflächengewässer für einen bestimmten Stoff gemessen, um die Einhaltung der UQN zu bewerten.

Neben den EU-weit gelisteten prioritären Stoffen wurden von den EU-Mitgliedstaaten nationale oder flussgebietsspezifische Schadstoffe (weitere ausgewählte PSM-Wirkstoffe und andere anthropogene Stoffe) ausgewählt und in den nationalen Oberflächenwasserverordnungen aufgeführt. Für diese Stoffe wurden auf Ebene der Mitgliedstaaten nationale UQN-Werte und Kontrollprogramme beschlossen. Das bedeutet auch, dass es weder EU-weit noch auf Ebene der Mitgliedstaaten PSM-spezifische UQN-Werte für alle PSM-Wirkstoffe gibt.

Bei Oberflächengewässern, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, basiert die Qualitätsnorm für Trinkwasser auf dem bestehenden allgemeinen Trinkwassergrenzwert (Grenzwert 0,1 µg/L). Dabei soll jedoch die Elimination der Substanzen durch die vorhandene Trinkwasseraufbereitung berücksichtigt werden. Allerdings schreibt Art. 7 der EU-WRRL vor, dass die Mitgliedstaaten sicherstellen müssen, dass sich die Trinkwasserqualität nicht verschlechtert und dass die Notwendigkeit von Trinkwasseraufbereitungen reduziert werden sollten. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen möglicherweise Schutzzonen eingerichtet werden, für die auch lokale Anwendungsbeschränkungen für PSM gelten können.



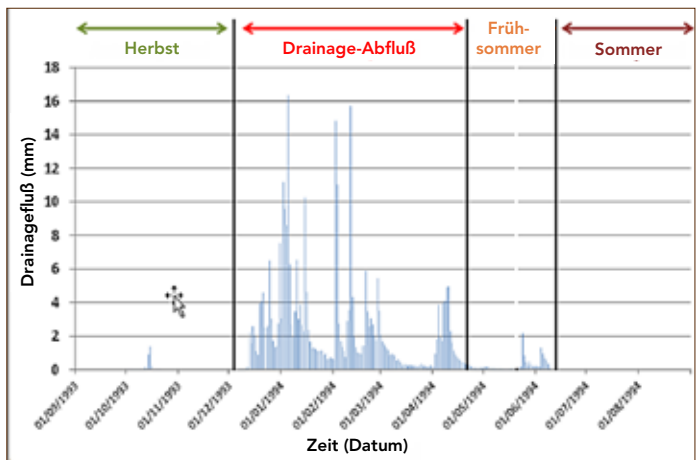
BEST MANAGEMENT PRAXIS ZUR REDUZIERUNG VON PSM-EINTRÄGEN DURCH DRAINAGEN

1 ENTWÄSSERUNGSSYSTEME UND SCHLÜSSELFAKTOREN

a) Einleitung

Unterirdische Entwässerungssysteme (Drainagen) werden verlegt, um überschüssiges Wasser schnell aus dem Boden abzuleiten und damit zu verhindern, dass der Boden über einen längeren Zeitraum zu nass bleibt. Überschüssiges Wasser senkt die Ernteerträge, insbesondere wenn der Boden während der Aussaat zu nass ist. Darüber hinaus wird der Boden geschädigt wenn bei zu großer Bodenfeuchtigkeit eine Bodenbearbeitung erfolgt. Das aus Drainagen abfließende Wasser fließt in der Regel direkt in Oberflächengewässer wie Gräben, Bäche und Flüsse. In West- und Mitteleuropa beginnt die Zeit des Drainageabflusses meist im Winter und dauert bis zum Frühjahr an (siehe Abbildung 8). Im Herbst- und in der Frühsommerperiode findet zwar kein dauerhafter Wasserabfluss statt, aber in Einzelfällen kann infolge ergiebiger Regenfälle Wasser abfließen. Die tatsächliche Abflussperiode hängt vom lokalen Klima (insbesondere der zeitlichen Verteilung der Niederschläge) und von den Bodeneigenschaften (Rissbildung) ab, sodass der genaue Beginn und das genaue Ende der kontinuierlichen Abflusszeiten starken Schwankungen unterworfen sind und lokal beobachtet werden müssen. Man kann drei Situationen unterscheiden, in denen unterirdische Entwässerungsereignisse stattfinden.

Abbildung 8: Beispiel für Abflussereignisse, Arvalis Forschungsstandort La Jaillière West Frankreich 1993/1994 (Anm. 11)



Nasse Böden infolge geringer Wasserdurchlässigkeit (z. B. Tonböden)

Bodenschichten mit geringer Durchlässigkeit behindern den Wassertransport und sorgen häufig für wassergesättigte Bedingungen in der Wurzelzone. Dies hat zur Folge, dass diese Böden im Frühjahr länger für das Austrocknen und Erwärmen brauchen, was sich nachteilig auf die Bodenbearbeitung, die Aussaatzeit und den Pflanzenwuchs auswirkt. Um dieses überschüssige Wasser aus dem Boden zu entfernen, wird z. B. eine Drainage eingerichtet. Auf wassergesättigten Böden ohne Drainage findet in vielen Fällen ein Oberflächenabfluss im Winter und im frühen Frühjahr statt (siehe TOPPS-Broschüre BMPs zum Runoff; Anm. 1).

Nasse Böden durch hohes Grundwasser

Auf Standorten mit hohem Grundwasserstand, steigt der Wasserspiegel im Winter und im Frühjahr aufgrund der Grundwasserneubildung an. Demzufolge kann auch der Oberboden zu nass sein, um zum optimalen Zeitpunkt die Feldfrucht anzubauen, was sich negativ auf den Pflanzenwuchs und die Erträge auswirkt. Mit einem Drainagesystem wird der Grundwasserspiegel im Boden abgesenkt und auf einem akzeptablen Niveau gehalten.

Entwässerung von bewässerten Feldern

In trockenen Regionen kann es auf Feldern, die über längere Zeiträume hinweg bewässert werden, durch Verdunstung zu Anreicherung von Salzen im Boden kommen. Im Laufe der Zeit kann dies das Pflanzenwachstum beeinträchtigen, wenn diese Salze, insbesondere Natrium, eine toxische Schwelle in den Böden erreichen. In diesem Fall muss zusätzlich Wasser verabreicht und abgeführt werden, um die angereicherten Salze über Drainagen aus dem Boden zu entfernen.

b) Drainagesysteme

Für die drei Ausgangslagen, die eine unterirdische Entwässerung erfordern (siehe oben), kommen zwei Arten von Entwässerungssystemen zum Einsatz: Primär- und Sekundärsysteme.

Primärentwässerungssystem

Traditionell wurden offene Gräben angelegt, um dem Boden das überschüssige Wasser zu entziehen und es in das nächste natürliche Oberflächengewässer einzuleiten. Moderne Primärentwässerungssysteme verwenden perforierte Kunststoffrohre (PVC), die in einer Tiefe von >50 cm im Boden verlegt werden, um überschüssiges Wasser abzuleiten. Etwa 80 % der primären Entwässerungssysteme in der EU basieren auf diesem Prinzip.



Abbildung 9: Drainageausgänge in Entwässerungsgräben

Der Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass sie die Feldarbeit nicht behindern. Die Konstruktion dieser Entwässerungssysteme hängt von der Durchlässigkeit des Bodens ab. Die gängigste Ausführung ist die sogenannte „systematische“ oder „regelmäßige“ Anordnung der Entwässerungsrohre in gleichmäßigen Abständen.



Abbildung 10: Oberflächenentwässerung mit Gräben

Die Entwässerungsrohre münden in Entwässerungsgräben und im weiteren Verlauf in größere Oberflächengewässer. Bei Böden mit geringer Durchlässigkeit, wie z. B. schweren Tonböden, beträgt der Abstand zwischen den Entwässerungsrohren lediglich 5 bis 15 m, während bei der Entwässerung von Böden mit höherer Durchlässigkeit ein größerer Abstand von bis zu 40 m ausreicht (Anm. 13). Der Abstand hängt auch von der Tiefe der Entwässerungsrohre ab, wobei tiefer verlegte Drainagen generell einen größeren Abstand zwischen den Entwässerungsrohren ermöglichen. Bei Böden mit eingeschränkter Durchlässigkeit im

Bodenprofil ist die Dicke der durchlässigeren oberen Bodenschichten maßgeblich für die Entwässerungstiefe. In vielen Lehm Böden ist der Untergrund so undurchlässig, dass es wenig Sinn macht, Rohre in einer Tiefe von mehr als 75 cm zu verlegen. Um den Wasserdurchfluss zu unterstützen, kann über dem Entwässerungsrohr Kies aufgeschüttet werden („durchlässige Füllung“). Bei Böden, mit hohem Grundwasserstand, kann der Wasserstand durch die Tiefe des/der Entwässerungsgrabens/-rohre begrenzt werden.

Sekundärentwässerungssystem

Diese Systeme werden nur für Böden mit stark eingeschränkter Durchlässigkeit benötigt, die theoretisch einen so geringen Abstand zwischen den Entwässerungsrohren erfordern würden, dass dies nicht wirtschaftlich wäre. In diesen Böden kann die Entwässerung des über den Entwässerungsrohren liegenden Unterbodens jedoch durch sekundäre Entwässerungsmaßnahmen wie „Maulwurfdränung“ und „Unterbodenlockerung“ verbessert werden. Bei Abständen von 1 bis 2 m ist die Sekundärentwässerung, die meist im rechten Winkel zur Primärentwässerung angelegt wird, (Abstände ca. 20 bis 40 m) kostengünstig (Anm. 13). Maulwurfdränungen werden in der Weise ausgeführt, dass mit mechanischen Geräten Hohlgänge in den Boden eingezogen werden, die Maulwurfsgängen ähneln. Wenn in lehmhaltigen Böden Maulwurfdränungen angelegt werden, können diese bei entsprechender Geschmeidigkeit des Bodens zwei bis zehn Jahre halten. Die Unterbodenlockerung erfolgt mittels mechanischer Geräte die durch den Unterboden gezogen werden, um diesen anzuheben und zu lockern. Sowohl die Maulwurfdränungen als auch die Unterbodenauflockerungen erfolgen in der Regel in einer Tiefe von 40 bis 60 cm, wobei mithilfe der Unterbodenlockerung die durch Bodenverdichtung entstandenen, undurchlässigen Bodenschichten aufgebrochen werden.

Sekundäre Entwässerungssysteme leiten überschüssiges Wasser direkt in das primäre Entwässerungssystem ein. Sekundärentwässerungssysteme können schneller Wasser und damit potentiell auch PSM ableiten, da die Entwässerung bereits in höher gelegenen Bodenschichten erfolgt.

c) Überlegungen zur Entscheidungsfindung

Landwirte investieren hauptsächlich deshalb in Entwässerungssysteme, um den Ertrag zu steigern (Steigerungen oft um das Doppelte oder Mehrfache) und um die Vielfalt der kultivierbaren Pflanzen zu erweitern (ohne Entwässerung ist die Bodennutzung oft auf die Weidewirtschaft beschränkt). In der Regel werden primäre Entwässerungssysteme von spezialisierten Firmen installiert. Meist sind die örtlichen Behörden an der Prüfung der ausgearbeiteten Drainagepläne und bei der Zuteilung öffentlicher Mittel beteiligt. Darüber hinaus sind auch die Auswirkungen von Entwässerungsmaßnahmen sowie deren Folgewirkungen für Wassereinzugsgebiete zu berücksichtigen. Die Einrichtung von primären Entwässerungssystemen hat langfristige Auswirkungen (> 20 Jahre), sodass auch die Umsetzung von Bester Management Praxis unter dem Gesichtspunkt der Langfristigkeit erfolgen muss. Sekundärentwässerungssysteme sind typischerweise alle 3 bis 5 Jahre zu erneuern.

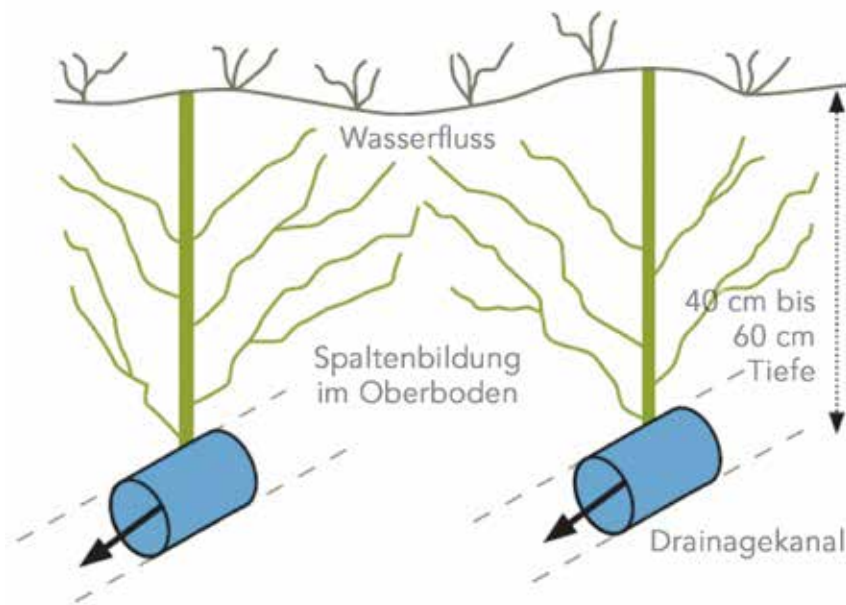


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Maulwurfdränung

2 RISIKODIAGNOSE

Bestimmung der Wasserbewegung im Boden und in der Landschaft

In der Regel sind zahlreiche Informationen bereits vorhanden, die für das Verständnis der Wasserbewegung im Boden und im Wassereinzugsgebiet relevant sind. Einige dieser Informationen stellen meist die zuständigen Behörden bereit, während andere Daten direkt beim Landwirt vorhanden sind. Es ist ratsam, diese Daten als Grundlage zu verwenden wenn im Wassereinzugsgebiet und auf den zugehörigen Feldern eine Risikodiagnose durchgeführt werden soll.

In manchen Fällen sind keine Informationen über alte Entwässerungssysteme in den Feldern verfügbar (z. B. infolge von auselaufenen Pachtverträgen, Eigentümerwechsel, verlorengegangenen Karten). Daher sollte in der Drainageperiode eine gründliche Vorortprüfung durchgeführt werden, um festzustellen, ob Drainagen vorhanden und ob diese funktionsfähig sind. Idealerweise sollte der Drainagefluss in Bezug auf Niederschlagsmenge und Intensität bestimmt und kontrolliert werden. Es sollte überprüft werden, wo sich die Drainageausgänge befinden und wohin das Dränwasser fließt: Wird es zurückgehalten (z. B. in einem Feuchtgebiet) oder fließt es direkt in einen Graben oder Bach?

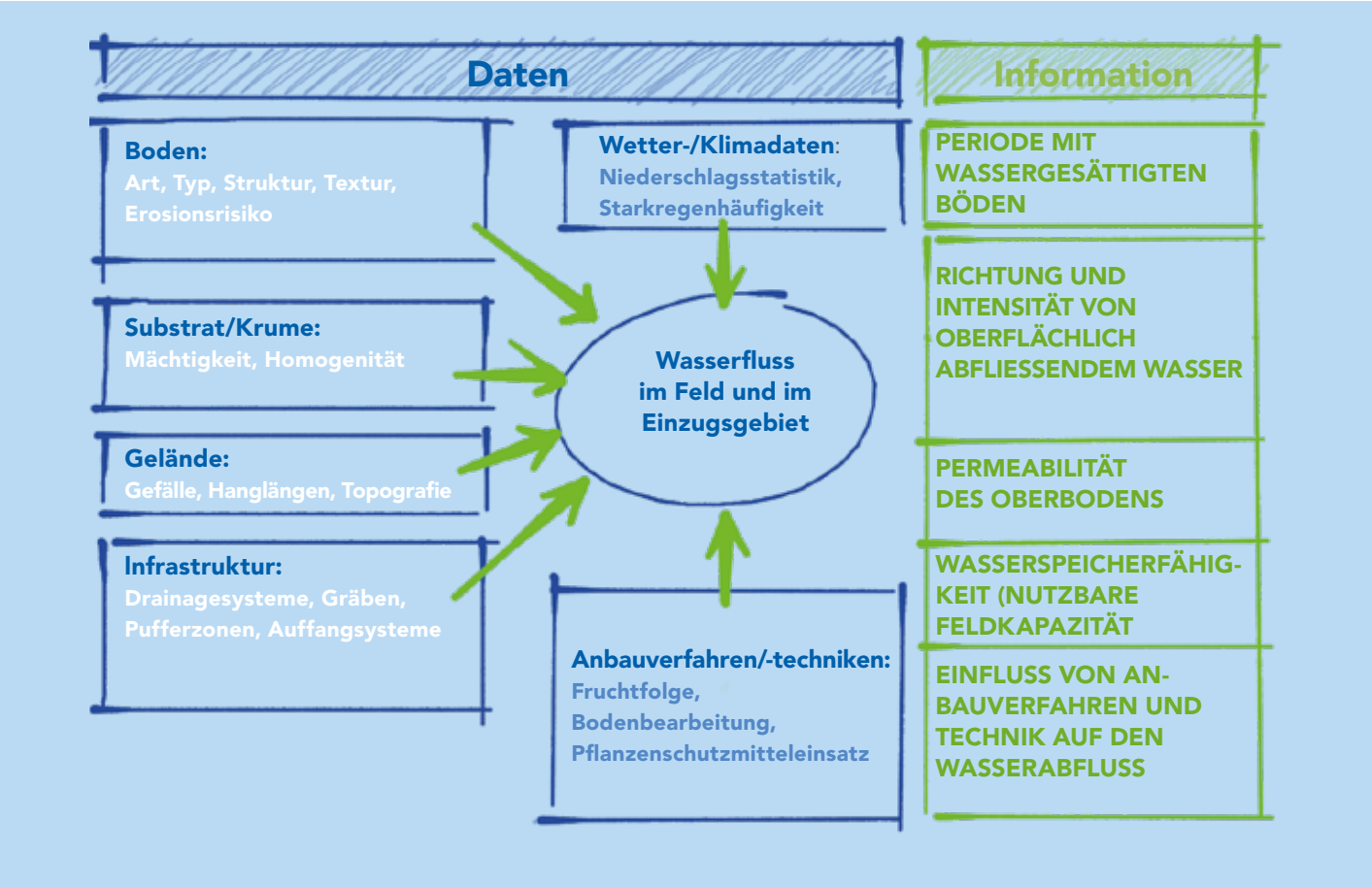


Abbildung 13: Notwendige Daten und Informationen zur Bestimmung des Wasserflusses in Feldern (Anm. 1)

Entscheidungstabelle zur Risikobewertung

Um eine Risikobewertung im Feld zu erleichtern wurde ein Diagnoseverfahren in Form einer Entscheidungstabelle (Entscheidungsbaum) entwickelt. Mit Hilfe dieser Entscheidungstabelle lässt sich für jedes Feld und für verschiedene Drainageszenarien eine Diagnose für das Risiko von PSM-Einträgen bestimmen. Nach der Diagnose müssen geeignete Maßnahmen, möglichst zusammen mit dem Landwirt ausgewählt werden, um die Eintragsrisiken zu reduzieren. Hierbei sind auch spezielle lokale klimatischen Bedingungen (z. B. Niederschlagsverteilung, Temperatur) sowie die Erfordernisse des Betriebs zu berücksichtigen.

BMP = RISIKODIAGNOSE + AUSWAHL VON BMP-MASSNAHMEN (WERKZEUGKASTEN)

Abbildung 14. Entscheidungstabelle: Risikodiagnose von drainierten Feldern

Drainage wegen geringer Durchlässigkeit des Bodens	Große Bodenrisse/Makroporen ¹ vorhanden			Hohes Risiko
	Große Bodenrisse/Makroporen sind meist nicht vorhanden	Sekundäre Drainage oder Tiefenlocke- rung durchgeführt		Hohes Risiko
		Keine sekundäre Drainage oder Tiefenlockerung	Ton > 35 %	Hohes Risiko
			Ton 25 bis 35 %	Mittleres Risiko
			Ton < 25 %	Geringes Risiko
Drainage zur Kontrolle hochstehenden Grundwassers	Mineralboden	Große Bodenrisse vorhanden		Hohes Risiko
		Große Bodenrisse/ Makroporen sind meist nicht vorhanden	FK ³ < 150 mm	Hohes Risiko
			FK 150 bis 230 mm	Mittleres Risiko
			FK > 230 mm	Geringes Risiko
	Torfige ² Böden			Geringes Risiko

¹ Risse / Makroporen von ≥ 1 cm Breite treten an der Bodenoberfläche auf
² Torfige Böden: Böden mit ≥ 30 % organischer Substanz im Oberboden (Pflughorizont)
³ Feldkapazität (in den oberen 100 cm des Bodenprofils oder über dem Niveau der Drainageleitungen, je nachdem, welcher Wert niedriger ist).

Anwendung der Entscheidungstabelle

Die Entscheidungstabelle ist von links nach rechts zu lesen, wobei in jeder Spalte für jeden Diagnoseparameter die entsprechende Kategorie ausgewählt werden muss.

Zunächst muss eine Entscheidung in Bezug auf den Zweck des Drainagesystems getroffen werden: Sollen (a) staunasse Böden mit geringer Durchlässigkeit oder (b) Böden, die einen hohen Grundwasserspiegel aufweisen, entwässert werden?

Fall a) In einem nächsten Schritt ist zu entscheiden ob Bodenrisse auftreten, die einen schnellen Wassertransport fördern. Dies ist vor allem bei Böden mit geringer Durchlässigkeit der Fall, z. B. in lehmhaltigen Böden aufgrund starker Aggregatbildung und in Böden mit quellendem Ton, die beim Trocknen Schrumpfrisse bilden. Sind keine Risse vorhanden, ist der Wasserdurchfluss in solchen Böden meist langsam. Unterbodenlockerung oder Maulwurfdränung (rohrlose Drainage) erhöhen durch mehr Makroporen den Wassertransports im Boden und können daher zu einem erhöhten Drainagefluss führen was folglich die Risikoklasse des Feldes hinsichtlich eines PSM-Austrags erhöhen kann.

Fall b) Auf Feldern, mit hohem Grundwasserstand, sind Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz (torfhaltige Böden) wenig anfällig für PSM-Austräge. Mine-

ralische Böden hingegen können, wenn sich regelmäßige große Risse im Oberboden bilden, sehr anfällig sein. Falls die Böden wenig zur Rissbildung neigen erfolgt die Risikoeinstufung anhand der Wasserhaltekapazität des Bodens. Je höher die Wasserhaltekapazität desto geringer das Risiko für PSM-Austräge durch Drainagen.

Es gilt nochmals zu betonen, dass die Diagnose des Dränflussrisikos und die Umsetzung von BMPs in erster Linie als Reaktion auf Messwerte bestimmter PSM in Wasserkörpern oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte erfolgen sollten. Da diese Szenarien von den PSM-Eigenschaften und der Gesamtmenge der in einem Einzugsgebiet ausgebrachten PSM abhängt, sollten die meisten BMPs nicht generell auf alle drainierten Feldern und für alle PSM angewendet werden, sondern darauf ausgerichtet sein, die Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen bestimmter PSM in Gewässern/Grundwasser zu reduzieren.

3 ENTWICKLUNG VON BMPS DURCH VERKNÜPFUNG DER RISIKODIAGNOSE MIT BMP-MASSNAHMEN

Anlass für die Umsetzung von BMPs Maßnahmen zur Verringerung des Eintragsrisikos durch Drainageabfluss ist üblicherweise das Auftreten einer unzulässigen Wasserbelastung durch einen PSM-Wirkstoff in einem Einzugsgebiet. Wird ein „kritisches“ PSM auf drainierten Feldern im Einzugsgebiet verwendet, sollte das Risiko einer Kontamination über Drainageeinträge, für alle entwässerten Felder im Einzugsgebiet bestimmt werden. Die Verknüpfung der Risikodiagnose mit geeigneten Maßnahmen bildet die BMP-Empfehlung für das Risikomanagement auf dem jeweiligen Feld.

BMP = DIAGNOSE + MASSNAHMEN

Felder, für die nur ein geringes Risiko diagnostiziert wird, können mit Maßnahmen der guten Landwirtschaftlichen Praxis bewirtschaftet werden. Bei einem hohen Risiko kann die Umsetzung der meisten oder sogar aller verfügbaren Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich sein. Es wird empfohlen, die Risikodiagnose und die Identifizierung geeigneter Maßnahmen gemeinsam mit dem Berater und dem Landwirt durchzuführen um sicherzustellen, dass die Maßnahmen zur Risikominderung mit dem verwendeten Anbausystem des Landwirts kompatibel sind. Das in Tabelle 4 dargestellte Beispiel kann als Ausgangspunkt für die Diskussion geeigneter Kombinationen von Maßnahmen dienen. Die Definition der geeigneten Maßnahme(n) ist letztlich auch ein iterativer Prozess, der auf Basis der Messwerte beim Wassermonitoring möglicherweise wiederholt und angepasst werden muss, solange die Messwerte noch nicht zufriedenstellend sind.

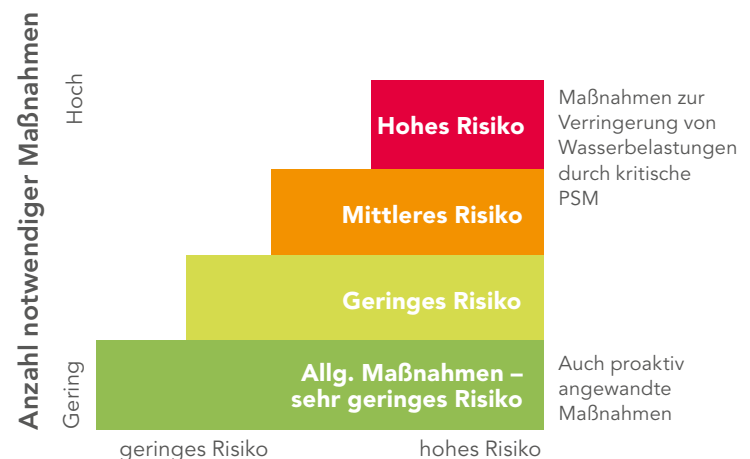


Abb. 15: Veranschaulichung des Konzeptes von risikoangepassten BMPs durch Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Risikominderung

Maßnahmenkategorie	Allgemeine Maßnahmen	Maßnahmen bei geringem Risiko*	Maßnahmen bei mittlerem Risiko*	Maßnahmen bei hohem Risiko*
Anpassung des Anwendungszeitfensters	Keine Ausbringung bei Vorhersage von starkem Regen		In der Dränflussperiode Ausbringung vermeiden	Andere Pflanzenschutzprodukte berücksichtigen
Reduzierung der Schadstoffbelastung pro Feld	Optionen der Saatgutbehandlung berücksichtigen Techniken punktueller/ Teilschlag-Applikation berücksichtigen	Gesplittete Anwendung Reduzierung auf die Mindestmenge für Wirksamkeit	Reduzierung der Ausbringungsmenge durch Kombination von PSM	
Auswahl und Rotation der PSM		Erweiterung der Fruchtfolge im Einzugsgebiet	Einsatz wechselnder PSM für bestimmte Kulturen	Verwendung kritischer PSM einschränken
Optimierung der Fruchtfolge	Auswahl der Fruchtfolge zur Optimierung des Pflanzenschutzes	Berücksichtigung von Kulturen mit Pfahl und Faser-Wurzeln Wechsel zwischen Sommer- und Winterkulturen		
Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden				Berücksichtigung von Bearbeitungsmethoden, die Makroporen im Boden schließen
Anbau von Gründüngung	Auswahl geeigneter Gründüngung			
Optimierung der Drainagepraxis		Vermeidung übermäßiger Entwässerung		
Wasserrückhaltesysteme				Wasserrückhaltesysteme nutzen, um Dränfluss zu sammeln
Optimierung von Bewässerungsverfahren	Berechnung des notwendigen Bewässerungsvolumens	Optimierung der Bewässerungsplanung auf Basis der Bodenfeuchtigkeit		

Tabelle 4: Exemplarisches Schema für die Verknüpfung von BMP-Maßnahmen mit den Risikostufen der Felddiagnose

*Für diese Risikostufen sind auch alle für niedrigere(n) Risikostufe(n) aufgeführten Maßnahmen anwendbar (siehe Abb. 15)

4 BMP-MASSNAHMEN ZUR REDUKTION UND VERZÖGERUNG DES DRAINAGEABFLUSSES (BMP-TOOLBOX)

1. Anpassung des Zeitpunkts der Pflanzenschutzmittelanwendung

Der Zeitpunkt der PSM-Anwendung ist wichtig, da die höchsten PSM-Konzentrationen normalerweise in den ersten witterungsbedingten Drainageabflüssen nach der Anwendung gemessen werden. Drainierte Felder weisen oftmals eine ausgeprägte Abflussperiode mit mehr oder weniger kontinuierlichem Abfluss im Winter und im frühen Frühjahr auf. Dies ist auf die niedrige Evapotranspiration in dieser Jahreszeit zurückzuführen, die ein verstärktes Eindringen von Wasser in die Böden bedingt. Aufgrund der Schwankungen der jährlichen Niederschläge können sich Beginn und Ende des Drainageflusses an einem Standort von Jahr zu Jahr um einige Wochen verschieben. Bei makroporenen Oberböden (z. B. rissige Lehmböden) kann es auch im Herbst und Sommer vereinzelt zu Drainageabflüssen kommen, wenn starke Regenfälle auf ausgetrocknete Böden treffen und eine schnelle Versickerung des Wassers in die Drainage bewirken.

Was ist zu tun?

Im Allgemeinen sollten kritische PSM (d.h. PSM, von denen bekannt ist, dass sie über den Drainageabfluss unzulässige Schadstoffkonzentrationen im Gewässer des jeweiligen Einzugsgebietes verursachen außerhalb der Dränflussperioden eingesetzt werden. Wählen Sie Pflanzenschutzprodukte aus, die ein größeres Zeitfenster für die Anwendung bieten. Verwenden Sie PSM nicht auf nassen Böden und bei erwarteten starken Niederschlägen in den nächsten Tagen nach der Anwendung.

Wie ist vorzugehen?

Lesen Sie die Produktinformation des PSMs sorgfältig durch, um herauszufinden, ob es Einschränkungen in Bezug auf den Zeitpunkt der saisonalen Anwendung gibt oder ob Einschränkungen für die Anwendung auf drainierten Feldern bestehen. Beachten Sie auch die Hinweise des Herstellers zum Einsatz von speziellen Produkten.

Vermeiden Sie möglichst, vom Spätherbst bis zum Frühjahrseinsatz (Hauptdränflussperiode), wenn die Böden nass sind, kritische PSM auszubringen. Stellen Sie sicher, dass unmittelbar vor der Ausbringung kein Drainagefluss beobachtet wird.

Beachten Sie die Wettervorhersage in Bezug auf mögliche lokale Regenfälle in den nächsten Tagen (je kürzer die Zeit zwischen Applikation und Regen je größer das Austragsrisiko für PSM). Verwenden Sie keine kritischen Produkte, wenn innerhalb von

48 Stunden nach der Anwendung starke Regenfälle (> 20 mm) für Ihre Region vorhergesagt werden.

Überprüfen Sie die Bodenfeuchtigkeit auf dem Feld, das Sie behandeln möchten, und vermeiden Sie Anwendungen auf sehr feuchten Böden (nahe Feldkapazität).

2. Reduzierung der Menge an PSM pro Feld

a) Reduzierung der Ausbringmenge eines Pflanzenschutzmittels (auch über Mischprodukte)

Die Wirksamkeit von PSM hängt neben den spezifischen Eigenschaften des Wirkstoffs auch von einer Reihe externer Faktoren, wie z. B. Klimabedingungen, Anwendungstechniken, Bodenart, Bodenfeuchte, Kulturen, Pflanzensorten, Zielorganismen oder Entwicklungsstadien von Schädlingen ab. Die auf dem Etikett empfohlenen Mengen müssen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen externen Faktoren eine gute Wirksamkeit gewährleisten.

In der Praxis können Landwirte die Ausbringmengen von PSM reduzieren, doch dabei besteht das generelle Risiko einer verminderten Wirksamkeit der PSM, da die externen Faktoren, die auch die Wirksamkeit beeinflussen, nicht immer ohne Weiteres vorhersagbar sind. Dennoch kann dank der Erfahrung der Landwirte bei der Anwendung von PSM bezogen auf ihre spezielle Situation die Reduzierung der Menge an PSM eine akzeptable Lösung darstellen. Auch Pflanzen, die speziell wegen ihrer höheren Schaderregerresistenz gezüchtet wurden, können zu einem verminderten Einsatz von PSM beitragen.

Es sollte allerdings auch berücksichtigt werden, dass reduzierte Ausbringmengen das Risiko der Resistenzbildung bei Schädlingen und Krankheiten erhöhen können. Eine zunehmende Schaderregerresistenz führt möglicherweise dazu, dass bei nachfolgenden Anwendungen erhöhte Mengen an PSM oder der Einsatz anderer PSM notwendig wird, um die erforderliche Wirkung zu erreichen. Daher sollte die Verringerung der Ausbringmenge mit Beratern besprochen werden und dazu gegebenenfalls Mischprodukte (oder Tankmischungen) verwendet werden, die unterschiedliche Wirkungsweisen miteinander kombinieren.

Was ist zu tun?

Verringern Sie die Ausbringmenge kritischer PSM (d.h. PSM, von denen bekannt ist, dass sie lokal über Drainageabflüsse ins Wasser gelangen) auf das für das jeweilige Feld erforderliche Minimum, wobei vornehmlich Mischprodukte verwendet werden sollten, die eine Reduktion der Menge eines kritischen Wirkstoffs erlauben.

MASSNAHMENKATEGORIE	MASSNAHME
Anpassung des Zeitpunkts der PSM-Anwendung ¹	Vermeiden Sie das Spritzen während der Abflussperiode und kurz vor starken Regenfällen Berücksichtigen Sie verfügbare Behandlungsalternativen
Reduzierung der PSM-Menge pro Feld ¹	Reduzieren Sie die Gesamtmenge kritischer Produkte Verwenden Sie Mischungen unterschiedlicher Wirkstoffe Nutzen Sie getrennte Anwendungen (splitting) Nutzen Sie Schädlingskontroll-techniken (manuell; automatische Prognosen) und behandeln Sie nur befallene Bereiche (Teilflächenbehandlung) Nutzen Sie Saatgutbehandlung zum Pflanzenschutz
Optimierung der Pflanzenschutzmittelauswahl und -abfolge im Einzugsgebiet ¹	Erweitern Sie die Fruchtfolge zwecks Reduzierung der Belastung durch spezifische PSM Setzen Sie verschiedene PSM für eine bestimmte Kultur im Einzugsgebiet ein Beschränken Sie die Anwendung von PSM in gefährdeten Bereichen
Optimierung der Fruchtfolge	Nutzen Sie die Fruchtfolge zur Optimierung des Pflanzenschutzes und wechseln Sie zwischen - Winter- und Frühjahrskulturen - Pflanzen mit Pfahl- und Faserwurzeln
Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden ¹	Wenn Drainageabfluss ein Problem darstellt: Erwägen Sie zumindest eine flache Bodenbearbeitung durchzuführen, um die Risse/Makroporen an der Bodenoberfläche zu schließen
Anbau von Gründüngung oder Zwischenfrüchten	Bauen Sie Zwischenfrüchte, an die sich an die Fruchtfolge der Hauptkulturen anpassen und: - Achten Sie auf ein gutes Gedeihen der Untersaat/Zwischenfrucht - Pflegen und bewirtschaften Sie die Untersaat/Zwischenfrucht - Stellen Sie sicher, dass die Untersaat/Zwischenfrucht nicht mit der profitablen Deckfrucht in starke Konkurrenz gerät
Optimierung der Entwässerungsverfahren	Planen Sie die Entwässerung professionell (berücksichtigen Sie Ratgeber), vermeiden Sie eine zu starke Drainagewirkung
Nutzung von Wasserrückhalte-einrichtungen ¹	Nutzen Sie Rückhalteeinrichtungen (z. B. Teiche, Feuchtgebiete), um im Herbst oder Sommer, Drainagewasser zu sammeln, zu reinigen und verdunsten zu lassen
Optimierung der Bewässerungsverfahren	Berechnen Sie das erforderliche Bewässerungsvolumen für ihre Pflanzen Überwachen Sie die Bodenfeuchtigkeit, um die Bewässerungsdurchführung zu optimieren

Tabelle 5: Überblick über Maßnahmen zur Reduzierung des Austrags von PSM in Oberflächenwasser durch Drainageabfluss

¹Einige BMP-Maßnahmen (kursiv und fett) sollten nur als Reaktion auf lokale Grenzwertüberschreitungen von kritischen PSM durchgeführt werden.

Wie ist vorzugehen?

Verständigen Sie sich mit dem Berater und/oder den zuständigen Mitarbeitern des Herstellers über die geringstmögliche wirksame Ausbringungsmenge eines kritischen PSM. Wenn möglich, wählen Sie Mischungspartner, die es ermöglichen, die Menge eines kritischen PSM zu reduzieren, ohne die Wirksamkeit zu beeinträchtigen oder die Ausbildung von Resistenzen zu begünstigen. Stellen Sie sicher, dass die verringerte Ausbringungsmenge bzw. die PSM-Mischung ausreichend wirksam ist, um das Pflanzenschutzproblem zu lösen. Beim Mischen verschiedener PSM sollten Sie unbedingt die Anwendungsempfehlungen lesen und spezifische Ratschläge einholen, um sicherzugehen, dass die PSM gemischt werden können.

b) Reduzierung der Ausbringungsmenge durch Split-Applikationen

Unter Split-Applikationen versteht man getrennte aufeinanderfolgende Anwendungen von gleichen oder unterschiedlichen PSM. Wiederholte Anwendungen zielen auf die höhere Empfindlichkeit weniger entwickelter Schadorganismen ab (z. B. kleine Unkrautpflanzen). Split-Applikationen haben sich z. B. auch bei der Schneckenbekämpfung mit Metaldehyd bewährt. Durch getrennte Anwendungen wird die PSM-Konzentration im Oberboden/auf den Pflanzen direkt nach der Anwendung reduziert und die erforderliche Wirkstoffmenge über einen längeren Zeitraum verteilt. Insbesondere bei Niederschlägen kurz nach der Ausbringung verringert sich dadurch das Risiko für hohe Konzentrationen bei sehr mobilen PSM im Drainageabfluss.

Was ist zu tun?

Unterteilen Sie die Ausbringung kritischer PSM in mehrere Anwendungen (in der Regel zwei Anwendungen mit jeweils reduzierter Dosis), die entsprechend den Hinweisen der Gebrauchsanleitung terminiert und dosiert werden müssen.

Wie ist vorzugehen?

Getrennte Anwendungen erfordern eine gute Beobachtung der Entwicklung von Schadorganismen und eine sehr gute Kenntnis der spezifischen Wirkungsweise und Eigenschaften des PSM. Der Zeitpunkt der Anwendung muss daher sehr sorgfältig gewählt werden.

Einschränkungen

Getrennte Anwendungen haben den Nachteil, dass die Ausbringung mindestens zweimal erfolgen muss, was zu Mehrkosten und einer verstärkten Bodenbelastung (Bodenverdichtung) führt. Im Spätherbst und Frühjahr sind getrennte Anwendungen

manchmal schwer durchzuführen, da die Böden zu nass sind, um sie zu befahren.

c) Reduzierung der Pflanzenschutz-Ausbringungsmenge durch Teilflächenbehandlung (Spotbehandlung)

In der Praxis treten Schadorganismen nicht gleichmäßig verteilt im Feld auf (z. B. in Schädling-Hotspots). Falls eine Teilflächenbehandlung (d.h. nur die befallene Fläche) möglich ist, kann der Wirkstoffaufwand auf einem Feld reduziert werden.

Teilflächenbehandlungen zur Bekämpfung von Unkräutern sind einerseits möglich durch Pflanzenschutzmaßnahmen in der Pflanzreihe (Bandapplikation), wobei zwischen den Reihen z. B. auch eine mechanische Unkrautbekämpfung erfolgen kann. Andere Verfahren greifen auf Befallsdaten (d. h. Karten) zurück, die genau die Flächen ausweisen, die eine Pflanzenschutzanwendung benötigen. Die entsprechenden Informationen werden direkt an das Spritzgerät übermittelt, das dann nur die Befallsflächen behandelt.

Die Digitalisierung der Landwirtschaft bietet weitere technische Möglichkeiten: Derzeit werden Technologien für die digitale Landwirtschaft entwickelt, um Erträge vorherzusagen, zu sichern und zu steigern und gleichzeitig die Anwendung von PSM gezielter, kontrollierter und effizienter zu gestalten (Precision Farming). Die schnelle Entwicklung dieser Plattformen und Anwendungen wird reichlich Möglichkeiten bieten, Umweltprobleme zu lösen, da aufgrund der räumlichen und zeitlichen Optimierung der PSM-Ausbringung das Abfluss- und Auswaschungsrisiko von PSM verringert wird.

Werkzeuge zur Entscheidungshilfe in Verbindung mit Krankheitsrisikomodellen, die das Befallsrisiko und den Befallsdruck abbilden, können helfen, die Fungizidmengen an bestimmten Stellen eines Feldes zu optimieren und so die Gesamtbelastung durch PSM zu reduzieren. Die gezielte Unkrautbekämpfung durch Unkrautspritzung auf Basis einer automatisierten Unkrauterkenntnis und -kartierung stellt ebenfalls eine hocheffiziente Form der PSM-Anwendung dar.

Die Gefährdungskartierung ist ein weiterer vielversprechender Ansatz, um das Auswaschungs- und Abflussrisiko auf der Grundlage standortspezifischer Risikoindikatoren wie dem organischen Kohlenstoffgehalt, der Bodentextur oder der Infiltrationskapazität darzustellen. Diese Karten können Landwirte, Berater und Aufsichtsbehörden dabei unterstützen, Hochrisikogebiete zu identifizieren und standortspezifische Maßnahmen zur Risikominderung zu ergreifen.

Was ist zu tun?

Bandanwendung

Einjährige und mehrjährige Kulturen, die mit ausreichend großem Reihenabstand angebaut werden, lassen sich mithilfe von speziellen Spritzgeräten behandeln (meistens zur Unkrautbekämpfung). Folgende Situationen sind zu unterscheiden:

- i. Bandapplikation in der Pflanzreihe (Unkräuter werden in der Pflanzreihe chemisch bekämpft zwischen den Reihen werden Unkräuter mechanisch (Hacke) bekämpft.
- ii. Bandapplikation zwischen den Pflanzreihen: Insbesondere bei der Anwendung von nichtselektiven Herbiziden wird durch eine spezielle Abschirmung des Spritzgerätes verhindert, dass bei der Applikation die Kulturpflanzen getroffen werden (z. B. Unterblattspritzung). Solche Verfahren werden vor allem im Wein- und Obstbau eingesetzt sowie in Kulturen in denen z. B. entsprechende Wirkstoffe nicht verfügbar sind.

Teilflächenbehandlung

Ziel ist es, nur (von Insekten, Pilzen, Unkräutern) befallene Teile des Feldes zu behandeln. Eine solche Strategie ist dann empfehlenswert, wenn eine genaue Schaderregerüberwachung möglich ist und anschließend (entweder manuell oder mit automatischen Sensoren) eine gezielte Behandlung über ein Applikationsgerät erfolgen kann.

Wie ist vorzugehen?

Die Spritzentechnologie muss angepasst werden, um den Einsatz in oder zwischen den Pflanzenreihen zu ermöglichen. Beim Einsatz nicht-selektiver Herbizide kann eine Seitenabschirmung erforderlich sein, um eine Schädigung der Pflanzen zu vermeiden. Bei der Berechnung von Dosis- und Spritzvolumen ist die tatsächlich behandelte Fläche zu berücksichtigen.

Für die Teilflächenbehandlung ist die genaue Erfassung der Behandlungsflächen kritisch. Bei einer Kontrolle des Schaderregerbefalls vor der Anwendung (manuell oder mittels Drohnen-/Satellitensensoren) werden die betroffenen Bereiche in der Regel auf digitale GPS-Karten übertragen, die moderne Sprühgeräte zur Steuerung der gezielten Behandlung nutzen. Sehr bewegliche Schädlinge (z. B. einige Insekten) sind mit kartenbasierten Anwendungssystemen schwierig zu erfassen. Für die Unkrautbekämpfung gibt es bereits sensorbasierte Techniken, für andere Anwendungen befinden sich entsprechende Verfahren noch im Entwicklungsstadium.

Einschränkungen

Für Verfahren, die Unkrautbekämpfung in den Pflanzreihen chemisch und dazwischen mechanisch durchzuführen, ist in der Regel ein weit höherer Personalaufwand sowie ein zusätzlicher Maschineneinsatz erforderlich (Hackvorgang).

Teilflächenanwendungen erfordern eine Anpassung des Befallsmonitoring sowie der Spritztechnik und ist mit zusätzlichen Investitionen in Maschinen/Software verbunden.

d) Reduzierung der ausgebrachten Menge an Pflanzenschutzmitteln durch Saatgutbehandlung

Unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes sind Saatgutbehandlungen die effektivste Anwendungsform von PSM, da vor der Aussaat nur das Saatgut behandelt wird: Die Gesamtmenge der auf einem Feld ausgebrachten PSM ist deutlich kleiner als bei einer breitflächigen PSM-Anwendung. Diese Technologie zielt auf Bodenschädlinge, boden- und samenbürtige Krankheiten, sowie auf den systemischen Schutz von Pflanzen im Frühstadium ab.

Was ist zu tun?

Verwenden Sie speziell behandeltes Saatgut, um die Belastung der Umwelt durch ein gezielt wirkendes PSM zu minimieren, und verwenden Sie geeignetes Saatgut und Saatgerät, um Staubemissionen während der Saat zu vermeiden.

Wie ist vorzugehen?

In den meisten Fällen wird die Saatgutbehandlung in spezialisierten Beisanlagen durchgeführt. Der Landwirt kauft das behandelte Saatgut das mit den gewünschten Wirkstoffen gebeizt wurde. Achten Sie darauf, dass beim Aussäen keine Staubentwicklung stattfindet, kaufen Sie hochwertige Saatgutprodukte (mit geringer Staubentwicklung) und verwenden Sie geeignete Technologien, sodass evtl. auftretender Staub direkt im Boden zurückgehalten wird.

Einschränkungen

Saatgutbehandlungen verbinden die Auswahl des Saatguts mit der des PSM. Diese Technologie sollte eingesetzt werden, wenn die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass während der Wachstumsperiode der jeweilige chemische Pflanzenschutz benötigt wird (prophylaktische Festlegung auf Wirkstoffe).

3. Optimierung der Pflanzenschutzmittelwahl und des Einsatzes im Wassereinzugsgebiet

a) Anpassung der Pflanzenschutzmittel-Anwendung im Einzugsgebiet

Alle drainierten Felder in einem Einzugsgebiet können potentiell während der Dränflussperiode oder zeitweise nach Starkregenereignissen zur Kontaminierung des Wassers beitragen. Der Nachweis von PSM in Oberflächengewässern steht oft in direkter Beziehung mit dem Gesamtverbrauch bestimmter PSM in einem Einzugsgebiet. Eine vielseitige Fruchtfolge im Einzugsgebiet verhindert, dass spezielle PSM durch die Dominanz z. B. einer Kultur überproportional häufig zum Einsatz kommen. Ebenso kann die Auswahl der verwendeten PSM für eine Kultur variiert werden, wenn für die Bekämpfung von Schadorganismen in dieser Kultur mehrere PSM (mit verschiedenen Wirkstoffen) verfügbar sind. Diese Verfahrensweise verringert die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung von Resistenzen gegenüber Schadorganismen und reduziert auch die Wahrscheinlichkeit, dass Wirkstoffe im Oberflächenwasser in inakzeptablen Konzentrationen auftreten..

Was ist zu tun?

In Gebieten, in denen die Kontamination durch Drainageabfluss ein Problem darstellt, wird empfohlen, mittels unterschiedlicher

Aussaattermine (Herbst/Frühjahr) breit angelegte Fruchtfolgen einzuhalten, wobei darauf zu achten ist, dass in keiner Jahreszeit der Einsatz kritischer PSM überwiegt (siehe auch BMP zur Fruchtfolge). Wenn in einem Einzugsgebiet eine oder zwei Kulturen dominieren, sollten sich alle Landwirte, die diese Kulturen anbauen, bei der Verwendung des jeweiligen PSM abstimmen, um eine flächenhaft dominante Anwendung eines kritischen Wirkstoffs zu vermeiden.

Einschränkungen

Die Möglichkeiten zur Umsetzung einer vielfältigen Fruchtfolge in einem Einzugsgebiet ist häufig durch wirtschaftliche (z. B. Vermarktung der Ernte) und agronomische (z. B. verfügbare Maschinen) Faktoren eingeschränkt. Ebenso kann ein wechselweiser Einsatz von PSM in bestimmten Kulturen durch die begrenzte Verfügbarkeit von wirksamen und zugelassenen PSM erschwert sein. Voraussetzung für die Umsetzung derartiger Empfehlungen in einem Einzugsgebiet ist die Bereitschaft der Landwirte für eine kooperative Bewirtschaftung der Flächen.



b) Beschränkung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in gefährdeten Feldern

In einer begrenzten Anzahl von Einzugsgebieten reicht die Einhaltung der Grundsätze guter landwirtschaftlicher Praxis nicht aus, um Oberflächengewässer ausreichend vor PSM Einträgen zu schützen.

Ziel muss es sein, die gesetzlichen Grenzwerte (z. B. Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer) nicht zu überschreiten. Die Daten aus der Überwachung der Wasserqualität liefern Informationen darüber, welche PSM aufgrund der derzeitigen Landnutzungspraxis unzulässige Konzentrationen in Oberflächengewässern aufweisen. In solchen Fällen sollte eine Untersuchung erfolgen, welche Eintragspfade hauptsächlich zu den Belastungen beitragen. Die bedeutendste Belastungsquelle stellen in der Regel Punkteinträge dar. Diese müssen vordringlich untersucht werden. Einträge aus Punktquellen können durch entsprechende Sorgfalt und technische Optimierungen komplett vermieden werden. Diffuse Einträge durch Abflüsse vom Feld können durch direkte Maßnahmen meist nicht vollständig vermieden werden, da Wetter und Boden wesentliche Einflussfaktoren darstellen die variabel und nicht kontrollierbar sind. Werden Einträge von PSM durch diffuse Quellen verursacht, kann eine entsprechende Änderung der Bewirtschaftung oder der Verzicht des Einsatzes kritischer Wirkstoffe erforderlich sein.

■ Hier kann zwar kein festgelegtes Verfahren beschrieben werden, mit dessen Hilfe sich entscheiden ließe, welche lokalen Einschränkungen zu berücksichtigen sind, da jeweilige Maßnahmen von den konkreten Gegebenheiten vor Ort abhängen. Allerdings lassen sich auf der Grundlage der bisherigen Erfahrungen oftmals Lösungen finden, die sicherstellen, dass der angepasste Einsatz von PSM dem Wasserschutz und der Sicherstellung einer effizienten Pflanzenproduktion gleichermaßen gerecht wird.

■ Die PSM-Hersteller bieten Beratung für ihre Produkte mit kritischen Stoffeigenschaften (wie z. B. Mobilität oder Persistenz im Boden) an, um einen PSM-Austrag von behandelten Feldern weitgehend zu vermeiden. Entsprechende Hinweise finden sich in der Gebrauchsanleitung oder können den Nutzern über das (länderspezifische) Beratungs- oder Vertriebssystem der Hersteller von PSM zugänglich gemacht werden.

Die PSM-Hersteller bieten Beratung für ihre Produkte mit kritischen Stoffeigenschaften (wie z. B. Mobilität oder Persistenz im Boden) an, um einen PSM-Austrag von behandelten Feldern weitgehend zu vermeiden. Entsprechende Hinweise finden sich in der Gebrauchsanleitung oder können den Nutzern über das (länderspezifische) Beratungs- oder Vertriebssystem der Hersteller von PSM zugänglich gemacht werden.

Was ist zu tun?

In Gebieten, in denen die Kontamination des Oberflächenwassers mit einem bestimmten PSM ein Problem darstellt, sollten Sie Ratschläge zum Einsatz des fraglichen PSM einholen und die Empfehlungen/Beschränkungen des Herstellers und der Beratung für gefährdete Gebiete befolgen.

Wie ist vorzugehen?

Nachdem das betreffende PSM und die maßgeblichen gefährdeten Bereiche ermittelt wurden, sollten empfohlene Anwendungsbeschränkungen für das/die kritische(n) PSM in den fraglichen Bereichen eingehalten werden. Offizielle Ratschläge (z. B. durch Beratungssysteme oder Wasserberater) und gegebenenfalls Empfehlungen zum verantwortungsvollen Einsatz seitens des Herstellers sollten ebenfalls befolgt werden. Die Rechtsgrundlage für die Auswahl und Verwendung von PSM in den jeweiligen Pflanzenarten bilden jedoch weiterhin die in der Gebrauchsanleitung aufgeführten Anwendungsempfehlungen, die die biologische Wirksamkeit und die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen gewährleisten.

Einschränkungen

Anwendungsbeschränkungen (insbesondere Nichtanwendungshinweise) für ein PSM können die Wirksamkeit der verbleibenden Pflanzenschutzalternativen für eine bestimmte Kulturpflanze gegebenenfalls einschränken. Berücksichtigen Sie auch mögliche Änderungen der Fruchtfolge auf gefährdeten Feldern, um Risiken zu reduzieren.

4. Optimierung der Fruchtfolge

Unter Fruchtfolge versteht man die zeitliche Abfolge von Kulturen auf dem selben Feld. Eine vielfältige Fruchtfolge ist ein wesentlicher Baustein des Integrierten Pflanzenschutzes. Durch den Fruchtwechsel wird eine Anreicherung von kulturspezifischen Schadorganismen im Boden reduziert. Die Fruchtfolge hat weiterhin Einfluss auf die Gehalte an organischer Substanz, die für die Sorption und den Abbau von PSM und die Wasserspeicherung im Boden wichtig sind. Das Hauptziel einer vielfältigen Fruchtfolge ist es, die Fruchtbarkeit des Bodens und eine gute Pflanzengesundheit zu erhalten.

Für einen Landwirt ist die Wahl der Fruchtfolge hauptsächlich eine wichtige unternehmerische Entscheidung. Sie beeinflusst maßgeblich die Arbeitsbelastung im Laufe des Jahres, die kurz- und langfristige Rentabilität, die benötigten Maschinen, sowie die Bodenbearbeitungsmethoden. Im Hinblick auf die Verringerung des Versickerungsrisikos von PSM bieten optimierte Fruchtfolgen folgende Vorteile:

Verbesserte Sorption und verbesserter Abbau von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Der größte Teil der biologischen Aktivität im Boden findet im Oberboden statt. Hohe Anteile an organischer Substanz begünstigen den Abbau von PSM im Boden und erhöhen die

Sorptionsfähigkeit des Bodens für PSM. Böden auf denen ein hoher Anteil an Ernterückständen verbleibt, sowie die Einbeziehung von Zwischenfrüchten bzw. organische Dünger in die Fruchtfolge, tragen zu einem erhöhten Gehalt an organischer Substanz im Boden bei.

Verbesserte Sorption und verbesserter Abbau von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Bei engen Fruchtfolgen besteht die Gefahr, dass vermehrt kulturspezifische Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter auftreten. Daher ist es eine gute Praxis, eine vielfältige Fruchtfolge auch unter dem Gesichtspunkt der Pflanzengesundheit in Betracht zu ziehen. Dadurch lässt sich der Einsatz von PSM oftmals verringern. Die Entscheidung über die Fruchtfolgegestaltung hängt stark von wirtschaftlichen Parametern und politischen Rahmenbedingungen ab, die der Landwirt oftmals nicht direkt beeinflussen kann.

Was ist zu tun?

Wählen Sie eine Fruchtfolge, die möglichst abwechslungsreich ist und weitgehend zu Ihrem Anbausystem und Ihren wirtschaftlichen Anforderungen passt. Wechseln Sie zwischen Winter- und Frühjahrskulturen, Pflanzen mit Pfahlwurzeln und solchen mit Faserwurzeln, Getreide und breitblättrigen Kulturen. Die Integration von Hülsenfrüchten in die Fruchtfolge kann zusätzliche Vorteile in Bezug auf erhöhte Stickstoffgehalte und vermehrte biologische Aktivität der Böden bieten. Geeignete Fruchtfolgen hängen stark vom lokalen Klima und den Bodentypen ab. Ein Beispiel für eine abwechslungsreiche Fruchtfolge wäre beispielsweise Winterweizen/Gerste, gefolgt von Mais, Soja und Erbsen/Zuckerrüben.

Wie ist vorzugehen?

Der Gehalt an organischer Substanz im Boden kann durch Ernterückstände (Wurzelwerk, Strohreste, zusätzliche Reste von Zwischenfrüchten) die auf dem Feld verbleiben erhöht werden. Je nach Ernteertrag kann der Zuwachs an organischer Substanz im Boden (auf Basis von Wertetabellen) abgeschätzt werden. Die Anzahl der Kulturen in der Fruchtfolge, die potentiell Wirte derselben Krankheitserreger/Schädlinge sind, sollte minimiert werden, da dies zur Anreicherung von Schadorganismen im Boden führen kann. Bei der Fruchtfolge müssen auch Aspekte der Unkrautbekämpfung berücksichtigt werden, da sich Unkräuter in einigen Kulturen stärker vermehren sowie in einigen Kulturen einfacher zu bekämpfen sind. Lassen Sie sich vor Ort über die bewährten Fruchtfolgemöglichkeiten beraten.



Abbildung 16: Die Fruchtfolge reduziert die Dominanz bestimmter Kulturen auf Landschaftsebene, wodurch sich dort auch die Vielfalt der eingesetzten PSM erhöht

5. Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden

Eine schonende, konservierende Bodenbearbeitung reduziert effektiv den Oberflächenabfluss von Wasser, die Erosion und damit das Austragsrisiko von PSM. Im Hinblick auf den Drainageabfluss deuten aktuelle Erkenntnisse jedoch darauf hin, dass die konservierende Bodenbearbeitung in fein texturierten Böden eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten befördern kann. Dies ist insbesondere dann der Fall wenn Makroporen im Boden (Bodenrisse) eine schnelle Verbindung zum Drainagesystem herstellen. Damit kann eine reduzierte Bodenbearbeitung/Direktsaat die Transportgeschwindigkeit gelöster Stoffe zur Drainage erhöhen.

Wenn Oberflächenabfluss/Runoff auf einem drainierten Feld stattfindet, hat die Vermeidung des Oberflächenabflusses jedoch in der Regel Vorrang vor der Reduktion des Drainageabflusses, da die PSM-Konzentration und kurzfristigen Belastungen bei Oberflächenabflüssen typischerweise höher sind. Darüber hinaus ist der Erosionsschutz für die Landwirte von größter Bedeutung. Daher sollte von der Direktsaat/reduzierter Bodenbearbeitung auf einem Feld nur dann abgeraten werden, wenn:

- (i) **der Oberflächenabfluss kein Problem darstellt (was in der Regel oberste Priorität hat) und**
- (ii) **der PSM-Austrag mit Drainagefluss durch Risse und Makroporen erhöht ist.**

(Literaturübersicht siehe Anmerkungen 16 bis 43)



Abb. 17: Minimal-invasive Bodenbearbeitungsmethoden (hier Direktsaat in Mulchschicht) beeinflussen die Porosität und Struktur des Bodens (weniger Bodenbearbeitung - weniger gestörte Bodenstruktur)

Was ist zu tun?

Wenn die eingesetzten PSM in einem Einzugsgebiet durch Drainageabflüsse Probleme verursachen, sollten vor der Aussaat drainierte Felder zumindest flach gepflügt/gegrubbert werden, um Makroporen zu verschütten und damit das Risiko einer schnellen Verlagerung von Wasser in tiefere Schichten zu reduzieren. Diese Empfehlung gilt für Felder, auf denen Runoff ein untergeordnetes Problem darstellt.

Wie ist vorzugehen?

Zunächst ist eine Diagnose des Oberflächenabfluss-Risikos für das Feld erforderlich. Falls sich für das Feld ein erhöhtes Risiko für den Drainageabfluss ergibt (siehe Diagnosetabelle für Drainagen (Abb. 14) sollte von einer Direktsaat/reduzierter Bodenbearbeitung abgeraten werden. Dies gilt insbesondere für solche Felder, auf denen der Boden tendenziell zur Rissbildung neigt.

Generell ist eine reduzierte Bodenbearbeitung/Direktsaat von Vorteil für die Verminderung des Oberflächenabflusses, sowie zum Erhalt der organischen Substanz im Boden und damit der Bodenfruchtbarkeit. Daher sollte die Entscheidung für eine intensivere Bodenbearbeitung nur getroffen werden, wenn die Anwendung kritischer PSM auf den drainierten Feldern erforderlich ist.

6. Einsatz von Zwischenfrüchten

Zwischenfrüchte bzw. Gründüngung können als integraler Bestandteil des Fruchtfolgesystems betrachtet werden und müssen sowohl zu den Ansprüchen der Hauptkultur als auch zum Anbausystem passen. Bei der Ackerbewirtschaftung werden sie oft nach der Ernte einer Winterfrucht im Sommer/Herbst und vor der Aussaat einer Frühjahrskultur angebaut. Bei mehrjährigen Kulturen wie in Weinbergen oder Obstpflanzungen werden sie auch zwischen den Pflanzenreihen zur permanenten Bodenbedeckung angebaut.

Zwischenfrüchte bzw. Gründüngung bieten den Landwirten und der Umwelt folgende Vorteile:

- Verkürzung der Brache: Schützt den Boden vor direkter Einwirkung von Witterungseinflüssen (Regen, Sonnenstrahlung, Wind), wodurch die Aggregatstabilität erhöht und die Erosion reduziert wird
- Reduktion der Vernässung durch Evapotranspiration und Schutz des Bodens vor dem Austrocknen durch Beschattung

- Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz im Boden und dadurch Verbesserung des Nährstoffgehalts (Gründüngung), der Kationenaustauschkapazität, des Wasserhaltevermögens des Bodens und der Bodenstruktur
- Stimulierung der biologischen Aktivität im Boden und Beitrag zur Bekämpfung bestimmter Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter
- Minderung des Risikos des Austrags von Nährstoffen und PSM ins Oberflächenwasser durch erhöhtes Sorptions- und Wasserspeichervermögen des Bodens und erhöhte mikrobielle Aktivität (biologischer Abbau).
- Verbesserung der Produktivität von Nutzpflanzen und Rentabilität der Landwirtschaft in Abhängigkeit von den Kosten für den Anbau und die Bewirtschaftung der Zwischenfrucht

Was ist zu tun?

Damit Zwischenfrüchte bzw. Gründüngung sowohl dem Landwirt als auch der Umwelt Vorteile bringen, sollten vier entscheidende Aspekte berücksichtigt werden:

a) Richtige Zwischenfrucht bzw. Gründüngung auswählen

Zwischenfrüchte müssen so gewählt werden, dass sie an das Anbausystem angepasst sind und den Nutzen bieten, den der Landwirt braucht. Bevorzugte Zwischenfrüchte sind Kohlarten, Hülsenfrüchte, Gräser und Getreide, oder eine Kombination dieser Pflanzenarten. Zwischenfrüchte müssen zur Fruchtfolge

oder zur mehrjährigen Kultur passen und die Aussaattermine müssen so gewählt werden, dass ein gutes Wachstum gewährleistet wird und gleichzeitig negative Auswirkungen auf die Nutzpflanzen (z. B. durch Nährstoffkonkurrenz) reduziert werden.

b) Nur gut entwickelte Bestände der Zwischenfrucht erbringen den vollen Nutzen

Da es sich bei Zwischenfrüchten oftmals um Saatgutmischungen handelt, ist besondere Sorgfalt bei der Aussaat geboten. Die Aussaat kann breitflächig oder als Drillsaat erfolgen. Das jeweilige Saatverfahren hängt von der Wahl der Zwischenfrüchte, den zur Verfügung stehenden Maschinen und den auf dem Feld herrschenden Bedingungen ab.

c) Zwischenfrüchte müssen bewirtschaftet werden

Um Vorteile des Zwischenfruchtanbaus zu realisieren, müssen die Zwischenfrüchte gut bewirtschaftet werden. Sie müssen z. B. gemäht, eventuell gedüngt, sowie falls erforderlich vor Krankheiten und Schädlingen geschützt werden.

d) Zwischenfrüchte sollten die nachfolgende Hauptfrucht nicht beeinträchtigen

Vor der Anpflanzung der folgenden Hauptfrucht müssen die Zwischenfrüchte häufig beseitigt werden. Das kann auf natürliche Weise durch Frost, durch Herbizide, oder mechanische Maßnah-

Abbildung 18: Die Hauptfrucht wächst in Überresten der Zwischenfrucht.



men geschehen. Die Beseitigung der Zwischenfrucht hat unter Umständen erhebliche Auswirkungen auf den Anbau der Folgekultur. So muss beispielsweise die Beseitigung von Zwischenfrüchten auf schwereren Böden im Frühjahr oftmals früher erfolgen, damit der Boden austrocknen und sich erwärmen kann, um der Hauptfrucht eine gute Entwicklung zu ermöglichen.

Wie ist vorzugehen?

Bei der Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge bzw. einer mehrjährigen Kultur empfiehlt sich immer Rücksprache mit einem Experten zu halten, der die lokalen Voraussetzungen kennt. Auch lokale Saatgutunternehmen können gezielte Ratschläge geben, während allgemeine Hinweise online verfügbar sind (siehe z. B. Anm. 44, 45).

Im Ackerbau werden oft im Spätsommer oder Herbst nach der Ernte von Winterkulturen (z. B. Weizen, Gerste, Raps) Zwischenfrüchte ausgesät und bis zum Aussaattermin der Frühjahrskulturen (z. B. Mais, Sonnenblumen, Weizen, Gerste oder Zuckerrüben) auf dem Feld stehen gelassen. Gräser wie Hafer und Weidelgras können Schlüsselkomponenten in Untersaatmischungen sein. Gräser passen gut zu Zwischenfrüchten, die tiefere Wurzelsysteme ausbilden und die tiefer liegende Bodenstruktur verbessern. Zu den betreffenden Zwischenfrüchten gehören Kreuzblütengewächse wie Senf und Rettich, aber insbesondere für die Herbstsaat auch Hülsenfrüchte.

Bei später Ernte der Hauptfrucht im Herbst ist es oft zu spät, um eine Zwischenfrucht auszusäen. Alternativ kann auch eine Untersaat in der Hauptkultur ausgesät werden: So können beispielsweise Weidelgras und Hülsenfrüchte mittels Drillsaat unter Mais im 8-10 Blattstadium, also wenn die Nährstoffkonkurrenz mit der schon weiter entwickelten Maiskultur bereits begrenzt ist, ausgesät werden.

Bei mehrjährigen Kulturen wird die Bodenvegetation benötigt, um Oberflächenabflüsse und Erosion zu verhindern. Überall dort, wo kein Wassermangel, sondern Wasserüberschuss herrscht, harmonisieren Gras-Klee-Mischungen gut mit mehrjährigen Kulturen wie Obstpflanzungen und Weinbergen.

Da das Interesse an Zwischenfrüchten zunimmt, wächst auch die Zahl und Verfügbarkeit der von Saatgutlieferanten angebotenen Mischoptionen für Zwischenfrüchte. Teilweise ist die verstärkte Anpflanzung von Zwischenfrüchten auch auf die besondere Förderung durch die Agrarpolitik zurückzuführen.

Die Wirksamkeit von Zwischenfrüchten bei der Reduzierung der Nitratauswaschung auf Feldern ist hinreichend belegt. Die beiden Schlüsselprozesse, die für die verminderte Nitratauswaschung sorgen, sind die Nitrataufnahme durch die Zwischenfrucht und die Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen, wodurch die Feuchtigkeit im Boden und die Versickerung gesenkt werden. Darüber hinaus fördert die Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Oberboden generell den Abbau von PSM und verringert somit das Auswaschungsrisiko im Boden.

Einschränkungen

Da auch für Zwischenfrüchte Einschränkungen gelten, ist es wichtig, diese zu kennen und entsprechend damit umzugehen, um sicherzustellen, dass ihr Anbau den Landwirten Gewinn einbringt.

Die Kosten des Zwischenfruchtanbaus sollten mit den nachfolgenden Kulturen durch Unterstützungsleistungen und erhöhte Produktivität in der Fruchtfolge ausgeglichen sein. Zwischenfrüchte verbessern in der Regel die Verdunstung von Wasser aus dem Boden, d.h. ihre Anwendung muss in Gebieten mit Wassermangel vor allem dann kritisch bewertet werden, wenn sie den Boden für die folgenden Nutzpflanzen zu stark austrocknen. Eine frühere Beseitigung der Zwischenfrucht vor der Aussaat der Hauptfrucht kann hierbei hilfreich sein.

In feuchteren Gebieten kann eine Zwischenfrucht die zu spät beseitigt wird zu Wachstumsverzögerungen der Hauptfrucht führen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Boden sich langsamer erwärmt. Die Ernterückstände von Zwischenfrüchten können für die Pflanzengesundheit der nachfolgenden Kulturen (z. B. durch Erhöhung des Pilzbefalls - oder Schneckenbesatzes) ein Problem darstellen. Andererseits können gut ausgewählte Zwischenfrüchte Unkräuter, Fadenwürmer oder andere Schädlinge und Krankheiten eindämmen.

	KOHLARTEN	LEGUMINOSEN	GRÄSER UND GETREIDE
BEISPIELE	Senf, Rettich, Rüben	Wicken, Kleearten	Hafer, Roggen, Weidelgrasarten
NUTZEN	Kohlarten können sich im Herbst schnell entwickeln. Es gibt breite ackerbauliche Erfahrungen (Anbau von Raps) und Anbauverfahren passen zu vorhandenen Maschinenausstattungen	Leguminosen binden Stickstoff und erhöhen die Bodenfruchtbarkeit, was von Folgekulturen genutzt werden kann. Die Stickstofffixierung beim Anbau über den Winter ist relativ gering	Getreide und Gräser bewirken eine schnelle Bodenbedeckung (wichtig in Erosionslagen). Weiterer Vorteil besteht insbesondere durch das kräftige Wurzelsystem.
EIGENSCHAFTEN	Es gibt Pflanzen mit vielfältigen Wuchsformen. Im Herbst angebaute Kohlarten liefern in der Regel eine gute Bodenbedeckung und eine tiefe Durchwurzelung. Dies kann die Versickerung durch Wassernutzung sowie eine Verbesserung der Bodenstruktur reduzieren.	Zusätzlich zur Stickstofffixierung können Leguminosen durch ihr Wurzelsystem die Bodenstruktur verbessern. Die Wurzelentwicklung ist abhängig von der Pflanzenart, Feldbedingungen und der Nutzungsdauer der Zwischenfrucht	Im Herbstanbau entwickeln sich diese Pflanzen schnell und sind relativ flexibel in ihren Ansprüchen an den Saattermin im Gegensatz zu Kohlarten und Leguminosen
AUSSAAT	Saatzeiten liegen häufig im Spätsommer oder Frühherbst (ähnlich wie bei Raps). Feldbedingungen und Ansprüche der entsprechenden Sorten bestimmen den Saattermin	Leguminosen entwickeln sich langsamer als Kohlarten und erfordern eine frühe Saat im Juli/August für eine gute Entwicklung und für die Stickstofffixierung	Die Saattermine sind abhängig von der Pflanzenart und der Sorte und schwanken zwischen Juli und September
ÜBERLEGUNGEN	Eine gute Bestandsentwicklung im Herbst ist wichtig, um die Bodenstruktur zu verbessern und den im Boden verfügbaren Stickstoff zu nutzen. Beachten Sie die Fruchtfolgeplanung. Wenn verwandte Arten zu eng aufeinander folgen kann es zu einer Erhöhung des Schaderregerdruckes kommen	Beachten Sie die Erfordernisse des Management hinsichtlich einer erfolgreichen Bestandentwicklung. Häufig werden Mischungen verschiedener Pflanzenarten eingesetzt um das Entwicklungsrisiko bei kleinsamigen Leguminosen zu reduzieren.	Der Aufwand des Anbaus von Gräserzwischenfrüchten ist vergleichbar mit dem Anbau von Wintergetreide. In einer engen Getreidefruchtfolge kann die Zwischenfrucht das Infektionspotential für Krankheiten und Schaderreger erhöhen.

Tabelle 6. Überlegungen zur Auswahl von Zwischenfrüchten/ Untersaaten (Anm. 44)

7. Optimierung der Entwässerungsverfahren/Drainagen

Auf Böden, auf denen das Pflanzenwachstum und/oder die Befahrbarkeit durch überschüssiges Wasser im Boden beeinträchtigt ist, kann die unterirdische Entwässerung ein wichtiges Instrument zur Aufrechterhaltung oder Steigerung der Produktivität sein. Unterirdische Drainagen können dann notwendig sein, wenn gering durchlässige oder undurchlässige Schichten im Unterboden die Infiltration von überschüssigem Wasser beeinträchtigen. Das gleiche gilt beispielsweise für Niederungen oder Flusstäler, wo sich im Bodenprofil häufig ein erhöhter Grundwasserspiegel einstellt. Unterirdische Drainagen können wirksam dazu beitragen, die Wassersättigung des Bodens effektiv zu reduzieren und damit Oberflächenabfluss/Runoff zu minimieren. Obwohl die unterirdischen Wasserableitungen für die Bodenbewirtschaftung wichtig sind, sollte eine „Überdrainage“ (d. h. eine zu intensive Entwässerung, die über das für die landwirtschaftliche Nutzung notwendige Maß hinausgeht) vermieden werden, da dies den Austrag löslicher Substanzen über den hohen Drainageabfluss ins Oberflächengewässer verstärken kann. In einigen sehr lehm- und tonhaltigen Böden mit besonders geringer Durchlässigkeit ist in größeren Abständen (von z. B. 4 bis 6 Jahren) eine Sekundärentwässerung notwendig. Dabei erfolgt die Unterbodenlockerung durch einen keilförmigen „Schuh“ mit „Seitenflügeln“, der durch den Unterboden gezogen wird. Hierdurch wird der Boden angehoben und gelockert, sodass ein Netzwerk von Rissen entsteht. „Maulwurfdrainagen“ werden in der Weise ausgeführt, dass mit mechanischen Geräten Hohlräume/Kanäle im Boden geschaffen werden, die Maulwurfsgängen ähneln. Diese Hohlräume bilden ein zusätzliches Entwässerungssystem (Sekundärentwässerung). Die Sekundärentwässerung, die vertikal zu den primären Entwässerungsleitungen angelegt wird, verstärkt die Wasserableitung zum Hauptentwässerungssystem. Insbesondere kurz nach der Anwendung dieses Verfahrens kann die Verstärkte Bodenentwässerung zu einem erhöhten Risiko von PSM-Austrägen führen.

Was ist zu tun?

Das Entwässerungssystem (Primär- und Sekundärentwässerung) eines Feldes sollte so konzipiert sein, dass nur die überschüssige Menge an Bodenwasser abgeleitet wird, um sicherzustellen, dass bei Bedarf die Bodenbearbeitung mittels Maschinen erfolgen kann und dass Pflanzen geeignete Wachstumsbedingungen finden.

Wie ist vorzugehen?

Wenn Sie ein neues Entwässerungssystem installieren, sollten Sie bei der Planung entsprechende Beratung hinzuziehen, um sicherzustellen, dass Tiefe und Leitungsabstände den Boden- und Standortbedingungen entsprechen. Vergleichen Sie hierzu auch die nationalen Richtlinien für die Planung von Entwässerungssystemen oder die Richtlinien der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) (Anm. 46).

Die Abflussleitungen sollten nicht flacher oder enger beieinander liegen, als es für eine effektive Ableitung überschüssigen Wassers auf dem Feld erforderlich ist.

Sekundärentwässerungsmaßnahmen sind insbesondere im ersten Jahr ihrer Durchführung besonders wirksam. Bei der Anbauplanung sollte dies durch den Anbau entsprechender Kulturpflanzen und des Verzichts auf die Anwendung kritischer PSM beachtet werden.

Einschränkungen

Die Gestaltung eines Entwässerungssystems im Feld kann nur dann angepasst bzw. verändert werden, wenn ein neues Entwässerungssystem installiert wird oder das Alte nicht mehr funktionsfähig ist und ersetzt werden muss. Bei einem bestehenden Sekundärentwässerungssystem kann dies alle 5+ Jahre der Fall sein, während das bei tieferliegenden Drainagen mit Rohrleitungen erst nach mehreren Jahrzehnten notwendig werden kann.

8. Nutzung von Wasserrückhalteeinrichtungen

Wasserrückhalteeinrichtungen, wie beispielsweise natürliche oder künstliche Feuchtgebiete, dienen dazu abfließendes Wasser im Einzugsgebiet zurückzuhalten und um tiefergelegene Infrastruktur (Straßen, Wohngebiete) vor starkem Abfluss von Feldern bzw. abgeschwemmten Erosionsmaterial zu schützen. Grundsätzlich können bestehende Rückhalteeinrichtungen auch dazu genutzt werden Drainagewasser aufzunehmen. Die Hauptfunktion von natürlichen oder künstlichen Rückhalteeinrichtungen sind hinsichtlich der Einträge von PSM in das Oberflächenwasser folgende:

- (i) Oberflächenabfluss- oder Drainagewasser zurückzuhalten, es verdunsten und versickern zu lassen**
- (ii) Förderung des Abbaus von Pflanzenschutzmitteln**
- (iii) Bodensedimente zurückzuhalten (weniger relevant, wenn es sich um Drainagewasser handelt).**

Im Vergleich zur Rückhaltung von Oberflächenabfluss ist die Verringerung der Belastung mit PSM von Drainagewasser durch begrünte Wasserrückhalteeinrichtungen weniger effektiv, da im Winter und Frühjahr (Dränflussperiode) mit größeren Wassermengen (> 100 mm vom Einzugsgebiet) und geringeren PSM-Konzentrationen zu rechnen ist. Im Hinblick auf die Verringerung von PSM-Einträgen in Gewässer durch Drainagewasser sind Rückhalteeinrichtungen daher eine Maßnahme, die sich eher für stärker gefährdete Teileinzugsgebiete/Felder eignet, die (z. B. zum Herbst-, Frühjahrs- und Sommeranfang) eine Reihe von sporadischen und/oder kleineren Dränflussereignissen verursachen und damit besser aufgefangen werden könnten. Üblicherweise werden bestehende Wasserrückhalteeinrichtungen zur Aufnahme von Oberflächenabfluss (Runoff) ebenfalls für das Auffangen von Dränagewasser genutzt.

Künstliche Rückhalteeinrichtungen ähneln oftmals temporär überfluteten Teichen, die so konstruiert sind, dass sie eine maximale Wasserrückhaltung ermöglichen (z. B. durch Strukturen, die dazu führen, dass auch geringe Wasserdurchflüsse mäandern), wobei der Auslauf mithilfe eines Wehrs reguliert wird. Weitere Informationen über Wasserrückhalteeinrichtungen finden Sie in der TOPPS-Broschüre BMPs zur Reduktion von Runoff und Erosion (vgl. Anm. 1).

Natürliche Feuchtgebiete können ebenfalls geeignet sein um Dränflusswasser aufzunehmen und sollten daher bewahrt und ge-

nutzt werden. Da derartige Feuchtgebiete als Naturschutzgebiet ausgewiesen sein können, muss eine Nutzung für das Auffangen von Dränflusswasser vorher mit den Behörden geklärt werden. Derartige Feuchtgebiete können z. B. Auenwiesen oder -wälder sein, die regelmäßig überflutet werden.

Was ist zu tun?

Sammeln Sie den Drainageabfluss von kritischen Gebieten, die zur Verschmutzung des Oberflächenwassers beitragen, in existierenden Rückhaltestrukturen im Einzugsgebiet. Der Neubau von Rückhalteeinrichtungen wird in der Regel von den für das Wassereinzugsgebiet zuständigen Wasserverbänden oder lokalen Behörden durchgeführt um Infrastruktur zu schützen und um die Wasserqualität zu erhöhen (Reduktion von Nährstoff- und PSM-Einträgen). Es bedarf einer gründlichen Diagnose, um im Einzugsgebiet geeignete Standorte (die den Dränabfluss der gefährdetsten Felder abdecken) für Rückhaltebecken zu finden und das jeweilig notwendige Retentionsvolumen zu bestimmen (das abhängig vom Klima und den daraus resultierenden Dränagebedingungen im angeschlossenen Einzugsgebiet ist). Da in der Regel Felder verschiedener Nutzer sowie verschiedener Eigentümer betroffen sind, ist ein gemeinsames Bewirtschaftungskonzept notwendig, um den Bau und die Instandhaltung von Rückhalteeinrichtungen zu organisieren und sicherzustellen.

Wie ist vorzugehen?

Wasserrückhalteeinrichtungen sollten, je nach klimatischen Bedingungen und Größe der angeschlossenen Fläche, ausreichend groß dimensioniert sein, um das Drainagewasser von zuvor definierten „Abflussereignissen“ (z. B. 2 bis 5 mm Drainagewasser aus angeschlossenen Feldern) aufzunehmen. Falls genügend Platz zur Verfügung steht, können begrünte Rückhalteeinrichtungen so bemessen sein, dass sie eine Fläche bedecken, die maximal 1 bis 2 % des angeschlossenen Einzugsgebietes betragen. Im Gegensatz zum Oberflächenabfluss, kann eine Rückhaltestruktur in der Regel nicht die einströmende Wassermenge aus Dränfluss auch nur annähernd komplett zurückhalten, da die Dränflussperiode im Winter und Frühjahr sich über Monate erstreckt und große Wassermengen (> 100 mm) mehr oder minder kontinuierlich einströmen.

Die Verweilzeit/der Fließweg des in der Rückhalteeinrichtung aufgefangenen Wassers kann mit Wehren oder Barrieren jedoch

verlängert werden (je langsamer der Wasserdurchfluss desto größer ist das Abbaupotential von PSM-Einträgen).

Um sicherzustellen, dass keine schnelle Versickerung von Nährstoffen und PSM in der Rückhalteeinrichtungen erfolgt (und damit ein Eintrag in hochstehendes Grundwasser möglich ist), sollten die Ufer und der Boden der Rückhalteeinrichtungen mit dem vorher entfernten Oberboden (Lehm oder Ton) abgedeckt werden. Sowohl die Uferböschung als auch der Boden der Wasserrückhalteeinrichtung sollten dauerhaft begrünt sein, um die Uferstabilität zu gewährleisten und den Wasserfluss zu verlangsamen. Die Vegetation in den Wasserrückhalteeinrichtungen sollte robust gegenüber regelmäßigen Überschwemmungen und anaeroben Bedingungen in der Wurzelzone sein, um Nährstoffe, PSM und Schwebstoffe wirksam zurückzuhalten. Die Pflanzenarten, die für die Ausbildung einer robusten und widerstandsfähigen Vegetation in Frage kommen (z. B. Schilf, Gräser, etc.), können meist mit Unterstützung der lokalen Umweltbehörden oder Naturschutzverbänden ausgewählt werden. Erfahrungen mit Regenrückhalte- und Klärbecken zeigen, dass die Anpflanzung von Schilf und/oder Gras besonders geeignet sind.

Abgelagerte Bodensedimente sollten regelmäßig (z. B. einmal pro Jahr oder wenn > 20 % des vorhandenen Auffangvolumens gefüllt ist) entfernt werden, da die angesammelten Ablagerungen ansonsten die Funktion und Aufnahmekapazität der Rückhalteeinrichtung beeinträchtigen. Die Sedimente bestehen hauptsächlich aus erodierten Bodenpartikeln und organischer Substanz, so dass eine Ausbringung auf nahegelegenen Feldern eine sinnvolle Verwendungsform darstellt.

Die folgenden Punkte sollten bei Rückhaltestrukturen beachtet werden:

- Retentionsvolumen: Das Fassungsvermögen eines Rückhaltebeckens für Drainagewasser sollte so ausgelegt sein, dass mindestens 2 bis 5 mm Abfluss aus dem beitragenden Einzugsgebiet aufgenommen werden kann. Bei größeren Problemen durch PSM-Austrag durch Dränfluss im Einzugsgebiet, muss die Aufnahmekapazität eventuell vergrößert werden (> 5 mm).
- Die Wassertiefe sollte zwischen 0,2 bis 1 m betragen, wobei die durchschnittliche Wassertiefe 0,5 m bei Flutung betragen sollte.
- Die Ufer sollten nicht zu steil sein, um Fluchtwege für Kleintiere zu schaffen.
- Länge: Wenn möglich, sollte der Weg, den das Wasser zurückzulegen hat (d.h. die Verweildauer des Wassers), so lang wie möglich sein. Das lässt sich erreichen, indem man mittels Barrieren/Dämmen den Wasserfluss in der Rückhalteeinrichtung in Mäander zwingt und damit die Wasserbewegung verlangsamt.
- Die Rückhalteeinrichtung sollte mit lokalen (nicht-invasiven) Pflanzen begrünt werden, die an unregelmäßige Überflutungen angepasst sind (z. B. *Typha latifolia*, *Sparganium erectum*, *Carex* spp.).

Grundsätzlich ist Expertenwissen notwendig, um effiziente Rückhalteeinrichtungen anzulegen. Nähere Informationen können Sie bei Ihrem lokalen Umweltberater/den zuständigen Umweltbehörden einholen. Natürlich können Sie auch technische Handbücher zu Rate ziehen, wie z. B. den technischen Leitfaden „Minderung der landwirtschaftlichen Verschmutzung durch PSM aus diffusen Quellen und biologische Sanierung in künstlichen feuchten Ökosystemen „ (Anm. 47) aus dem EU-Forschungsprojekt Life ArtWET (LIFE 06 ENV/F/000133).



Abbildung 19: Künstliches Feuchtgebiet zur Sammlung von Oberflächen- und Drainageabflüssen in offener Landschaft



Abbildung 20: Begrünter Graben als Auffang von Drainageabflüssen

Wirksamkeit von Rückhalteeinrichtungen

Die hydrophoberen PSM werden im Allgemeinen besser in begrünten Rückhalteeinrichtungen zurückgehalten, da diese stärker an Bodenpartikel (Schweb- oder Bodensedimente) und Pflanzenmaterial gebunden werden. In Einzugsgebieten für die Trinkwassergewinnung gelten jedoch häufig die stärker polaren PSM als „kritisch“, da sie bei sorptiven Trinkwasseraufbereitungsverfahren (z. B. Aktivkohlefiltration) nicht immer effektiv entfernt werden können. Begrünte Rückhalteeinrichtungen gewährleisten oftmals keine effektive Eliminierung von polaren und mäßig polaren Verbindungen (normalerweise im Bereich zwischen 20 % und 70 %), während stark sorbierte Verbindungen zu 90 % bis 100 % eliminiert werden.

Einschränkungen

Rückhalteeinrichtungen müssen entweder vorhanden sein oder verbrauchen bei der Anlage Flächen, was die Umsetzung unter Umständen erschwert. Begrünte Wasserrückhalteeinrichtungen sind von Menschen geschaffene, infrastrukturelle Anlagen, die so konstruiert sind, dass sie das Drainagewasser (und Abflusswasser) zurückhalten und von Sedimenten, Nährstoffen und PSM reinigen. Daher sollten alle Vorschriften zum Schutz von Ökosystemen/Lebensräumen, die die Funktionalität der Rückhalteeinrichtung beeinträchtigen könnten, im Voraus mit den lokalen Umweltbehörden abgeklärt werden. Es muss sichergestellt sein, dass die Einrichtung auch dann ihre ursprüngliche Aufgabe erfüllen darf, wenn sich z. B. gefährdete Arten (rote Liste) in der Rückhalteeinrichtung ansiedeln. Schließlich sollte die Einrichtung primär den Zweck erfüllen, die Wasserqualität nachhaltig zu schützen, und nur sekundär als Lebensraum für (geschützte) Arten dienen.

9. Optimierung von Bewässerungsverfahren

Bewässerte Felder können in einem Einzugsgebiet zur Auswaschung von PSM über Drainagen beitragen, wenn die Bewässerung den Wasserbedarf der angebauten Kultur und das Wasserhaltevermögen des Bodens übersteigt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Beregnungsverfahren den Wasserverbrauch nicht gezielt steuern kann (z. B. Furchenbewässerung).

Es kann zwischen Flut-, Furchen-, Sprinkler- oder Tröpfchenbewässerung unterschieden werden, wobei die Tröpfchenbewässerung bei korrekter Anwendung die wassersparendste ist. Sie wird aufgrund der hohen Investitionen jedoch meist nur in hochwertigen Kulturen eingesetzt.

Was ist zu tun?

Um zu vermeiden, dass zu viel Beregnungswasser die Drainage erreicht, ist ein korrektes Bewässerungsmanagement entscheidend, das die Bodenfeuchtigkeit, das Wasserhaltevermögen des Bodens und den Wasserbedarf der Nutzpflanzen im Verhältnis zur tatsächlichen Evapotranspiration berücksichtigt.

Wie ist vorzugehen?

Ausgangspunkt ist eine tägliche Überwachung der Bodenfeuchtigkeit in Verbindung mit der prognostizierten Nieder-

schlagsmenge. Auf der Grundlage dieser Daten lassen sich der Wasserbedarf der Pflanzen, das verbleibende Bodenwasser und die erforderliche Wassermenge für die Bewässerung berechnen. Für das Management von Bewässerungsverfahren sind gebrauchsfertige technische Steuerungsinstrumente erhältlich, wie auch IT-basierte Entscheidungshilfen. In den Bewässerungszeiten sollten Drainageabflüsse regelmäßig überprüft werden, um sicher zu stellen, dass kein unbeabsichtigter Wasserverlust über die Drainage erfolgt.



Abbildung 21: Optimierte Bewässerungsverfahren



BEST MANAGEMENT PRAXIS ZUR REDUZIERUNG DER VERSICKE- RUNG VON PFLANZENSCHUTZMITTEL- WIRKSTOFFEN

1 SCHLÜSSELFAKTOREN FÜR DAS VERSICKERN VON PSM-WIRKSTOFFEN

Im Rahmen dieser Empfehlungen wird Versickerung definiert als Transport von Stoffen mit dem Bodenwasser ins Grundwasser. In der Landwirtschaft sind es vor allem Nitrat und einige wenige PSM-Wirkstoffe oder deren Abbauprodukte (Metaboliten), die in unerwünschten Konzentrationen ins Grundwasser gelangen können und deshalb im öffentlichen Fokus stehen.

Im Allgemeinen findet der Großteil der Grundwasserneubildung im Winter und zu Beginn des Frühjahres statt. In dieser Periode ist die Verdunstung aus dem Boden und die Wassernutzung durch Pflanzen geringer, was zu einer Verlagerung des Wassers im Bodenprofil nach unten führt. Dabei werden wasserlösliche Stoffe mittransportiert. Dieses jahreszeitliche Muster der Wasserversickerung hat erhebliche Auswirkungen für mobilere Wirkstoffe. Aufgrund der Umweltbewertung von Pflanzenschutzmitteln während der Zulassung muss deren Einsatz im Herbst teilweise eingeschränkt werden.

In sandigen Böden, die ein geringes Wasserhaltevermögen und eine höhere Durchlässigkeit aufweisen, erfolgt die Versickerung tendenziell relativ schnell. Im Gegensatz dazu ist die Wasserbewegung in schwereren Böden (z. B. in tonhaltigen Lehmböden) typischerweise sehr langsam. In einigen tonhaltigen Böden können sich jedoch (je nach Tonart und -gehalt) während Trockenperioden tiefe Risse im Oberboden bilden, die einen partiellen schnellen Wasserdurchfluss nach Starkregenereignissen in tiefere Bodenschichten ermöglichen.

Die wichtigsten Parameter, die das Versickerungspotenzial von Stoffen beeinflussen, werden in der allgemeinen Einleitung

beschrieben und hier kurz zusammengefasst. Die drei wesentlichen Aspekte sind:

a) Eigenschaften des Wirkstoffs/Metaboliten

- Persistenz (= Abbaubarkeit) im Boden (Halbwertszeit $T_{1/2}$)
- Mobilität im Boden (Sorptionskoeffizient K_{oc})

b) Klimatische Bedingungen

- Durchschnittliche Bodentemperatur nach der PSM Anwendung
- Durchschnittliche Bodenfeuchtigkeit nach der PSM Anwendung (-> Niederschlagsmuster)
- Jährliche Grundwasserneubildungsrate

c) Bodeneigenschaften

- Bodenart
- Bodenstruktur (Aggregation, Makroporen)
- Biologische Aktivität (Gehalt an organischer Substanz, Belüftung)
- Sorptionsfähigkeit (Vorhandensein von Ton und organischen Stoffen als Schlüsselbestandteile)

Es ist es wichtig zu beachten, dass die Wirkstoff-Versickerung von vielen Faktoren und deren komplexen Wechselwirkungen beeinflusst wird. Das erschwert eine exakte Abschätzung des Versickerungspotenzials von Wirkstoffen für eine spezifische Situation. In diesem Zusammenhang wird für die Praxis empfohlen, sich bei konkreten Problemen mit einem Wirkstoff/Metaboliten im Grundwasser unabhängig von den Stoffeigenschaften, vornehmlich an den Schlüsselfaktoren zu orientieren, die maßgeblich für das relative Risiko der Versickerung sind. Hierzu gehören insbesondere:

- (i) die Grundwassertiefe,
- (ii) die Bodenstruktur, einschließlich der Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf diese,
- (iii) die Bodenarten und
- (iv) das Wasserhaltevermögen des Bodens (maßgeblich durch die Bodenart beeinflusst).

2 RISIKODIAGNOSE

Es wird empfohlen, vor der Auswahl von BMPs zur Verminderung der PSM-Versickerung eine Einzugsgebiets- und Feldrisikodiagnose durchzuführen. Hierzu wurde eine Entscheidungstabelle erarbeitet. Durch diese Entscheidungstabelle ist man in der Lage mit Hilfe einer Reihe einfacher Kriterien Versickerungs-

zenarien für das jeweilige Feld (bzw. Einzugsgebiet) zu identifizieren, die allgemein für PSM gelten. Auf Basis des Ist-Zustands im Feld kann das vorhandene Versickerungsrisiko abgeschätzt werden. Im nächsten Schritt gilt es, die geeigneten Maßnahmen zu dessen Minimierung auszuwählen, wobei die lokalen klimatischen Bedingungen (z. B. Niederschlagsmuster, Bodentemperaturen) ebenfalls zu berücksichtigen sind.

BMP = Risikodiagnose + Auswahl geeigneter BMP-Maßnahmen (Toolbox)

Abb. 22: Entscheidungstabelle - Risikodiagnose für Felder in Bezug auf potenzielle Versickerung von PSM-Wirkstoffen

Flaches Grundwasser ¹ (weniger als 1 m)	Große Bodenrisse/Makroporen ² vorhanden		Hohes Risiko
	Große Bodenrisse/Makroporen sind in den meisten Jahren nicht vorhanden	Direktsaat/No-till	Hohes Risiko
		Feldkapazität ³ < 150 mm	Hohes Risiko
		Feldkapazität 150 bis 230 mm	Mittleres Risiko
		Feldkapazität > 230 mm	Geringes Risiko
		Torfiger Boden ⁴	Geringes Risiko
Grundwasser tiefer als 1 m	Flachgründige Bodenauflage über Kluftgestein ⁵		Hohes Risiko
	Andere Böden	Direktsaat/No-till	Mittleres Risiko
		Feldkapazität < 150 mm	Mittleres Risiko
		Feldkapazität > 150 mm	Geringes Risiko

¹ Grundwasser zu bestimmten Zeiten im Laufe eines Jahres ≤ 1 m unter der Bodenoberfläche

² Risse/Makroporen von ≥ 1 cm Breite treten an der Bodenoberfläche auf

³ Wasserhaltevermögen/Feldkapazität (in den oberen 100 cm des Bodenprofils oder bis zum anstehenden Grundwasser)

⁴ Torfige Böden: Böden mit ≥ 30% organischer Substanz im Oberboden (Pflughorizont)

⁵ Böden mit pflugfähigen Profilen < 30 cm Tiefe: Normalerweise nur Oberbodenhorizont über Lockergestein vorhanden (z. B. Rendzina-Böden auf Karst)

Anwendung der Entscheidungstabelle

Die Entscheidungstabelle ist von links nach rechts zu lesen, wobei in jeder Spalte für jeden Diagnoseparameter die zutreffende Situation gewählt werden muss. Nach einem dreistufigen Entscheidungsverfahren erhält man eine Risikobewertung für den entsprechenden Standort.

Zunächst muss eine Entscheidung in Bezug auf die Höhe des Grundwassers erfolgen (flaches Grundwasser < 1 m bzw tiefer > 1 m). Im nächsten Schritt muß für den Bereich des a) flachen Grundwassers das Auftreten von Bodenrissen und deren Ausprägung bewertet werden bzw. für die Situation b) tiefer liegendes Grundwasser ist die Tiefgründigkeit des Oberbodens zu berücksichtigen (< 30 cm Oberboden auf Karst vs tiefgründiger Böden).

In einem weiteren Schritt wird für die Situation bei flachem Grundwasser die Risikostufe festgelegt.

Hohes Versickerungsrisiko ist gegeben bei Auftreten von Bodenrissen (> 1 cm), Direktsaat und geringer Wasserhaltefähigkeit. Höhere Wasserhaltefähigkeit reduziert das Versickerungsrisiko, ebenso organische Böden mit > 30% organischer Substanz.

Bei tieferliegendem Grundwasser besteht das größte Versickerungsrisiko bei Böden mit geringer Bodenschicht (< 30 cm) über Karst. Mit zunehmender Wasserhaltekapazität nimmt das Versickerungsrisiko ab.

Neben diesen Faktoren beeinflussen im weiteren lokale klimatische Bedingungen (Niederschlagsmuster, Temperatur) das Risiko für die Versickerung ins Grundwasser.

Die Umsetzung von BMPs kann das Risiko der Versickerung verringern, und diese sollten insbesondere in gefährdeten Gebieten angewendet werden, in denen die pedoklimati-

schen Bedingungen und die landwirtschaftlichen Praktiken den Wassertransport ins Grundwasser begünstigen. Die Überschreitung des PSM-Grenzwertes oder des Leitwertes für nicht relevante Metaboliten im Grundwasser kann zu Anwendungsbeschränkungen oder in letzter Konsequenz zum dauerhaften Verbot wichtiger PSM führen. Wirkstoffe und Metaboliten sind im Grundwasser (geringe mikrobielle Aktivität, kein Sonnenlicht, langsamer Wasserfluss) länger persistent als im Oberflächenwasser und können daher in den Einzugsgebieten mittel- bis langfristig Probleme bereiten. Dessen ungeachtet werden im Zuge des EU-Regulierungsverfahrens die Risiken einer Grundwasserkontamination bewertet, so dass unter normalen Bedingungen ein sicherer Einsatz gewährleistet ist. In einigen Fällen befinden sich auf dem Etikett des PSM Nutzungsbeschränkungen für gefährdete Gebiete oder weitere Hinweise zur Produktsicherheit oder Produktverantwortung.

Es gilt nochmals zu betonen, dass die Diagnose des Risikos der Versickerung und die Umsetzung von BMPs in erster Linie lokal als Reaktion auf Grenz- oder Leitwertüberschreitungen von (einzelnen) PSM-Wirkstoffen oder deren Metaboliten im Grundwasser eines Einzugsgebietes erfolgen sollten. Da diese Szenarien von den PSM-Eigenschaften, der Gesamtmenge der in einem Einzugsgebiet ausgebrachten PSM und den lokalen klimatischen Bedingungen abhängt, sollten die meisten BMPs nicht proaktiv überall und für alle PSM angewendet werden. Stattdessen sollen sie Hinweise zur Reduktion des Versickerungsrisikos geben und Basis für Lösungen in Gebieten sein, in denen konkrete Probleme mit PSM-Wirkstoffen im Grundwasser auftreten.

3 ENTWICKLUNG VON BEST MANAGEMENT PRAKTIKEN DURCH VERKNÜPFUNG DER RISIKODIAGNOSE MIT BMP-MASSNAHMEN

Ein schlagspezifisches Risikoprofil für die Versickerung von Wirkstoffen lässt sich durch Anwendung der Entscheidungstabelle abschätzen (Abb. 22).

Für Felder bei denen nur ein geringes Risiko diagnostiziert wird, sind lediglich wenige allgemeine Maßnahmen erforderlich. Dadurch wird das niedrige Risikoprofil abgesichert. Bei einem hohen Risiko kann die Umsetzung der meisten oder sogar aller verfügbaren Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich sein. Es wird empfohlen, die Risikodiagnose und die Diskussion potenzieller Maßnahmen zwischen Landwirt und einem Berater gemeinsam durchzuführen. Bei der Auswahl der Maßnahmen muss darauf geachtet werden, dass sie mit den Erfordernissen des Betriebs vereinbar sind. Die meisten Maßnahmen zur Reduktion des Versickerungsrisikos decken sich mit den Maßnahmen zur Risikominimierung durch Drainageabfluss.

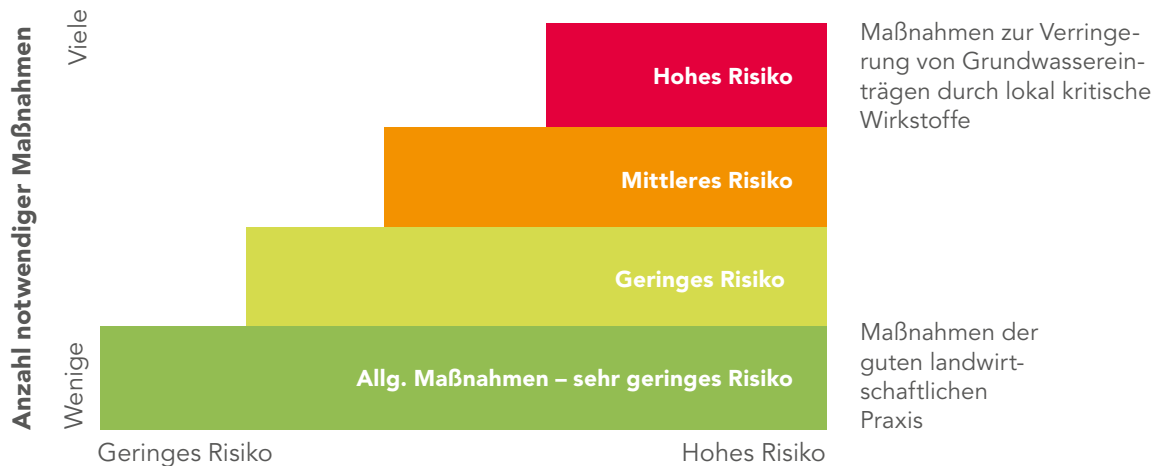


Abb. 23: Veranschaulichung des Aufbaus risikoangepasster BMPs durch Auswahl geeigneter Maßnahmen

Das in Tabelle 7 dargestellte Beispiel zur Auswahl von Reduktionsmaßnahmen kann als Grundlage für die Diskussion geeigneter Maßnahmen dienen. Die Auswahl der geeigneten Maßnahme(n) ist letztlich ein iterativer Prozess, der aufgrund von Messwerten im Wassermonitoring (d.h. in diesem Fall der Grundwasserdaten) angepasst werden muss, solange die Ergebnisse noch nicht zufriedenstellend sind. Da die Versickerung von PSM ins Grundwasser jedoch ein mittel- bis langfristiger Prozess sein kann, sind Veränderungen der Grundwasserqualität oft nicht kurzfristig erkennbar. Die Bodenpassage von Wirkstoffen und deren Metaboliten kann mehrere Jahre dauern. Der Erfolg von Maßnahmen lässt sich daher nicht sofort anhand sinkender Konzentrationen im Grundwasser nachweisen.

4 BMP-MASSNAHMEN ZUR REDUKTION DER VERSICKERUNG VON PSM-WIRKSTOFFEN (TOOLBOX)

1. Anpassung des Zeitpunkts der PSM-Anwendung

Grundwasserneubildung findet hauptsächlich im Winter bis in den Frühling hinein statt.

Der Zeitpunkt der PSM-Anwendung in Bezug auf die Grundwasserneubildung ist ein entscheidender Faktor, der mitbestimmt, wie viel Wirkstoff während dieses Zeitraumes noch im Boden verbleibt. Gleichzeitig sind die Bedingungen für den Abbau von PSM während der Wintermonate nicht günstig. Eine relativ hohe Wirkstoffmenge im Boden während der Phase der Grundwasserneubildung kann je nach Stoffeigenschaften zu einem erhöhten Eintragsrisiko ins Grundwasser führen. Aufgrund der Schwankungen der jährlichen Niederschläge können sich Beginn und Ende der Versickerungsperiode von Jahr zu Jahr um einige Wochen verschieben.

Was ist zu tun?

Im Allgemeinen sollten lokal kritische PSM (d. h. PSM mit einem Wirkstoff, der in unzulässigen Konzentrationen im Grundwasser eines Einzugsgebietes gefunden wird) möglichst außerhalb der Perioden der Grundwasserneubildung eingesetzt werden. Falls notwendig, wählen Sie geeignetere Pflanzenschutzprodukte aus, die ein größeres Zeitfenster für die Anwendung bieten.

Wie ist vorzugehen?

Lesen Sie die Gebrauchsanleitung des PSM sorgfältig durch, um herauszufinden, ob es spezielle Anforderungen in Bezug auf den Zeitpunkt der saisonalen Anwendung gibt. Beachten Sie auch die Hinweise des Herstellers im Rahmen der Produktverantwortung.

Vermeiden Sie möglichst lokal kritische Wirkstoffe vom Spätherbst bis zum Frühjahrsanfang auszubringen.

2. Reduzierung der Wirkstoffmenge

a) Reduzierung der ausgebrachten Menge einzelner Wirkstoffe durch Reduktion der Aufwandmenge und PSM-Mischungen.

Die Wirksamkeit von PSM hängt neben den spezifischen Eigenschaften der Wirkstoffe auch von einer Reihe externer Faktoren ab (z. B. Klimabedingungen, Applikationstechnik, Bodenart, Bodenfeuchte, Kulturen, Pflanzensorten, Zielorganismen oder Entwicklungsstadien von Schaderregern). Die in der Gebrauchsanleitung empfohlenen Dosierungen müssen unter Berücksichtigung

der unterschiedlichen externen Faktoren eine gute Wirksamkeit gewährleisten.

In der Praxis können Landwirte die Ausbringungsmengen von PSM basierend auf Erfahrungen reduzieren. Dabei besteht aber das Risiko einer verminderten Wirksamkeit der Mittel. Dennoch kann auf grundwassersensiblen Feldern bei Anwendung kritischer Produkte eine Reduktion der PSM-Dosierung ein akzeptables Risiko darstellen. Pflanzen, die speziell wegen ihrer höheren Schaderregerresistenz gezüchtet wurden, können ebenfalls zu einem verminderten Einsatz von PSM beitragen. Das Risiko der Resistenzbildung bei Unkräutern und Schaderregern sollte aber immer berücksichtigt werden. Eine zunehmende Resistenz führt möglicherweise dazu, dass bei nachfolgenden Anwendungen erhöhte Mengen an PSM notwendig sind. Daher sollte die Reduzierung der Aufwandmenge mit Beratern besprochen werden.

Leichter umsetzbar ist eine Reduktion der Ausbringungsmenge für einen lokal kritischen Wirkstoff durch Kombination mit anderen Wirkstoffen (Mischprodukte oder Tankmischungen), die z. B. unterschiedliche Wirkungsweisen miteinander kombinieren und eine sichere Wirkung gewährleisten.

Was ist zu tun?

Verringern Sie die Ausbringungsmenge lokal kritischer Wirkstoffe (d. h. PSM mit einem Wirkstoff, der in unzulässigen Konzentrationen im Grundwasser eines Einzugsgebietes gefunden wird) auf das für das jeweilige Feld erforderliche Minimum. Verwenden Sie dabei vornehmlich Produkte in Mischung, die eine Reduktion der Menge des kritischen Wirkstoffs erlauben.

Wie ist vorzugehen?

Verständigen Sie sich mit dem Berater und/oder den zuständigen Mitarbeitern des Herstellers über die geringstmögliche wirksame Aufwandmenge von lokal kritischen PSM unter den gegebenen Bedingungen. Wenn möglich: Wählen Sie Mischungspartner, die die Menge des „kritischen“ Wirkstoffs reduzieren, ohne die Wirksamkeit zu beeinträchtigen. Beim Mischen verschiedener PSM sollten Sie spezifische Ratschläge einholen, um sicherzugehen, dass die entsprechenden PSM gemischt werden können.

Tabelle 7: Beispiel für die Verknüpfung von BMP-Maßnahmen mit den Risikobewertungen durch die Felddiagnose

Maßnahmenkategorie	Allgemeine Maßnahmen	Maßnahmen bei geringem Risiko*	Maßnahmen bei mittlerem Risiko*	Maßnahmen bei hohem Risiko*
Anpassung des Applikationszeitpunkts			Applikation in der Phase der Grundwasserneubildung vermeiden	Andere PSM berücksichtigen
Reduzierung der Wirkstoffmenge pro Feld	Optionen der Saatgutbehandlung berücksichtigen Techniken zur punktuellen und Teilschlag-Applikation berücksichtigen	Gesplittete Anwendung Reduzierung auf die Mindestmenge für Wirksamkeit	Reduktion des kritischen Wirkstoffs durch Tankmischungen	
Auswahl und Wechsel der PSM			Jährlich wechselnder Einsatz der Wirkstoffe (Wirkstoffrotation) Wirkstoffvielfalt im Einzugsgebiet	Verwendung lokal kritischer Wirkstoffe PSM einschränken
Optimierung der Fruchtfolge	Anpassung der Fruchtfolge zur Verbesserung der Pflanzengesundheit	Berücksichtigung von Kulturen mit Pfahl- und Faserwurzeln Wechsel zwischen Sommer- und Winterkulturen		
Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden				Berücksichtigung von Bearbeitungsmethoden, die Makroporen im Boden schließen
Anbau von Zwischenfrüchten bzw. Gründüngung	Auswahl und Anbau geeigneter Zwischenfrüchte			
Optimierung von Bewässerungsverfahren	Berechnung des notwendigen Bewässerungsvolumens	Optimierung der Bewässerungsplanung auf Basis der Bodenfeuchtigkeit		

*(siehe Abb. 23)

b) Reduzierung der Ausbringungsmenge durch Splitting-Anwendungen

Unter Splitting-Anwendungen ist die aufeinanderfolgende Anwendung von gleichen oder unterschiedlichen PSM zu verstehen (Splitting). Wiederholte Anwendungen nutzen die höhere Empfindlichkeit weniger entwickelter Schadorganismen (z. B. kleine Unkrautpflanzen) und erlauben somit eine Reduktion der PSM-Aufwandmenge. Splitting-Anwendungen haben sich z. B. auch bei der Schneckenbekämpfung mit Metaldehyd bewährt. Zusätzlich zu dieser eventuell verringerten Gesamtmenge an PSM, hat Splitting einen weiteren Vorteil: Pro Anwendung wird die Wirkstoff-Konzentration im Oberboden/auf Pflanzen reduziert und die erforderliche Wirkstoffmenge über einen längeren Zeitraum verteilt. Insbesondere bei Niederschlägen kurz nach der Ausbringung verringert sich dadurch das Risiko erhöhter Wirkstoffeinträge ins Wasser.

Was ist zu tun?

Teilen sie lokal kritische Wirkstoffe auf mehrere Anwendungen auf (in der Regel zwei Anwendungen mit jeweils reduzierter Dosis). Diese müssen entsprechend den Hinweisen der Gebrauchsanleitung terminiert und dosiert werden.

Wie ist vorzugehen?

Splitting-Anwendungen erfordern eine gute Beobachtung der Wachstumsphasen von Schadorganismen und eine sehr gute Kenntnis der spezifischen Wirkungsweise und Eigenschaften des PSM. Die Zeitpunkte der Anwendung müssen daher sehr genau gewählt werden.

Einschränkungen

Splitting-Anwendungen haben den Nachteil, dass die Ausbringung mindestens zweimal erfolgen muss. Das führt zu Mehrkosten und erhöhter Bodenbelastung (Bodenverdichtung). Im Spätherbst und Frühjahr sind geteilte Anwendungen manchmal schwer durchzuführen, da die Böden zu nass sind, um diese zu befahren.

c) Reduzierung der Wirkstoffmenge pro Feld durch Bandapplikation und Teilflächenbehandlung

In der Praxis treten Schadorganismen nicht gleichmäßig verteilt im Feld auf. Falls eine Teilflächenbehandlung durch präzise Bestimmung der Befallsflächen möglich ist, kann dies den Wirkstoffaufwand auf einem Feld deutlich reduzieren.

Solche Teilflächenbehandlungen können unterschieden werden in „Bandapplikationen“ (in der Pflanzreihe oder zwischen der Pflanzreihe) und in die variable Behandlung von befallenen Teilflächen. Alle diese Verfahren lassen eine Teilfläche des Feldes unbehandelt.

Die digitale Landwirtschaft bietet weitere technische Möglichkeiten:

Derzeit werden Technologien für die digitale Landwirtschaft entwickelt, um Erträge vorherzusagen, zu sichern und zu steigern und gleichzeitig die Anwendung von PSM gezielter, kontrollierter und effizienter zu gestalten (Precision Farming). Die schnelle Entwicklung dieser Plattformen und Anwendungen bietet Möglichkeiten, Umweltprobleme zu lösen, da aufgrund der räumlichen und zeitlichen Optimierung der PSM-Ausbringung das Eintragsrisiko in Gewässer verringert wird.

Bei Fungiziden zum Beispiel können Entscheidungshilfen in Verbindung mit Krankheitsrisikomodellen helfen, die Mittel bedarfsgerecht einzusetzen und so den Einsatz von PSM zu reduzieren. Die gezielte Unkrautbekämpfung durch Behandlung auf Basis einer automatisierten Unkrauterkennerkennung und -kartierung stellt ebenfalls eine hocheffiziente Form der PSM-Anwendung dar.

Die feldspezifische Gefährdungskartierung ist ein weiterer vielversprechender Ansatz, um das Risiko von Versickerungs- und Drainageabfluss auf der Grundlage standortspezifischer Risikoindikatoren wie organischem Kohlenstoffgehalt, Bodentextur oder Infiltrationskapazität des Bodens darzustellen. Diese Karten können Landwirte dabei unterstützen, das Risiko einzelner Felder besser zu ermitteln und standortspezifische Maßnahmen zur Risikominderung zu ergreifen.

Was ist zu tun?

Bandapplikation

Bandapplikation kann in ein- und mehrjährigen Kulturen erfolgen, die mit ausreichend großem Reihenabstand angebaut werden. Dafür sind spezielle Spreitzgeräte nötig. Sie erfolgt meist zur Unkrautbekämpfung. Folgende Situationen sind zu unterscheiden:

i. Bandapplikation in der Pflanzreihe.

Unkräuter werden in der Pflanzreihe chemisch bekämpft, zwischen den Reihen werden sie mechanisch bekämpft (Praxis in Obst / Wein).

ii. Bandapplikation zwischen den Pflanzreihen.

Insbesondere bei der Anwendung von nicht-selektiven Herbiziden wird durch eine spezielle Abschirmung des Spritzgerätes verhindert, dass bei der Applikation die Kulturpflanze getroffen wird (z. B. Unterblattspritzung). Solche Verfahren werden vor allem eingesetzt in Kulturen, wo entsprechende Wirkstoffe nicht verfügbar sind.

Teilflächenbehandlung

Ziel ist es, nur (von Insekten, Pilzen, Unkräutern) befallene Teile eines Feldes zu behandeln. Ein solches Vorgehen setzt voraus, dass eine ortsgenaue Schaderregerüberwachung möglich ist und anschließend (entweder manuell oder automatisch) eine spezifische Behandlung der befallenen Flächen erfolgt.

Wie ist vorzugehen?

Bei der Bandapplikation muss die Spritzentechnologie angepasst werden. Beim Einsatz nicht-selektiver Herbizide zwischen den Pflanzreihen kann eine Seitenabschirmung erforderlich sein, um eine Schädigung der Pflanzen zu vermeiden. Bei der Berechnung von Dosis- und Spritzvolumen ist die tatsächlich zu behandelnde Fläche zu berücksichtigen.

Für die Teilflächenbehandlung ist die genaue Erfassung der Behandlungsflächen kritisch. Bei einer Kontrolle des Schaderregerbefalls vor der Anwendung (manuell oder mittels Drohnen/Satelliten/Sensoren) werden die betroffenen Bereiche in der Regel auf digitale GPS-Karten übertragen, die von modernen Spitzgeräten zur gezielten Behandlung genutzt werden. Sehr bewegliche Schädlinge (z. B. Insekten) sind mit kartenbasierten Anwendungssystemen schwierig zu erfassen. Zur Unkrautbekämpfung gibt es bereits sensorbasierte Techniken, für andere

Anwendungen befinden sich entsprechende Verfahren im Entwicklungsstadium.

Einschränkungen

Bandspritzungen in den Pflanzreihen und eine mechanische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen sind mit höherem Personalaufwand verbunden (Steuerung der Hacke / Arbeitserledigung). Ähnliche Begrenzungen sind bei der Bandapplikation zwischen den Pflanzreihen zu berücksichtigen (Arbeitserledigung / Abschirmung der Kulturpflanzen).

Teilflächenanwendungen erfordern eine Anpassung des Befallsmonitorings sowie der Spritztechnik und sind mit Investitionen in Maschinen/Software verbunden.

d) Reduzierung der ausgebrachten PSM-Menge durch Saatgutbehandlung

Unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes sind Saatgutbehandlungen eine sehr effektive Anwendungsform von PSM, da sich die Behandlung auf das Saatgut beschränkt: Die Gesamtmenge der auf dem Feld ausgebrachten PSM ist spürbar kleiner, als bei einer breitflächigen Anwendung. Diese Technologie zielt auf Bodenschädlinge, bodenbürtige Krankheiten sowie auf den systemischen Schutz von Pflanzen im Frühstadium ab.

Was ist zu tun?

Verwenden Sie speziell gebeiztes Saatgut und entsprechende Sätechnik, um die Belastung der Umwelt durch Staubabrieb zu minimieren.

Wie ist vorzugehen?

In den meisten Fällen wird die Saatgutbehandlung in spezialisierten Beisanlagen durchgeführt. Achten Sie darauf, dass beim Aussäen keine Staubeentwicklung stattfindet. Kaufen Sie behandeltes Saatgut nur aus hochwertiger Produktion (mit geringer Staubeentwicklung) und verwenden Sie geeignete Sätechnik, damit bei der Aussaat evtl. auftretender Staub direkt im Boden zurückgehalten wird.

Einschränkungen

Saatgutbehandlungen verbinden die Auswahl des Saatguts mit dem PSM. Diese Technologie sollte eingesetzt werden, wenn die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass während der Wachstumsperiode der jeweilige chemische Pflanzenschutz benötigt wird.

Tabelle 8: Überblick über Maßnahmen zur Reduzierung des Versickerungs-Risikos von Wirkstoffen ins Grundwasser

MASSNAHMENKATEGORIE	MASSNAHME
Anpassung des Applikationszeitpunkts ¹	Vermeiden Sie das <i>Spritzen kurz vor oder während der Periode der Grundwasserneubildung</i> Berücksichtigen Sie alternative PSM
Reduzierung der PSM Menge im Feld ¹	Reduzieren Sie die Wirkstoffmenge pro Feld <i>Verwenden Sie Produktmischungen (Kombination unterschiedlicher Wirkstoffe)</i> Nutzen Sie Splitapplikationen (teilen Sie die PSM-Anwendung zeitlich auf) Nutzen Sie Kontrolltechniken für Schaderreger (manuell; automatische Sensoren) und behandeln Sie nur befallene Bereiche (schwerpunktmäßige Behandlung/ Teilflächen) Verwenden Sie gebeiztes Saatgut
Optimierung von PSM-Auswahl und -Einsatz im Einzugsgebiet ¹	<i>Wechseln Sie auf gefährdeten Feldern jährlich den Wirkstoff</i> <i>Achten Sie auf einen Wechsel von Wirkstoffen im Einzugsgebiet (Wirkstoffvielfalt)</i> <i>Beschränken Sie die Anwendung von PSM auf gefährdeten Felder</i>
Optimierung der Fruchtfolge	Nutzen Sie die Fruchtfolge zur Optimierung des Pflanzenschutzes und wechseln Sie zwischen - Winter- und Frühjahrskulturen - Pflanzen mit Pfahl- und Faserwurzeln
Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden ¹	<i>Wenn Versickerung ein Problem darstellt: Erwägen Sie, zumindest eine flache Bodenbearbeitungsmethode zu verwenden, um die Bodenmakroporen zu schließen (verschütten)</i>
Anbau von Zwischenfrüchten	Verwenden Sie an die Fruchtfolge angepasste Zwischenfrüchte - achten Sie auf ein gutes Gedeihen der Zwischenfrucht - pflegen und bewirtschaften Sie die Zwischenfrucht - stellen Sie sicher, dass die Zwischenfrucht nicht mit der Hauptkultur konkurriert
Verbesserung der Bewässerungsverfahren	Berechnen Sie das erforderliche Bewässerungsvolumen Überwachen Sie die Bodenfeuchtigkeit, um den Bewässerungsbedarf zu optimieren

¹ Einige BMP-Maßnahmen (kursiv und fett) sollten nur als Reaktion auf lokale Grenzwertüberschreitungen durch kritische Wirkstoffe durchgeführt werden.

3. Optimierung der PSM-Auswahl, Wirkstoffrotation und Wirkstoffvielfalt

a) Wirkstoffrotation auf dem Feld

Wenn die Versickerung von Wirkstoffen in einem Einzugsgebiet ein Problem darstellt, tragen in der Regel eine Reihe von besonders sensiblen Feldern zur Grundwasserbelastung bei. Die Versickerung ins Grundwasser kann je nach Substanz und Bodeneigenschaften ein langfristiger Prozess sein. Daher kann eine jährliche Anwendung eines lokal kritischen Wirkstoffs auf sensiblen Feldern eine kontinuierliche Verfrachtung in tiefere Bodenschichten fördern. Eine alternierende Verwendung des Wirkstoffs beispielsweise im Zwei- oder Dreijahresrhythmus reduziert das Risiko einer Grundwasserkontamination entsprechend. Hauptziel dieser Maßnahme ist es, dass der gleiche Wirkstoff nicht in aufeinanderfolgenden Jahren auf der gleichen Fläche ausgebracht wird.

Was ist zu tun?

Wenn in einem Einzugsgebiet erhöhte Einträge eines Wirkstoffs ins Grundwasser ein Problem darstellen, sollten PSM, die diesen Stoff enthalten, im Gebiet im Wechsel mit anderen Wirkstoffen eingesetzt werden. Je nach Anbausystem ist dies durch eine weite Fruchtfolge, sowie durch Produktwechsel zu erreichen.

Wie ist vorzugehen?

Erkundigen Sie sich bei Pflanzenschutz-Beratern über alternative PSM, um zu vermeiden, dass ein einzelner Wirkstoff zu häufig auf den gleichen Flächen angewendet wird. Passen Sie die Fruchtfolge an, um sicherzustellen, dass einzelne Wirkstoffe nicht zu häufig zum Einsatz kommen. Beachten Sie in diesem Zusammenhang auch die Hinweise in der Gebrauchsanleitung. Berücksichtigen Sie auch, dass einige Wirkstoffe in mehreren Kulturen zugelassen sind und dort in unterschiedlichen Produkten eingesetzt werden. Ein Kulturwechsel bedeutet deshalb nicht automatisch auch den Wechsel eines lokal kritischen Wirkstoffs.

Falls eine Rotation des Wirkstoffs nicht möglich ist, sollten alternative Verfahren eingesetzt werden.

b) Anpassung der Nutzungshäufigkeit von lokal kritischen Wirkstoffen im Einzugsgebiet (Wirkstoffvielfalt)

Ein Grundwasserkörper speist sich in der Regel aus einer ganzen Reihe von Feldern. Kommt auf einem Großteil dieser Felder der gleiche Wirkstoff zum Einsatz, kann dies das Risiko von Ein-

trägen ins Grundwasser erhöhen. Aus Sicht des Grundwasserschutzes wäre es daher wünschenswert, wenn auf den Feldern im Einzugsgebiet kein Wirkstoff dominiert, sondern möglichst verschiedene Wirkstoffe zum Einsatz kommen.

Eine weite (z. B. drei- bis viergliedrige) Fruchtfolge im Einzugsgebiet (im Vergleich zu Monokulturen) begünstigt dies in der Regel, da PSM (und mit ihnen die Wirkstoffe) meist spezifisch für bestimmte Kulturen und Schaderreger zugelassen sind. Grundsätzlich sollten zudem soweit wie möglich PSM eingesetzt werden, die statt einem verschiedene Wirkstoffe enthalten. Dadurch verringert sich die Menge eines spezifischen Wirkstoffs im Einzugsgebiet. Diese Vorgehensweise verringert zudem die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Resistenzen gegenüber spezifischen Schaderregern.

Was ist zu tun?

In Gebieten, in denen erhöhte Grundwasserfunde ein Problem darstellen, wird empfohlen, weite Fruchtfolgen einzuhalten, um der Dominanz einzelner Kulturen im Einzugsgebiet vorzubeugen. Dadurch verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Wirkstoff zu stark im Gebiet zum Einsatz kommt.

Wie ist vorzugehen?

In Gebieten, in denen die PSM-Belastung im Grundwasser ein Problem darstellt, sollten Landwirte ihre Fruchtfolge dahingehend optimieren, dass möglichst weite Fruchtfolgen angebaut werden. Keine Kultur sollte im Einzugsgebiet dominieren. Falls in einem kritischen Einzugsgebiet eine oder zwei Kulturen vorherrschen, sollte in Abstimmung mit den Landwirten ein Pflanzenschutzplan erstellt werden, der den Einsatz kritischer Wirkstoffe im Gebiet reduziert. Dies wäre zum Beispiel dadurch zu erreichen, dass einige Landwirte einen Wirkstoff verwenden, während andere für die gleiche Kultur einen anderen Wirkstoff einsetzen. Grundlage für die Auswahl und Ausbringung von PSM sind die in der Gebrauchsanleitung abgedruckten Anwendungsempfehlungen.

Einschränkungen

Einer großen Vielfalt von Kulturpflanzen in einem Einzugsgebiet können wirtschaftliche (z. B. Vermarktung der Ernte) und agronomische (z. B. verfügbare Maschinen) Faktoren entgegenstehen. Ebenso kann einem Einsatz verschiedener

Wirkstoffe im Einzugsgebiet die begrenzte Verfügbarkeit von wirksamen und zugelassenen PSM in gewissen Kulturen entgegenstehen. Generell setzt diese Empfehlung (BMP) ein abgestimmtes Vorgehen im Einzugsgebiet voraus. Dieses sollte von Trinkwasserversorgern oder Beratern in Zusammenarbeit mit den Landwirten koordiniert werden.

c) Beschränkung des Einsatzes von PSM auf sensiblen Feldern oder in Einzugsgebieten

In einer begrenzten Anzahl von Einzugsgebieten kann die Einhaltung der Grundsätze guter landwirtschaftlicher Praxis bei bestimmten Wirkstoffen nicht ausreichend sein, um Einträge ins Grundwasser (Grenzwert von 0,1 µg/L) zu vermeiden. Die Daten aus der Überwachung der Wasserqualität liefern den für das Einzugsgebiet Verantwortlichen Informationen darüber, welche Wirkstoffe aufgrund der derzeitigen Landnutzungspraxis unzulässige Konzentrationen im Grundwasser aufweisen. Zurückzuführen ist diese Sachlage auf eine ungünstigste Kombination von Bodeneigenschaften, Klima- und Wetterbedingungen in bestimmten Einzugsgebieten oder Feldern. In einem solchen Fall müssen besondere Anforderungen erfüllt werden, damit sichergestellt ist, dass das Grundwasser den erforderlichen Qualitätsstandards entspricht.

- Lokale Einschränkungen des Einsatzes von PSM in Bezug auf Menge, Zeitpunkt und Anwendungsart in sensiblen Gebieten, damit die Grenzwerte für Grundwasser eingehalten werden.
- Lokaler Verzicht auf lokal kritische Wirkstoffe in sensiblen Gebieten, wenn das Risiko besteht, dass die entsprechenden Grenzwerte für das Grundwasser überschritten werden könnten (oder schon überschritten wurden).

Die TOPPS „Versickerungs-Entscheidungstabelle“ kann als Grundlage dafür dienen, sensible Felder zu identifizieren, bei denen das Risiko einer Grundwasserkontamination erhöht ist. Eine genaue Bewertung sollte in Abstimmung mit Beratern/Experten vor Ort erfolgen.

Hier kann zwar kein festgelegtes Verfahren beschrieben werden, mit dessen Hilfe sich entscheiden ließe, welche lokalen Einschränkungen oder Nichtanwendungsvorgaben zu berücksichtigen sind, da die jeweiligen Maßnahmen von den konkreten Gegebenheiten vor Ort abhängen. Allerdings lassen sich

auf der Grundlage der bisherigen Erfahrungen oftmals Lösungen finden, die sicherstellen, dass der angepasste Einsatz von PSM die Erfordernisse des Wasserschutzes erfüllt.

Viele Hersteller von PSM bieten eine Beratung zum verantwortungsvollen Einsatz von PSM an, um eine unzulässige Grundwasserkontamination auch in sensiblen Gebieten zu vermeiden. Entsprechende Hinweise finden sich in der Gebrauchsanleitung oder können über das Beratungs- oder Vertriebssystem der Hersteller von PSM zugänglich gemacht werden. Landwirte und Berater sollten sich an diese Empfehlungen zum freiwilligen, verantwortungsvollen Einsatz halten und darüber hinaus ihre offiziellen Pflanzenschutzberater für weitere Informationen konsultieren. Auf diese Weise kann vermieden werden, dass PSM aufgrund von unzulässigen Funden im Grundwasser ihre Zulassung verlieren.

Was ist zu tun?

In Gebieten, in denen erhöhte Grundwasserfunde eines Wirkstoffs ein Problem darstellen, sollten Sie Ratschläge zum Einsatz der fraglichen PSM einholen. Gerade in solchen Gebieten ist es besonders wichtig, die freiwilligen Empfehlungen der Hersteller zum Wasserschutz zu befolgen.

Wie ist vorzugehen?

Wenn ein Wirkstoff in einem Einzugsgebiet durch erhöhte Funde auffällig geworden ist, sollten empfohlene Anwendungsbeschränkungen für das/die betroffenen PSM eingehalten werden. Offizielle Ratschläge (z. B. durch Beratungssysteme für Landwirte oder Wasserberater) und eventuell verfügbare Empfehlungen zum Wasserschutz seitens des Herstellers sollten befolgt werden. Die Rechtsgrundlage für die Auswahl und Verwendung von PSM bilden jedoch die in der Gebrauchsanleitung aufgeführten Anwendungsbestimmungen, die die biologische Wirksamkeit und die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen gewährleisten.

Einschränkungen

Anwendungsbeschränkungen (insbesondere Nichtanwendungshinweise) bestimmter PSM können teilweise durch verbleibende Pflanzenschutzalternativen nicht ausgeglichen werden. In diesem Fall sollten Sie Änderungen der Fruchtfolge auf sensiblen Feldern in Betracht ziehen.

4. Optimierung der Fruchtfolge

Unter Fruchtfolge versteht man die zeitliche Abfolge von Kulturen auf demselben Feld. Eine vielfältige Fruchtfolge ist ein wesentlicher Baustein des integrierten Pflanzenschutzes. Durch den Fruchtwechsel wird eine Anreicherung von kulturspezifischen Schadorganismen reduziert. Die Fruchtfolge hat weiterhin Einfluss auf den Gehalt an organischer Substanz im Boden, die für den Abbau von PSM und die Wasserspeicherung wichtig ist. Das Hauptziel einer vielfältigen Fruchtfolge ist es, die Fruchtbarkeit des Bodens und eine gute Pflanzengesundheit zu erhalten.

Für einen Landwirt ist die Wahl der Fruchtfolge eine wichtige unternehmerische Entscheidung. Sie beeinflusst maßgeblich die Arbeitsbelastung im Laufe des Jahres, die kurz- und langfristige Rentabilität, die benötigten Maschinen, sowie die Bodenbearbeitungsmethoden. Im Hinblick auf die Verringerung des Versickerungsrisikos von Wirkstoffen ins Grundwasser bieten optimierte Fruchtfolgen folgende Vorteile:

Verbesserte Sorption und verbesserter Abbau von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Der größte Teil der biologischen Aktivität im Boden findet im Oberboden statt. Hohe Anteile an organischer Substanz begünstigen den Abbau von PSM und erhöhen die Sorptionsfähigkeit des Bodens für PSM. Der Verbleib eines hohen Anteils an Ernterückständen auf dem Feld, sowie die Einbeziehung von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge oder die Verwendung von organischem Dünger tragen zu einem erhöhten Gehalt an organischer Substanz im Boden bei.

Reduzierung der Gesamtmenge der eingesetzten Pflanzenschutzmittel durch die Nutzung der Vorteile des integrierten Pflanzenschutzes

Bei engen Fruchtfolgen besteht die Gefahr, dass vermehrt kulturspezifische Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter auftreten. Daher ist es gute Praxis, eine weite Fruchtfolge auch unter dem Gesichtspunkt der Pflanzengesundheit in Betracht zu ziehen. Dadurch lässt sich der Einsatz von PSM gezielter gestalten und oft reduzieren. Die Entscheidungen über die Fruchtfolge hängen stark von wirtschaftlichen Parametern ab, die der Landwirt oftmals nicht direkt beeinflussen kann.

Was ist zu tun?

Etablieren Sie eine Fruchtfolge, die möglichst variabel ist und zu Ihrem Anbausystem und Ihren wirtschaftlichen Anforderungen passt. Wechseln Sie zwischen Winter- und Frühjahrskulturen, Pflanzen mit Pfahlwurzeln und solchen mit Faserwurzeln, Getreide und breitblättrigen Kulturen. Hülsenfrüchte in der Fruchtfolge können zusätzliche Vorteile in Bezug auf reduzierten Düngereinsatz und die biologische Aktivität der Böden bieten. Geeignete Fruchtfolgen hängen stark vom lokalen Klima und den Bodentypen ab. Ein Beispiel für eine abwechslungsreiche Fruchtfolge wäre Winterweizen/Gerste, gefolgt von Mais, Soja und Erbsen/Zuckerrüben.

Wie ist vorzugehen?

Die Anzahl der Kulturen in der Fruchtfolge, die potentiell Wirte für dieselben Krankheitserreger/Schädlinge sind, sollte minimiert werden, da dies zur Anreicherung von Schadorganismen führen kann. Bei der Fruchtfolgegestaltung müssen auch Aspekte der Unkrautbekämpfung berücksichtigt werden, da Unkräuter sich in einigen Kulturen stärker vermehren, sowie in einigen Kulturen einfacher zu bekämpfen sind. Lassen Sie sich daher vor Ort über die bewährten Fruchtfolgemöglichkeiten beraten.



5. Anpassung der Bodenbearbeitungsmethoden

Eine reduzierte, konservierende Bodenbearbeitung verringert effektiv den Oberflächenabfluss von Wasser, die Erosion und den PSM-Eintrag aus behandelten Feldern in Oberflächen-gewässer. Gründe hierfür sind eine bessere Bodenstruktur und eine damit verbundene höhere Infiltrationsfähigkeit des Bodens. Im Hinblick auf die Reduktion des Eintragsrisikos für das Grundwasser deuten aktuelle Erkenntnisse aber darauf hin, dass die konservierende Bodenbearbeitung zu einer verstärkten Versickerung ins Grundwasser führen kann. Verursacht wird dies durch einen schnelleren und intensiveren Wirkstoff-Transport durch die in weniger bearbeiteten Böden vorhandenen Makroporen (z. B. Wurmlöcher, Wurzelhohlräume, Bodenrisse). Diese erleichtern einen Transfer in tiefere Bodenschichten.

Wenn auf einem Feld Oberflächenabfluss stattfindet, hat dessen Reduzierung Vorrang vor der Versickerung, da die PSM-Konzentrationen und die kurzfristigen Belastungen bei Oberflächenabflüssen typischerweise höher sind. Darüber hinaus ist der Erosionsschutz (Bodenschutz) für die Landwirte von größter Bedeutung. Daher sollte von der reduzierten Bodenbearbeitung/ Direktsaat auf einem Feld nur dann abgeraten werden, wenn:

- i) der Oberflächenabfluss kein Problem darstellt
- ii) der Verlagerung von Wirkstoffen über Makroporen auf diesem Feld verringert werden muss



Was ist zu tun?

Wenn ein eingesetzter Wirkstoff in einem Einzugsgebiet für Qualitätsprobleme beim Grundwasser verantwortlich ist, sollten sensible Felder vor der Bestellung zumindest flach gepflügt werden, um eine schnelle Verlagerung von Wasser in tiefere Bodenschichten über Makroporen zu reduzieren.

Wie ist vorzugehen?

Zunächst muss eine Diagnose des Risikos für den Oberflächenabfluss für das Feld durchgeführt werden. Falls einer der eingesetzten Wirkstoffe im Grundwasser gefunden wird und somit ein hohes Versickerungsrisiko besteht, sollte von einer reduzierten Bodenbearbeitung abgeraten werden. Dies gilt insbesondere für solche Felder, deren Böden zu Rissbildung an der Oberfläche neigen.

Einschränkung

Eine schonende Bodenbearbeitung ist neben der Minderung des PSM-Austrags dank des Erhalts der organischen Substanz im Boden auch für die Bodenfruchtbarkeit von Vorteil. Daher sollte die Entscheidung für eine flache und wendende Bodenbearbeitung nur getroffen werden, wenn feststeht, dass die Anwendung eines kritischen Wirkstoffs auf entsprechenden Flächen ein höheres Eintragsrisiko in das Grundwasser bedeuten könnte.



6. Anbau von Zwischenfrüchten bzw. Gründüngung

Zwischenfrüchte sind integraler Bestandteil des Fruchtfolgesystems und müssen sowohl zu den Ansprüchen der Hauptkultur, als auch zum Anbausystem passen. Im Ackerbau werden sie oft nach der Ernte einer Winterfrucht im Sommer/Herbst und vor der Aussaat einer Frühjahrskultur angebaut. Bei mehrjährigen Kulturen wie Wein oder Obstbäumen werden sie auch zwischen den Pflanzenreihen zur permanenten Bodenbedeckung angebaut.

Zwischenfrüchte bieten den Landwirten und der Umwelt mehrere Vorteile:

- Verkürzung der Brache: Schützt den Boden vor direkter Einwirkung atmosphärischer Prozesse (Regen, Sonnenstrahlung, Wind), wodurch die Aggregatstabilität des Bodens erhöht und die Erosion reduziert wird
- Ausbalanciertere Bodenfeuchte durch Evapotranspiration und Schutz des Bodens vor dem Austrocknen durch Beschattung
- Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz im Boden und dadurch Verbesserung des Nährstoffgehalts (Gründüngung), der Kationenaustauschkapazität, des Wasserhaltevermögens und der Bodenstruktur
- Stimulierung der biologischen Aktivität im Boden und Beitrag zur Bekämpfung bestimmter Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter
- Minderung des Risikos der Versickerung von Nährstoffen und Wirkstoffen ins Grundwasser durch erhöhtes Sorptions- und Wasserspeichervermögen des Bodens und erhöhte mikrobielle Aktivität
- Verbesserung der Produktivität von Nutzpflanzen und Rentabilität der Landwirtschaft in Abhängigkeit von den Kosten für den Anbau und die Bewirtschaftung der Zwischenfrucht

Was ist zu tun?

Damit Zwischenfrüchte sowohl dem Landwirt, als auch der Umwelt Vorteile bringen, sollten vier entscheidende Aspekte berücksichtigt werden:

a) Richtige Zwischenfrucht auswählen

Zwischenfrüchte müssen so gewählt werden, dass sie an das Anbausystem angepasst sind und den Nutzen bieten, den der Landwirt braucht. Bevorzugte Zwischenfrüchte sind Kohlarten, Hülsenfrüchte, Gräser und Getreide, oder eine Kombination dieser Pflanzenarten. Zwischenfrüchte müssen zur Fruchtfolge



Abb. 24: Zwischenfrüchte können den Landwirten bei richtiger Bewirtschaftung Vorteile bringen

oder zur mehrjährigen Kultur passen und die Aussaattermine müssen so gewählt werden, dass ein gutes Wachstum gewährleistet wird und gleichzeitig negative Auswirkungen auf die Nutzpflanzen (z. B. durch Nährstoffkonkurrenz) reduziert werden.

b) Nur gut entwickelte Bestände der Zwischenfrucht erbringen den vollen Nutzen

Da es sich bei Zwischenfrüchten oftmals um Saatgutmischungen handelt, ist besondere Sorgfalt bei der Aussaat geboten. Die Aussaat kann breitflächig oder als Drillsaat erfolgen. Das jeweilige Saatverfahren hängt von der Wahl der Zwischenfrüchte, den zur Verfügung stehenden Maschinen und den auf dem Feld herrschenden Bedingungen ab.

c) Zwischenfrüchte müssen bewirtschaftet werden

Um Vorteile des Zwischenfruchtanbaus zu realisieren, müssen die Zwischenfrüchte gut bewirtschaftet werden. Sie müssen z. B. gemäht, eventuell gedüngt, sowie falls erforderlich vor Krankheiten und Schädlingen geschützt werden.

d) Zwischenfrüchte sollten die nachfolgende Hauptfrucht nicht beeinträchtigen

Vor der Anpflanzung der folgenden Hauptfrucht müssen die Zwischenfrüchte häufig beseitigt werden. Das kann auf natürliche Weise durch Frost, durch Herbizide, oder mechanische Maßnahmen geschehen. Die Beseitigung der Zwischenfrucht

hat unter Umständen erhebliche Auswirkungen auf den Anbau der Folgekultur. So muss beispielsweise die Beseitigung von Zwischenfrüchten auf schwereren Böden im Frühjahr oftmals früher erfolgen, damit der Boden austrocknen und sich erwärmen kann, um der Hauptfrucht eine gute Entwicklung zu ermöglichen.

Wie ist vorzugehen?

Bei der Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge bzw. einer mehrjährigen Kultur empfiehlt sich immer Rücksprache mit einem Experten zu halten, der die lokalen Voraussetzungen kennt. Auch lokale Saatgutunternehmen können gezielte Ratschläge geben, während allgemeine Hinweise online verfügbar sind (siehe z. B. Anm. 44, 45).

Im Ackerbau werden oft im Spätsommer oder Herbst nach der Ernte von Winterkulturen (z. B. Weizen, Gerste, Raps) Zwischenfrüchte ausgesät und bis zum Aussaattermin der Frühjahrskulturen (z. B. Mais, Sonnenblumen, Weizen, Gerste oder Zuckerrüben) auf dem Feld stehen gelassen. Gräser wie Hafer und Weidelgras können Schlüsselkomponenten in Zwischenfruchtmischungen sein. Gräser passen gut zu Zwischenfrüchten, die tiefere Wurzelsysteme ausbilden und die tiefer liegende Bodenstruktur verbessern. Zu den betreffenden Zwischenfrüchten gehören Kreuzblütengewächse wie Senf und Rettich, aber insbesondere für die Herbstsaat auch Hülsenfrüchte.

Bei später Ernte der Hauptfrucht im Herbst ist es oft zu spät, um eine Zwischenfrucht auszusäen. Alternativ kann auch eine Untersaat in der Hauptkultur ausgesät werden. So können beispielsweise Weidelgras und Hülsenfrüchte mittels Drillsaat unter Mais im 8-10 Blattstadium, also wenn die Nährstoffkonkurrenz mit der schon weiter entwickelten Maiskultur bereits begrenzt ist, ausgesät werden.

Bei mehrjährigen Kulturen wird die Bodenvegetation benötigt,

um Oberflächenabfluss und Erosion zu verhindern. Überall dort, wo kein Wassermangel, sondern Wasserüberschuss herrscht, harmonisieren Gras-Mischungen gut mit mehrjährigen Kulturen wie Obst und Wein.

Da das Interesse an Zwischenfrüchten zunimmt, wächst auch die Zahl und Verfügbarkeit der von Saatgutlieferanten angebotenen Mischoptionen für Zwischenfrüchte. Teilweise ist die verstärkte Anpflanzung von Zwischenfrüchten auch auf die besondere Förderung durch die Agrarpolitik zurückzuführen.

Die Wirksamkeit von Zwischenfrüchten bei der Reduzierung des Nitratreintrags ins Grundwasser ist hinreichend belegt. Die beiden Schlüsselprozesse, die für die verminderte Nitratversickerung sorgen, sind die Nitrataufnahme durch die Zwischenfrucht und die Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen. Dadurch werden die Feuchtigkeit im Boden und die Versickerung gesenkt. Darüber hinaus fördert die Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Oberboden generell den Abbau von PSM und verringert somit das Auswaschungsrisiko im Boden.

Einschränkungen

Da auch für Zwischenfrüchte Einschränkungen gelten, ist es wichtig, diese zu kennen und entsprechend damit umzugehen, um sicherzustellen, dass ihr Anbau dem Landwirt Nutzen einbringt.

Zwischenfrüchte verbessern in der Regel die Verdunstung von Wasser aus dem Boden. In Gebieten mit Wassermangel muss deshalb vor dem Anbau bewertet werden, ob die Zwischenfrucht den Boden zu stark für die Hauptfrucht austrocknen kann. Eine frühere Beseitigung der Zwischenfrucht bietet sich hier unter Umständen als Lösung an.

In feuchteren Gebieten kann eine Zwischenfrucht die zu spät

beseitigt wird zu Wachstumsverzögerungen der Hauptfrucht führen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Boden sich langsamer erwärmt. Die Ernterückstände von Zwischenfrüchten können für die Pflanzengesundheit der nachfolgenden Kulturen (z. B. durch Erhöhung des Pilz- oder Schneckenbesatzes) ein Problem darstellen. Andererseits können gut ausgewählte Zwischenfrüchte Unkräuter, Fadenwürmer oder andere Schädlinge und Krankheiten eindämmen.

7. Optimierung der Bewässerungsverfahren



Bewässerung von Feldern kann zur Auswaschung von Wirkstoffen ins Grundwasser beitragen, wenn sie den Wasserbedarf der angebauten Kultur und das Wasserhaltevermögen des Bodens übersteigt. Das heißt, durch die Bewässerung kommt mehr Wasser auf das Feld, als Pflanzen und der Boden aufnehmen können. Konsequenz ist eine gesteigerte Versickerung von Wasser. Damit können Wirkstoffe und Nitrat schneller ins Grundwasser gelangen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Beregnungsverfahren den Wasserverbrauch nicht gezielt steuern kann (z. B. Furchenbewässerung).

Bei den Methoden kann zwischen Flut-, Furchen-, Sprinkler- oder Tröpfchenbewässerung unterschieden werden, wobei die Tröpfchenbewässerung bei korrekter Anwendung wassersparender ist. Die Tröpfchenbewässerung wird aufgrund der hohen Investitionen meist nur in hochpreisigen Kulturen eingesetzt.

Was ist zu tun?

Felder sollten nicht über den Wasserbedarf der Pflanzen hinaus bewässert werden, da dies die Versickerung von Nitrat und Wirkstoffen ins Grundwasser erhöht. Entscheidend ist ein korrektes Bewässerungsmanagement, das die Bodenfeuchtigkeit, das Wasserhaltevermögen des Bodens und den Wasserbedarf der Nutzpflanzen im Verhältnis zur tatsächlichen Evapotranspiration berücksichtigt.

Wie ist vorzugehen?

Ausgangspunkt ist eine mindestens tägliche Überwachung der Bodenfeuchtigkeit und Evapotranspiration in Verbindung mit der prognostizierten Niederschlagsmenge. Auf der Grundlage dieser Daten lassen sich der Wasserbedarf der Pflanzen, das verbleibende Bodenwasser und die erforderliche Wassermenge für die Bewässerung berechnen. Für das Management von Bewässerungsverfahren sind gebrauchsfertige technische Steuerungsinstrumente ebenso kommerziell erhältlich, wie IT-basierte Entscheidungshilfen.

B

BMP

Best Management Praxis = Beste Praxis

Bodenaggregate

Bodenaggregate entstehen durch die Zusammenlagerung einzelner Bodenbestandteile zu größeren Einheiten, die sich deutlich von der Umgebung abheben/abgrenzen.

Bodenlockerung

Bodenbearbeitungsverfahren, das im Allgemeinen unterhalb der Pflugsohle angewendet wird, um verdichtete Böden aufzulockern und die Versickerung/Entwässerung zu verbessern.

Bodensättigung

Alle Bodenporen sind mit Wasser gefüllt, sodass keine Luft im Boden zurückbleibt.

Bodentextur / Bodenart

Bodenklassifikation (z. B. sandiger Lehm) nach den Anteilen von Sand, Schluff und Ton.

D

Dränabfluss/Drainageabfluß

Volumetrischer Wasserabfluss (Durchfluss), der über ein unterirdisches Entwässerungssystem transportiert wird.

Drainage

Entwässerung (Dränung) ist der natürliche oder künstliche Transport von Bodenwasser und Grundwasser aus einem Gebiet. Die selbsttätige Entwässerung der meisten landwirtschaftlich genutzten Böden ist gut genug, um eine starke Wasseransammlung zu verhindern (d.h. anaerobe Bedingungen, die das Wurzelwachstum beeinträchtigen). Einige Böden benötigen zur Verbesserung der Ernteerträge eine künstliche Entwässerung (Drainage).

E

Entscheidungstabelle

In unserem Zusammenhang ist die Entscheidungstabelle eine strukturierte Entscheidungshilfe (Dashboard).

EU-GAP

Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union.

Evaporation

Evaporation (Verdunstung) ist der Prozess, bei dem flüssiges Wasser in Wasserdampf umgewandelt wird und von einer Verdunstungsoberfläche verschwindet. Wasser verdunstet von einer Vielzahl von Oberflächen wie Seen, Flüssen, Wegen, Böden und feuchter Vegetation u.a.

Expositionsbewertung

Die Expositionsbewertung ist das Verfahren der Schätzung oder Messung von Größe, Häufigkeit und Dauer der Konzentrationen von Chemikalien wie PSM-Wirkstoffen z. B. in der Umwelt.

Feldkapazität / Wasserhaltevermögen

Die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gegen die Schwerkraft nach 2 bis 3 Tagen noch halten kann. Feldkapazität = Wasserhaltevermögen.

Geschiebemergel

Boden und Gesteinsmaterial nach Abtauen der Gletscher (z. B. Endmoränen).

Halbwertszeit ($T_{1/2}$)

Die HWZ ist die Zeitspanne, nach der eine mit der Zeit abnehmende Größe die Hälfte des anfänglichen Werts erreicht, hier: Die Zeitspanne, nach der eine Wirkstoffkonzentration im Boden um die Hälfte abnimmt.

Kd-Verteilungskoeffizient / K_{oc} Sorptionskoeffizient

Die Bodensorptionskoeffizienten K_d und der organische Kohlenstoffsorptionskoeffizient K_{oc} von PSM sind grundlegende Parameter, die zur Beschreibung des Verbleibs und Verhaltens von PSM in der Umwelt verwendet werden. Sie sind ein Maß für die Stärke der Sorption (Anhaftung) von PSM Wirkstoffen an Boden und anderen sorbierenden Oberflächen an der Grenzfläche zwischen Wasser und Feststoff und beeinflussen damit die Mobilität und Persistenz in der Umwelt (Anm. 48).

Konservierende Bodenbearbeitung

Die konservierende Bodenbearbeitung umfasst drei Aussaat- und Bodenbearbeitungsverfahren:

- Direktsaat: Die Saat erfolgt ohne Pflügen und Eggen direkt nach der Ernte bzw. in den unbearbeiteten Acker. Die Biomasse der Vorkultur verbleibt (zum Teil) als Mulch auf der Oberfläche des Ackers. Es werden lediglich schmale Schlitze in der Bodenoberfläche geöffnet. Diese Schlitze werden nach Saatgutablage mit Boden abgedeckt. Nur in den eigentlichen Saatreihen wird der Boden mechanisch bearbeitet.
- Dammsaat: Dieses Verfahren wird insbesondere bei Nässestau im Boden angewendet. Durch entsprechendes Pflügen werden in Richtung des natürlichen Gefälles Furchen und Dämme angelegt. Auf den trockeneren Dämmen kann dann gepflanzt werden.
- Mulchsaat: Hierbei handelt es sich um ein pflugloses Saatverfahren, bei dem die Pflanzenreste einer Zwischenfrucht oder das Stroh der Vorfrucht vor und nach der Neuaussaat die Bodenoberfläche bedecken und diese dadurch vor Bodenerosion und Verschlammung schützt.

F

G

H

K

L

Lokal kritischer Wirkstoff

Ein Wirkstoff oder dessen Abbauprodukte, die lokal durch erhöhte Funde im Grundwasser auffällig geworden sind.

N

Nicht verfügbares Wasser

Wasser, das durch Kapillarkraft fest im Boden gebunden ist und somit weder beweglich noch für Pflanzen verfügbar ist.

O

Organische Bodensubstanz (OBS)

Organische Bodensubstanz (OBS) ist die organische Stoffkomponente des Bodens, die aus pflanzlichen und tierischen Rückständen verschiedener Zersetzungsstadien besteht. Die OBS liefert Nährstoffe nach und hat darüber hinaus zahlreiche positive Auswirkungen auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens.

P

Permeabilität

Die Permeabilität (Durchlässigkeit) beschreibt, wie schnell Wasser durch eine Bodenschicht sickern kann.

Sie wird in Entfernung / Zeit (z. B. m/s) gemessen und ist abhängig von Bodeneigenschaften.

pF-Wert

Ein Maß für die Wasserspannung (Saugspannung) im Boden. Der pF-Wert gibt an, wie stark das Wasser durch Kapillarkräfte und Adsorption an die Bodenpartikel gebunden wird. Bei einem pF-Wert $> 4,2$ können Pflanzen kein Wasser mehr aufnehmen.

Präferenzieller Fluss

Der präferenzielle Fluss beschreibt die ungleichmäßige und oft schnelle Bewegung von Wasser und gelösten Stoffen durch den Boden, oft entlang von Makroporen (z. B. Wurmlöcher, Wurzelhohlräume, Bodenrisse) und Aggregatoberflächen.

Prioritärer Stoff

Stoffe, die in der Richtlinie über Umweltqualitätsnormen (Richtlinie 2008/105/EG) aufgeführt sind.

Q

Qualitätsstandard für Trinkwasser

Die Qualitätsstandards für Trinkwasser beschreiben die Qualitätsparameter für Trinkwasser, die z. B. ein Staat, die EU oder die WHO festgelegt haben.

Risikodiagnose

Identifikation eines feldspezifischen Risikos, das potentiell Austräge von PSM verursacht.

**Risikomanagement**

Unter Risikomanagement versteht man die Identifizierung, Bewertung und Priorisierung von Risiken, gefolgt von einem koordinierten und wirtschaftlichen Einsatz von Ressourcen, um potentielle Vorfälle oder deren Auswirkungen zu minimieren, zu überwachen oder zu kontrollieren, oder um die Aussicht darauf zu verbessern, Chancen wahrzunehmen. (ISO 31000)

Sorption

Oberbegriff für die Anhaftung von Stoffen aus einer flüssigen Phase an festen Oberflächen.

**Transpiration**

Als Transpiration wird die aktive Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen, aber auch über deren übrige Außenhaut beschrieben.

**UQN**

Umweltqualitätsnormen (UQN) sind Grenzwerte, die im Rahmen einer EU-Richtlinie für prioritäre Stoffe und bestimmte andere Schadstoffe festgelegt wurden, um eine gute chemische und ökologische Qualität des Oberflächenwassers zu erreichen.

**Versickerung/Auswaschung**

Wenn Regenwasser (und Wasser aus anderen Quellen) im Boden versickert, kann es Chemikalien (z. B. überschüssigen Dünger und PSM) lösen und über Tiefenverlagerung in das Grundwasser transportieren.

**Wasserrahmenrichtlinie**

EU-Richtlinie, die den Rahmen für die Wasserpolitik in den EU-Mitgliedstaaten setzt.

**Welkepunkt**

Der Welkepunkt (WP) kennzeichnet den Austrocknungsgrad eines Bodens. Bei zu geringer Bodenfeuchte können die Pflanzenwurzeln keine genügend hohe Saugspannung entwickeln, um das Wasser aus dem Boden aufzunehmen. In den Leitungsbahnen der Pflanze reißt der kapillare Wasserstrom von den Wurzeln zu den Blättern ab und es tritt Luft ein. Als Folge welkt die Pflanze.

QUELLENANGABEN

- 01 www.TOPPS-life.org
- 02 https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/office/ssr7/profile/?cid=nrcs142p2_047970
- 03 (<http://www.science-scene.org/blog/exploring-soil-texture>)
- 04 (<https://extension.psu.edu/soil-quality>)
- 05 [https://de.wikipedia.org/wiki/Porenvolumen_\(Boden\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Porenvolumen_(Boden))
- 06 <http://soilquality.org.au>
- 07 Saxton and Rawls, 2006
- 08 (<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-water-dynamics-103089121>)
- 09 (<http://soilandwater.bee.cornell.edu/research/pfweb/educators/intro/macrowflow.htm>)
- 10 <http://www.voluntaryinitiative.org.uk/>
- 11 Arvalis pers. information
- 12 (http://www.enorasis.eu/uploads/files/Water%20Governance/5.JRC46748_Report_Irrigation_EUR_23453_EN.pdf)
- 13 M. Robinson 1990: Impact of improved land drainage on river flows, Report 113; Inst Hydrology Robinson 1990
- 14 www.landcareresearch.co.nz/publications/newsletters/soil/issue-24/productive-pastures
- 15 TOPPS_ www.TOPPS-life.org (Arvalis Institut du Végétal)
- 16 Alletto L, et al. (2012). Tillage and fallow period management effects on the fate of the herbicide isoxaflutole in an irrigated continuous-maize field. *Agriculture Ecosystems & Environment* 153:40-49.
- 17 Buhler DD, et al. (1993). Water quality – atrazine and alachlor losses from subsurface tile drainage of a clay loam soil. *Journal of Environmental Quality* 22:583-588.
- 18 Clay SA, et al. (1998). Application method: impacts on atrazine and alachlor movement, weed control, and corn yield in three tillage systems. *Soil & Tillage Research* 48:215-224.
- 19 Elliott, J.A., et al. (2000). Leaching rates and preferential flow of selected herbicides through tilled and untilled soil. *Journal of Environmental Quality* 29:1650-1656.
- 20 Essington, M.E., D.D. Tyler, and G.V. Wilson (1995). Flumeturon behavior in long-term tillage plots. *Soil Science* 160:405-414.
- 21 Fomsgaard, I.S., N.H. Spliid, and G. Felding (2003a). Leaching of pesticides through normal-tillage and low-tillage soil - A lysimeter study. I. Isoproturon. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 38:1-18.
- 22 Fomsgaard, I.S., N.H. Spliid, and G. Felding (2003b). Leaching of pesticides through normal-tillage and low-tillage soil - A lysimeter study. II. Glyphosate. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes* 38:19-35.
- 23 Fortin, J., et al. (2002). Preferential bromide and pesticide movement to tile drains under different cropping practices. *Journal of Environmental Quality* 31:1940-1952.
- 24 Gaynor JD, Mactavish DC, Findlay WI (1992). Surface and subsurface transport of atrazine and alachlor from a Brookston clay loam under continuous corn production. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 23:240-245.
- 25 Gaynor JD, Mactavish DC, Findlay WI (1995). Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface run-off from 3 tillage treatments in corn. *Journal of Environmental Quality* 24:246-256.
- 26 Gaynor, J.D., et al. (2001). Tillage, intercrop, and controlled drainage-subirrigation influence atrazine, metribuzin, and metolachlor loss. *Journal of Environmental Quality* 30:561-572.
- 27 Gish, T.J., et al. (1991). Impact of pesticides on shallow groundwater quality. *Transactions of the Asae* 34:1745-1753.
- 28 Gish, T.J., et al. (1995). Herbicide leaching under tilled and no-tillage fields. *Soil Science Society of America Journal* 59:895-901.

- 29 [Giuliano, S., et al. \(2016\)](#). Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: A multi-criteria assessment. *European Journal of Agronomy* 76:160-175.
- 30 [Hall, J.K. and R.O. Mumma \(1994\)](#). Dicamba mobility in conventionally tilled and non-tilled soil. *Soil & Tillage Research* 30:3-17.
- 31 [Hall, J.K., R.O. Mumma, and D.W. Watts \(1991\)](#). Leaching and run-off losses of herbicides in a tilled and untilled field. *Agriculture Ecosystems & Environment* 37:303-314.
- 32 [Isensee, A.R., R.G. Nash, and C.S. Helling \(1990\)](#). Effect of conventional vs no-tillage on pesticide leaching to shallow groundwater. *Journal of Environmental Quality* 19:434-440.
- 33 [Isensee, A.R. and A.M. Sadeghi \(1995\)](#). Long-term effect of tillage and rainfall on herbicide leaching to shallow groundwater. *Chemosphere* 30:671-685.
- 34 [Kanwar, R.S., T.S. Colvin, and D.L. Karlen \(1997\)](#). Ridge, moldboard, chisel, and no-till effects on tile water quality beneath two cropping systems. *Journal of Production Agriculture* 10:227-234.
- 35 [Logan, T.J., D.J. Eckert, and D.G. Beak \(1994\)](#). Tillage, crop and climatic effects on run-off and tile drainage losses of nitrate and 4 herbicides. *Soil & Tillage Research* 30:75-103.
- 36 [Masse, L., et al. \(1996\)](#). Tile effluent quality and chemical losses under conventional and no tillage .2. Atrazine and metolachlor. *Transactions of the Asae* 39:1673-1679.
- 37 [Masse, L., et al. \(1998\)](#). Groundwater quality under conventional and no tillage: II. Atrazine, deethylatrazine, and metolachlor. *Journal of Environmental Quality* 27:877-883.
- 38 [Potter, T.L., D.D. Bosch, and T.C. Strickland \(2015\)](#). Tillage impact on herbicide loss by surface run-off and lateral sub-surface flow. *Science of the Total Environment* 530:357-366.
- 39 [Ritter, W.F., A.E.M. Chirnside, and R.W. Scarborough \(1996\)](#). Movement and degradation of triazines, alachlor, and metolachlor in sandy soils. *Journal of Environmental Science and Health Part a-Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control* 31:2699-2721.
- 40 [Rothstein, E., et al. \(1996\)](#). Atrazine fate on a tile drained field in northern New York: A case study. *Agricultural Water Management* 31:195-203.
- 41 [Steenhuis, T.S., et al. \(1990\)](#). Preferential movement of pesticides and tracers in agricultural soils. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce* 116:50-66.
- 42 [Watts, D.W. and J.K. Hall \(1996\)](#). Tillage and application effects on herbicide leaching and run-off. *Soil & Tillage Research* 39:241-257.
- 43 [Weber, J.B., K.A. Taylor, and G.G. Wilkerson \(2006\)](#). Soil cover and tillage influenced metolachlor mobility and dissipation in field lysimeters. *Agronomy Journal* 98:19-25.
- 44 <https://cereals.ahdb.org.uk/media/655816/is41-opportunities-for-cover-crops-in-conventional-arable-rotations.pdf>;
- 45 http://www.agricology.co.uk/sites/default/files/NIAB-TAG%20Cover%20Crops_lowres.pdf.
- 46) [Van der Molen, W.H., Martínez Beltrán, J., Ochs, W.J. \(2007\)](#). Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 62, Food and Agriculture Organisation, Rome, Italy, p230.
- 47 [EU-Life Artwet project \(LIFE 06 ENV/F/000133\)](#).
- 48 [R Don Wauchope, Simon Yeh, Jan B H J Linders, Regina Kloskowski, Keiji Tanaka, Baruch Rubin, Arata Katayama, Werner Kordel, Zev Gerstl, Michael Lane, John B Unsworth](#) Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. *Pest Manag Sci.* 2002; 58(5); 419-45.

Handwriting practice lines consisting of 20 horizontal green lines. Two large, light blue, rounded rectangular shapes are overlaid on the lines, one on the left and one on the right, spanning approximately 10 lines each.



A series of horizontal green lines spanning the width of the page, providing a template for handwriting practice. There are 20 lines in total, evenly spaced.



Industrieverband

Agrar



Industrieverband Agrar e. V.
Mainzer Landstraße 55
60329 Frankfurt am Main
www.iva.de