

# RUN-OFF

Gute fachliche Praxis  
zur Verringerung der Gewässerbelastung  
mit Pflanzenschutzmitteln durch  
Run-off und Erosion



TOPPS  
PROWADIS



Die **TOPPS-Projekte** wurden 2005 initiiert und wurden zunächst für 3 Jahre durch die EU-Kommission (Life) und ECPA mit dem Ziel, Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) aus Punktquellen zu reduzieren, finanziert. Das Projekt TOPPS-EOS (2010) hatte zum Ziel, die Umweltfreundlichkeit von Spritzgeräten zu beurteilen und verfügbare Techniken zu bewerten. Die Wichtigkeit der Gerätetechnik im Hinblick auf einen besseren Wasserschutz sollte mehr Beachtung finden.

Das Projekt **TOPPS-Prowadis** (2011 – 2014) beschäftigt sich mit der Reduzierung von Einträgen aus diffusen Quellen. TOPPS-Prowadis wird von 14 Partnern aus 7 EU-Mitgliedstaaten bearbeitet und durch ECPA unterstützt.

Im Rahmen der TOPPS-Projekte werden von europäischen Experten Empfehlungen und Trainingsmaterialien (BMP = Best Management Practice) erarbeitet. Ziel ist es, durch intensive Information, Schulungen und Präsentationen das Problembewusstsein zu stärken und zu Lösungen für einen besseren Gewässerschutz beizutragen.

**TOPPS** steht im Englischen für: **T**rain **O**perators to **P**romote **P**ractices & **S**ustainability. Weitere Informationen finden Sie unter [www.TOPPS-life.org](http://www.TOPPS-life.org).

#### Verfasser:

#### Technische Unterstützung:

Folkert Bauer (BASF), Jeremy Dyson (Syngenta), Guy Le Henaff (Irstea), Volker Laabs (BASF), David Lembrich (Bayer CropScience), Julie Maillet-Mezeray (ARVALIS), Benoit Real (ARVALIS), Manfred Roettele (BetterDecisions)

#### Lenkungsausschuss TOPPS-Prowadis:

Philippe Costrop (Syngenta, Vorsitzender); Evelyne Güsken (Basics); Julie Maillet-Mezeray (ARVALIS); Inge Mestdagh (Dow); Ellen Pauwelyn (InAgro); Alison Sapiets (Syngenta); Paolo Balsari (Univ. Turin); Folkert Bauer (BASF); Greg Doruchowski (InHort); Jeremy Dyson (Syngenta); Guy Le Henaff (Irstea); Lawrence King (Bayer CropScience); Volker Laabs (BASF); Holger Ophoff (Monsanto); Poul Henning Petersen (DAAS); Björn Röpke (Bayer CropScience); Manfred Röttele (BetterDecisions); Stuart Rutherford (ECPA)

#### Run-off-Partner vor Ort:

Magdalena Bielasik-Rosinska (Nat. Inst. f. Umweltschutz, Polen), Aldo Ferrero (Univ. Turin), Klaus Gehring (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL), Emilio Gonzalez Sanchez (Univ. Cordoba), Ellen Pauwelyn (InAgro), Rolf Thorstrup Poulsen/Marian Damsgaard (Danish Agricultural Advisory Service)

#### Projektpartner:

- InAgro, Rumbek (BE)
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising (DE)
- Danish Agricultural Advisory Service (DAAS), Aarhus (DK)
- Universität Cordoba (ES)
- Irstea (Cemagref), Lyon (FR)
- ARVALIS Institut du végétal, Boigneville (FR)
- Agroselvitier, Universität Turin (IT)
- Nat. Institut für Umweltschutz (IEP), Warschau (PL)

#### Fotos:

Unsere Partner von TOPPS-Prowadis, USDA (Landwirtschaftsministerium der USA), Experten



DISAFA  
Università degli Studi di Torino  
Via Leonardo da Vinci, 44  
10095 Grugliasco (Torino), Italy



ARVALIS – Institut du végétal,  
3 rue Joseph et Marie Hackin,  
75116 Paris, France



Institute of Environmental Protection –  
National Research Institute,  
Krucza str. 5/11d, 00-548 Warsaw,  
Poland



Inagro vzw  
Ieperseweg 87  
8800 Rumbek-Beitem, Belgium



Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions Equipe  
Pollutions Diffuses  
IRSTEA Lyon,  
5 rue de la Doua, CS70077  
69626 VILLEURBANNE Cedex, France



University of Córdoba (UCO),  
Campus Rabanales, Dpto. Ingeniería Rural –  
UCO Ed. Leonardo Da Vinci – Area de  
Mecanización, E- 14014 Córdoba, Spain



Knowledge Centre for Agriculture  
Agro Food Park 15  
8200 Aarhus N, Denmark



Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL)  
Vöttinger Str. 38  
85354 Freising-Weihenstephan, Germany

# Inhalt

Vorwort	7
<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
Ursachen für Wasserbelastungen	8
Formen von Run-off/Erosion	9
Sonderformen von unterirdischem Run-off	10
Faktoren für den PSM-Austrag durch Run-off	11
Wirkstoffeigenschaften und Verlagerungsfähigkeit von PSM	11
<b>Hauptfaktoren für das Run-off-Risiko</b>	<b>12</b>
Verbindung mit Oberflächengewässern	12
Bodeneigenschaften	12
Witterungs- und Klimabedingungen	12
Hanglänge und -form: Belastungsfaktoren	12
Bodenbedeckung	12
<b>Diagnose/Bewertungsverfahren</b>	<b>13</b>
Diagnose des Einzugsgebietes	13
Felddiagnose	14
Bewertungsmatrix (Dashboard)	15
Dashboard D1: Bewertung des Run-off-Risikos aufgrund begrenzter Infiltration	16
Risiko-Klassen und Szenarien für Run-off aufgrund begrenzter Infiltration (D1)	17
Dashboard D2: Bewertung des Run-off-Risikos aufgrund von Übersättigung	18
Risiko-Klassen und Szenarien für Run-off aufgrund von Wasserübersättigung (D2)	19
Dashboard D3: Bewertung von konzentriertem Run-off	21
Risiko-Klassen und Szenarien für konzentrierten Run-off (D3)	22

<b>Gute fachliche Praxis (GfP)</b>	<b>24</b>
GfP-Entwicklungsverfahren	24
Umsetzungskonzept	25
<b>Übersicht über Risikominderungsmaßnahmen und Anwendungsbeispiele</b>	<b>26</b>
Übersicht: Risikominderungsmaßnahmen	26
Konzept für die Entwicklung von Maßnahmen zur GfP	27
<b>Auswahl von Risikominderungsmaßnahmen</b>	<b>30</b>
Bodenbearbeitung	31
Anbaumethoden	39
Bewachsene Pufferstreifen	44
- Allgemeine Bedingungen	44
- Pflege und Unterhalt	46
Rückhalte- und Verteilungssysteme	56
Sachgerechter PSM-Einsatz	61
Bewässerung	64
Bewertung der Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen	66
<b>Glossar</b>	<b>70</b>
<b>Literatur</b>	<b>77</b>

## VORWORT

Der sorgsame, sichere und umweltschonende Umgang mit Pflanzenschutzmitteln ist ein besonderes Anliegen des Industrieverbandes Agrar e. V. und seiner Mitgliedsunternehmen. Der Schutz unserer Gewässer vor Einträgen von Pflanzenschutzmitteln liegt uns dabei ganz besonders am Herzen. In den vergangenen Jahren haben wir deshalb zahlreiche Projekte durchgeführt, die erheblich dazu beigetragen haben, die Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer zu verringern. Mit der vorliegenden Veröffentlichung gehen wir diesen Weg gemeinsam mit dem Europäischen Verband der Pflanzenschutzmittelhersteller (ECPA) konsequent weiter.

Im Rahmen des TOPPS-Prowadis-Projekts haben Expertenteams aus Wissenschaft und Beratung Informations- und Trainingsmaterialien für Landwirte und Beratung erarbeitet, um einen verantwortungsvollen und sicheren Umgang mit Pflanzenschutzmitteln zum Schutz von Gewässern aufzuzeigen. Der Fokus des Projekts liegt auf der Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Oberflächengewässern aus den diffusen Quellen Drift und Run-off. Neben Empfehlungen zu einer angepassten guten fachlichen Praxis wurden Diagnoseverfahren zur Risikobewertung für die Beratung und die Landwirte entwickelt. Eintragspfade durch Run-off und Erosion können im Gegensatz zu den Punktquellen nicht vollständig verhindert, jedoch durch die Umsetzung der TOPPS-Prowadis-Empfehlungen deutlich verringert werden. Mit der Umsetzung der guten fachlichen Praxis wird ein wichtiger Beitrag geleistet, um die Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen und nachhaltigen chemischen Pflanzenschutz im Sinne des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu betreiben.

Ich möchte mich für die Unterstützung in diesem Projekt bei allen Partnern und Experten bedanken, ohne deren großes Engagement die erfolgreiche Durchführung dieses Vorhabens nicht möglich gewesen wäre. TOPPS-Prowadis wird dazu beitragen, das Bewusstsein für unsere Umwelt zu schärfen und Wissen weiterzugeben, das für eine nachhaltige Landwirtschaft erforderlich ist. Nur so können wir den Schutz unserer Gewässer gewährleisten und notwendige Pflanzenschutzmittel für die Zukunft erhalten.



### Volker Koch-Achelpöhler

Hauptgeschäftsführer  
Industrieverband Agrar e. V.

Industrieverband  
**Agrar**

<sup>1</sup>[www.TOPPS-life.org](http://www.TOPPS-life.org). <sup>2</sup>TOPPS-Prowadis – Protecting Water from Diffuse Sources.

## EINLEITUNG

### Ursachen für Wasserbelastungen

2 verschiedene Haupteintragswege von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Oberflächengewässer müssen unterschieden werden:

#### Punkteinträge

sind vorwiegend mit der Anwendung von PSM im Betrieb verbunden. Hauptrisikobereiche sind das Befüllen und Reinigen der Spritzgeräte und die Handhabung des belasteten Restwassers, das beim Reinigen und Warten der Maschinen im Betrieb anfällt.

#### Diffuse Einträge

werden vor allem durch ungünstige Witterungsbedingungen bei bzw. nach der Anwendung in Form von Abdrift (Verwehen von Feintropfen aus dem Zielbereich) und Run-off (Abschwemmung von PSM in wässriger Lösung) oder Erosion (Abschwemmung von an Bodenpartikeln gebundenen PSM) verursacht. Der Austrag von mit PSM belastetem Sickerwasser über Drainagesysteme ist eine Sonderform von Run-off, die eine jahreszeitliche und flächenspezifische Bedeutung haben kann.

**In ihrer Bedeutung liegen Punkteinträge vor diffusen Einträgen durch Run-off oder Erosion aus den Behandlungsflächen.**

Grundsätzliche Unterschiede zwischen punktuellen und diffusen Einträgen müssen bei der Verminderung bzw. Vermeidung beachtet werden. Die Reduzierung punktueller Einträge ist betriebsspezifisch und hängt direkt von der Verhaltensweise des einzelnen Anwenders ab. Es wird versucht, die Geräte und die Infrastruktur zu optimieren, um Fehler zu vermeiden. Alle relevanten Faktoren können durch den Anwender kontrolliert werden.

**Gewässerbelastungen durch punktuelle Einträge könnten weitestgehend vermieden werden.**

Die Reduzierung von diffusen Einträgen ist ortsspezifisch und abhängig von unkontrollierbaren Faktoren wie den Wetterbedingungen und ihren Interaktionen mit dem Boden sowie von der Landschaftsform des Einzugsgebietes. Die spezifischen Eigenschaften des Wassereinzugsgebietes und der einzelnen Felder sind ausschlaggebend. Reduzierungsmaßnahmen müssen deshalb nach den Bedingungen des einzelnen Landwirts (auf Feldebene) und einer Gruppe von Landwirten, die im selben Gebiet tätig sind, (Einzugsgebietsebene) ausgerichtet werden.

**Diffuse Einträge können effektiv reduziert werden, aber extreme Wetterbedingungen können zumindest in Einzelfällen das Risikominderungspotenzial von sachgerechten Schutzmaßnahmen übersteigen.**

Die Herausforderung besteht darin, ein Risikominderungspotenzial zu ermitteln, das an die durchschnittlichen regionalen Witterungsbedingungen angepasst ist. Extreme Unwetterereignisse (z. B. mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit einmal in 50 Jahren) können nicht die Basis für die Beratung und die Anwendung von Vermeidungsmaßnahmen sein.

## Formen von Run-off/Erosion

### 1) Run-off aufgrund begrenzter Wasserinfiltration in den Boden

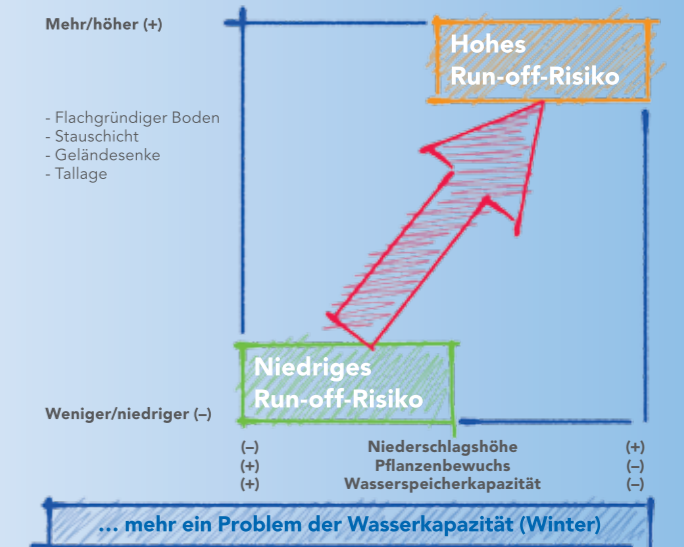
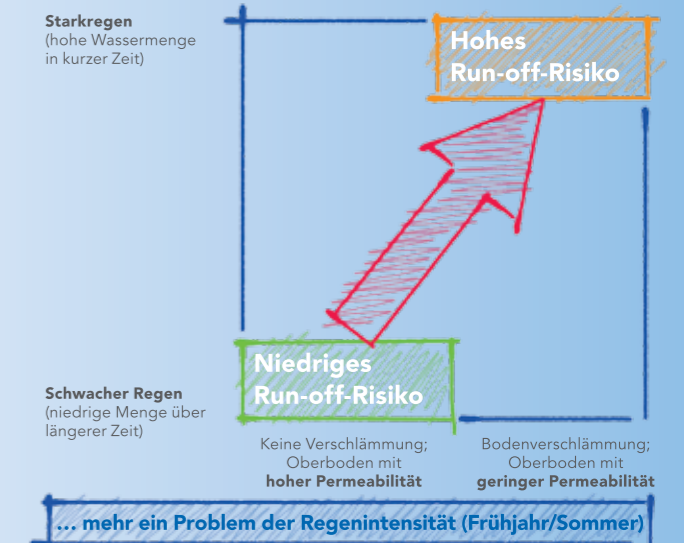
Wasserabfluss tritt auf, wenn der Boden aufgrund seiner Struktur oder durch Störungen, wie z. B. Verkrustung oder Verschlammung der Bodenoberfläche, die anfallende Niederschlagsmenge nicht mehr aufnehmen kann. Ein Sonderfall ist das Abtauen von Schnee auf gefrorenem Boden. Hier gibt es eine undurchlässige Schicht an der Bodenoberfläche, die eine Versickerung verhindert. Dies kann zu Run-off und Erosion führen.

Abb. 1: Beziehung zwischen Wasserinfiltration und Run-off-Risiko

### 2) Run-off aufgrund von wassergesättigtem Boden

Run-off findet statt, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist und keine zusätzlichen Regenmengen im Boden mehr versickern können oder die Versickerung aufgrund geringer Profiltiefe oder einer wasserundurchlässigen Schicht (z. B. Pflugsohle) gestört ist. Abfluss durch Übersättigung des Bodens ist ein Problem der Wasseraufnahmekapazität des Bodens und tritt vor allem im Winterhalbjahr auf, wenn der Gesamtniederschlag höher ist als die Speicherfähigkeit (Feldkapazität) des Bodens.

Abb. 2: Beziehung zwischen Wasseraufnahmekapazität und Run-off-Risiko





### Sonderformen von unterirdischem Run-off

#### a) Laterales Sickerwasser

Wenn Wasser in die obere Bodenschicht eindringt und dort auf eine undurchlässige Stauschicht (z.B. Gestein, Ton) trifft, fließt das Wasser im Unterboden seitwärts ab. Verglichen zum oberflächlichen Run-off stellt diese Situation ein geringeres Risiko für PSM-Einträge in das Oberflächenwasser dar. Aufgrund der relativ langsamen Wasserbewegung durch den Boden ist eine erhöhte Möglichkeit für Abbau und Adsorption gegeben. Dieses laterale Sickerwasser kann oft an Flussufern oder direkt an exponierten Stellen (Terrassen, Hangquellen) im Wassereinzugsgebiet auftreten.

#### b) Drainage

Ein Sonderfall von Run-off unterhalb der Oberfläche kann bei künstlich entwässerten, drainierten Flächen auftreten. Hier wird überschüssiges Wasser im Boden über das Drainagesystem in das nächste Oberflächengewässer abgeleitet. Oberflächlicher Run-off aufgrund überschrittener Wasseraufnahmekapazität wird damit reduziert. Im Drainageablauf können allerdings zeitweise signifikante Mengen von PSM gefunden werden, vor allem wenn PSM nach einer Trockenperiode auf Böden mit starken Schrumpfrissen oder auf Böden mit bereits hoher Wassersättigung ausgebracht werden.

### 3) Konzentrierter Run-off

Konzentrierter Run-off tritt auf, wenn Wasser sich aufgrund der durch die Feldbewirtschaftung entstandenen Strukturen (z.B. große Felder, Fahrgassen oder Reihenkulturen in Gefällerrichtung) oder wegen der vorhandenen Landschaftsform (Hang, Talweg bzw. Gefällelinie, Bodenart/-struktur) ansammelt und in Rinnen abfließt. Konzentrierter Run-off tritt bei Starkregen auf und ist im Gelände durch Rinnen- bzw. Grabenerosion zu erkennen. Erosion führt zum Austrag von Bodenpartikeln mit dem Abflusswasser und damit von bodengebundenen Substanzen wie Phosphaten oder auch PSM-Wirkstoffen.

Typische Anzeichen von konzentriertem Run-off sind Sedimentablagerungen in tieferliegenden Bereichen des Feldes und Rillen, die durch das abfließende Wasser im Feld gebildet wurden. Diese Rillen akkumulieren das Wasser in der Gefällelinie (Talsohle/-weg) und können dort zu einem verstärkten Run-off mit Erosion führen. Regelmäßig auftretende Erosion erfordert zwingend die Anwendung angepasster Vermeidungs- bzw. Verminderungsmaßnahmen.



### FAKTOREN FÜR DEN PSM-AUSTRAG DURCH RUN-OFF

Beim Zulassungsverfahren für PSM wird die Auswirkung auf aquatische Organismen und die Wasserqualität geprüft. Risiken, die mit der Anwendung dieser Mittel verbunden sind, werden bewertet und können zu einer Nichterteilung der Zulassung führen, oder es werden entsprechende Auflagen für den Einsatz der PSM erlassen. Die verbindlichen Auflagen, die auf den Gebrauchsanleitungen genannt werden, müssen als wesentlicher Teil einer komplexen Strategie zur Reduzierung der Belastung von Oberflächengewässern betrachtet werden. Dies beinhaltet auch die Anwendung guter fachlicher Praxis basierend auf einer sorgfältigen Einzugsgebiets- und Felddiagnose. Auf Flächen, die während der Einzugsgebiets-/Felddiagnose als besonders gefährdet eingestuft wurden, ist es eventuell nötig, weitere Faktoren bei der Produktauswahl zu berücksichtigen.

#### Wirkstoffeigenschaften und Verlagerungsfähigkeit von PSM

Nicht alle PSM-Wirkstoffe sind in der gleichen Art und Weise von einem möglichen Austrag durch Run-off betroffen. Eher polare Substanzen werden vor allem in gelöster Form von abfließendem Wasser mitverfrachtet, während hydrophobe Substanzen vor allem in adsorbierter Form durch Sedimentverlagerung (Erosion) ausgetragen werden können. Die spezifischen Wirkstoffeigenschaften bestimmen die Art und Weise und das Risikopotenzial für eine Verlagerung durch Wasserabfluss bei Run-off und Erosion.

2 Hauptmerkmale charakterisieren das Verhalten der Wirkstoffe nach der Ausbringung im Boden:

#### a) Persistenz

Die Persistenz bzw. Stabilität im Boden hängt von der wirkstoffspezifischen Abbaugeschwindigkeit ab und wird gewöhnlich als Halbwertszeit (DT50) ausgedrückt. Dies entspricht der durchschnittlichen Dauer für einen 50-prozentigen Abbau der aktiven Substanzen im Boden. Die Abbaurate wird durch den Gehalt an organischer Substanz (Corg) bzw. Humus, Tongehalt, pH-Wert und die Wetterbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) beeinflusst. Wirkstoffe mit höherer Persistenz verbleiben für einen längeren Zeitraum in relativ hoher Konzentration im Oberboden

und sind somit in einem höheren Ausmaß für die Verlagerung durch Run-off/Erosion in Oberflächengewässer gefährdet.

#### b) Mobilität im Boden

Die Verlagerung von PSM durch Run-off hängt von der Wirkstoffverteilung im Boden, vor allem von der Adsorption (Anlagerung) und dem Abbau im Boden ab. PSM, die stark an Bodenbestandteile adsorbiert sind, können nur durch Erosion von Bodensedimenten in einem signifikanten Ausmaß in Oberflächenwasser eingetragen werden. Auf der anderen Seite werden PSM-Wirkstoffe mit einer hohen Wasserlöslichkeit vor allem durch Run-off ausgetragen. Für alle PSM gilt allerdings, dass für den Austrag in Oberflächengewässer, unabhängig ob partikelgebunden durch Erosion oder in Wasser gelöst durch Run-off, das Belastungspotenzial stark vom zeitlichen Abstand zwischen der Behandlung und dem Austragsereignis abhängig ist. Starkniederschläge kurz nach einer Behandlungsperiode stellen daher das höchste Belastungspotenzial in einem Einzugsgebiet dar.

**Maßnahmen zur Reduktion des Risikopotenzials für den Austrag von PSM über Run-off/Erosion in Oberflächengewässer verringern ebenfalls das Austragsrisiko für gelöste (z.B. Stickstoff) oder partikelgebundene (z.B. Phosphat) Nährstoffe.**



## HAUPTFAKTOREN FÜR DAS RUN-OFF-RISIKO

Für die Bestimmung des jeweiligen Austragsrisikos in einem Einzugsgebiet und den dazugehörigen Feldstücken ist eine sorgfältige Diagnose erforderlich. Hierdurch können die spezifisch erforderlichen und effizientesten Risikominderungsmaßnahmen im Sinne der guten fachlichen Praxis (GfP) festgelegt werden. Nachfolgend aufgeführte Daten und Informationen müssen dafür erhoben werden.

### Verbindung mit Oberflächengewässern

Je größer die Distanz eines behandelten Feldes zum Oberflächengewässer ist, desto geringer ist das Risiko eines PSM-Transfers durch Run-off/Erosion. Neben der reinen Distanz zum Oberflächengewässer sind auch die Geschwindigkeit des abfließenden Wassers und die auftretenden Wassermassen in Folge von konzentriertem Run-off (z.B. Abfluss über Straßen, Wege, Rohrleitungen, Gräben) ausschlaggebend. Daher können auch Flächen, die nicht direkt an ein Oberflächengewässer angrenzen, ein erhebliches Run-off-Risiko besitzen.

### Bodeneigenschaften

Die Infiltration von Wasser in den Boden sowie die Adsorption und der Abbau von PSM-Wirkstoffen werden durch spezifische Bodeneigenschaften beeinflusst. Bei einer hohen Infiltrationsrate wird die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Run-off/Erosion stark vermindert. Ein ausreichender Wirkstoffkontakt mit Bodenpartikeln und Mikroorganismen fördert die Adsorption und den Wirkstoffabbau, was das Austragsrisiko reduziert. Eine hohe Wasserinfiltration vermindert das Run-off-Risiko, da die Fließgeschwindigkeit von Wasser im Boden deutlich geringer ist als an der Bodenoberfläche.

### Witterungs- und Klimabedingungen

Repräsentative Wetterverhältnisse (vor allen Niederschlagsverteilung) müssen für die Auswahl und Umsetzung von angemessenen Risikominderungsmaßnahmen bestimmt werden. Extremereignisse in Form von höherer Gewalt können selbst beim Einsatz von effizienten Reduktionsmaßnahmen nicht vollständig vermieden werden.

### Hanglänge und -form: Belastungsfaktoren

Felder mit steilen und langen Hängen sind gefährdeter, was Run-off und Erosion angeht. Große Hangflächen erfordern daher eine Teilung durch Pufferzonen im Feld oder durch Erdwälle, um das Risiko von konzentriertem Run-off und Erosion zu reduzieren. Risikominderungsmaßnahmen sollten vorrangig auf die Rückhaltung des Niederschlagswassers im Feld abzielen, um damit den Wasserabfluss durch Run-off an der Quelle zu vermeiden.

### Bodenbedeckung

Eine geschlossene Vegetationsdecke schützt vor Run-off und Erosion (Bsp.: Grünland). In der frühen Entwicklung von Ackerkulturen ist der Boden der erosiven Energie des Regens weitgehend ungeschützt ausgesetzt. In Bezug auf die Bodentextur müssen 2 wesentliche Effekte beachtet werden.

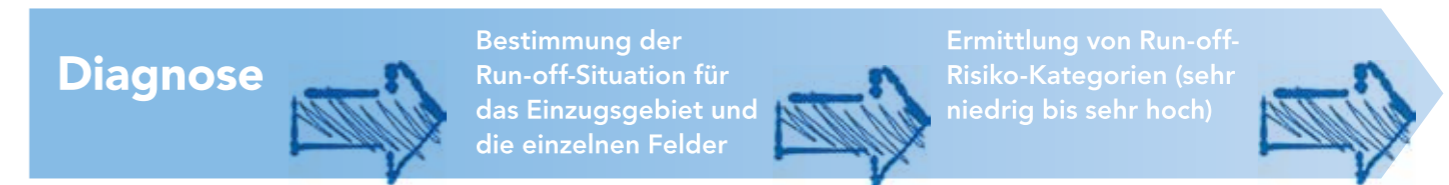
- a) Vor allem bei schluffreichen Böden verursacht Starkregen eine Verdichtung und Verschlammung der Bodenoberfläche. Hierdurch wird die Infiltrationsrate von Wasser stark reduziert und das Risiko für Run-off und Erosion erheblich vergrößert.
- b) Die kinetische Energie von Regentropfen kann Bodenaggregate zerstören. Kleine Bodenpartikel können leichter mit Wasser verlagert und erodiert werden.

Diese Effekte können, vor allem vor dem Reihenschluss der Ackerkulturen, wirksam durch die Bodenbedeckung mit Mulchmaterial oder die Verwendung von Untersaaten vermindert werden. Bei Anbauverfahren in Mulch- oder Direktsaat wird der Boden effektiv vor der erosiven Energie von Starkregen geschützt, und die Infiltrationsleistung ist erhöht. Hierdurch wird das Risiko für Run-off und Erosion erheblich verringert. In Dauerkulturen, in denen der Anbau von Untersaaten aufgrund von Wassermangel nicht möglich ist, kann eine Bodenbedeckung mit Mulchmaterial (z.B. Stroh) einen wirksamen Schutz gewährleisten.

## DIAGNOSE/BEWERTUNGSVERFAHREN

Eine gründliche Diagnose ist die Basis für die Entwicklung angepasster und spezifischer Risikominderungsmaßnahmen. Das Ziel ist hierbei, die Abflusswege des Wassers auf dem Feld und im Einzugsgebiet zu ermitteln und das Risikopotenzial der einzelnen Feldstücke zu bestimmen.

**Hinweis: Dieses Diagnosekonzept beruht auf Arbeiten von ARVALIS-Institut du végétal und von Irstea Frankreich. Es wurde von den TOPPS-Prowadis-Partnern an ihre lokalen Verhältnisse angepasst.**

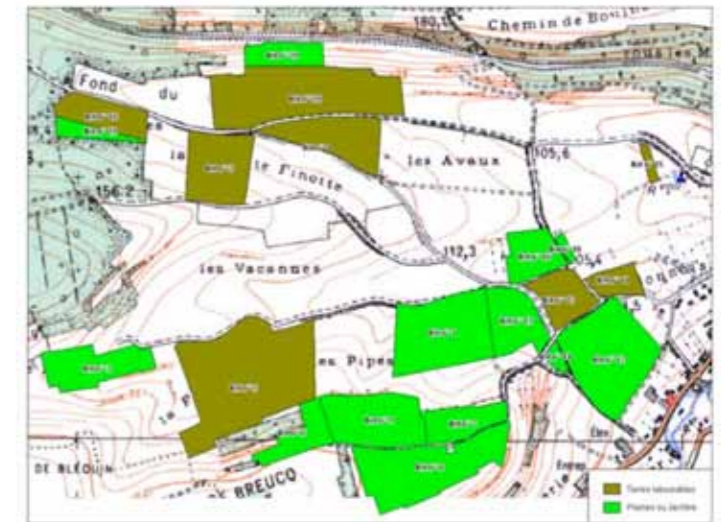


### Diagnose des Einzugsgebietes

Die Diagnose beginnt auf der Ebene des Einzugsgebietes mit der Zusammenstellung aller verfügbaren Daten: Wetter- und Klimaverhältnisse, Anbaumethoden, Karten für die Nutzungsform, Geologie, Hydrologie und Bodenverhältnisse. Eine umfangreiche Datenerhebung verringert den Arbeitsaufwand für die Diagnose im Feld.

### Einzugsgebietskarte (Bsp. Frankreich)

- Feldstücke (Lage und Größe)
- Gewässersystem
- Landwirtschaftliche Nutzung
- Topographie





### Felddiagnose

Die Felddiagnose ist erforderlich, um die vorhandenen Daten zu verifizieren bzw. zu vervollständigen und um insbesondere die spezifischen Bodenparameter (Struktur, Textur) für die Entwicklung von feldspezifischen Verfahren zur Risikominderung (GfP) zu ermitteln. Gelände- und Bodenparameter ändern sich häufig kleinräumiger, als es in Karten- bzw. GIS-Daten dargestellt werden kann. In Abbildung 3 sind die benötigten Daten und Informationen für die Felddiagnose dargestellt.

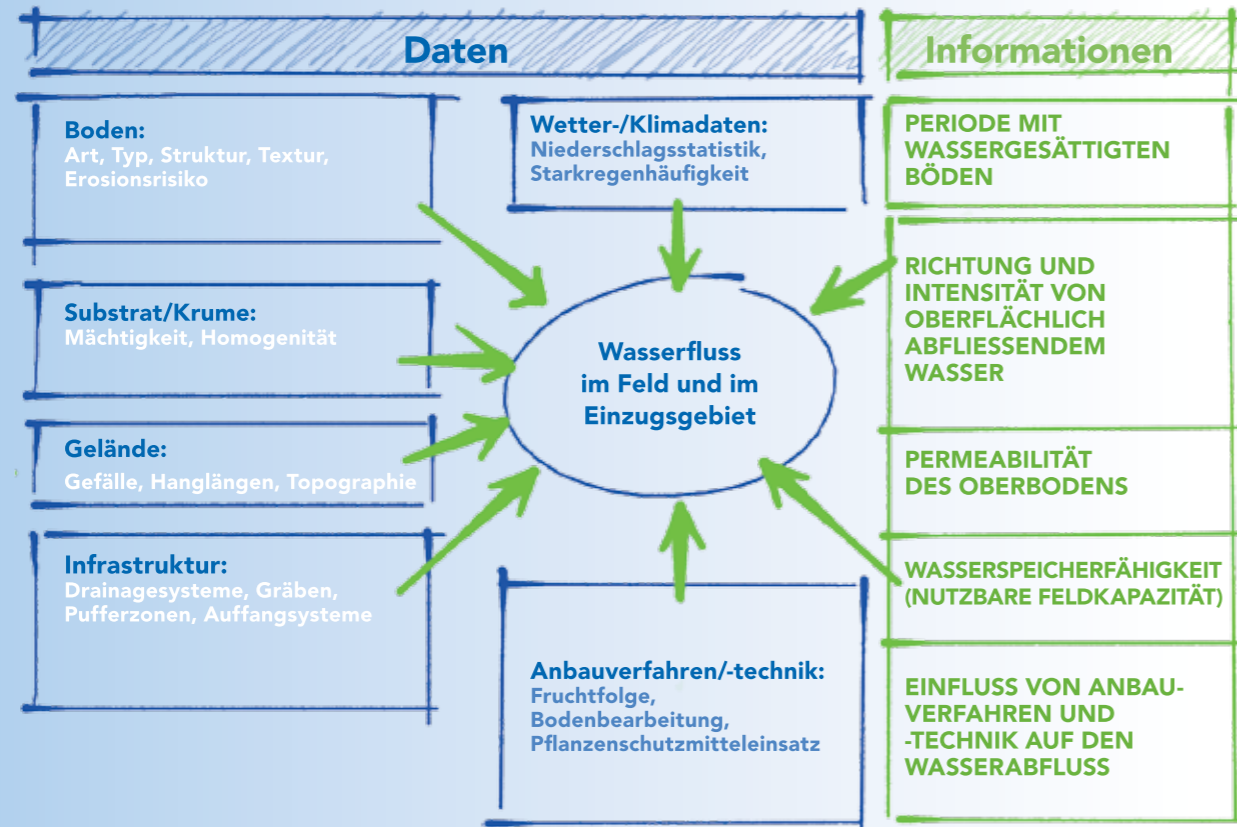


Abb. 3: Struktur der für die Ermittlung der feldspezifischen Risikokategorie notwendigen Daten und Informationen (Quelle: ARVALIS-Institut du végétal)

### Bewertungsmatrix (Dashboard)

Bewertungsverfahren in Form einer Matrix (Dashboard-Konzept) wurden mit dem Ziel entwickelt, die Komplexität der Faktorkombinationen für das Entstehen von Run-off zu reduzieren und dennoch eine sachgerechte Beurteilung zu erreichen. Mithilfe von 2 verschiedenen Bewertungssystemen (D1, D2 – siehe Abb. 4, 5) kann das wesentliche Run-off-Risiko auf der Feldebene korrekt bestimmt werden. Eine weitere Bewertungsmatrix (D3 – siehe Abb. 6) dient zur Beurteilung des konzentrierten Run-offs.

Die Bewertungshilfen ermöglichen eine strukturierte, effiziente und zielführende Risikoanalyse für jedes einzelne Feld eines Einzugsgebietes. Die Run-off-Situationen aufgrund begrenzter Infiltration (D1) oder durch Wasserübersättigung (D2) werden in 4 Risikoklassen (hohes bis sehr niedriges Risiko) eingestuft. Für den Fall eines konzentrierten Run-offs (D3) entsprechen die Risikoklassen (1 bis 11) unterschiedlichen Fallsituationen, die immer durch mehr oder weniger intensive bzw. aufwändige Minderungsmaßnahmen entschärft werden sollten.

Für die Risikoklassen nach dem D1- bzw. D2-Schema sind allgemeine Szenarien beschrieben, für die nach den örtlichen Gegebenheiten und den unterschiedlichen Umsetzungsmöglichkeiten (landwirtschaftliche Betriebspraxis, Kostenaufwand, Klimaverhältnisse u. a.) angepasste Risikominderungsmaßnahmen entwickelt werden können. Für den Fachberater und Landwirt sind unter „Auswahl von Risikominderungsmaßnahmen“ (siehe S. 30 ff.) geeignete und bewährte Maßnahmen zur Entschärfung des jeweiligen Run-off-Risikos beschrieben.

Es wird empfohlen, bei der Felddiagnose grundsätzlich beide Bewertungsverfahren (D1 und D2) durchzuführen. Die Bewertung nach dem D3-Verfahren ist zusätzlich notwendig, wenn konzentrierter Run-off im Feld auftritt.

Für die Bewertung der Run-off-Situation aufgrund begrenzter Infiltration (D1) ist das Frühjahr bis in den Frühsommer der beste Zeitraum, da in dieser Periode, vor allem in Sommerkulturen, die Bedingungen für diese Form von Run-off häufig gegeben sind. Run-off aufgrund überhöhter Wassersättigung (D2) kann besonders gut in der Zeit vom Spätherbst bis zum Frühjahrsbeginn beurteilt werden, da in dieser Periode die Wasseraufnahmekapazität der Böden erreicht werden kann. Verhältnisse mit Wasserübersättigung der Böden können anhand von Bodenmerkmalen (hydromorphe Veränderungen, Stauzonen usw.) festgestellt werden.

#### ABB. 4: BEWERTUNG DES RUN-OFF-RISIKOS AUFGRUND BEGRENZTER INFILTRATION (D1)

Für die Ermittlung der Risikoklasse in der Bewertungsmatrix (Dashboard) sind die Verhältnisse je nach Verbindung des Feldes mit dem nächstgelegenen Oberflächengewässer, die Permeabilität des Oberbodens und die Hangneigung maßgebend. Hinweise auf den Sonderfall von Run-off durch abfließendes Schmelzwasser sind in den verschiedenen Szenarien zu finden. Referenzen: ARVALIS-Bewertungsverfahren, Syngenta-Beratungsunterlagen und TOPPS-Projektpartner.

Verbindung zu Oberflächengewässer	Permeabilität des Oberbodens	Hangneigung	Risikoklasse und Szenario		
Feld mit direkter Verbindung zu einem Gewässer	NIEDRIG	STEIL (> 5%)	I 7		
		MITTEL (2–5%)	I 6		
		FLACH (< 2%)	I 5		
	MITTEL	STEIL (> 5%)	I 4		
		MITTEL (2–5%)	I 3		
		FLACH (< 2%)	I 2		
	HOCH	STEIL (> 5%)	I 3		
		MITTEL (2–5%)	I 2		
		FLACH (< 2%)	I 1		
Feld ohne direkte Verbindung zu einem Gewässer	Transfer bzw. Ablauf von Run-off	JA	Run-off erreicht Gewässer	JA	T 3
		NEIN		NEIN	T 2
		NEIN			T 1

**HOHES RISIKO**

**MITTLERES RISIKO**

**NIEDRIGES RISIKO**

**SEHR NIEDRIGES RISIKO**

#### Anwendungsbeispiel für die D1-Bewertungsmatrix – begrenzte Infiltration

Die Bewertung erfolgt anhand der Faktoren in den Spalten von links nach rechts. Zuerst wird unterschieden, ob vom Feld abfließendes Wasser (Run-off) unmittelbar in ein Gewässer mündet oder nicht. Im Falle einer unmittelbaren Gewässeranbindung sind die Faktoren Permeabilität des Oberbodens und Hangneigung für die Ermittlung der spezifischen Risikoklasse ausschlaggebend.

Für Felder ohne eine unmittelbare Verbindung zu Gewässern ist noch zu bewerten, ob ein indirekter Run-off (z. B. über tiefergelegene Flächen, Wege, Rohrleitungen, Gräben) zu einer Gewässerbelastung führen kann.

Die hierdurch bestimmbar Risikoklassen sind nach ihrer Intensität farblich gekennzeichnet, wobei „I“ für Infiltration und „T“ für Transfer steht. Die den Risikoklassen zugeordneten Szenarien sind nachfolgend beschrieben.

#### RISIKOKLASSEN UND SZENARIEN FÜR RUN-OFF AUFGRUND BEGRENZTER INFILTRATION (D1)

##### Feld mit unmittelbarer Verbindung zu einem Oberflächengewässer

I 7

Minimierung des extremen Run-off- und Erosionsrisikos durch alle möglichen Maßnahmen im Feld, Puffer am Feldende und Maßnahmen im Einzugsgebiet (Streifenanbau, Rückhaltesysteme usw.). Eine Kombination mehrerer, möglichst effektiver Maßnahmen ist erforderlich, um ein Maximum an Risikominderung zu erreichen.

I 4 / I 6

Risikominderung durch die Kombination von Maßnahmen im Feld (vor allem die Infiltrationsleistung sollte verbessert werden), außerhalb des Feldes (z. B. Pufferstreifen) und ggf. im Einzugsgebiet (Pufferzonen, Rückhaltesysteme usw.).

I 3 / I 5

Maßnahmen zur Vermeidung der Run-off-Entstehung im Feld (Mulch-, Direktsaat usw.) sind besonders empfehlenswert. Weiterhin können Puffersysteme (im/am Ende des Feldes) das Risiko minimieren. Als Alternative, wenn Maßnahmen im Feld nicht umsetzbar sind, insbesondere beim Anbau von Sommerungen, sind auch Maßnahmen außerhalb des Feldes zu erwägen.

I 2

Die Entstehung von Run-off sollte durch geeignete Maßnahmen im Feld vermindert werden (Anbautechnik, Förderung der Bodenpermeabilität usw.). Als Alternative können Puffersysteme (im/am Ende des Feldes) installiert werden.

##### Feld ohne unmittelbare Verbindung zu einem Oberflächengewässer

T 3

Maßnahmen zur Verminderung der Entstehung von Run-off im Feld und/oder Puffer-/Rückhaltesysteme am Feldende sind notwendig. Alternativ kann Run-off im tiefergelegenen Feld durch geeignete Maßnahmen aufgehalten werden. Beim Auftreten hoher Abflussmengen sollte ein Transfer in tiefergelegene Felder jedoch unbedingt verhindert werden.

T 2

Einhaltung von standortgerechten Ackerbaumaßnahmen/-techniken zur Reduzierung von Run-off und Erosion (z. B. angepasste Bodenbearbeitung). Zur Absicherung außergewöhnlicher Witterungsereignisse können z. B. Puffersysteme (im/am Ende des Feldes) angelegt werden.

I 1 / T 1

Einhaltung von standortgerechten Ackerbaumaßnahmen/-techniken zur Reduzierung von Run-off und Erosion (z. B. angepasste Bodenbearbeitung).

##### Sondersituation: Run-off bei Schneeschmelze

Unter diesen Bedingungen haben alle Szenarien mit direkter Gewässeranbindung (I 1–7) ein mehr oder weniger hohes Run-off-Risiko, das nur durch eine Verkürzung der Hanglänge (z. B. Streifenanbau, In-Feld-Puffer) oder durch die Anlage von Puffer-/Rückhaltesystemen außerhalb des Feldes reduziert werden kann. Dies gilt auch für das Szenario T 3.

**ABB. 5: BEWERTUNGSMATRIX (DASHBOARD) FÜR DAS RUN-OFF-RISIKO AUFGRUND VON WASSERÜBERSTÄTTIGUNG (D2)**

\* FK = Feldkapazität (Wasserspeicher- bzw. -haltefähigkeit des Bodens).

Nähe zum Gewässer	Drainage	Topographie	Unterboden, Permeabilität		FK*	Risikoklasse und Szenario
Feld mit direkter Verbindung zum Gewässer	Ohne Drainage	Unterhang, Hangfuß, Gefälle, konkav auslaufend	Pflugsohle und Permeabilitätsstörung		Alle FK-Werte	S 4
			Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		< 120 mm	S 4
			Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		> 120 mm	S 3
		Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		< 120 mm	S 3	
		Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		> 120 mm	S 2	
		Oberhang bzw. gleichmäßiges Gefälle	Pflugsohle und Permeabilitätsstörung		Alle FK-Werte	S 4
	Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		< 120 mm	S 3		
	Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		> 120 mm	S 2		
	Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		< 120 mm	S 2		
	Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		> 120 mm	S 1		
	Mit Drainage		Alle Lagen	Pflugsohle und Permeabilitätsstörung		Alle FK-Werte
		Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		< 120 mm	SD 3	
Pflugsohle oder Permeabilitätsstörung		> 120 mm		SD 2		
Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		< 120 mm	SD 2			
Keine Pflugsohle bzw. Permeabilitätsstörung		> 120 mm	SD 1			
Feld ohne direkte Verbindung zum Gewässer		Alle Flächen (mit Drainage -> SD-Szenarien beachten)	Run-off-Transfer in tiefergelegenes Feld	JA	Run-off erreicht Gewässer	JA
	NEIN				NEIN	T 2
	NEIN			NEIN	T 1	

**Anwendungsbeispiel für die D2-Bewertungsmatrix (Wasserübersättigung)**

Die Bewertungsmatrix verfolgt 2 Entscheidungswege, die von der Entscheidung in der ersten Spalte abhängig sind.

- a) Feld mit direkter Verbindung zum Gewässer
- b) Feld ohne direkte Verbindung zum Gewässer

In jeder Spalte muss eine Entscheidung getroffen werden, bis die Risiko- und Szenarienkategorie erreicht ist (von links nach rechts). Die Risikoklasse ist in der Spalte ganz rechts anhand der

Farbe zu erkennen, wo auch die entsprechende Szenarienummer angegeben ist. Dabei steht T für Transfer, S für Wasserübersättigung und SD für Wassersättigung mit Drainage. Die nummerierten Szenarien werden separat beschrieben.

(Anleitungen zur Bewertung von Bodentextur, Wasseraufnahmevermögen und Indikatoren für eine Permeabilitätsstörung im Feld sind im Handbuch zur Felddiagnose zu finden).

**RISIKOKLASSEN UND SZENARIEN FÜR RUN-OFFAUFGRUND VON WASSERÜBERSTÄTTIGUNG (D2)**

**Feld mit direkter Verbindung zu einem Gewässer**

S 4

Minimierung des extremen Run-off- und Erosionsrisikos durch alle geeigneten Maßnahmen im Feld, Puffer am Feldrand und Geländeanpassungen (Streifenanbau, Rückhaltesysteme usw.). Eine Kombination aller effektiven Maßnahmen ist notwendig, um ein Maximum an Risikominderung zu erreichen.

S 3/SD 3\*

Reduzierung des mittleren Run-off- und Erosionsrisikos durch geeignete Maßnahmen im Feld. Ergreifen Sie Maßnahmen außerhalb des Feldes, wenn die Möglichkeiten von Maßnahmen im Feld nicht ausreichen (Puffer am Feldrand und Geländeanpassungen wie Streifenanbau, Rückhaltesysteme usw.).

S 2/SD 2\*

Verringerung der Entstehung von Run-off durch geeigneten Maßnahmen im Feld. Falls dies nicht möglich/ausreichend ist, berücksichtigen Sie Puffer am Feldrand oder im Feld.

S 1/SD 1\*

Minimierung von Run-off und Erosion durch Einhaltung guter ackerbaulicher Praxis.

\* Bedenken Sie bei allen SD-Szenarien: Falls ein Risiko des Wassertransfers durch die Drainage besteht, vermeiden Sie die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die zur Versickerung neigen. Dies gilt insbesondere in Zeiten, in denen die Drainage Wasser ableitet (Spätherbst/Frühjahr). Falls es möglich ist, halten Sie das Drainagewasser im Einzugsgebiet durch entsprechende Rückhaltesysteme auf.

**Feld ohne eine unmittelbare Verbindung zu Oberflächengewässern**

T 3

Verhindern Sie durch geeignete Maßnahmen im Feld die Entstehung von Run-off bzw. halten Sie Run-off durch Pufferstreifen am Feldrand auf ODER fördern Sie die Wasserinfiltration auf abschüssigen Schlägen durch geeignete Maßnahmen (Puffer-, Rückhaltesysteme), sofern dies für den Schlageigentümer akzeptabel ist. Bei Auftreten hoher Abflussmengen sollte ein Transfer in tiefergelegene Felder unbedingt verhindert werden (Grundwasserschutz). Gefrorener Boden: Einrichtung von Pufferzonen (Hecken, Gehölze) quer zum Hang und/oder Rückhaltebecken entlang von Wasserläufen.

T 2

Minimierung von Run-off und Erosion durch Einhaltung guter ackerbaulicher Praxis. Beim Auftreten hoher Abflussmengen sollte ein Transfer in tiefergelegene Felder verhindert werden (Grundwasserschutz). Falls der Run-off-Transfer auf das tiefergelegene Feld nicht akzeptabel ist, sollte der Schlag wie ein Feld mit direkter Verbindung zum Gewässer behandelt werden.

T 1

Minimierung von Run-off und Erosion durch die Einhaltung einer guten ackerbaulichen Praxis.



ABB. 6: BEWERTUNG VON KONZENTRIERTEM RUN-OFF (D3)

Run-off-Entstehung	Run-off-Form und Bodenbedingungen	Risikoklasse und Szenario		
Run-off entsteht nicht im zu bewertenden Feld	Run-off kommt aus einer höherliegenden Fläche	C 1		
Run-off entsteht im zu bewertenden Feld	Run-off vor allem in Fahrgassen	C 2		
	Run-off konzentriert im Feldauslauf	C 3		
	Run-off vor allem in der Feldzufahrt	C 4		
	Mittlerer Run-off in Form von Rinnen/Rillen	Boden nicht hydromorph	C 5	
		Boden hydromorph	C 6	
	Mittlerer Run-off im Talweg bzw. in der Wassersammellinie	Boden nicht hydromorph	C 7	
		Boden hydromorph	C 8	
	Stark konzentrierter Run-off	Keine Grabenerosion im Talweg		
		Grabenerosion im Talweg	Hohe Infiltrationsleistung des Pufferstreifens	C 9
			Geringe Infiltrationsleistung des Pufferstreifens	C 10
			C 11	

Wenn sich auf dem Feld ein sichtbar konzentrierter Abfluss zeigt, ist das Run-off-Risiko hoch und es müssen entsprechende Risikominderungsmaßnahmen getroffen werden.

Die Dashboard-Analyse beginnt mit der Feststellung, ob der beobachtete Run-off überhaupt in dem betroffenen Feld entsteht. Danach wird die Klassifizierung anhand der Form des beobachteten konzentrierten Run-offs festgelegt.

Anhand der Beurteilung bereits existierender Risikominderungsmaßnahmen und deren Effektivität werden geeignete Maßnahmenpläne erarbeitet.

Konzentrierter Run-off ist oftmals verbunden mit Erosion, die weltweit zu den schwerwiegendsten Problemen in der Landwirtschaft zählt.

## RISIKO-KLASSEN UND SZENARIEN FÜR KONZENTRIERTEN RUN-OFF (D3)

Konzentrierter Abfluss innerhalb des Felds stellt ein großes Risiko für einen Pflanzenschutzmittelaustrag dar und sollte durch geeignete Risikominderungsmaßnahmen eingedämmt werden, beispielsweise durch reduzierte Bodenbearbeitung, Konturbearbeitung bzw. höhenlinienparallele Bewirtschaftung, Streifenanbau, Talwegpuffer und Hecken-/Gehölzpuffer, Faschinen, bepflanzte Gräben oder künstlich angelegte Feuchtgebiete/Rückhaltebecken.

C 1

Eindämmung von konzentriertem Run-off an höherliegenden Flächen im Einzugsgebiet. Die Run-off-Risiko-Bewertung ist auf jenem Feld vorzunehmen, auf dem der Run-off entsteht. Konzentrierter Wasserabfluss in tieferliegende Gebiete muss durch entsprechende Puffer- und Rückhaltesysteme abgefangen werden.

C 2

Fahrgassenanlage quer zum Hang oder begrünte Fahrgassen; doppelte Saatstärke am Vorgewende; Verbreiterung des Vorgewendes.

C 3

Bei nicht hydromorphen Böden: Einrichtung bepflanzter Puffersysteme in den Feldecken. Bei hydromorphen Böden: Errichtung von Erdwällen am Feldrand und Anlage von Rückhaltebecken.

C 4

Verringerung der Bodenverdichtung in Feldzufahrten und Einrichtung von Puffersystemen, um die Infiltrationskapazität des Bodens zu erhöhen.

C 5

Einrichtung oder Vergrößerung von Pufferzonen am Feldrand, Einrichtung von Rückhaltesystemen (Faschinen, Hecken/Knicks), Verkürzung der Hanglänge mithilfe von im Feld angelegten Puffern am Oberhang.

C 6

Anlage breiter Pufferzonen (Feuchtwiesen und/oder Feuchtgebiete) am Feldrand. Unterteilung des Feldes mithilfe von im Feld angelegten Puffern am Oberhang.

C 7

Bestellung mit doppelter Saatstärke, Anlage/Vergrößerung bepflanzter Talwegpufferzonen (im niedrigsten Bereich des Feldes) oder bepflanzter Gräben. Einrichtung von Rückhaltesystemen (Rückhaltebecken und Feuchtgebiete). Verkürzung der Hanglänge am Oberhang, wo die Konzentration von Run-off beginnt (durch Streifenanbau und Puffersysteme im Feld).

C 8

Erhöhung der Infiltrationskapazität des Bodens durch reduzierte Bodenbearbeitung und Maßnahmen zur Verlangsamung der Wasserfließgeschwindigkeit. Anlage von Talwegpuffern, Rückhaltesystemen und Feuchtwiesen.

C 9

Auffüllen von Erosionsrillen, Anlage/Vergrößerung bepflanzter Pufferzonen, Bestellung mit doppelter Saatstärke, Einrichtung von Rückhaltesystemen wie Faschinen und Heckenpuffern. Verkürzung der Feldlänge mithilfe von im Feld angelegten Puffern. Prüfung von Feldern oberhalb eines Feldes und Verminderung von Run-off-Transfer. Kritische Betrachtung der derzeitigen Bewirtschaftungsverfahren und Erwägung anderweitiger Möglichkeiten zur Landnutzung.

C 10

Auffüllen der Erosionsrillen, Anlage/Vergrößerung von Talwegpuffern, Anlage von bepflanzten Gräben oder Rückhaltebecken. Verkürzung der Schlaglänge mithilfe von Puffersystemen. Prüfung höherliegender Flächen und dortige Umsetzung von Risiko-Minderungsmaßnahmen.

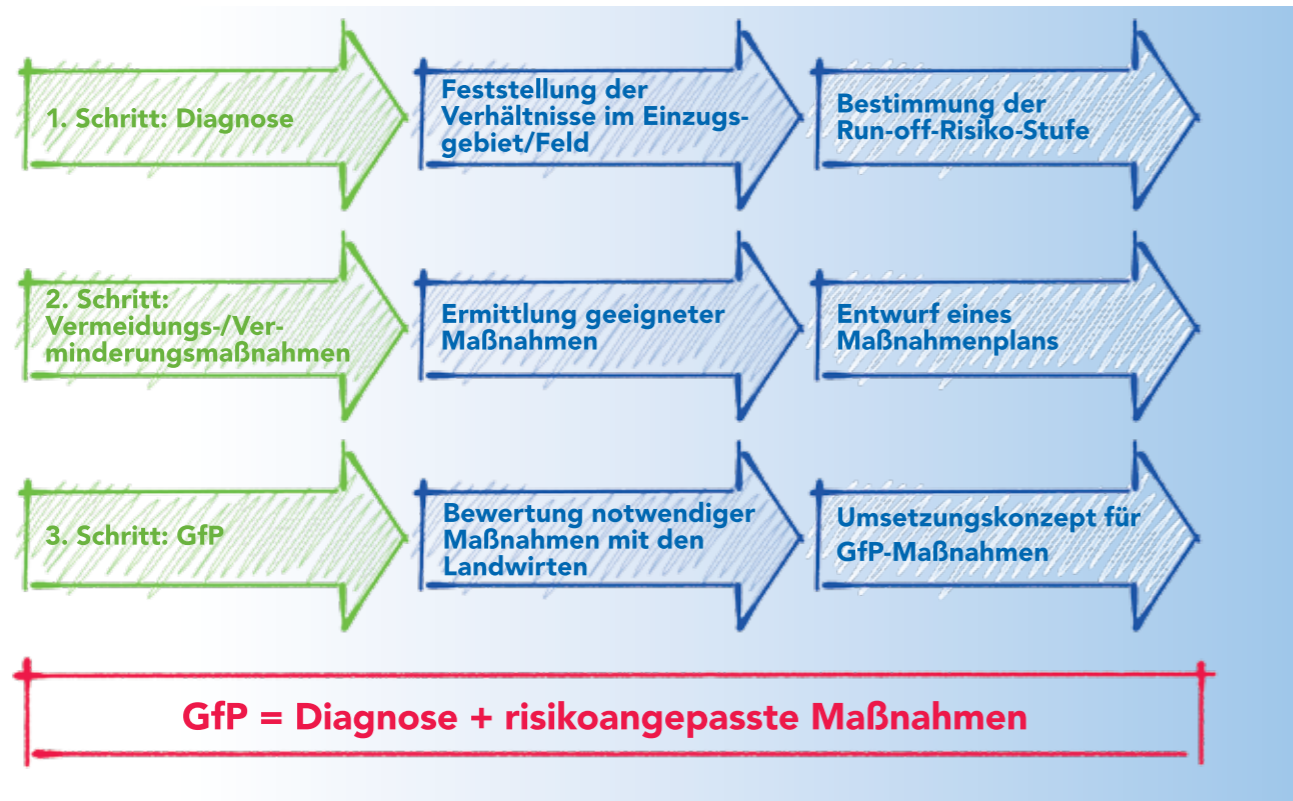
C 11

Auffüllen der Erosionsgräben, Anlage/Vergrößerung von Talwegpuffern (z. B. Feuchtwiesen), Anlage von Feuchtgebieten/Rückhaltebecken. Anlage von Faschinen, die das Wasser verteilen und die Fließgeschwindigkeit vermindern.

## GUTE FACHLICHE PRAXIS (GFP)

Die Eindämmung von Run-off ist eine komplexe Angelegenheit. Allgemeine Empfehlungen lassen sich nur schwer aussprechen, da bei der Analyse viele Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind. Daher legen wir ein Konzept vor, bei dem der Berater vor Ort aktiv in die Optimierung des vielschichtigen Maßnahmenpakets eingebunden ist.

### GfP-Entwicklungsverfahren



### Umsetzungskonzept

Nach Abschluss der Diagnose/Bewertung sollte das Run-off-Risiko im Einzugsgebiet und auf den Feldern kartiert werden. Dabei gilt es, geeignete Risikominderungsmaßnahmen zu wählen, die in den landwirtschaftlichen Kontext des Einzugsgebiets passen (vorrangige Produktionsorientierung, angewandte Verfahren). Die so gewählten Risikominderungsmaßnahmen müssen mit den Landwirten im Einzugsgebiet besprochen werden und sind dabei immer mit Bezug auf konkrete Felder zu sehen. Bei speziellen infrastrukturellen Maßnahmen müssen zudem die Förderungsmöglichkeiten geprüft werden.

Die Darstellung der Maßnahmen in Kartenform (z.B. Pufferstreifen, Rückhaltesysteme, existierende Risikominderungssysteme, Wassertransfer in die Einzugsgebiet) erleichtert die Kommunikation. Am Ende sollten sich der Landwirt und der Berater auf einen konkreten Plan mit allen erforderlichen Maßnahmen (Abb. 7 und 8) einigen.



### Beispiel für umgesetzte Risikominderungsmaßnahmen

- Uferpufferstreifen (Gras- und Gehölze)
- Feuchtgebiete, die das Wasser im Einzugsgebiet halten
- Filterstreifen im Feld, die Run-off in der Entstehung verhindern
- Windschutzbepflanzung gegen Winderosion



### Beispiel: Karte des Einzugsgebiets Fontaine du Theil, Bretagne, Frankreich (Quelle: Irstea)

- Blaue Pfeile: Wasserabfluss im Einzugsgebiet
- Blau: kleine Fließ- und Stillgewässer
- Grün: existierendes Dauergrünland
- Ackerkarte, Topographie
- Rot: vorgeschlagene Puffersysteme

## ÜBERSICHT ÜBER RISIKOMINDERUNGSMASSNAHMEN UND ANWENDUNGSBEISPIELE

### Übersicht: Risikominderungsmaßnahmen

Bodenpflege	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenbearbeitungsintensität verringern</li> <li>• Fahrgassenanlage optimieren</li> <li>• Grobe bzw. raue Saatbettbereitung</li> <li>• Erddämme im Feld anlegen</li> <li>• Oberbodenverdichtung vermeiden bzw. aufbrechen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterbodenverdichtung vermeiden bzw. aufbrechen</li> <li>• Pflügen und Bodenbearbeitung quer zum Gefälle</li> <li>• Erhöhung des Humusgehalts und Verbesserung der Bodenstruktur</li> </ul>
Anbaumethoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fruchtwechsel als Puffer im Einzugsgebiet nutzen</li> <li>• Streifenanbau</li> <li>• Verbreiterung des Vorgewendes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einjährige Zwischenfrüchte anbauen</li> <li>• Mehrjährige Zwischenfrüchte in Dauerkulturen etablieren</li> <li>• Bestellung mit doppelter Saatstärke</li> </ul>
Bewachsene Pufferstreifen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pufferzonen im Feld</li> <li>• Talwegpuffer in der Gefällelinie</li> <li>• Anlage von Puffern entlang von Gewässern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pufferzonen am Feldrand</li> <li>• Pflege von Feldzufahrten</li> <li>• Anlage von Hecken</li> <li>• Anlage/Pflege von Gehölzen</li> </ul>
Rückhaltesysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erdwälle am Feldrand</li> <li>• Bepflanzte Gräben</li> <li>• Künstliche Feuchtgebiete/ Rückhaltebecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faschinen zur Verteilung des abfließenden Wassers</li> </ul>
Angepasster Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angepasster Einsatzzeitpunkt</li> <li>• Gezielte Einsatzzeit innerhalb der Saison</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gezielte Auswahl von Mitteln und Anpassung der Ausbringungsmenge</li> </ul>
Optimierte Bewässerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angepasste Bewässerungsverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimierung von Bewässerungszeitpunkt und Wassermenge</li> </ul>

### Konzept für die Entwicklung von Maßnahmen zur GfP

Die Wirksamkeit einer Maßnahme lässt sich nicht allgemein bewerten und ist stark abhängig von der jeweiligen Situation des Einzugsgebiets und des Feldes. Das wichtigste Ziel ist, das Wasser in dem Feld zu halten, in dem es anfällt. Diese Vorgabe bestimmt die Auswahl und die Zusammenstellung der geeigneten Maßnahmen.

Bei einer konsequenten Risikominderungsstrategie sind die Maßnahmen nach den bei der Diagnose erkannten Risiken auszuwählen. So können bei geringem Risiko schon wenige Maßnahmen ausreichen; bei einem hohen Risiko hingegen müssen möglicherweise alle verfügbaren Risikominderungsmaßnahmen angewendet werden. Bei einer Kombination verschiedener Maßnahmen sind immer auch die synergistischen Eindämmungseffekte zu bedenken (z.B. Bodenbedeckung und Bodenbearbeitungsverfahren). Diese Effekte sind nicht leicht abzuschätzen, aber ortskundige Fachleute können mögliche Wechselwirkungen beurteilen.

Die Maßnahmen zur GfP sollten gemeinsam mit dem Landwirt und dem Berater auf Grundlage der Felddiagnose und der individuellen Situation des Betriebes erarbeitet werden. Die nachstehenden Abbildungen (7, 8) zeigen ein Beispiel für die Zusammenstellung eines Maßnahmenpakets mit dem Ziel, eine risikobezogene Empfehlung für die gute fachliche Praxis in einer konkreten Situation auszusprechen. Nach der Ausarbeitung dieser guten fachlichen Praxis sollten die besprochenen und vereinbarten Maßnahmen in einem Bericht dokumentiert werden, um den Erfolg der praktischen Umsetzung bewerten zu können.

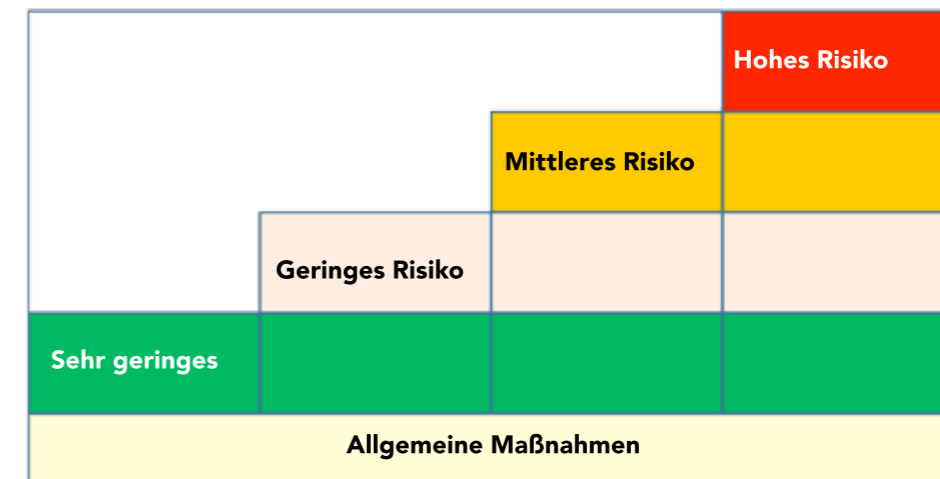


Abb. 7: Grafik zur Ausarbeitung einer risikobezogenen GfP durch die Auswahl geeigneter Risikominderungsmaßnahmen

**ABB. 8: BEISPIELE FÜR DIE BESTIMMUNG VON GFP-MASSNAHMEN ANHAND DES BEWERTETEN RUN-OFF-RISIKOS UND DER WIRKUNG DER MASSNAHMEN**

Maßnahmenkategorien	Allgemeine Maßnahmen	Maßnahmen bei sehr geringem Risiko	Maßnahmen bei geringem Risiko	Maßnahmen bei mittlerem Risiko	Maßnahmen bei hohem Risiko
Bodenbearbeitung	Oberbodenverdichtung reduzieren Unterbodenverdichtung reduzieren Humusgehalt vermehren Bodenstruktur verbessern	Grobe Saatbettbereitung	Fahrgassen optimiert anlegen Höhenlinien parallel bewirtschaften	Erdwälle/-dämme im Feld anlegen Bodenbearbeitungsintensität reduzieren	Bodenbearbeitungsintensität reduzieren (Direktsaat)
Anbaumethoden	Fruchtfolge anwenden (Sommer-/Wintersaaten)	Zwischenfrüchte anbauen Flächendeckende Begrünung anlegen	Zwischenfrüchte anbauen	Vorgewende verbreitern Stärker gefährdete Bereiche mit doppelter Saatstärke bestellen Nicht abfrierende Zwischenfrüchte anbauen	Streifenanbau praktizieren
Bewachsene Pufferstreifen		Feldzufahrten pflegen Pufferstreifen entlang von Gewässern anlegen		Pufferzonen am Feldrand anlegen Hanglänge mithilfe von Pufferstreifen im Feld verkürzen	Talwegpuffer anlegen Puffer in Form von Hecken/Gehölzen anlegen
Rückhaltesysteme				Erdwälle/-dämme am Feldrand anlegen	Faschinen anlegen Bepflanzte Gräben anlegen Künstliche Feuchtgebiete/Rückhaltebecken anlegen
Angepasster PSM-Einsatz			Applikationstermin anpassen	Mittelwahl und Ausbringmenge anpassen	
Optimierte Bewässerung					

Bei geringem Risiko reichen schon wenige Maßnahmen aus; bei einem hohen Risiko hingegen ist der Großteil aller vorgeschlagenen Maßnahmen umzusetzen.



## AUSWAHL VON RISIKOMINDERUNGSMASSNAHMEN („Werkzeugkiste“)

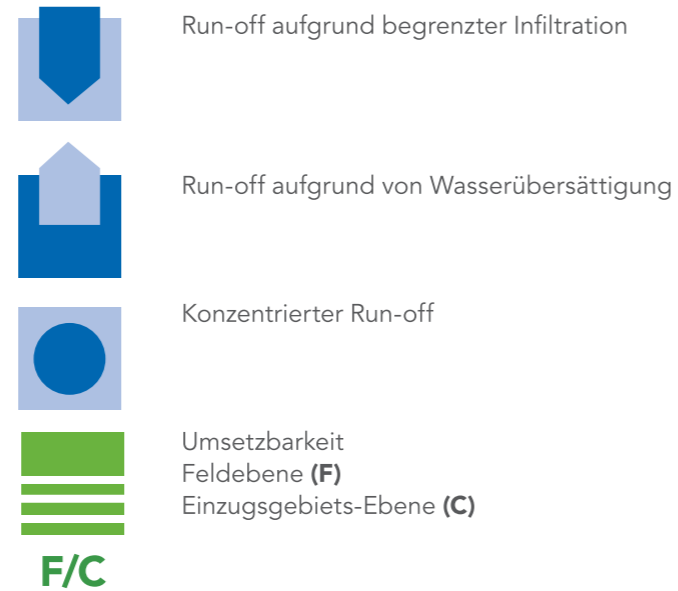
Die hier genannten Risikominderungsmaßnahmen lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- Bodenpflege
- Anbaumethoden
- Bepflanzte Pufferstreifen
- Rückhalte- und Verteilungssysteme
- Sachgerechter PSM-Einsatz
- Bewässerung

Vor der Empfehlung/Umsetzung von Risikominderungsmaßnahmen ist stets zu prüfen, ob die Maßnahmen für die Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungsverfahren des jeweiligen Landwirts geeignet sind. Vor Veränderungen bei der Umstellung von Bodenbearbeitung oder Anbauverfahren sollten alle Aspekte, die beeinflusst werden können, berücksichtigt werden: Bodenbeschaffenheit, Klima, Betriebsmitteleinsatz, Technik, Unkräuter, Schädlinge, Erträge, Erntegutqualität und Wirtschaftlichkeit.



Um die Auswahl der geeigneten Maßnahmen zu erleichtern, wurde die Wirksamkeit von Maßnahmen in folgender Hinsicht beurteilt:



Bei der Beurteilung der Wirksamkeit wurden Forschungsergebnisse und Experteneinschätzungen/Expertenwissen zurate gezogen. Zu erkennen sind die Wirksamkeitsstufen anhand der Farbe:



## Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung wirkt sich auf die Infiltrationskapazität des Bodens aus. Gute Möglichkeiten zur Steigerung der Infiltrationskapazität sind:

- Lockerung von Bodenverdichtungen (in Ober- und Unterboden)
- Erhöhung der Bodenporosität (wasserhaltende Poren, Gefügebildung/Aggregation)

Dadurch soll das Wasser im Feld gehalten und Run-off bei seiner Entstehung vermieden werden.

Reduzierte Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und Zwischenfrüchte sind die 3 wichtigsten Elemente der konservierenden Landwirtschaft. Wenn die reduzierte Bodenbearbeitung situationsbedingt schwierig oder unmöglich ist, sind unter Umständen andere Maßnahmen z. B. zur Verringerung von Bodenverdichtung gefragt. Feldüberfahrten sollten auf ein absolutes Minimum beschränkt werden, um Bodenverdichtung zu vermeiden.

Durch eine Untersuchung des Bodens und des Einzugsgebiets lassen sich die Maßnahmen für die Bodenpflege an die Felder mit höherem Run-off-Risiko anpassen.

### 1. Geringere Bodenbearbeitungsintensität



### Sachlage

Reduzierte Bodenbearbeitung führt zu einer besseren Porenverteilung im Oberboden und fördert daher die Wasserinfiltration. Es verbleiben mehr Ernterückstände auf dem Boden, die den Wasserabfluss auf der Oberfläche bremsen. Zusätzlich werden im Gegensatz zu offengehaltenen Böden die Regentropfenerosion und Oberflächenverschlammung vermindert. Im Oberboden wird die biologische Aktivität gefördert, insbesondere die Vermehrung der Regenwürmer (Makroporenbildung) und die gesteigerte Mikroorganismenaktivität (Aggregatstabilisierung) haben einen positiven Einfluss auf die Wasserinfiltration. Eine bedarfsgerechte Kalkung wirkt sich günstig auf Struktur und pH-Wert des Bodens aus und ermöglicht somit eine geringere Bodenbearbeitungsintensität im Rahmen der Fruchtfolge.

### Vorgehensweise

Die Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität kann auf unterschiedliche Art und Weise vorgenommen werden:

- Umstellung von Pflügen auf reduzierte bzw. konservierende Bodenbearbeitung (Mulch-/Direktsaat)
- Verringerung des Energieaufwandes der eingesetzten Maschinen/Geräte
- Verringerung der Feldüberfahrten
- langsamere Fahrgeschwindigkeit
- Austausch zapfwellenbetriebener Bodenbearbeitungsgeräte gegen gezogene Geräte

### Einschränkungen

Auf Tonböden ist eine leichte Bodenbearbeitung manchmal unvermeidbar, um im Sommer entstandene Bodenrisse zu schließen und Bodenverdichtung zu verhindern. Bei aufquellenden Tonböden kann der komplette Verzicht

auf die Bodenbearbeitung sogar zu einer schlechteren Infiltrationskapazität führen. Auf Äckern mit künstlich angelegten Drainagesystemen ist eine gewisse Bodenbearbeitung notwendig, um einen zu schnellen Abfluss des Wassers in die Drainage durch Makroporen und Schrumpfrisse zu verhindern. Bei der Direktsaat sind technische und wirtschaftliche Probleme (Zeit- und Kostenaufwand) zu berücksichtigen. Da die Art der Bodenbearbeitung viele Parameter beeinflusst, sind weitere Anpassungen im Verfahren der Pflanzenproduktion (z. B. Fruchtfolge) zu berücksichtigen.

#### Wirksamkeit

Viele Studien belegen, dass es eine gewisse Zeit dauert, bis sich Änderungen in der Bodenbearbeitung spürbar auf die Bewegung und Speicherung des Wassers im Boden auswirken. Unter Umständen sind bei Mulch- oder Direktsaat 3 bis 5 Jahre nötig, bis das Verfahren seine Vorteile für den Wasserhaushalt im Boden zur Geltung bringt. Eine angepasste Bodenbearbeitung ist immer dann günstig für die Eindämmung von Run-off/Erosion, wenn die Risiken hauptsächlich auf mangelhafte Bodenpflege (z. B. Oberflächenverschlammung) zurückzuführen sind. Durch angepasste Bodenbearbeitungsverfahren kann Run-off um rund 50 Prozent und Erosion bis zu 90 Prozent reduziert werden.

Bei reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren ist die Mineralisierung organisch gebundenen Stickstoffs meist geringer. Demzufolge ist das Risiko der Stickstoffverlagerung reduziert. Die geringere Bodenbearbeitung fördert die Artenvielfalt des Bodenlebens und erfordert weniger Schlepperleistung pro Hektar (spart Energie).



Tonboden mit Schrumpfrissbildung

## 2. Grobe Saatbettbereitung



#### Sachlage

Durch Studien wurde belegt, dass ein grobes Saatbett mit Schollen die Fließgeschwindigkeit des Run-off-Wassers deutlich verlangsamt und die Infiltration fördert, da die Schollen wie Barrieren wirken. Außerdem beugen sie der Regentropfenerosion vor, die vor allem bei schluffhaltigen Böden die Verkrustung/Verschlammung der Oberfläche verursacht und die Infiltration von Wasser behindert.

#### Vorgehensweise

Bei der Saatbettbereitung sollte die Bodenbearbeitung auf ein Minimum reduziert werden, um ein grobes Bodengefüge zu erhalten. Nach dem Drillen nicht mehr walzen!  
Durch die Grundbodenbearbeitung entstandene Kluten/

Brocken sollten nicht zu stark zerkleinert werden, insbesondere wenn bei der Saatbettbereitung zapfwellenbetriebene Geräte zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz solcher zapfwellenbetriebenen Geräte ist die Arbeitsdrehzahl möglichst gering zu halten, wobei der Schlepper möglichst schnell fahren sollte. Auf schluffigen Böden sind gezogene Bodenbearbeitungsgeräte zu bevorzugen, um ein feines Saatbett zu vermeiden.

#### Wirksamkeit

Die Unebenheit der Bodenoberfläche hat eine erhebliche Eindämmungswirkung, da der Wasserabfluss gebremst und die Infiltration gefördert wird.



Erdschollen bremsen Run-off

### 3. Vermeidung von Oberbodenverdichtung (Verschlammung, Verkrustung)



#### Sachlage

Böden mit hohem Schluffgehalt (> 30 Prozent) sind besonders anfällig für Oberflächenverschlammung und Verkrustung. Dies verringert die Infiltrationskapazität des Bodens und erhöht das Run-off-/Erosionsrisiko.



Verschlammung vermeiden

#### Vorgehensweise

Im Allgemeinen ist ein dauerhaft hoher Humusgehalt in der Ackerkrume förderlich für die Gefügebildung und wirkt der Verkrustung entgegen. Bei einer großen Menge Pflanzenrückstände auf der Erdoberfläche wird die Regentropfenerosion des Bodengefüges und damit die Krustenbildung vermindert. Auch durch eine reduzierte Bodenbearbeitung (Mulchsaat) und im Direktsaatverfahren lassen sich Bodenverkrustungen erheblich reduzieren. Wenn Verkrustung oder Oberflächenverschlammung im Feld erkennbar sind, sollte die Verdichtung mechanisch aufgebrochen werden.

Zum Aufbrechen der verschlammten Schicht sind Hackgeräte, leichte Grubber, Striegel oder leichte Eggen geeignet. Diese Maßnahme sollte umgesetzt werden:

- wenn der Boden ausreichend trocken ist
- mit Niederdruckreifen oder vermindertem Reifendruck
- in Wintergetreide stets im frühen Wachstumsstadium
- in Mais/Zuckerrüben (spätestens im 8- bis 10-Blatt-Stadium)
- Hacken Sie, sobald der Boden verschlammte ist

Die Stoppel sollte möglichst bald nach der Ernte bearbeitet werden. Bei langen Anbaupausen in der Fruchtfolge sollte der Acker mit einer Zwischenfrucht begrünt werden.

#### Wirksamkeit

Aufgrund der verbesserten Wasserinfiltration ist die Vermeidung von Oberbodenverdichtung eine wirksame Risikominderungsmaßnahme gegen Run-off und Erosion. Studien, die in Frankreich durchgeführt wurden (Epreville-en-Roumois, 27, von 2000 bis 2001, Chambre d'Agriculture de l'Eure), haben gezeigt, dass Run-off auf Feldern mit untergepflügter Stoppel 13-mal geringer war als ohne.

### 4. Vermeidung von Unterbodenverdichtung



#### Sachlage

Unterbodenverdichtung (z. B. Pflugsohlenbildung) kann für die Wasserinfiltration eine Barriere darstellen und die Ursache für Run-off sein (laterales Sickerwasser oder Run-off durch Wasserübersättigung). Bodenverdichtung ist am ehesten im Winter zu beobachten, wenn sich an bestimmten Stellen Wasser sammelt. Auch einige Zeigerpflanzen weisen auf verdichtete Bereiche hin (z. B. Plantago spp., Polygonum aviculare, Equisetum spp.). Zur Auswahl der effektivsten Risikominderungsmaßnahmen ist eine gründliche Diagnose notwendig.

#### Vorgehensweise

Bei zu feuchtem Boden sollte nicht geerntet oder gepflügt werden, besonders nach der Ernte späträumender Früchte wie Zuckerrübe, Mais usw.

Mit Niederdruckreifen oder Doppelbereifung lässt sich die Bodenverdichtung auf ein Minimum reduzieren. Unterbodenverdichtung kann mechanisch (z. B. mit dem Grubber) oder durch den Anbau von tiefwurzelnden Pflanzen gelockert werden (z. B. Raps, Ölerbisch, Ackerbohnen; hierbei sind Empfehlungen von ortskundigen Beratern einzuholen).

#### Wirksamkeit

Die Wirksamkeit ist abhängig von der Verbesserung der Infiltrationskapazität des Bodens.



Die Ernte auf zu feuchtem Boden kann zu Schadverdichtung führen

## 5. Planung/Ausrichtung der Fahrgassen



### Sachlage

Fahrgassen sind unbepflanzte Feldbereiche, die beim Spritzen und Düngen des Bestands von Schleppern und Geräten befahren werden. Fahrgassen richten sich nach der Arbeitsbreite der Maschinen/Geräte, um eine präzise Applikation von Pflanzenschutzmitteln und Dünger ohne Überlappung zu gewährleisten. Durch mehrmaliges Befahren der Fahrgassen innerhalb der Saison kann es zu Bodenverdichtung in den Fahrgassen kommen. Fahrgassen in der Falllinie wirken wie Kanäle für Run-off-Wasser und Bodenerosion. Dort, wo im Winter häufig beobachtet wird, dass sich Wasser in den Fahrgassen sammelt, sind Bodenverdichtungen und



damit eine begrenzte Infiltration zu vermuten. Bestrebungen, Fahrspuren über viele Jahre an denselben Stellen im Feld zu etablieren (Controlled Traffic Farming, CTF), können Vorteile bieten in Bezug auf Erleichterungen bei Anbau und Pflege von Kulturen. In einem Run-off-Risiko-Gebiet bilden derart verdichtete Spuren allerdings Kanäle für den Wasserabfluss und die Bodenerosion.

### Vorgehensweise

- Bei zu feuchtem Boden sollte auf Saatbettbereitung, Ernte- und Pflugarbeiten möglichst verzichtet werden (besonders nach späträumenden Früchten wie Zuckerrübe, Mais usw.).
- Möglichst mit niedrigem Reifendruck oder aber Doppelbeifahrung fahren.
- Die Fahrgassen sollten quer zum Hang verlaufen („Kanal-Effekt“ vermeiden). Erschwert wird dies, wenn das Feld unterschiedliche Hangrichtungen hat oder der Hang so steil ist, dass die Maschine sich überschlagen könnte.
- Bodenverdichtung in den Fahrgassen lässt sich mechanisch mit speziellen Anbaugeräten aufbrechen, um dann Begrünung oder kleine Erdbarrieren anzulegen, die den Wasserabfluss bremsen. Zusätzlich wird die Oberfläche der Fahrgasse aufgeraut, hierdurch verlangsamt sich der Wasserabfluss und die Wasserinfiltration wird gefördert.
- Die Ausrichtung der Fahrgasse sollte möglichst nach jeder Ernte geändert werden. Damit werden nachhaltige Bodenverdichtungen vermieden.

### Wirksamkeit

An Hängen und auf Feldern in Gewässernähe ist die sachgerechte Fahrgassenanlage eine effektive Risikominderungsmaßnahme gegen Run-off/Erosion.

## 6. Aufschüttung von Erdwällen im Feld (Konturwälle)



### Sachlage

Ein Erdwall ist ein flacher Damm im Feld, der das Wasser innerhalb der Schlaggrenzen hält, den Wasserabfluss verlangsamt und so die Wasserinfiltration begünstigt.

### Vorgehensweise

Erdwälle müssen so angelegt werden, dass sie das Run-off-Wasser aufhalten und ihm mehr Zeit zum Infiltrieren geben. Am besten funktionieren sie auf Äckern mit leichtem Gefälle, denn Menge und Druck des Wassers dürfen nicht zu groß sein, sonst brechen die Erdwälle.

- Erdwälle auf dem Feld sollten quer zum Gefälle verlaufen bzw. den Höhenlinien folgen.
- Erdwälle sollten zwischen Häufeldämmen (z.B. Kartoffeln) liegen.

Beim Reihenanbau von Früchten wie Kartoffeln haben sich Erdwälle zwischen den Pflanzreihen als sehr wirksam gegen Run-off erwiesen. Es gibt besondere Maschinen, mit denen solche Erdwälle beim Formen/Pflegen der Häufeldämme angelegt werden. Erdwälle sind von besonderer Wichtigkeit, wenn die Pflanzen den Boden noch nicht vollständig bedecken.

### Wirksamkeit

Erdwälle sind wirksame Maßnahmen bei leichtem Gefälle. Abstand und Höhe der Erdwälle müssen auf die zu erwartenden Wassermengen abgestimmt werden.



## 7. Höhenlinienparallele Bewirtschaftung



Die höhenlinienparallele Bewirtschaftung (auch Konturbearbeitung) ist in Nordamerika weiter verbreitet als in Europa. Ausschlaggebend für die seltene Anwendung dieses Verfahrens in Europa sind möglicherweise die geringeren Schlaggrößen, die eine Umsetzung generell erschweren. Bei der Konturbearbeitung erfolgt die Bewirtschaftung parallel zu den Höhenlinien auf dem Acker, um talwärts fließendes Wasser aufzuhalten. Durch die Bearbeitung entsteht eine unebene Oberfläche mit zahlreichen kleinen Erdwällen, die den Wasserabfluss bremsen und die Wasserinfiltration begünstigen. Mit Häufeldammformern lässt sich die Oberfläche sogar noch rauer gestalten. Eine Konturbearbeitung ist wirksam an eher gleichmäßigen Hängen mit einem leichten bis mittleren Gefälle von 2 bis 10 Prozent. Der Hang sollte mindestens 35 Meter und höchstens 120 Meter lang sein.

[http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_Documents/nrs143\\_026017.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_Documents/nrs143_026017.pdf)

### Sachlage/Vorgehensweise

Um den Höhenlinien bei der Bewirtschaftung folgen zu können, ist eine spezielle Technik erforderlich. Die Äcker müssen sorgfältig auf ihre Eignung für die Konturbearbeitung geprüft werden (Voraussetzungen sind eher gleichmäßige, nicht zu steile Hänge), und auch die richtige Technik muss vorhanden sein (z. B. GPS-Systeme).

### Wirksamkeit

Studien haben gezeigt, dass sich die Erosionsrate durch Konturbearbeitung gegenüber der Bewirtschaftung in Falllinie um 10 bis 50 Prozent reduzieren lässt. In Kombination mit weiteren Maßnahmen (z. B. konservierende Bodenbearbeitung) führte die Konturbearbeitung verglichen mit konventioneller Bewirtschaftung in Falllinie zu einer 95-prozentigen Erosionsminderung.

Eine extreme, aber auch sehr wirksame Art der Konturbearbeitung sind Terrassen, welche die Hangneigung auf dem Acker bzw. im Einzugsgebiet entschärfen. Der Wasserabfluss talwärts wird verlangsamt, und das Wasser sammelt sich auf den Terrassen. Eine solche Gestaltung des Einzugsgebiets für den Pflanzenanbau erfordert umfangreiche Investitionen.



## Anbaumethoden

Die richtige Wahl der Anbaumethode kann das Run-off- und Erosionsrisiko erheblich verringern. Bestimmte Pflanzen wirken sich positiv auf Struktur und Stabilität des Bodengefüges aus. Physikalisch-chemische Bodeneigenschaften können durch folgende Maßnahmen zur Reduktion von Run-off optimiert werden:

- Fruchtfolge mit geeigneten Fruchtfolgegliedern
- verbesserte Wasserinfiltration durch den Anbau von Tiefwurzlern (größere Bodendurchlässigkeit)
- Schutz der Ackerkrume vor Regentropfenerosion durch Begrünung/organisches Material

- kleinstrukturierte Nutzung großer Schläge, um die Hanglänge pro Kultur zu verringern. In diesem Fall funktionieren die einzelnen Kulturen als bepflanzte Pufferzonen, da sie den Oberflächenablauf bremsen und aufgrund besserer Infiltration den Run-off minimieren (Streifenanbau).
- Vielfältige Bewirtschaftung des Einzugsgebiets vermindert die Dominanz des Einsatzes von bestimmten PSM und reduziert somit indirekt die potenzielle Belastung von Gewässern. Einseitige Fruchtfolgen führen zu einem konzentrierten Einsatz von wenigen PSM-Wirkstoffen.

## 8. Optimierung der Fruchtfolge



Die Fruchtfolge ist die zeitliche Abfolge angebaute Nutzpflanzen innerhalb eines Feldes. Vorrangiges Ziel ist der langjährige Erhalt von Bodenfruchtbarkeit und Ertragsstärke. Eine vielgliedrige Fruchtfolge mit abwechselnden Winterungen und Sommerungen senkt den Schädlings- und Krankheitsdruck und ist ein Kernelement des integrierten Pflanzenschutzes (IPS). Besonders in Run-off-sensiblen Gebieten sollte die Fruchtfolge nicht nur beschränkt auf das einzelne Feld, sondern im gesamten Einzugsgebiet optimiert werden.

Zu einem großen Teil beeinflusst die Fruchtfolge auch den Humusgehalt des Bodens. Zuckerrübe, Kartoffel, Silomais und ähnliche Früchte gelten als humuszehrend, während beispielsweise strohreiche Getreidesorten, Raps, Körner-

mais, Zwischenfrüchte und organische Düngemittel humusmehrend wirken. Ein erhöhter Humusgehalt verbessert die Bodenstruktur, das Bodengefüge und fördert damit das Wasseraufnahmevermögen. Zudem fördert der Humus die mikrobiologische Aktivität im Boden und damit den Abbau und die Adsorption von PSM-Wirkstoffen.

Eine optimierte Fruchtfolge trägt direkt und indirekt zur Eindämmung von Run-off und Erosion bei.

### Sachlage

Die Optimierung der Fruchtfolge ist abhängig von Klima, Bodenbeschaffenheit und Dauer der Vegetationsperiode. Wirtschaftliche Aspekte oder eine zu geringe Arbeitskapazität können dazu führen, dass das nachhaltige/ackerbauliche

Optimum nicht erreicht wird. Die Optimierung des Humusmanagements sollte bei der Festlegung der Fruchtfolge im Mittelpunkt stehen, da Humus gleichzeitig gegen Run-off und Erosion wirkt. In einigen Ländern ist der Humuserhalt im Boden rechtlich vorgeschrieben. Mit der Fruchtfolge wird auch die Bedeckung des Bodens beeinflusst. Dies stellt ein wesentliches Element von Run-off-Minderungsmaßnahmen dar. Nicht alle Pflanzen sind in der Lage, den Boden in den kritischen Phasen vollständig zu bedecken. Daher sind Früchte mit dichtem Bestandsschluss vorzuziehen, die den Boden zu Zeiten erhöhten Run-off-Risikos schützen.

### Vorgehensweise

Voraussetzung für die Optimierung der Fruchtfolge ist eine gründliche Planung. Auf gefährdeten Flächen und in Risikophasen sollten Früchte mit dichtem Bestandsschluss angebaut werden, die nach der Ernte organische Rückstände auf der Oberfläche hinterlassen (z. B. Getreide, Raps). In gefährdeten Einzugsgebieten sollten sich die ansässigen Landwirte über ihre Fruchtfolgen absprechen. Es empfiehlt sich, eine Struktur bzw. Organisation aufzubauen, die eine für das Einzugsgebiet optimale Fruchtfolge unterstützen bzw. planen kann.

### Wirksamkeit

Früchte mit gutem Bestandsschluss bei Regenereignissen können Run-off und Erosion je nach Fruchtfolge um 50 bis 90 Prozent verringern. Die vielfältige Fruchtfolge ist besonders effektiv bei der Reduzierung von Run-off zusammen mit vegetativen Pufferstreifen entlang von Gewässern.



## 9. Streifenanbau (quer zum Hang)

Auf großen Schlägen dient der Streifenanbau als Mittel zur Schlagverkleinerung, indem auf einem Feld unterschiedliche Früchte angebaut werden. Drillsaaten wie Wintergetreide, Raps usw., die nach Reihenkulturen (z. B. Kartoffeln, Zuckerrüben oder Mais) stehen, begünstigen die Wasserinfiltration und erhöhen die Rückhaltefähigkeit von Bodenverlagerungen. Die bepflanzten Streifen wirken wie einjährig kultivierte Pufferstreifen im Feld und sollten möglichst den Höhenlinien des Ackers folgen.

Der Zwang zu Produktivitätserhöhungen hat auch in Europa zu einer Vergrößerung der Schlaggrößen geführt. Die beschriebenen Maßnahmen eignen sich eher für großstrukturierte Regionen mit hohem Run-off/Erosionsrisiko.

### Sachlage/Vorgehensweise

Große Schläge mit einer hohen Anfälligkeit gegenüber Run-off und Erosion sollten durch den Streifenanbau unterschiedlicher Feldfrüchte höhenlinienparallel unterteilt werden. Die dabei geltenden Voraussetzungen und Einschränkungen sind größtenteils vergleichbar mit der Konturbearbeitung.

## 10. Einjährige Zwischenfrüchte



Die Ansaat von Zwischenfrüchten nach der Ernte und vor der Aussaat der Hauptkultur ist eine effektive Maßnahme zur Bedeckung des Bodens und wirkt daher risikomindernd. Die Auswahl der Zwischenfrucht ist abhängig von der verfügbaren Vegetationsperiode, der Bodenbeschaffenheit, der Bodenfeuchte und den Anforderungen der Folgefrucht. Zwischenfrüchte vermindern die Erosivität von Niederschlägen und wirken humusmehrend, wodurch sich Aggregatstabilität und Erosionsfestigkeit erhöhen und der Boden weniger verdichtungsanfällig wird. Aufgrund der verbesserten Wasserinfiltration können Zwischenfrüchte die Menge des Run-off- und/oder Drainagewassers verringern. Weitere Vorteile: Zwischenfrüchte verhindern die Nährstoffausschwemmung, da die vorhandenen Pflanzen Stickstoff und Phosphate nutzen. Zusammen mit ihrem Berater sollte geklärt werden, welche Zwischenfrucht am besten in die Fruchtfolge und in das Umfeld passt.

Dabei sind auch etwaige Fördermöglichkeiten und Vorschriften zu berücksichtigen. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist in einigen Ländern in gefährdeten Bereichen vorgeschrieben und Bestandteil der von Umweltmaßnahmen der EU-Agrarpolitik.

### Sachlage

Die Auswahl der Zwischenfrucht wird bestimmt von der verfügbaren Vegetationsperiode, den Anforderungen an das Saatbett und den Ansprüchen der Folgefrucht.

- Je länger die Zwischenfrucht zwischen den Hauptkulturen stehen kann, desto größer ist ihre Wirkung. Entweder wird die Folgefrucht nach dem Absterben der Zwischenfrucht direkt eingesät, oder die Zwischenfrucht wird eingemulcht.
- Wenn die Folgefrucht hohe Anforderungen an das Saatbett stellt (z. B. feines Saatbett), sollte etwa eine abfrierende Zwischenfrucht mit kürzerer Vegetationszeit gewählt werden (z. B. Phacelia). In diesem Fall wirkt die Zwischenfrucht im Frühjahr hauptsächlich durch das bodenbedeckende organische Material (Mulchmaterial).

### Vorgehensweise

- Die Bedingungen bei der Aussaat der Zwischenfrucht sollten einen zügigen, dichten Feldaufgang ermöglichen.
- Nach Möglichkeit sollte quer zum Hang gesät werden.
- Bei der Aussaat können unterschiedliche Geräte und Verfahren angewendet werden, die an die Standortbedingungen und an die Anforderungen des Saatguts angepasst sind.
- Beim Anbauen der Zwischenfrucht gibt es mehrere Möglichkeiten, z. B. die Einsaat in die reife Hauptfrucht oder nach der Ernte in die Stoppel. Nach der Silomaisenernte besteht für Zwischenfrüchte keine ausreichende Entwicklungsmöglichkeit mehr. Als Alternative können Gräser oder Grünroggen als Untersaaten nach dem Auflauf im 4- bis 8-Blatt-Stadium im Mais ausgebracht werden.
- Bei Ansaat der Sommerung sollten die Pflanzenrückstände der Zwischenfrucht so weit wie möglich an der Bodenoberfläche verbleiben, damit der Boden geschützt bleibt.

### Wirksamkeit

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist davon abhängig, wie gut sich die Zwischenfrucht zum Zeitpunkt der kritischen Regenereignisse entwickelt hat. Eine gut entwickelte Zwischenfrucht ist in der Lage, Run-off und Erosion nahezu vollständig zu verhindern. Beispielsweise hat eine Studie in Frankreich (Fresquiennes 2004 – 2005, Chambre d'Agriculture 76, Frankreich) gezeigt, dass Senf als Zwischenfrucht die Erosion verglichen mit Brachland um den Faktor 25 reduzieren konnte (40 kg Bodenabtrag gegenüber 1.000 kg Bodenabtrag).

### Einschränkungen

- Mögliche störende Einflüsse der Zwischenfrucht auf die Folgefrucht:
- schlechter Bodenschluss bei der Ansaat der Folgefrucht durch Zwischenfruchtrückstände (langsamer, heterogener Feldaufgang)
  - langsamere Bodentrocknung und -erwärmung im Frühling (verzögerter Feldaufgang)
  - allelopathische Wirkung der Zwischenfruchtrückstände
  - mehr bodenbürtige Krankheitserreger, mehr Unkräuter
  - mehr Insekten, Schnecken, andere Schädlinge und Krankheiten

## 11. Bestellung mit doppelter Saatstärke



### Sachlage

Gewöhnlich ergibt sich die optimale Bestandsdichte anhand der Standortbedingungen. Wenn auf einem Schlag jedoch Run-off zu beobachten ist, kann ein Streifen mit höherer Pflanzendichte den Oberflächenablauf eindämmen, ohne dass ein permanenter Pufferstreifen angelegt werden muss.

Beispiel: Bei der Getreideaussaat sollte die Saatstärke im Talweg verdoppelt werden, um den konzentrierten Wasserabfluss einzudämmen und die Erosionsgefahr zu mindern.

### Vorgehensweise

Ein Streifen quer zum Hang oder in einem Talweg wird nach der normalen ersten Aussaat z. B. von Getreide ein weiteres Mal bestellt. Der doppelt bestellte Streifen wird ähnlich platziert wie ein bepflanzter Pufferstreifen im Feld.

## 12. Mehrjährige Zwischenfrüchte in Dauerkulturen



Mehrjährige Zwischenfrüchte können den Boden schützen, beschatten und durchlässiger machen. Dadurch wird der Wasserabfluss gebremst, die Wasserinfiltration gefördert und die Rückhaltefähigkeit für Bodenpartikel begünstigt. Hierdurch lassen sich Run-off und Erosion zuverlässig verringern. Mehrjährige Zwischenfrüchte werden meist zusammen mit der Anlage einer mehrjährigen Kultur angelegt und über die gesamte Lebensdauer der Dauerkultur (Weinbau, Obstbau, Zitrusbau usw.) gepflegt. Sie sollten nur in Gebieten mit ausreichend Wasserverfügbarkeit angebaut werden. In trockeneren Regionen können mehrjährige Zwischenfrüchte mit den Nutzpflanzen in Wasserkonkurrenz treten. In solchen Situationen muss die Art der Zwischenfrucht sorgfältig ausgewählt werden. Möglicherweise wird eine Umstellung auf eine einjährige Zwischenfrucht notwendig. Falls durch den Zwischenfruchtanbau Wassermangel für die Kulturpflanzen entsteht, ist der Boden mit organischem Material wie Stroh, Kompost usw. zu schützen. Bei Dauerkulturen in hängigen Gebieten ist die Gefahr des Run-offs und insbesondere der Erosion oft sehr groß (z. B. Weinbau).

### Sachlage

- Die ausgewählte Zwischenfrucht sollte gut in die Dauerkultur und in die Region passen. Die Auswahl ist nach der bei der Feld-/Einzugsgebiet-Diagnose ermittelten Risikoklasse zu treffen. Als grüne Zwischenfrucht können beispielsweise Grassorten oder Gras-Klee-Gemische verwendet werden. Die Zwischenfrucht ist so zu pflegen, dass sie den Boden möglichst vollständig bedeckt und jederzeit vor Run-off/Erosion schützt (möglichst hoher Widerstand gegenüber abfließendem Wasser). Falls Bodenbeschaffenheit und Feuchtigkeit die Aussaat einer mehrjährigen Zwischenfrucht nicht zulassen, sind alternative bzw. zusätzliche Maßnahmen zu empfehlen.
- Empfehlungen sind stets an die örtlichen Gegebenheiten anzupassen.

### Vorgehensweise

Mehrjährige Zwischenfrüchte werden zwischen den Pflanzreihen gesät. Durch Mähen oder andere Pflegemaßnahmen ist die Wachstumshöhe auf 10 bis 15 cm zu begrenzen.



Wenn die Zwischenfrucht den Boden nicht vollständig bedecken kann, sollte zusätzliches organisches Material auf dem Boden aufgebracht werden. Bei der Auswahl der Zwischenfrucht ist auch die Artenvielfalt zu berücksichtigen (z. B. zeigte Lolium spp. eine geringere Artenvielfalt (ARVALIS). Die Zwischenfrucht darf den erforderlichen PSM-Einsatz nicht durch eine kontinuierliche Blüte beeinträchtigen (Bienenschutz).

### Wirksamkeit

In Dauerkulturen mit leichtem Gefälle können Zwischenfrüchte den Run-off teilweise zu 100 Prozent verhindern. An steileren Hängen erreicht die Wirksamkeit oft nur 50 Prozent. In solchen Situationen sind zusätzliche Maßnahmen notwendig, um Run-off-/Erosionsrisiken einzudämmen. Wichtig ist, dass die Wuchshöhe der Zwischenfrucht unter 25 cm bleibt und die Stängel robust genug sind, um den Kräften des Wasserabflusses zu widerstehen.

## 13. Verbreiterung des Vorgewendes



Häufig erfolgt die Bewirtschaftung eines Ackers hauptsächlich in Falllinie, und manchmal lässt sich dies aus verschiedenen Gründen auch nicht ändern. Da das Vorgewende gewöhnlich quer zum Feldstück bestellt wird, dient es auch als bepflanzte Barriere für talwärts fließendes Wasser.

### Sachlage

Die Bestellung des Vorgewendes sollte quer zum Hang verlaufen. Bei Schlägen mit erhöhtem Run-off-Risiko sollte das Vorgewende verbreitert werden. Zur Verstärkung der Pufferwirkung kann die Saatstärke auf dem Vorgewende erhöht werden.

### Vorgehensweise

Breite und Saatstärke für das Vorgewende werden anhand des bei der Felddiagnose ermittelten Run-off-Risikos festgelegt. Das Vorgewende kann so weit verbreitert werden, bis die Hangneigung für einen sicheren Betrieb zu steil wird.

## Bewachsene Pufferstreifen

### Allgemeine Bedingungen

Bewachsene Pufferstreifen sind Infrastrukturmaßnahmen, die für die mehrjährige Nutzung in einem Einzugsgebiet eingerichtet werden. Puffer haben mehrere Funktionen:

- Infiltrationsbereiche für oberflächlichen Wasserabfluss zu schaffen
- oberflächlichen Wasserabfluss zu bremsen und weitere Bodenverlagerungen aufzuhalten
- Lebensraum zur Förderung der Artenvielfalt
- Sicherheitszone, in der keine PSM-Anwendung stattfindet

Puffer sind gut geeignet, die verlagerten Bodensedimente zurückzuhalten und die Menge an Run-off-Wasser, die das Gewässer erreichen kann, zu reduzieren. Bewachsene Pufferzonen haben vor allem das Ziel, Run-off von höherliegenden Anbauflächen abzufangen. Der Platzierung von Pufferstreifen innerhalb des Einzugsgebiets kommt deshalb eine entscheidende Bedeutung zu. Aufgrund der Komplexität und Veränderlichkeit der für die Effektivität einer Pufferzone ausschlaggebenden Faktoren können die optimale Lage und der Umfang der Pufferzone nur nach einer eingehenden Diagnose vorgeschlagen werden. Die allgemeinen Empfehlungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Weitere Informationen sind der CORPEN-Broschüre zu entnehmen ([www.TOPPS-life.org](http://www.TOPPS-life.org), in englischer Sprache).

In der Landschaft sind häufig Ableitungen (Gräben/Furchen) an den Feldrändern zu sehen, die Wasser aus dem Feld in tieferliegende Bereiche ableiten. Hiermit werden Run-off-Probleme lediglich von einem Feld aufs nächste oder direkt in ein Gewässer verlagert.

### a) Lage und Größe des Puffers

Pufferzonen variieren in ihrer Größe und in Abhängigkeit von ihrer Zielsetzung. Eigenschaften von Boden und Einzugsgebiet sowie der Wechselwirkung mit anderen Risikominierungsmaßnahmen. Die Lage der Pufferzone sollte das Strömungsregime des Oberflächenwassers im Einzugsgebiet berücksichtigen. Pufferzonen sollten vorzugsweise in der Nähe der Entstehung von Run-off eingerichtet werden (idealerweise bevor es überhaupt zu konzentriertem Run-off kommt). Run-off verläuft auf Feldebene zunächst diffus und konzentriert sich mit zunehmender Wassermenge in der Geländefalllinie bzw. in einem Talweg.

Die richtige Lage der Pufferzone im Einzugsgebiet ist für die effiziente Reduktion des Run-offs meist wichtiger als die Pufferbreite. Ein Puffer, der vorrangig abgetragene Bodenpartikel auffangen soll, kann kleiner dimensioniert sein als ein Puffer, der den Abfluss von Run-off-Wasser verhindern soll. Weiterhin sind andere Parameter wie Permeabilität, Wassersättigung, Hanglänge und die Run-off-Fläche in Betracht zu ziehen. Sobald der Boden wassergesättigt oder überflutet ist, haben grasbewachsene Pufferzonen allgemein eine geringe Wirkung, da das Run-off-Wasser nicht durch Infiltration zurückgehalten wird. Dies gilt besonders für Puffer entlang von Gewässern, die sättigungsanfälliger sind als Pufferzonen in Hangflächen.

Unterschiedliche Run-off-Szenarien erfordern unterschiedliche Puffersysteme:

- Grasbewachsene Puffer im Feld oder am Feldrand verhindern den Austrag von Run-off aus dem Feld.
- In Uferbereichen sollten unbedingt Grasfilterstreifen angelegt werden, damit das Run-off-Wasser von den Äckern nicht direkt ins Oberflächengewässer gelangt. Der Gewässerschutz durch Uferpuffer ist am wirksamsten im Oberlauf von Gewässern sowie in der Nähe von Wasserquellen (in Gebieten mit grundwasserführenden Kalkschichten).

- Die Anlage grasbewachsener Talwegpuffer kann notwendig sein, um die Infiltration konzentrierten Run-off-Wassers zu verbessern. Parallel zu Äckern verlaufende Straßen wirken häufig wie Kanäle, die konzentrierten Run-off aufnehmen und direkt in Oberflächenwasser ableiten. Die Anlage von Pufferstreifen entlang von Straßen kann die schnelle Ableitung von Run-off reduzieren/verhindern.
- Natürliche Infiltrationszonen (z. B. Trockentäler, Dolinen) in Karstgebieten sollten gleichermaßen vor Run-off geschützt werden wie Oberflächengewässer, da diese Bereiche eine direkte Verbindung zwischen der Erdoberfläche und dem Grundwasser darstellen können.

- 1: Puffer im Feld unterbricht die Hanglänge und vermeidet konzentrierten Run-off
  - 2: Pufferzone am Feldrand zum Schutz einer Straße
  - 3: Pufferzone am Feldrand in einer abschüssigen Ecke, in der sich Run-off konzentrieren kann
  - 4: Grasbewachsener Talweg zur Begrenzung des konzentrierten Wasserabflusses
  - 5: Große, grasbewachsene Pufferzone (Wiese), die den konzentrierten Wasserabfluss eines höhergelegenen Talwegs abfängt, verteilt und aufnimmt
  - 6: Uferpuffer, grasbewachsener Streifen zwischen Feldrand und Oberflächengewässer, der Run-off von höhergelegenen Feldern abfängt
- (Quelle: CORPEN/Irstea, geändert)





## Pflege und Unterhalt

Bewachsene Pufferstreifen können in unterschiedlicher Form angelegt werden:

- Puffer mit Grasbestand
- Hecke
- Kombination aus Hecke und Grasbewuchs
- Gehölz
- Wiese

**a)** In Pufferzonen mit Hecken/Bäumen ist die Wasserinfiltration aufgrund der intensiveren Durchwurzelung besser. Ein dichter Grasbewuchs hingegen ist günstiger zur Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit von Oberflächenwasser und für die Rückhaltefähigkeit von Bodenpartikeln. In Kombination wirken die Vorteile beider Vegetationstypen.

Positive Nebenwirkung: Ein dichter Bewuchs in der Pufferzone steigert auch den Abbau von PSM im Boden aufgrund der Humusmehrung und der dadurch bedingten erhöhten mikrobiellen Aktivität. Zur Wahl der Pflanzenarten für bewachsene Pufferstreifen können nur allgemeine Aussagen gemacht werden, da die Auswahl anhand der Standortanforderungen zu treffen ist. Außerdem ist die Wahl der Pflanzenart von etwaigen Zusatzfunktionen abhängig (z. B. wenn der Puffer als Bienenweide oder Lebensraum für bestimmte Pflanzen oder Tiere geschaffen werden soll).

## b) Wirksame Puffer erfordern Pflege

Die Oberfläche der bewachsenen Pufferzone sollte ausreichend rau sein, um durch Run-off ausgeschwemmte Bodenpartikel aufzufangen. Bei grasbewachsenen Puffern muss das Gras regelmäßig gemäht werden. Es sollte ca. 10 cm hoch, aber nicht höher als 25 cm sein, damit die Halme stets aufrecht stehen. Andernfalls kann der Grasbestand durch das Run-off-Wasser zu Boden gedrückt werden, womit der Puffer seine Wirkung verliert. Mindestens einmal im Jahr sollte gemäht werden, wobei die Brutzeiten der Vögel sowie die Blüte- und Samenzeit der Futterpflanzen zu berücksichtigen sind. Zum Schutz von Niederwild sollten die Mähgeräte mit Warnsystemen ausgerüstet sein.

Ferner ist es für die Wirksamkeit der Pufferzone wichtig, dass alle infiltrationsbegrenzenden Prozesse vermieden werden: Bodenverdichtung muss verhindert werden, indem das Befahren des Puffers auf das absolute Minimum beschränkt wird. Die Nutzung als Viehweide ist unter Umständen möglich, allerdings können auch große Tiere eine Bodenverdichtung bewirken. In diesem Kontext muss auch die Belastung des Oberflächenwassers durch zusätzliche Nährstoffe und pathogene Mikroorganismen durch Tierkot bedacht werden.

Zusätzlich kann die Infiltrationswirkung der Pufferzone durch Sedimentablagerungen gestört werden, wenn die Bodenporen verstopfen und es in der Pufferzone selbst zum konzentrierten Wasserabfluss kommt. Daher müssen abgelagerte Sedimente in der Pufferzone regelmäßig beseitigt oder (bei bewachsenen Puffern) verteilt werden. Die Bodenoberfläche kann hierbei durch leichte Bodenbearbeitung eingeebnet werden.

Pufferzonen sollten nur dann gedüngt oder mit PSM behandelt werden, wenn dies für den Anbau der gewünschten Pflanzen unerlässlich ist. Das gilt besonders für Uferpuffer, wo ein schneller Eintrag in das angrenzende Oberflächenwasser möglich ist.

## c) Wirksamkeit und Einschränkungen

Studien zeigen große Unterschiede in der Effektivität von grasbewachsenen Pufferzonen. Die Wirksamkeit wird durch zahlreiche physikalische, chemische und biologische Faktoren beeinflusst.

Uferpuffer sind effektive Risikominderungsmaßnahmen, die den Eintrag von PSM durch Run-off in Oberflächengewässer reduzieren. Die Wirksamkeit liegt zwischen 50 und knapp 100 Prozent, je nach Infiltrationskapazität des Puffers (Bodentextur und -struktur, Wassersättigung des Oberbodens, Rückhaltekapazität von Bodenpartikeln, Charakteristik der Regenereignisse und Pufferbreite).

3 wesentliche Faktoren für die Wirkungseinschränkung von Puffern:

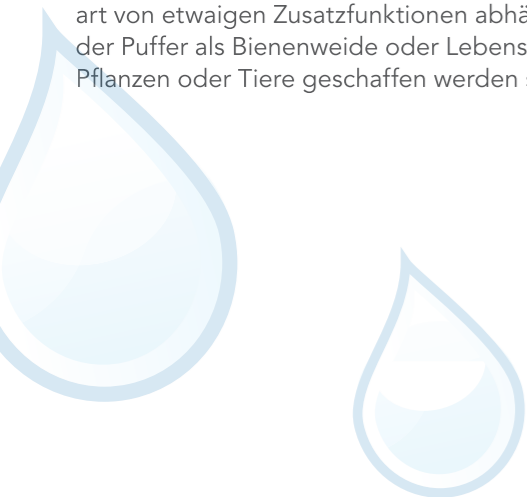
- **Wassersättigung:** Wenn der Boden in der Pufferzone wassergesättigt ist, wirkt sich dies trotz der positiven Auffangwirkung der Vegetation negativ auf die Infiltrationskapazität aus, die Pufferzone kann PSM im Run-off-Wasser nicht mehr ausreichend aufnehmen. Dieses Phänomen ist für Uferpuffer von besonderer Bedeutung, da diese unmittelbar an Oberflächengewässer angrenzen und eine hohe Wassersättigung aufweisen können.
- **Bodenverdichtung:** Wenn der Boden in der Pufferzone durch häufiges Befahren oder Viehdurchgang verdichtet wird, verringert sich die Wasserinfiltrationskapazität des Bodens, wodurch sich auch die Run-off-Infiltration verschlechtert.
- **Sedimentablagerungen** in der grasbewachsenen Zone können bei aufeinanderfolgenden Regenereignissen zu Pufferstörungen führen, da sich die Bodenporen zusetzen und es zu einem konzentrierten Ablauf kommt.

## d) Weitere positive Wirkungen

Bewachsene Pufferzonen haben viele zusätzliche Funktionen im Einzugsgebiet:

- Rückgang der Erosion im Einzugsgebiet, dadurch weniger Sedimentbelastung in Fließgewässern. Geringerer Nährstoffeintrag (Phosphor, Stickstoff) in Oberflächengewässer, der zur Gewässereutrophierung führt.
- neue Lebensräume für seltene Tier- und Pflanzenarten; größere Artenvielfalt in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten
- bessere Vernetzung der Ökosysteme in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten durch Lebensraum- und Bewegungskorridore für die vorhandenen Tierarten
- Begünstigung der Heterogenität/Artenvielfalt im Einzugsgebiet, höhere Attraktivität für Touristen

Die folgenden Kapitel befassen sich mit der Platzierung, Größenbemessung und Kombination unterschiedlicher Pufferzonen. Alle Pufferarten wirken in ähnlicher Weise.



## 14. Anlage und Pflege von Puffersystemen im Feld



### Sachlage

Puffersysteme im Feld können hochwirksam sein, da sie Run-off-Wasser aus höhergelegenen Flächen infiltrieren, solange die ablaufende Wassermenge noch relativ gering ist. Im Vergleich zu Uferpuffern, die rasch gesättigt sind und deren Wirkung durch konzentrierten Ablauf vermindert sein kann, haben Puffersysteme im Feld eine potenziell höhere Infiltrationskapazität und können diffusen Run-off bei seiner Entstehung besser aufhalten. Derartige Puffer werden meist dauerhaft mit Grasbewuchs oder in Form einer Hecke angelegt.



### Vorgehensweise

Lage und Größe der Puffer sollten nach der individuellen Felddiagnose und unter Berücksichtigung des Risikominderungsziels festgelegt werden. Puffersysteme im Feld sollten nach Möglichkeit den Höhenlinien des Ackers folgen und dort angelegt werden, wo sich noch kein konzentrierter Abfluss bildet (eher gleichmäßige Hänge/keine Talwege). Durch den Puffer führende „Ablaufkanäle“ (z. B. Fahrgassen oder Fahrspuren) sind zu vermeiden. Puffersysteme im Feld können je nach angestrebter Zusatzwirkung mit Grasbewuchs oder als Hecke ausgeführt werden (eine Hecke bietet zusätzlich Schutz vor Winderosion und fördert die Artenvielfalt).

Die angepflanzten Arten sollten:

- Teil der natürlichen Vegetation sein
- an die Standortbedingungen angepasst sein (z. B. regelmäßige Trockenperioden oder Überflutungen ertragen)
- steifes Blattwerk/eine steife Struktur aufweisen, die unter dem Wasserstrom nicht nachgeben und die Fließgeschwindigkeit des Run-off-Wassers bremsen
- einen dichten Bewuchs in der Pufferzone ausbilden

### Wirksamkeit und Einschränkungen

Puffersysteme im Feld können den Zeitaufwand bei der Feldbewirtschaftung erhöhen, wenn der Schlag in Falllinie bewirtschaftet wird. Puffersysteme im Feld sind ein effektives Mittel zum Abfangen von Run-off. Ist die Pufferzone jedoch konzentriertem Run-off ausgesetzt, so wird sie meist innerhalb kurzer Zeit durchbrochen. Daher hat die Vermeidung konzentrierten Run-offs innerhalb des Felds höchste Priorität (durch eine sachgerechte Fahrgassenanlage, Konturbearbeitung usw.). Wenn konzentrierter Run-off zeitweilig unvermeidbar ist, kann eine tiefe Furche zwischen dem Feldbereich und der Pufferzone den konzentrierten Run-off verteilen und die Infiltrationsleistung erhöhen.

## 15. Anlage und Pflege von Puffersystemen am Feldrand



Puffersysteme am Feldrand befinden sich in der Regel am Hangfuß eines Felds und bilden häufig die Grenze zu angrenzenden Schlägen oder zu einer Straße. Der Puffer soll Run-off-Wasser aufnehmen und Sedimente abfangen, bevor das Run-off-Wasser die Straße oder einen tiefergelegenen Acker erreicht.

### Sachlage

Puffersysteme am Feldrand nehmen Run-off-Wasser aus höhergelegenen Flächen auf, solange die ablaufende Wassermenge noch relativ gering ist. Im Vergleich zu Uferpuffern, die rasch gesättigt oder von konzentriertem Ablauf betroffen sind, haben Puffersysteme am Feldrand eine potenziell höhere Infiltrationskapazität und können Run-off bei seiner Entstehung besser aufhalten. Ein solcher Puffer wird typisch als dauerhafter Puffer mit Grasbewuchs oder in Form einer Hecke angelegt.

### Vorgehensweise

Lage und Größe der grasbewachsenen Puffer sollten nach der individuellen Felddiagnose und unter Berücksichtigung des Risikominderungsziels festgelegt werden. Durch den Puffer führende Wassersammelwege (z. B. Fahrgassen oder Fahrspuren) sind zu vermeiden. Puffersysteme am Feldrand können je nach angestrebter Zusatzwirkung mit Grasbewuchs oder als Hecke ausgeführt werden (eine Hecke bietet zusätzlich Schutz vor Winderosion und fördert die Artenvielfalt).

Die angepflanzten Arten sollten:

- Teil der natürlichen Vegetation sein
- an die Standortbedingungen angepasst sein (z. B. regelmäßige Trockenperioden oder Überflutungen)
- steifes Blattwerk aufweisen, das unter dem Wasserstrom nicht nachgibt und die Fließgeschwindigkeit des Run-off-Wassers bremst
- einen dichten Bewuchs in der Pufferzone ausbilden
- wenn sich Sedimente in der Pufferzone sammeln, sollten diese in der gesamten Pufferzone verteilt oder abgetragen und auf einem höhergelegenen Feld verteilt werden.

### Wirksamkeit und Einschränkungen

Puffersysteme am Feldrand sind ein effektives Mittel zum Abfangen von Run-off. Ist die Pufferzone jedoch konzentriertem Run-off ausgesetzt, so wird sie meist innerhalb kurzer Zeit durchbrochen. Daher hat die Vermeidung konzentrierten Run-offs innerhalb des Felds höchste Priorität (z. B. durch eine sachgerechte Fahrgassenanlage, Konturbearbeitung usw.). Wenn zeitweiliger konzentrierter Run-off unvermeidbar ist, sollten Maßnahmen zur Verteilung des Ablaufs oder Maßnahmen auf höher gelegenen Feldern ergriffen werden. (z. B. Furchen).





Uferpufferstreifen sind Pufferzonen mit kontrollierter oder unkontrollierter Vegetation, die entlang von Gewässeruferrn oder Gräben verlaufen. Diese Puffer sollen Run-off auf ähnliche Weise verhindern wie die oben beschriebenen Pufferzonen: Sie fördern die Wasserinfiltration und halten durch den mechanischen Widerstand von Pflanzen Bodenpartikel zurück.

Zusätzlich verhindern Uferpufferstreifen den Eintrag windbürtiger Substanzen (z. B. Abdrift von PSM oder Stäube) in das Oberflächengewässer. Diese Wirkung lässt sich durch eine Bepflanzung mit Hecken oder Gehölzen (Büsche, Bäume) verstärken.

Uferpufferzonen sind in einigen EU-Mitgliedsstaaten gesetzlich reguliert. Die vorgeschriebene Breite des Uferpuffers ist, ähnlich wie die gesetzlichen Grundlagen dafür, von Land zu Land sehr verschieden. Uferpuffer können zusätzliche Vorteile für die Umwelt bewirken:

- a) Befestigung von Uferböschungen
- b) Verbesserung der ökologischen Voraussetzungen in Fließgewässern (Futterquelle, Gewässerbeschattung)
- c) Vergrößerung der Artenvielfalt durch Vernetzung der Ökosysteme im Einzugsgebiet
- d) Verringerung des Eintrags von Sedimenten, Nährstoffen oder Schadstoffen in Gewässer

Studien belegen, dass der Großteil des oberflächlichen, in Flüsse mündenden Run-off-Wassers aus kleineren Fließgewässern des Einzugsgebiets stammt. Diese Fließgewässer haben die Flussordnungszahl 1 oder 2 nach Strahler, siehe Abb. 12. Hier hat ein Schutz durch Uferpuffer höchste Priorität. Bei Gewässern höherer Flussordnungszahl wirkt sich der Schutz durch Uferpuffer nur begrenzt auf die Gesamtqualität des Fließgewässers aus, kann für das Erreichen weiterer Schutzziele aber von Bedeutung sein (siehe oben).

### Sachlage

Zunächst müssen alle Schutzziele des geplanten Uferpuffers festgelegt werden. Anhand einer Beurteilung des Run-off-Risikos auf Einzugsgebiet- und Feldebene muss ermittelt werden, ab welcher Mindestbreite die Pufferzone den Run-off-Eintrag in Oberflächengewässer verhindert. Falls sich die ermittelte Mindestbreite als nicht umsetzbar erweist, ist eine Kombination mit weiteren Puffern oder Maßnahmen zu erwägen, um eine ausreichende Verminderung der Run-off-Einträge zu erreichen. Die Bepflanzung des Pufferstreifens ist an die angestrebten Schutzziele anzupassen: einjährige, mehrjährige oder Mischvegetation (Gras, Büsche, Hecken oder Bäume).

### Vorgehensweise

Kleinere permanente oder temporäre Gräben/Fließgewässer sind oft nur durch grasbewachsene Pufferstreifen geschützt, während bei größeren Fließgewässern/Flüssen die Gesamtheit der Schutzziele eher mit einer Gehölzbe-pflanzung erreicht wird.

Lage und Größe der grasbewachsenen Puffer sollten nach der individuellen Felddiagnose und unter Berücksichtigung des Risikominderungsziels festgelegt werden. Durch den Puffer führende Sammelwege für Wasser (z. B. Fahrgassen oder Fahrspuren) sind zu vermeiden.

Die angepflanzten Arten sollten:

- der natürlichen Vegetation entsprechen (nicht invasiv)
- an die Standortbedingungen angepasst sein (z. B. regelmäßige Überschwemmungen)
- steifes Blattwerk aufweisen, das unter dem Wasserstrom nicht nachgibt und die Fließgeschwindigkeit des Run-off-Wassers bremst
- einen dichten Bewuchs in der Pufferzone ausbilden

Zu vermeiden bei Uferpuffern sind:

- Düngung
- Behandlung mit PSM
- Befahren mit schweren Maschinen

Wenn sich Sedimente in der Pufferzone sammeln, sollten diese in der gesamten Pufferzone verteilt oder abgetragen und auf höherliegenden Flächen verteilt werden (z. B. mit Eggen oder ähnlichen Geräten).

### Wirksamkeit und Einschränkungen

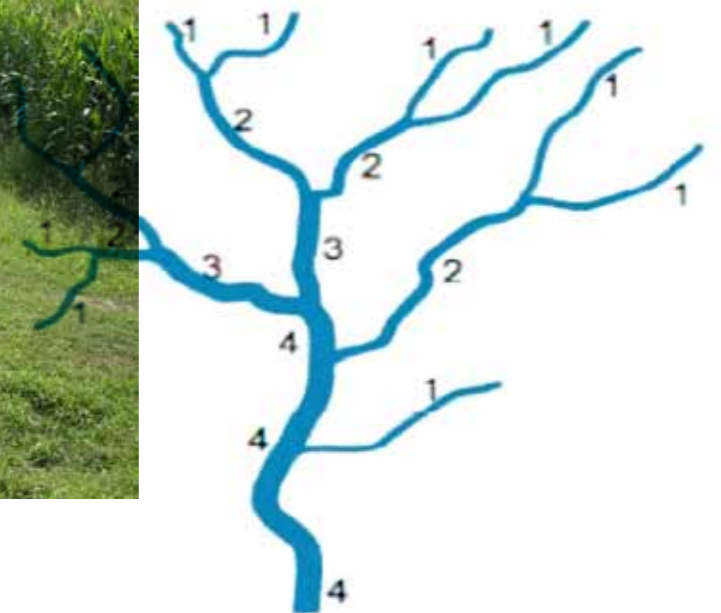
Bei Uferpuffern werden die Bodenverhältnisse häufig durch den Wasserstand des angrenzenden Grabens/Fließgewässers beeinflusst. Uferpuffer sind häufig wassergesättigt und stellen dann kein effizientes Mittel zur Eindämmung von Run-off dar. Auf den höhergelegenen Feldern sollten daher zusätzliche Puffersysteme angelegt/erwogen werden.

Um die Wirksamkeit eines Uferpuffers bewerten zu können, ist eine eingehende Diagnose nötig. Uferpuffer sind die letzte Bastion gegen Run-off und windbürtige Schadstoffe. Wenn der Schutz eines Oberflächengewässers Priorität hat, sollte immer ein Uferpuffer mit einer Mindestbreite von z. B. 3 Metern angelegt werden.

Uferpufferstreifen mit Grasbewuchs



Flussordnung nach Strahler in einem Wassereinzugsgebiet (1 = kleines Fließgewässer, 2 = nächstgrößeres Fließgewässer usw.)



## 17. Anlage und Pflege von Talwegpuffern



### Sachlage

Zunächst muss per Diagnose ermittelt werden, wie hoch das Risiko in der jeweiligen Situation ist. Ein Talweg ist eine lineare Vertiefung zwischen 2 angrenzenden Hängen innerhalb eines Einzugsgebietes (Trockental, Bodensenke). In Talwegen kann sich bei Regenereignissen das von den Hängen ablaufende Wasser sammeln, wobei sich innerhalb des Einzugsgebietes ein konzentrierter Wasserstrom bildet. In Talwegen findet man häufig starke Rinnen- und Grabenerosion. Ein effizientes Mittel zur Eindämmung von Run-off/Erosion ist die Bepflanzung des Talwegs mit einer Grasdecke; in Situationen mit einem hohen Risiko sollten zusätzlich zu einem Graspufferstreifen auch Hecken gepflanzt werden, um die Wirkung des Puffers zu steigern.



Talweg auf einem Feld

### Vorgehensweise

Lage und Größe des Puffers sind abhängig von der Felddiagnose. Dabei sind die Wahl der geeigneten Pufferpflanzen, die Bepflanzungsdichte und die Pflegebedürftigkeit zu berücksichtigen.

Großflächige Talwegpuffer (z. B. Wiesen) sind nötig, wenn ein hohes Run-off-/Erosionsrisiko besteht und der Talweg klimabedingt mit großen Mengen Run-off-Wasser aus den höhergelegenen Flächen belastet wird. Derartige Puffer oder Wiesen, die sich über den gesamten Talweg erstrecken, verteilen das konzentrierte Run-off-Wasser und bieten günstige Bedingungen für die Infiltration großer Wassermengen. Durch die Bepflanzung dieser Talwegbegrünung mit Hecken lässt sich die Infiltrationskapazität steigern.

### Einschränkungen

Durch Talwegpuffer entstehen neue Feldgrenzen, wobei die resultierende Schlagform für die maschinelle Bearbeitung nicht immer ideal ist. Demnach kann sich der Zeitaufwand für die Bewirtschaftung vergrößern.

## 18. Anlage und Pflege von Hecken



Parallel zu Gewässern verlaufende oder im Oberlauf des Einzugsgebietes angelegte Hecken bieten zahlreiche Umweltvorteile: Sie sind ein wirksamer Windschutz, begünstigen das Mikroklima, befestigen die Uferböschungen und bieten erweiterte Lebensräume für Tiere und Pflanzen. Darüber hinaus erfüllen Hecken eine wichtige Funktion für den Ackerbau. Denn sie nehmen Run-off-Wasser von den Feldern auf, halten erodierten Boden zurück (verringern damit den Austrag von Nährstoffen und PSM) und fangen windbürtige Schadstoffe ab (z. B. Abdrift von PSM, winderodierte Bodenpartikel). Hecken sind häufig mit regionalen/staatlichen Umweltschutzmaßnahmen vereinbar (siehe Abbildung) und daher unter Umständen separat förderungsfähig.



Puffer mit einer mehrjährigen Bepflanzung mit Gehölzen, Bäumen entwickeln ein tieferes Wurzelsystem als Puffer mit reinem Grasbewuchs und haben daher eine höhere Infiltrationskapazität. Aus diesem Grund können sie Run-off und Erosion allgemein recht gut eindämmen, eignen sich zur Reduktion von diffusem Run-off allerdings besser als für konzentrierten Run-off. Heckenpuffer sind vor allem auf höhergelegenen Flächen eines Einzugsgebietes, im Vergleich zu

Puffern, die sich direkt am Gewässer befinden, wirksam. In Gegenden mit komplexen Boden- oder Einzugsgebietsstrukturen, insbesondere auf Sand- und Schluffböden mit hoher Abtragsneigung, sind diese Maßnahmen sehr wirksam.

### Sachlage

Die Anlage von Hecken erfolgt nach einer sorgfältigen Analyse der Standortbedingungen sowie unter Berücksichtigung der vorrangigen Schutzziele. Bei dieser Analyse werden die Wahl der Strauch- und Grasarten sowie die nötige Fläche/Breite der Pufferzone festgelegt, die sich wiederum auf die Pflegebedürftigkeit auswirken. Die abdriftmindernde Wirkung von Hecken ist stark abhängig von Pflanzenart, Bepflanzungsdichte, Bepflanzungsdichte/Laubwand und Wuchstyp.

Die Hecken sollten entlang der Höhenlinien des Einzugsgebietes auf schmalen Grasstreifen (mindestens 3 Meter) angelegt werden, denn so können sie Run-off besser eindämmen als Hecken ohne Grasunterbewuchs. Die Hecke wird nicht zu einer Seite, sondern mittig auf dem Grasstreifen gepflanzt. Der Pflanzenabstand in der Hecke muss ausreichend gering sein, um das Wasser halten und eine Windschutzwirkung aufbauen zu können (0,5 bis 1 Meter Abstand zwischen den Holzgewächsen).

Bei der Wahl der Pflanzenart sollte die Futtermittelversorgung des vorhandenen Niederwilds berücksichtigt werden (Äcker bieten nicht ganzjährig Nahrung), ebenso dürfen die ausgewählten Pflanzen nicht die Wachstumsbedingungen für die Feldkulturen beeinträchtigen (z. B. Wirtspflanzen für Krankheiten/Schädlinge).

### Vorgehensweise

Eine gute Bodengare ist Voraussetzung, damit die gewählte Pflanzenart ihr Wurzelwerk voll ausbilden kann. Es sollten unterschiedliche Arten gepflanzt werden, um die Hecke insgesamt widerstandsfähiger zu machen. Konkurrenz zwischen den Feldfrüchten oder den unterschiedlichen Heckensorten ist zu vermeiden. Im Interesse einer überlebensfähigen, belastbaren Hecke sind regionale, robuste Busch- oder

Baumgewächse zu wählen. Der Unkrautdruck ist während der Etablierungsphase zu regulieren, und unter Umständen müssen die Jungpflanzen auch vor Wildtieren geschützt werden (z. B. durch Umzäunung).

Größe: Die Hecke sollte in 2 – 3 zueinander versetzten Reihen mit einer Breite von 50 cm bis 1 m angelegt werden. Ein enger Stand ist zu bevorzugen, wobei die Wuchsform und das Austriebsvermögen für den Lückenschluss der jeweiligen Arten ausschlaggebend sind. Angestrebt wird eine Dichte von 40 Sprossen/Stängeln pro Quadratmeter nach 10 Jahren.

Als Pflegemaßnahme ist die Hecke regelmäßig zu kürzen. Besonders in den ersten Jahren müssen Bäume und Büsche stark zurückgeschnitten werden. Nach einigen Jahren sind

vorrangig die Bestockung sowie Breite und Form der Hecke zu regulieren. Im Allgemeinen sollte die Hecke zur Erhaltung der Artenvielfalt in Pyramidenform (A-Form) geschnitten werden.

#### Einschränkungen

Die Anlage von Hecken und die Verkleinerung der Schlaggröße erhöhen den Zeitaufwand bei Feldarbeiten und können bei Landwirten in großstrukturierten Regionen auf Widerstand stoßen. In den meisten Betrieben müsste die Heckenpflanzung auf mehrere Jahre verteilt werden, um den Betriebsablauf nicht zu stören und die betriebliche Arbeitskapazität nicht zu überfordern. Hecken sind sehr pflegebedürftig.



### 19. Pflege von Gehölzen

Gehölze sind gut geeignet, um Run-off-Wasser vom Acker aufzunehmen, erodierte Bodenpartikel zurückzuhalten (wodurch sich der Austrag von Nährstoffen und PSM verringert) und windbürtige Schadstoffe wie z. B. Abdrift von PSM, winderodierte Bodenpartikel abzufangen. Ähnlich wie Hecken bringen auch Gehölze in landwirtschaftlichen Einzugsgebieten einen zusätzlichen Nutzen für die Umwelt: Sie sind ein wirksamer Windschutz, begünstigen das Mikroklima, befestigen die Uferböschungen und bieten Habitate für die Wildtierpopulation.

Aufgrund ihrer Breite von über 10 Metern sind Gehölze meist gut zur Eindämmung von Run-off geeignet und begünstigen die Infiltrationskapazität des Bodens, der mehr Wasser aufnimmt als beim Anbau von Nutzpflanzen. Die Anlage eines Gehölzstreifens erfordert erhebliche finanzielle Mittel und verursacht dauerhafte Pflegekosten, die sich bei der Holzernte nur teilweise amortisieren.



#### Sachlage

Bei Gehölzen handelt es sich entweder um natürliche Gehölzstrukturen, die im Einzugsgebiet als Puffer dienen, oder um speziell angelegte Gehölze, die eine ökologische oder wirtschaftliche Bedeutung für das Einzugsgebiet haben. Wenn das Gehölz im Einzugsgebiet mehrere Funktionen übernehmen soll und gemäß den verschiedenen Agrarumweltprogrammen förderungsfähig ist, ist eine Zusammenarbeit mit ortskundigen Beratern unbedingt zu empfehlen. Die Auswahl der Baumarten ist abhängig vom übergeordneten Nutzungsziel des Gehölzes (Artenvielfalt, Anbau von Qualitätsholz, Anbau von qualitätsarmem Holz mit geringen Investitionskosten usw.).

#### Vorgehensweise

Im Idealfall wird das Gehölz an einem steilen Hang oder in Hangfußbereichen des Einzugsgebiets angrenzend an Fließgewässer angelegt. Wassersammelwege in Form von Wegen oder Straßen, die talwärts durch das Gehölz führen, sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

Bei der örtlichen/regionalen Forstberatung können Informationen zur sachgerechten Anlage und Pflege von Gehölzen eingeholt werden, um neben der Eindämmung des Oberflächenabflus im Einzugsgebiet noch weitere Vorteile zu erzielen.



### 20. Pflege von Feldzufahrten

#### Sachlage

Feldzufahrten weisen durch häufiges Befahren Bodenverdichtungen auf. Diese Flächen sind oft Ausgangspunkt von konzentriertem Run-off. Feldzufahrten in Hanglage müssen daher sorgfältig gepflegt werden, damit kein konzentrierter Run-off entstehen kann. Dort, wo die Räder der Maschinen den Boden verdichten, sollte durch eine Schicht Grobkies der Bodenverdichtung vorgebeugt werden. Im Anschluss ist die Feldzufahrt mit einer robusten Grassorte zu begrünen.

#### Vorgehensweise

Die direkt sichtbaren Spuren der Feldzufahrt können mit Kies oder Steinen befestigt werden. Zusätzlich ist eine robuste Grassorte auszusäen, die sich durch eine tiefe Durchwurzelung auszeichnet, Bodenpartikel zurückhält und mechanisch belastbar ist. Fahrspuren im Zufahrtsbereich sind zu vermeiden, da diese als Kanäle für die Ableitung von Run-off-Wasser vom Feld dienen können.

## Rückhalte- und Verteilungssysteme

Rückhalte- und Verteilungssysteme im Einzugsgebiet sollen sicherstellen, dass Run-off-Wasser einige Zeit im Einzugsgebiet verbleiben kann. Diese Systeme sind zu bedenken, wenn Maßnahmen, die im Feld durchgeführt werden können, nicht ausreichend wirksam sind.

Die Kosten für den Bau solcher Rückhaltesysteme sollten stets gegen die Kosten für die Umstellung der bisherigen Landnutzung zugunsten einer Run-off-Eindämmung an der Quelle abgeglichen werden.



### 21. Anlage oder Pflege bepflanzter Gräben

Bepflanzte Gräben dienen innerhalb des Einzugsgebiets als Rückhaltesysteme, die Run-off-Wasser und Sedimente sowie den Abfluss aus Drainagen zeitweise zurückhalten. Bepflanzte Gräben führen normalerweise nicht ganzjährig Wasser, sondern werden nur bei Oberflächenablauf (oder durch Drainagewasser) geflutet. In erster Linie sollen sie Run-off- oder Drainagewasser auffangen, verdunsten und infiltrieren sowie erodierte Feststoffe zurückhalten. Meist sind bepflanzte Gräben als Wasserrückhaltesystem die beste Lösung (z. B. parallel zu Straßen oder zwischen 2 Feldgrenzen). Da sie in erster Linie das Wasser im Einzugsgebiet zurückhalten sollen, dürfen die Gräben nur kontrolliert an Oberflächengewässer angeschlossen sein.

#### Sachlage

Die Anlage bepflanzter Gräben erfolgt normalerweise nach einer eingehenden Diagnose der Run-off-Risiken und der Festlegung einer geeigneten Lage innerhalb des Einzugsgebiets. In einigen Fällen ist eine regelmäßige Beseitigung abgelagerter Bodensedimente notwendig, da die akkumulierten Ablagerungen andernfalls die Infiltrationskapazität des Grabens beeinträchtigen. Die Gräben sollten so bepflanzt sein, dass die Böschungen stabilisiert und der Wasserabfluss gebremst wird.

#### Vorgehensweise

Bepflanzte Gräben sollten ausreichend groß sein, um mindestens das Run-off-Wasser und die erodierten Sedimente

eines für den Standort typischen Run-off-Ereignisses aufzufangen. Sie fördern den Abbau von PSM, die Ablagerung erodierter Bodenpartikel und halten Nährstoffe zurück. Wenn alljährlich ein starker Eintrag von Sedimenten stattfindet, müssen die Sedimente regelmäßig beseitigt werden, um die Wasseraufnahmekapazität zu erhalten.

#### Allgemein ist zu beachten:

- Der bepflanzte Graben sollte an den kritischen Stellen im Einzugsgebiet angelegt werden, wo Run-off an der Quelle nur schwer einzudämmen ist, aber zurückgehalten werden muss, bevor er auf das angrenzende Feld, auf eine Straße oder in das nächstgelegene Oberflächengewässer gelangt.
- Der Austausch zwischen bepflanzten Gräben und Grundwasser ist dadurch zu begrenzen, dass Böschungen und Sohle des Grabens mit Oberboden, möglichst von lehmiger bis toniger Textur (reich an organischem Kohlenstoff), bedeckt werden.
- Die Größe des Grabens ist an den erwarteten Run-off anzupassen:
  - Die Aufnahmekapazität sollte die typische Run-off-Menge aus dem Einzugsgebiet aufnehmen (mindestens 2 bis 3 mm Run-off-Wasser)
  - Tiefe zwischen 0,5 bis 1 Meter mit nicht zu steilen Böschungen, um Kleintieren die Flucht zu ermöglichen.
  - Breite/Länge abhängig von der verfügbaren Fläche und von der erforderlichen Aufnahmekapazität (s. o.)

- Für die Bepflanzung sollte auf heimische Arten zurückgegriffen werden, die für unregelmäßige Überflutungen geeignet sind
- Wenn akkumulierte Sedimente die Rückhaltekapazität um mehr als 20 Prozent verringern, müssen die Sedimente aus dem Graben entfernt werden

#### Wirksamkeit

Bepflanzte Gräben sind eine besondere Form künstlicher Feuchtgebiete (von eher kurzlebiger Natur). Studien haben gezeigt, dass bepflanzte Feuchtgebiete als Pufferzone den Abbau von PSM in Run-off-Wasser fördern können. Die Retentionsleistung variiert, da sie von dem vollständig zurückgehaltenen Wasseranteil pro Run-off-Ereignis abhängt.

Vorrangig hydrophobe Pestizide werden in Feuchtgebieten besser zurückgehalten, da der Eintrag in aquatische Öko-

systeme hauptsächlich über erodierte Bodenpartikel erfolgt und diese sich in feuchten Pufferzonen relativ gut ablagern.

#### Einschränkungen

Bepflanzte Gräben sind anthropogene, infrastrukturelle Anlagen, die Run-off-Wasser zurückhalten und damit Sedimente, Nährstoffe und PSM im Einzugsgebiet festhalten. Daher ist im Vorfeld mit den örtlichen Umweltbehörden zu klären, welche Vorschriften zum Schutz von Ökosystemen oder Habitaten die Funktion des Rückhaltesystems beeinträchtigen könnten. Vor dem Bau muss auch geklärt werden, ob der ursprüngliche Zweck des Rückhaltesystems auch bei einem Eindringen gefährdeter Arten erhalten bleibt, da ja ein System zum umfassenden Gewässerschutz, nicht aber ein Naturschutzgebiet, geschaffen werden soll.



### 22. Anlage oder Pflege von Rückhaltebecken/künstlichen Feuchtgebieten

Innerhalb des Einzugsgebiets können Rückhaltesysteme angelegt werden, die Run-off-Wasser und verlagerte Sedimente (konzentrierter Ablauf) sowie aus Drainagen stammendes Wasser zurückhalten. Beim Durchströmen des Rückhaltesystems verdunstet ein Teil des Wassers oder wird infiltriert. Rückhaltebecken und künstliche Feuchtgebiete führen normalerweise nicht ganzjährig Wasser, sondern werden nur bei Oberflächenablauf aus Feldern (oder durch Drainagewasser) überschwemmt. In erster Linie sollen sie das Wasser und erodierte Sedimente im Einzugsgebiet halten.

#### Sachlage

Der Bau von Rückhaltebecken/künstlichen Feuchtgebieten wird normalerweise von Behörden koordiniert und überwacht, um die Wasserqualität des Einzugsgebiets zu verbessern bzw. zu erhalten (z. B. durch einen geringeren Sediment- und Nährstoffeintrag in Fließgewässer). Die geeignete Lage und die erforderliche Größe des künstlichen Feuchtgebiets sind anhand einer eingehenden Diagnose festzulegen. Feuchtgebiete fangen gewöhnlich das Run-off- oder Drainagewasser von verschiedenen Feldern unterschiedlicher Besitzer auf. In diesem Fall sind Absprachen notwendig, um Bau und Pflege der Becken/künstlichen Feuchtgebiete zu organisieren. Normalerweise müssen Sedimentablagerungen und Humus regelmäßig beseitigt werden, da andernfalls die Wasserrückhaltekapazität des Puffers/Rückhaltebeckens reduziert wird.

### Vorgehensweise

Die Aufnahmekapazität des Rückhaltebeckens/Feuchtgebiets sollte mindestens für das Run-off-Wasser und die erodierten Sedimente eines typischen Run-off-Ereignisses ausreichen. Die Verweilzeit des Wassers im Rückhaltesystem kann von Wehren oder Barrieren gesteuert werden. Begrünung und ausreichende Verweildauer im Rückhaltebecken fördern den Abbau von PSM, maximieren die Ablagerung erodierter Bodenpartikel und halten Nährstoffe zurück. Wenn häufig ein starker Eintrag mit Sedimenten stattfindet, müssen die Sedimente regelmäßig beseitigt werden, um die Wasserretentionskapazität auf einem sinnvollen Niveau zu erhalten.

Während Rückhaltebecken meist einen undurchlässigen Boden haben (z.B. eine Beton- oder Tonschicht), werden künstliche Feuchtgebiete gewöhnlich auf Böden/Unterböden mit einem sehr geringen oder keinem Anschluss an unterlagernde Grundwasserleiter angelegt. Daher entwickeln künstliche Feuchtgebiete eine Art natürliche Vegetation, wohingegen Rückhaltebecken sowohl in unbewachsenem als auch in begrüntem Zustand gehalten werden können (d.h. mit einer künstlichen Bodenschicht, die Pflanzenwachstum ermöglicht).

### Allgemein ist zu beachten:

- Klare Ziele setzen.  
Beispiel: Handelt es sich primär um eine Maßnahme, um den Austrag landwirtschaftlicher Schadstoffe zu verhindern, oder dient die Maßnahme dem Überflutungsschutz angrenzender Siedlungsbereiche?
- Der Austausch zwischen künstlich angelegtem Feuchtgebiet und Grundwasser ist durch eine Auskleidung des Bodens nach Möglichkeit mit lehmigem bis tonigem Material abzudichten.
- Die Größe des Feuchtgebiets ist an den erwarteten Run-off anzupassen:
  - Die Aufnahmekapazität sollte mindestens 2 bis 5 mm Run-off-Wasser aus dem Einzugsgebiet entsprechen.
  - Bei größeren Run-off-Ereignissen (> 5 mm) muss das

Rückhaltesystem ggf. auf eine höhere Retentionskapazität ausgelegt werden.

- Eine Wassertiefe zwischen 0,2 und 1 Meter, mit einer mittleren Wassertiefe von 0,5 Metern sollte mit einem Wehr an der Mündung des Beckens/Feuchtgebiets reguliert werden können.
- Der Wasserweg sollte möglichst lang ausgeführt werden, indem er mithilfe von Barrieren/Dämmen in Mäandern geleitet wird.
- Bei einer Bepflanzung sollte auf heimische Arten zurückgegriffen werden, die für zeitweises Überfluten geeignet sind.
- Wenn Sedimente die Retentionskapazität um mehr als 20 Prozent verringern, müssen diese regelmäßig beseitigt werden.

Für den Bau eines effizienten Rückhaltebeckens/künstlichen Feuchtgebiets ist in der Regel Expertenwissen notwendig. Genauer ist bei den örtlichen Umweltberatern und -behörden zu erfragen sowie in Fachbüchern nachzulesen (z.B. die Planungsanleitung „Mitigation of agricultural non-point-source pesticides pollution and bioremediation in artificial wetland ecosystems“ zum ArtWET-Projekt aus dem EU-Programm LIFE [LIFE 06 ENV/F/000133]).

### Wirksamkeit

Studien haben gezeigt, dass bepflanzte Feuchtgebiete den Abbau von PSM in Run-off-Wasser fördern können. Die Abbauleistung variiert, da sie von der Verweilzeit des Run-off-Wassers im bepflanzten Feuchtgebiet abhängt. Bei schwach und mäßig gebundenen Stoffen wird die Abbauleistung als vergleichsweise gering beurteilt (ca. 50 Prozent), während die Wirksamkeit bei stark gebundenen Stoffen bis zu > 90 Prozent erreichen kann. Je hydrophober die PSM sind, desto besser ihre Retention in Rückhaltebecken/Feuchtgebieten.

### Einschränkungen

Künstliche Feuchtgebiete sind anthropogene, infrastrukturelle Anlagen ähnlich wie Dämme, die Run-off-Wasser zurückhalten und Einträge von Sedimenten, Nährstoffen und PSM reduzieren sollen. Daher ist im Vorfeld mit den örtlichen Umweltbehörden zu klären, welche Vorschriften zum Schutz von Feuchtgebieten oder Oberflächengewässern die Funktion des Rückhaltesystems beeinträchtigen könnten. Vor dem Bau muss auch geklärt werden, was bei einem Eindringen z.B. gefährdeter Arten geschieht und wie der ursprüngliche Zweck des Rückhaltesystems erhalten werden kann. Besonders bei künstlich angelegten Systemen sollte darauf hingewiesen werden, dass das Habitat nur wegen der ursprünglichen Absicht, Run-off- oder Drainagewasser von Oberflächengewässern fernzuhalten, existiert.

## 23. Anlage oder Pflege von Erdwällen am Feldrand



Ein Erdwall am Feldrand ist eine kleine Böschung oder Aufschüttung am tiefstgelegenen Rand eines Feldes, die Run-off und Erosion im Feld halten soll. Im Prinzip stoppt der Erdwall die Bewegung des Run-off-Wassers und der darin enthaltenen Sedimentfracht, so dass Run-off-Wasser versickern und der erodierte Boden sich absetzen kann.

### Sachlage

Erdwälle am Feldrand werden durch eine Anhäufung von Erdreich in Form einer kleinen Böschung oder Aufschüttung errichtet. Der Erdwall wird am tiefstgelegenen Feldrand angelegt, um Run-off und die darin enthaltene Sedimentfracht zurückzuhalten

Erdwälle funktionieren am besten auf schwereren Böden (mit höherem Lehm- und Tongehalt). Dort entsteht Run-off häufig, wenn die Bodenoberfläche verschlämmt. Die Nutzungsdauer von Erdwällen ist abhängig von der Festigkeit des Bodens und von der mechanischen Beanspruchung durch Niederschläge und Run-off. Daher sind regelmäßige Inspektionen unerlässlich.

### Vorgehensweise

Am äußeren Feldrand wird Erdreich abgetragen und auf der benötigten Länge entlang der Feldgrenze bis zur erforderlichen Höhe mit 30 bis 50 cm Breite aufgeschüttet. Der Erdwall sollte das anfallende Run-off-Wasser im Feld zurückhalten können.

## 24. Anlage von Verteilungssystemen



Zu den Verteilungssystemen zählen u. a. Faschinen und Minidämme. Dabei handelt es sich um künstlich angelegte Systeme aus Holzpfählen/Ästen/Steinen, die im Einzugsgebiet errichtet werden, um konzentrierten oberflächlichen Run-off innerhalb des Einzugsgebiets auf einer größeren Oberfläche zu verteilen. Faschinen reduzieren Erosion und fangen den vom Run-off-Wasser verlagerten Sand und Schluff auf. Minidämme zielen hauptsächlich darauf ab, den Wasserstrom zu verlangsamen und zu verteilen.

### Sachlage

Eine Faschine ähnelt einer niedrigen Mauer. Mehrere Zweigbündel werden zwischen stützende Holzpfähle gelegt. Die Faschine verläuft quer zum Hang und blockiert den konzentrierten Run-off. Sie muss wasserdurchlässig sein und soll die Fließgeschwindigkeit des Wassers erheblich bremsen. Das Wasser wird verteilt, und erodiertes Erdreich kann sich ablagern.



Faschinen

Zum Faschinenbau kann Totholz oder Lebendholz (z. B. Büsche) verwendet werden. Anlagen aus Totholz bleiben unter Umständen 2 bis 4 Jahre nutzbar. Bei Lebendholz kann das System dauerhaft genutzt werden, wobei die Zweigbündel alle 2 bis 4 Jahre erneuert werden sollten.

Minidämme bestehen aus Steinen und Holzpfählen und werden an Rinnsalmündungen errichtet. Genau wie Faschinen müssen sie wasserdurchlässig sein, die Fließgeschwindigkeit des Wassers bremsen und erodierte Sedimente zurückhalten. Minidämme werden über die gesamte Breite des Wasserabflusses angelegt. Minidämme können dauerhaft genutzt werden und müssen ggf. alle 2 bis 3 Jahre gepflegt werden.

### Vorgehensweise (Faschinen)

Auf 30 cm Tiefe und 50 cm Breite wird Erdreich ausgehoben. An den Rändern des neuen Grabens werden 2 Reihen Holzpfähle von ca. 1,00 bis 1,50 Metern Länge eingesetzt. Die Pfähle sollten etwa 1,00 bis 1,50 Meter Abstand zueinander haben und werden 50 cm tief in den Boden getrieben. Danach wird der Graben bis zum oberen Pfahlende mit Bündeln gefüllt und mit dem ausgegrabenen Erdreich aufgeschüttet, um einen nahtlosen Übergang zur umgebenden Erdoberfläche zu schaffen.

Faschinen lassen sich gut mit bepflanzten Puffern kombinieren, indem sie mittig auf einem grasbewachsenen Pufferstreifen angelegt werden. Minidämme lassen sich mit bepflanzten Gräben kombinieren.

### Einschränkungen

Verteilungssysteme sind arbeitsaufwändig und erfordern umfangreiche Investitionen in Bau und Pflege.



## Sachgerechter PSM-Einsatz

### Grundsätze

Im Zulassungsverfahren für PSM werden mögliche Risiken des Einsatzes hinsichtlich der Sicherheit für Mensch und Umwelt untersucht und bewertet. Eine Zulassung erfolgt nur, wenn eine Gefährdung von Mensch und Umwelt ausgeschlossen werden kann. In Bezug auf den Gewässerschutz werden in der Gebrauchsanleitung der Präparate die erforderlichen Anwendungsbestimmungen spezifiziert, die für einen nachhaltig sicheren und umweltverträglichen Einsatz erforderlich sind. Die nachstehend genannten Maßnahmen beziehen sich speziell auf die Eindämmung und den vorsorglichen Schutz vor PSM-Einträgen durch Run-off/Erosion.

Der sachgerechte PSM-Einsatz beginnt mit der regelmäßigen Prüfung und der genauen Justierung der Feldspritze. Eine regelmäßige Kontrolle der Gerätefunktion („Spritzen-TÜV“) ist in Deutschland seit vielen Jahren eingeführt.

## 25. Optimaler Einsatzzeitpunkt von PSM



### Sachlage

Zur Minderung des Risikos, dass PSM in Gewässern eingetragen werden, ist grundsätzlich zu beachten:

- kein PSM-Einsatz bei Regenvorhersage für die kommenden 48 Stunden
- kein PSM-Einsatz auf wassergesättigten Böden und auf drainierten Flächen, nach Möglichkeit nicht, solange die Drainage läuft
- möglichst wenige Behandlungen, geringstmögliche Aufwandmenge, bei bestehendem Run-off-Risiko Reduktionsmaßnahmen einsetzen oder nach Alternativen zur existierenden PSM-Strategie suchen

### Vorgehensweise

- Auf Feldkarten können Bereiche eingezeichnet werden, in denen für bestimmte PSM Behandlungseinschränkungen vorgegeben sind.
- Die Gebrauchsanleitung muss aufmerksam gelesen werden: Hier sind mögliche Vorgaben zum Einsatzzeitpunkt, zu Anwendungsbedingungen sowie Abstandsauflagen zu Gewässern vermerkt.
- Der Wetterbericht informiert über die Niederschlagswahrscheinlichkeit in der Region (für den Wasserschutz ist entscheidend, dass die Anwendung zeitlich möglichst weit vor einem größeren Regenereignis liegt).
- Der Wassersättigungsgrad des zu behandelnden Feldes sollte geprüft werden. Nicht auf gesättigten Böden behandeln.
- Bei einer künstlichen Entwässerung muss geprüft werden, wann das Wasser aus der Drainage austritt. Solange die Drainage läuft, gelten besondere Vorsichtsmaßnahmen bzw. Anwendungsbeschränkungen.



## 26. Optimale Einsatzzeit von PSM innerhalb der Saison



Unbedingt sollten alle PSM-Behandlungen überdacht werden, die während der Grundwasserneubildung und oder während des Drainageabflusses stattfinden.

### Sachlage

- Das geeignete PSM ist nach dem vorgesehenen Zeitfenster für die Behandlung auszuwählen.
- In Zeiten der Grundwasserneubildung und auslaufender Drainagen sollten keine PSM ausgebracht werden.
- Die PSM-Gebrauchsanleitung sollte aufmerksam gelesen werden: Hier sind mögliche Vorgaben zur saisonalen Einsatzzeit vermerkt.

### Vorgehensweise

- Auf einer Karte können Feldbereiche eingezeichnet oder markiert werden, in denen für bestimmte PSM eine eingeschränkte Behandlung vorgeschrieben ist.
- Im Spätherbst und im zeitigen Frühjahr sollten Applikationen nach Möglichkeit weitestgehend vermieden werden, da die Böden häufig wassergesättigt sind bzw. Wasser aus den Drainagen austritt. Dabei sind alle produktbezogenen Vorgaben und die Hinweise zum Einsatz von PSM zu beachten.



## 27. Auswahl geeigneter Pflanzenschutzmittel

### Sachlage

- Es ist ein PSM zu wählen, mit dem sich das jeweilige Pflanzenschutzproblem bestmöglich lösen lässt.
- Die PSM-Gebrauchsanleitung sollte aufmerksam gelesen werden. Die vorgegebenen Risikominderungsmaßnahmen sind unbedingt einzuhalten.
- Wenn das ausgewählte PSM konkrete Risikominderungsmaßnahmen erfordert, die nur schwer umzusetzen sind, sollte nach Alternativlösungen gesucht oder ein Berater eingeschaltet werden (möglicherweise kann das PSM anders eingesetzt werden, z.B. durch Mischung mit anderen Wirkstoffen bzw. geringerer Dosis). Möglicherweise kann die Aufwandmenge auf der Fläche durch Teilflächenbehandlungen reduziert werden (z.B. durch Bandspritzen oder Tankmischungen).
- Punktuelle Eintragsquellen sollten ausgeschlossen und das diffuse Eintragsrisiko (Run-off, Abdrift) durch die Berücksichtigung entsprechender Risikoreduktionsmaßnahmen eingedämmt werden.



- Wenn das Belastungsproblem mit einem betreffenden PSM nicht zu beheben ist, sollten mit dem Berater alternative Pflanzenschutzstrategien besprochen werden.

### Vorgehensweise

- Die regionsspezifischen Empfehlungen zum Einsatz des PSM sind stets zu befolgen.
- Es sollte eine Liste mit allen Feldern angelegt werden, auf denen konkrete PSM-Beschränkungen gelten. Alle PSM-Maßnahmen sind zu protokollieren. Ferner sollte auch geprüft werden, ob auf dem Hof eine sachgerechte Handhabung der PSM stattfindet, um Punktquelleneinträgen zu vorzubeugen (Checkliste!). Dabei gilt es, vorrangig Folgendes zu prüfen:
  - Werden beim Befüllen und Reinigen der Spritze auf dem Hof entsprechende Vorsichtsmaßnahmen getroffen?
  - Verfügt die Spritze über einen Klarwasserbehälter oder eine Spüleinrichtung im Brühbehälter (vgl. TOPPS-GfP zur Reduktion von Punktquelleneinträgen)?
- Alle Landwirte innerhalb des Einzugsgebiets sollten über die GfP informiert und entsprechend geschult werden, um Punktquelleneinträge zu vermeiden.
- Einzugsgebiet und Felder sollten hinsichtlich möglicher Eintragsrisiken geprüft werden und geeignete Risikominderungsmaßnahmen sollten umgesetzt werden.
- Der Einsatzzeitpunkt sollte gezielt gewählt werden, um einen PSM-Austrag in Gewässer zu verhindern.
- Reduzieren Sie den PSM-Aufwand z. B. mithilfe des Spritzverfahrens (Bandspritzung, Einzelpflanzen- oder Teilflächenbehandlung, sensorgesteuertes Spritzen).
- Zusammen mit dem Berater können weitere Pflanzenschutzstrategien besprochen werden:
  - z. B. alternativer nichtchemischer Pflanzenschutz
  - alternative PSM mit anderen Stoffeigenschaften (Persistenz, Mobilität im Boden, aquatische Toxizität = unterschiedliche Umweltqualitätsnormen)

Wenn keine Lösung zu finden ist, sollte eine Umstellung auf den Anbau anderer Kulturpflanzen erwogen werden.

### Einschränkungen/Herausforderungen

Nach einer eingehenden Beratung sollte mit dem Landwirt ein Plan zur Vermeidung der Punktquelleneinträge erarbeitet und dokumentiert werden. Die Wasserschutzmaßnahmen zielen in erster Linie auf den sachgerechten Umgang mit PSM und auf die Entwicklung eines Bewusstseins für den Gewässerschutz sowie auf eine Optimierung von Technik und Infrastruktur hin (Lagerung, Waschplatz, Biobett). Im Idealfall werden derartige Maßnahmenpläne auch mit allen anderen Landwirten im Einsatzgebiet abgesprochen.

Die Umsetzung der Risikominderungsmaßnahmen zur Reduktion von Run-off/Erosion ist zum einen eine individuelle, zum anderen aber auch eine kollektive Aufgabe. Alle Beteiligten sollten ein Umsetzungskonzept mit festgelegten Zielsetzungen ausarbeiten. Für technische wie infrastrukturelle Maßnahmen werden häufig öffentliche Fördermittel vergeben, deren Verfügbarkeit entsprechend zu prüfen ist.

In Gebieten mit belasteten Gewässern sollten die Behörden, die die Wasserqualität beaufsichtigen, offen und konstruktiv mit den Landwirten kommunizieren, um gemeinsam Lösungen zu finden (in einigen Ländern gibt es gute Beispiele für eine erfolgreiche Zusammenarbeit). Sehr ermutigend ist es für alle Beteiligten, wenn eine Verbesserung der Wasserqualität direkt auf die Umsetzung der vereinbarten Maßnahmen zurückgeführt werden kann.

## Bewässerung

Bewässerung bezeichnet die künstliche Verteilung von Wasser auf Böden mit zeitweise unzureichender natürlicher Wasserverfügbarkeit für die jeweilige Anbaukultur. Die größte Herausforderung beim Schutz der Wasserqualität vor abfließendem Bewässerungswasser sind die Regulierung der Wassermenge und die Kontrolle des Drainagewassers (sofern ein Drainagesystem vorhanden ist), um einer Versalzung vorzubeugen. Die Run-off-Risiken stehen im direkten Zusammenhang mit den vorhandenen Bewässerungssystemen und der Bewässerungspraxis.



## 28. Auswahl der Bewässerungstechnik



Die einzelnen Anlagen unterscheiden sich durch das jeweils aufgewendete Wasservolumen sowie durch die Art der Wasserapplikation. Die Oberflächenbewässerung (Furchenbewässerung) erfordert mit 800 bis 1 200 m<sup>3</sup>/ha die größte Wassermenge, bei der Beregnung mit „Regnern“ (Sprinkler) werden etwa 300 bis 500 m<sup>3</sup>/ha aufgewendet. Bei der Beregnung kann es durch die Regentropfenerosion zu Oberbodenverdichtung/Verkrustung kommen. Die Tröpfchenbewässerung kommt mit geringen Wassermengen aus und wird aufgrund der hohen Kosten überwiegend nur bei hochwertigen Pflanzen eingesetzt. Der Schlüssel zur Eindämmung des Run-off-Risikos ist ein sachgerechtes Bewässerungsmanagement, bei dem der Wassergehalt im Boden, die Feldkapazität und die Anfor-

derungen der Kulturpflanze im Verhältnis zur Evapotranspiration berücksichtigt werden. In Südeuropa wird nach wie vor die Oberflächenbewässerung am häufigsten praktiziert. Dabei werden große Wassermengen auf dem Boden verteilt, die nur schwer zu kontrollieren sind. Eine Überwässerung ist daher nicht immer zu vermeiden.

### Sachlage/Vorgehensweise

Die effizienteste Risikominderungsmaßnahme ist die Investition in wassersparende, besser kontrollierbare Bewässerungstechnik (Sprinkler, Mikrosprinkler, Tröpfchenbewässerungsanlage).

## 29. Optimierung von Bewässerungszeitpunkt und Wassermenge



### Sachlage

Der Schlüssel zur Eindämmung des Run-off-Risikos ist ein sachgerechtes Bewässerungsmanagement, bei dem der Wassergehalt im Boden, die Feldkapazität und die Anforderungen der Kulturpflanze im Verhältnis zur Evapotranspiration berücksichtigt werden.

### Vorgehensweise

Vorrangig sollte die für die Kultur benötigte Wassermenge genau überwacht, kalkuliert und reguliert werden. Wichtige Indikatoren sind Bodenfeuchte, Bodenwasserspannung und die Berücksichtigung möglicher Niederschläge (Wetterbericht). Für die Planung einer Bewässerungsstrategie werden

softwaregestützte Entscheidungsunterstützungssysteme angeboten. Bei schlechter regulierbaren Anlagen (Oberflächenbewässerung) kann eine Furchenbewässerung dazu beitragen, dass Wasser gespart und Run-off verringert wird. Eine solche Praxis bewirkt zusätzlich oft, dass das Wasser bei Regen besser vom Boden aufgesaugt wird.

### Einschränkungen

Auf den meisten bewässerten Flächen sind Wassermengen und Wasserverfügbarkeit reguliert. Eine tiefgehende Beratung ist immer von den Standortbedingungen abhängig.

## Bewertung der Wirksamkeit von Risikominderungsmaßnahmen

In der folgenden Abbildung werden verschiedene Maßnahmen anhand ihrer Wirksamkeit bei unterschiedlichen Formen von Run-off bewertet:

- a) Run-off durch begrenzte Infiltration
- b) Wasserübersättigung
- c) konzentrierter Wasserablauf (Run-off) (siehe Legende auf S. 30)

Das rechts stehende Symbol bezieht sich auf den schwerpunktmäßigen Einsatz der Reduktionsmaßnahmen entweder im Feld (F) oder im Einzugsgebiet (C) oder in beiden Bereichen (F/C).

1 Geringere Bodenbearbeitungsintensität



5 Planung/Ausrichtung/Pflege der Fahrgassen



9 Streifenanbau im Feld (quer zum Hang)



13 Vergrößerung des Vorgewendes



2 Grobe Saatbettbereitung



6 Aufschüttung von Erdwällen im Feld (Konturwälle)



10 Einjährige Zwischenfrüchte



14 Anlage und Pflege von Puffersystemen im Feld



3 Vermeidung von Oberbodenverdichtung/  
-verkrustung



7 Höhenlinienparallele Bewirtschaftung



11 Bestellung mit doppelter Saatstärke



15 Anlage und Pflege von Puffersystemen am Feldrand



4 Vermeidung von Unterbodenverdichtung



8 Optimierung der Fruchtfolge



12 Mehrjährige Zwischenfrüchte in Dauerkulturen



16 Anlage und Pflege von Uferpuffern



17 Anlage und Pflege von Talwegpuffern



21 Anlage oder Pflege bepflanzter Gräben



25 Optimaler Einsatzzeitpunkt von PSM



29 Optimierung von Bewässerungszeitpunkt und Wassermenge



18 Anlage und Pflege von Hecken



22 Anlage oder Pflege von Rückhaltebecken/künstlichen Feuchtgebieten



26 Optimale Einsatzzeit von PSM innerhalb der Saison



19 Pflege von Gehölzen



23 Anlage oder Pflege von Erdwällen am Feldrand



27 Auswahl geeigneter Pflanzenschutzmittel



20 Pflege von Feldzufahrten



24 Anlage von Verteilungssystemen



28 Auswahl der Bewässerungstechnik



## A

**Anbaumethode**

Verfahren des Anbaus von Feldfrüchten. Die Anbaumethode wird häufig bestimmt von den wichtigsten landwirtschaftlichen Erzeugnissen der Region, die vorrangig von den wirtschaftlichen, klimatischen, pedologischen und anderen ackerbaulichen Faktoren abhängig sind.

## B

**Bewertungsmatrix**

Hilfe für die schnelle, strukturierte Entscheidungsfindung in komplexen Situationen. Vereint implizites mit nichtkodifiziertem Wissen und führt schnell zur richtigen Entscheidung (siehe auch „Dashboard“).

**Bodenart**

Siehe Bodentextur.

**Bodenbearbeitung**

Allgemeine Bezeichnung für die mechanische Bewirtschaftung des Bodens. Unter anderem wird unter der Bodenbearbeitung der Vorgang des Pflügens verstanden. Mulch- und Direktsaat sind Anbauverfahren, bei denen die Bodenstruktur erheblich weniger gestört wird als beim Pflügen, was sich positiv auf die Infiltrationskapazität des Bodens auswirkt. Siehe auch „konservierende Bodenbearbeitung“.

**Bodentextur**

Grundgröße zur Charakterisierung der Korngrößenzusammensetzung (Körnung), welche die Häufigkeitsverteilung der mineralischen Bodenpartikel < 2 mm beschreibt (Feinboden – Sand, Lehm, Ton). Die spezifische Zusammensetzung der Bodentextur ergibt die Körnungs- bzw. Bodenart und gibt Hinweise auf wichtige chemisch-/physikalische Eigenschaften eines Bodens. Im Gelände kann die Bodenart mit der Fingerprobe und durch Einordnung im Bodenartendiagramm abgeschätzt werden.

## D

**Dashboard**

Übersicht über die wichtigsten Entscheidungsfaktoren, mit deren Hilfe der Anwender/Berater ohne Kenntnis aller Einzelheiten schnelle, strukturierte Entscheidungen treffen kann (vergleichbar mit dem Armaturenbrett im Auto, siehe auch „Bewertungsmatrix“).

**Diffuse Einträge**

Eintragsquellen, die ihren Ursprung direkt auf einem Feld haben. Diffuse Einträge werden verursacht durch Wetterereignisse, die zu einer Verlagerung von Wasser und Boden aus einem Feld führen. Mit dem Wasser und Boden können Pflanzennährstoffe (Nitrat, Phosphat) und PSM verlagert werden. Häufig werden unerwünschte Einträge in Gewässer aus der Landwirtschaft generell diffusen Einträgen zugeschrieben. Einträge aus sogenannten Punktquellen, die durch die Handhabung z. B. von PSM im landwirtschaftlichen Betrieb entstehen, werden hierbei in ihrer Bedeutung nicht ausreichend berücksichtigt.

**Diffuser Run-off**

Flächig talwärts strömender, nicht konzentrierter Wasserabfluss (z. B. aufgrund fehlender Gerinne).

**Drainage**

System zur Nutzbarmachung vernässter Böden für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion. Über ein Drainagesystem wird überschüssiges Bodenwasser in einen Graben oder ein Feuchtgebiet abgeleitet.

## E

**Einzugsgebiet**

Zusammenhängendes Gebiet, aus dem der komplette oberflächliche Wasserabfluss in einer Landschaft über ein Netz aus Fließgewässern und teilweise auch Stillgewässern erfolgt.

**Erdwall**

Kleine Aufschüttung zur Verringerung des Wasserabflusses sowie zur Retention einer möglichst großen Wassermenge auf dem Feld. Soll Run-off verhindern und die Wasserinfiltration fördern.

**Erosion**

Abtragung von Bodenpartikeln durch Wasser- oder Windkraft.

## F

**Fahrgasse**

Unbepflanzte Fahrspur für Schlepper und andere Maschinen auf dem Feld (Pflege Spur). In Fahrgassen kann sich Wasser sammeln, und zusätzlich wird in diesen Bereichen häufig der Boden verdichtet, so dass das Run-off-/Erosionsrisiko steigt.

**Feldkapazität**

Die Feldkapazität (FK) ist ein Kennwert für die Wasserspeicher- bzw. -haltefähigkeit eines Bodens. In Bezug auf Run-off wird die FK als die Wassermenge verstanden, die ein Boden im Zusammenhang mit einem stärkeren Niederschlagsereignis aufnehmen kann. Sie ist abhängig von der Bodenart und den Klimabedingungen. Unter Feldbedingungen kann die FK anhand der Bodenart und der Tiefgründigkeit des Oberbodens abgeschätzt werden.

**Feuchtgebiet**

Siehe: Rückhaltesystem.

**Flächenerosion**

Abtrag von Bodenpartikeln in dünnen Schichten auf leicht geneigten Flächen. Wird oft nicht erkannt, kann auf bewirtschafteten Flächen aber die Ursache für großflächigen Bodenabtrag sein.

**Fruchtfolge**

Anbaureihenfolge der Feldfrüchte auf einem Feld oder innerhalb eines Landschaftsraums. Eine vielgliedrige Fruchtfolge hat zahlreiche Vorteile für den Ackerbau, z.B. puffert sie den Wasserabfluss und verringert den Schädlings- und Unkrautdruck.

**Gewässer**

Hier: Oberflächengewässer. Einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers, z.B. ein See, ein Speicherbecken, ein Fließgewässer, ein Fluss oder ein Kanal, ein Teil eines Fließgewässers, Flusses oder Kanals (Richtlinie 2000/60/EG).

**GfP**

Gute fachliche Praxis: bezieht sich im Kontext dieses Dokuments auf Empfehlungen und Maßnahmen zur Vermeidung von PSM-Einträgen in Gewässer oder sensible Gebiete.

**Graben**

Künstlich angelegte Entwässerungsrinne.

**Grabenerosion**

Extreme Erosionserscheinungen im Landschaftsbild. Steil verlaufende, tiefe Ab-laufrinnen aufgrund von konzentriertem Wasserabfluss (Run-off).

**Infiltration**

Anteil des Niederschlages, der in den Boden eindringt, gespeichert bzw in der wenig intensiven Vegetationszeit (Winter) versickert.

**Konservierende Bodenbearbeitung**

Konservierende Bodenbearbeitung, kommt aus Nordamerika und Kanada, beinhaltet dort einen Komplex von nichtwendenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen, d.h. Bodenbearbeitung ohne Pflug. Die amerikanische Definition versteht unter „conservation tillage“ jedes Verfahren, das mehr als 30 Prozent Bedeckung der Bodenoberfläche mit Pflanzenrückständen nach der Bestellung realisiert.

**Konzentrierter Run-off**

Entsteht, wenn sich Oberflächenwasser in Eintiefungen, Rillen oder Gerinnen im Feld sammelt (z.B. in einem Talweg). Je nach Bodenbeschaffenheit bezeichnet konzentrierter Run-off den Beginn eines schwerwiegenden Erosionsereignisses.

**Laterales Sickerwasser**

Im Unterboden seitlich fließendes Wasser, z.B. auf einer schlecht durchlässigen Bodenschicht/auf Gestein oder einer Verdichtungszone. Dieser oberflächennahe Abfluss erreicht Oberflächengewässer bzw. Vorfluter mit einer zeitlichen Verzögerung im Vergleich zu Run-off-Wasser.

**Mulch**

Erntegut- oder Zwischenfruchtrückstände auf der Erdoberfläche, die den oberflächlichen Wasserabfluss verlangsamen und somit die erosive Energie des Niederschlags mindern und die Wasserinfiltration begünstigen.

**Oberflächenverschlammung**

Bodenverdichtung an der Erdoberfläche, besonders auf Böden mit erhöhtem Schluffgehalt von über 25 Prozent. Verschlammte Böden sind meist anfällig für Run-off und Erosion (Wasserinfiltration gestört).

**Permeabilität**

Allgemeiner Begriff für die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser und Gase. In diesem Zusammenhang wird darunter verstanden, wie viel Wasser innerhalb eines bestimmten Zeitraums auf einer festgelegten Fläche durch eine Bodenschicht sickern kann. Die Permeabilität ist somit ein wesentlicher Faktor für die Infiltrationsleistung eines Bodens.

**Pestizid**

Laut EU-Gesetzgebung (Richtlinie 2009/128/EG) fallen unter den Begriff „Pestizid“ sowohl Pflanzenschutzmittel (EG-Verordnung Nr. 1107/2009) als auch Biozid-Produkte (Richtlinie 98/8/EC). In diesem Dokument bezieht sich der Begriff ausschließlich auf Pflanzenschutzmittel (siehe: PSM).

**PSM**

Pflanzenschutzmittel: Gemäß EU-Gesetzgebung (EC-Verordnung Nr. 1107/2009) sind PSM Produkte, die aus Stoffen, Safenern oder Synergisten bestehen oder solche enthalten und für folgende Zwecke eingesetzt werden: (a) Pflanzen oder Pflanzenerzeugnisse vor Schadorganismen zu schützen oder deren Einwirkung vorzubeugen; (b) in einer anderen Weise als Nährstoffe die Lebensvorgänge von Pflanzen zu beeinflussen (z.B. Wachstumsregler); (c) Pflanzenerzeugnisse zu konservieren; (d) unerwünschte Pflanzen oder Pflanzenteile zu vernichten; (e) ein unerwünschtes Wachstum von Pflanzen zu hemmen oder einem solchen Wachstum vorzubeugen.

**Pufferstreifen**

Angelegter Streifen im Feld oder außerhalb eines Feldes (in der Regel mit einjährigen/mehrjährigen Pflanzen) zur Erhöhung der Infiltrationsrate von Wasser (Aufnahme von Run-off) und zur Vermeidung von Einträgen von Bodenpartikeln durch Erosion in Oberflächenwasser. Pufferstreifen können noch weitere Funktionen erfüllen z. B. Förderung der Artenvielfalt.

**Pufferzone**

Unbehandelter Bereich mit oder ohne Kulturbepflanzung, der speziell zur Vermeidung eines PSM-Eintrags in angrenzende sensible Gebiete (Abdrift) angelegt wird.

**Punkteinträge**

„Punkteintrag“ im Kontext dieser Broschüre bezieht sich auf PSM-Einträge in Wasser, die hauptsächlich durch Aktivitäten im Betrieb (Spritzenbefüllung, Reinigung, Restmengenbehandlung etc.) verursacht werden. Punkteinträge können durch den korrekten Umgang des Anwenders mit dem PSM sowie durch verbesserte Technik und eine verbesserte Infrastruktur weitgehend vermieden werden.

**Regenereignis**

Die gesamte Dauer und der Verlauf eines Niederschlags. Im Kontext des PSM-Einsatzes sind die Intensität (Dauer und Menge) des Regenereignisses für die Entstehung von Run-off oder Erosion von besonderer Bedeutung. Das Risiko von PSM-Einträgen nimmt ab, je größer der Zeitraum zwischen PSM-Anwendung und Regenereignis ist.

**Rillenerosion**

Geringe bis mittlere Erosion, zwischen der Flächen- und der Grabenerosion. Entsteht durch die Konzentration von Wasser in kleinen Rillen, die sich durch weitere Konzentration zur Grabenerosion entwickeln kann.

**Rückhaltesystem**

Natürliche oder künstlich angelegte Struktur, die Run-off-Wasser und Sedimente im Einzugsgebiet vor dem Eintrag in Gewässer zurückhalten soll.

**Run-off**

Oberflächliche Ableitung von Wasser, das überschüssig ist, weil die Wassermenge aus einem Regenereignis, einer Bewässerung oder einer Schneeschmelze ganz oder teilweise nicht vom Boden aufgenommen wird (gestörte Infiltration) oder weil es wegen der Wassersättigung des Bodens nicht mehr aufgenommen werden kann (Run-off durch Wassersättigung des Bodenkörpers). Im Kontext dieser Broschüre bezieht sich Run-off auf den Oberflächenabfluss (auch im Zusammenhang mit Erosion), der das Potenzial für den Austrag von PSM in Oberflächengewässer besitzt. Als Sonderformen sind hiervon der laterale Sickerwasserfluss und der Abfluss über Drainage abzugrenzen.

S

**Substrat**

In der Bodenkunde das Ausgangsgestein, aus dem der Boden gebildet wird.

T

**Talweg**

Der Talweg ist die Verbindungslinie zwischen den tiefsten Punkten aller Querprofile in der Längsrichtung eines Geländes; er ist mit der „Wassersammellinie“ identisch. Im Bezug auf Run-off ist der Talweg der Bereich, in dem konzentrierter Run-off verstärkt auftritt und zu Grabenerosion führen kann.

V

**Vorgewende**

Bereich am Feldrand, der normalerweise quer zur Bearbeitungsrichtung bestellt wird und dem Wendevorgang von Bearbeitungsgeräten dient.

Z

**Zwischenfrucht**

Feldfrucht, die zwischen 2 Hauptkulturen angebaut wird, z.B. nach der Ernte bis zur neuen Aussaat. Die Zwischenfrucht soll die Bodenstruktur schützen (Auswirkungen der Regentropfenerosion mindern, Beschattung) und Wasser aufnehmen. Zwischenfrüchte sind effiziente Risikominderungsmaßnahmen gegen den Aus-trag wasserlöslicher Nähr- oder Schadstoffe in Oberflächengewässer und in das Grundwasser.

Diese Broschüre zur guten fachlichen Praxis beruht auf den persönlichen Erfahrungen unserer Partner und Experten, die zu diesem Projekt beigetragen haben, sowie auf Forschungsarbeiten, die über mehrere Jahre an unterschiedlichen Standorten durchgeführt wurden. Im Literaturverzeichnis sind Veröffentlichungen aufgeführt, die bei weiterführenden Studien zum Thema „Run-off“ und „Erosion“ hilfreich sein könnten.

Wir bedanken uns für die fachliche Unterstützung unserer Partner bei ARVALIS-Institut du végétal (Boigneville, Frankreich). Ihre Erfahrungen mit den Beratungsinstrumenten Aqua-vallee und Aqua-plaine sowie die besonderen Fachkenntnisse von Irstea (Lyon, Frankreich) bei der Bewertung, Größenbe-messung und Platzierung bepflanzter Puffer waren für uns sehr hilfreich.

Wir bedanken uns für die Hilfe unserer Partner und Run-off-Experten, die diese GfP auf ihre jeweilige Situation angewandt und damit die Theorie in die Praxis umgesetzt haben.

**AGNEW, L. J.; LYON, S.; ypheNT, P. G. ET AL.:**

Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management*, 2006 (78), 63–76.

**ANBUMOZHI, V.; RADHAKRISHNAN, J.; YAMAGI, E.:**

Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering*, 2005 (24), 517–523.

**ANGIER, J. T.; MCCARTY, G. W.; RICE, C. P.; BIALEK, K.:**

Influence of riparian wetland on nitrate and herbicides ex-ported from an agricultural field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002 (50), 4424–4429.

**BAKER, J. L.; MICKELSON, S. K.:**

Application technology and best management practices for minimizing herbicide run-off. *Weed Technology*, 1994 (8), 862–869.

**BAKER, M. E.; WELLER, D. E.; JORDAN, T. E.:**

Improved methods for quantifying potential nutrient inter-ception by riparian buffers. *Landscape Ecology*, 2006 (21), 1327–1345.

**BANASIK, K.; HEJDUK, L.:**

Long-term changes in run-off from a small agricultural catch-ment. *Soil & Water Res.*, 2012 (7), 64–72.

**BARLING, R. D.; MOORE, I. D.:**

Role of buffer strips in management of waterway pollution: a review. *Environmental Management*, 1994 (18), 543–558.

**BENTRUP, G. 2008:**

Conservation Buffers - Design Guidelines for Buffers, Cor-ridors, and Greenways. Gen. Tech. Rep. SRS-109. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 110 p. Online: [http://www.unl.edu/nac/bufferguidelines/docs/conservation\\_buffers.pdf](http://www.unl.edu/nac/bufferguidelines/docs/conservation_buffers.pdf)

**BERRY, J. K.; DETGADO, J. A.; KHOSLA, R.; PIERCE F. J.:**

Precision conservation for environmental sustainability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 58(6), 332–339.

**BLANCHARD, P. E., and LEARCH R. N. (2000):**

Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: interactions of chemistry, hydrology, and land use. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3315–3322.

**BOORMAN, D.B., Hollis, J. M. and Lilly, A. (1995).**

Hydrology of Soil Types: A Hydrologically-Based Classifi-cation of the Soils of the United Kingdom. Report No.126, Institute of Hydrology, UK.



**BOYD, P. M.; BAKER, J. L.; MICKELSON, S. K.; AHMED, S.I.:**

Pesticide transport with surface run-off and subsurface drainage through a vegetative filter strip. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2003 (46), 675–684.

**BROWN, C. D., and W. van BEINUM (2009):**

Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. Environmental Pollution. 157, 3314–3324.

**CHEN, W., P. HERTL, S. CHEN and D. TIERNEY (2002):**

A pesticide surface water mobility index and its relationship with concentrations in agricultural drainage watersheds. Environ. Tox and Chem. 21, 298–308.

**DABNEY, S. M.; MOORE, M. T.; LOCKE, M. A.:**

Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. Journal of American Water Resources Association. 2006 (42), 15–24.

**DANIELS, R. B.; GILLIAM, J. W.:**

Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. Soil Science Society of America Journal, 1996 (60), 246–251.

**DELTA F.A.R.M. & PESTICIDE ENVIRONMENTAL STEWARDSHIP (PES):**

The Value of Buffers For Pesticide Stewardship and Much More. Online: [http://pesticidestewardship.org/Documents/Value\\_of\\_Buffers.pdf](http://pesticidestewardship.org/Documents/Value_of_Buffers.pdf)

**DILLAHA, T. A.; RENEAU, R. B.; MOSTAGHIMI, S.; LEE, D.:**

Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989 (32), 513–519.

**DOSSKEY, M. G. G.; EISENHauer, D. E.; HELMERS, M. J.:**

Establishing conservation buffers using precision information. Journal of Soil and Water Conservation, 2005 (60), 349–354.

**DOSSKEY, M. G. G.; HOAGLAND, K. D.; BRANDLE, J.R.:**

Change in filter strip performance over ten years. Journal of Soil and Water Conservation, 2007 (62), 21–32. DYSON, JS, WA JURY and GL BUTTERS (1990) The Prediction and Interpretation of Chemical Movement Through Porous Media: The Transfer Function Approach. Report EN-6853 for the Electric Power Research Institute, California, USA

**EAGLESON, PS (1978):**

Climate, soil and vegetation. 5: A derived distribution of storm surface run-off. Water Resources Research 14, 741–748.

**FAWCETT, R. S.; CHRISTENSEN B. R.; TIERNEY, D. P.:**

The impact of conservation tillage on pesticide run-off into surface water: A review and analysis. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 49(2), 126–135.

**FIENER, P., AUERSWALD, K.:**

Effectiveness of grassed waterways in reducing run-off and sediment delivery from agricultural watersheds. J. Environ. Qual., 2003 (32), 927–936.

**FLANAGAN, D. C.; FOSTER, G. R.; NEIBLING, W. H.; BURT, J.P.:**

Simplified equations for filter strip design. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989 (32), 2001–2007.

**GHIDEY, F.; BAFFAUT, C.; LERCH, R. N.; KITCHEN, N. R.; SADLER, E. J.; SUDDUTH, K. A.:**

Herbicide transport to surface run-off from a claypan soil: Scaling from plots to fields. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 65(3), 168–179.

**GUSTAFSON, D. I.:**

Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. Environmental Toxicology and Chemistry, 1989 (8), 339–357.

**HAWKINS, J. H. (1982):**

Interpretations of source area variability in rainfall-run-off relations. In: Rainfall-Run-off Relationship. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Run-off Modelling. pp.303–342. Mississippi State University, Starkville, MS.

**HAYCOCK, N. E.; MUSCUTT, A. D.:**

Landscape management strategies for the control of diffuse pollution. Landscape and Urban Planning, 1995 (31), 313–321.

**HAYES, J. C.; BAYFIELD, B. J.; BARNHISEL, R. I.:**

Performance of grass filters under laboratory and field conditions. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1984 (27), 1321–1331.

**KERLE, E. A.; JENKINS, J. J.; VOGUE, P. A.:**

Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. Extension publication EM8561, Oregon State University, 2007, 8 p.

**KOVÁŘ, P.; VAŠŠOVÁ, D.; HRABALÍKOVÁ, M.:**

Mitigation of surface run-off and erosion impacts on catchment by stone hedgerows. Soil & Water Res., 2011 (6), 153–164.

**KRUTZ, L. J.; SENSEMAN, S. A.; ZABLOTOWICZ, R. M.; MATOCHA, M. A.:**

Reducing herbicide run-off from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. Weed Science, 2005 (53), 353–367.

**LACAS, J. G.; VOLTZ, M.; GOUY, V. ET AL.:**

Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. Agronomy for Sustainable Development, 2005 (25), 253–266.

**LEONARD, RA (1990):**

Movement of pesticides into surface waters. Chapter 9 in Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modelling. Soil Science Society of America Book Series 2.

**LEU, C., SCHNEIDER, M. K.; STAMM, C.:**

Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. J. Environ. Qual., 2010 (39), 1441–1450.

**LOWRANCE, R.; DABNEY, S.; SCHULTZ, R.:**

Improving water and soil quality with conservation buffers. J. Soil Water Conserv., 2002 (57), 36–43.

**LOWRANCE, R.; SHERIDAN, J. M.:**

Surface run-off water quality in a managed three zone riparian buffer. Journal of Environmental Quality, 2005 (34), 1851–1859.

**MAAS, R. P.; SMOLEN, M. D.; DRESSING, S. A.:**

Selecting critical areas for nonpoint source pollution control. Journal of Soil and Water Conservation, 1985 (40), 68–71.

**MANDER, Ü.; KUUSEMETS, V.; LÕHUMS, K.; MAURING, T.:**

Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. Ecological Engineering, 1997 (8), 299–324.

**MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B.:**

Global Run-off – Continental Comparisons of Annual Flows and Peak Discharges. CATENA VERLAG, Reiskirchen, 1992, 166 p.

**MEALS, D. W.; DRESSING, S. A.; DAVENPORT, T. E.:**

Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices – A Review. J. Environ. Qual., 2010 (39), 85–96.

**NORRIS, V.:**

The use of buffer zones to protect water quality – a review. Water Resources Management, 1993 (7), 257–272.

**OTTO, S.; CARDINALI, A.; MAROTTA, E.; PARADISI, C.; ZANIN, G.:**

Effect of vegetative filter strips on herbicide run-off under various types of rainfall. Chemosphere, 2012 (88), Issue 1, pp. 113–119

**PATTY, L.; RÉAL, B.; GRIL, J.:**

The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from run-off water. *Pesticide Science*, 1997 (49), 243–251.

**PHILLIPS, J. D.:**

Evaluation of the factors determining the effectiveness of water quality buffer zones. *Journal of Hydrology*, 1989 (107), 133–145.

**POLYAKOV, V.; FARES, A.; RYDER, M. H.:**

Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: a review. *Environmental Review*, 2005 (13), 129–144.

**POPOV, V. H.; CORNISH, P. S.; SUN, H.:**

Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural run-off. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006 (114), 351–359.

**PROKOPY, L. S., FLORESS, K.;****KLOTTHOR-WEINKAUF, D.; BAUMGART-GETZ, A.:**

Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 63(5), 300–311.

**QUI, Z.; WALTER, M. T.; HALL, C.:**

Managing variable source pollution in agricultural watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007 (62), 115–122.

**RABOTYAGOV, S. S., JHA, M. K.; CAMPBELL, T.:**

Impact of crop rotations on optimal selection of conservation practices for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(6), 369–380.

**RANKINS, A.; JR.; SHAW, D. R.; BOYETTE, M.:**

Perennial grass filter strips for reducing herbicide losses in run-off. *Weed Science*, 2001 (49), 647–651.

**RANKINS, A.; JR.; SHAW, D. R.; DOUGLAS, J.:**

Response of perennial grasses potentially used as filter strips to selected postemergence herbicides. *Weed Technology*, 2005 (19), 73–77.

**REICHENBERGER, S.; BACH, M.; SKITSCHAK, A.;****FREDE, H.:**

Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment*, 2007 (384), 1–35.

**ROBINSON, C. A.; GHAFFARZADEH, M.; CRUSE, R. M.:**

Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland run-off. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996 (51), 227–230.

**ROBINSON, M., and RYCROFT, D.W. (1999):**

The impact of drainage on streamflow. Chapter 23 in Skaggs, W. and J van Schilfgaarde (eds), *Agricultural Drainage*. Agronomy Monograph 38. Soil Soc. Sci. Am., Madison, Wisconsin, USA, 753–786.

**ROSE, C. W. (2004):**

An Introduction to the Environmental Physics of Soil, Water and Watersheds, Cambridge University Press pp. 441.

**SCHMITT, T. J.; DOSSKEY, M. G. G.; HOAGLAND, K. D.:**

Filter strip performance and processes for different vegetation widths and contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 1999 (28), 1479–1489.

**SCHULTZ, R. C.; COLLETTI, J. P.; ISENHART, T. M. ET AL.:**

Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. *Agroforestry Systems*, 1995 (29), 201–226.

**SHANLEY, J. B.; CHALMERS, A.:**

The effect of frozen soil on snowmelt run-off at Sleepers River, Vermont. *Hydrological Processes*, 1999 (13), 1843–1857.

**SHIPITALO, M. J.; JAMES, V.; BONTA, V.;****DAYTON, E. A.; OWENS, L. B.:**

Impact of Grassed Waterways and Compost Filter Socks on the Quality of Surface Run-off from Corn Fields. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 1009–1018.

**SHIPITALO, M. J. AND OWENS, L. B.:**

Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface run-off. *J. Environ. Qual.*, 2006 (35), 2186–2194.

**SKAGGS, R. W.; FAUSEY, N. R.; EVANS, R. O.:**

Drainage water management. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 67(6), 167–172.

**STROCK, J. S.; KLEINMAN, P. J. A.; KING, K. W.;****DELGADO, J. A.:**

Drainage water management for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(6), 131–136.

**TOMER, M. D.; JAMES, D. E.; ISENHART, T. M.:**

Optimizing the placement of riparian practices in a watershed using terrain analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 58(4), 198–206.

**UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN:**

Targeting Watershed Management Practices for Water Quality Protection: a Heartland Regional Water Coordination Publication, RP195. Online: <http://www.ianrpubs.unl.edu/public/live/rp195/build/rp195.pdf>

**USDA-NRCS:**

Conservation Buffers to Reduce Pesticide Losses. National Water and Climate Center & Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs. Online: <http://www.in.nrcs.usda.gov/technical/agronomy/newconbuf.pdf>

**USEPA. 2005:**

Handbook for developing watershed plans to restore and protect our waters. EPA 841-B-05-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. WAGNER, T, M Sivapalan, P TROCH and R WOODS (2007). Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass*. 1, 901–931.

**WARD, RC and M ROBINSON (2000):**

Principles of Hydrology. McGraw-Hill pp. 450.

**WAUCHOPE R. D.; GRANEY, R. L.; CRYER, S.;****EADSFORTH, C.; KLEINS, A. W.; RACKE, K. D.:**

Pesticide Run-off – Methods and Interpretation of Field Studies. *Pure & Appl. Chem.*, 1995 (67), No. 12, pp. 2089–2108.

**WISSMAR, R. C.; BEER, W. N.; TIMM II, R. K.:**

Spatially explicit estimates of erosion-risk indices and variable riparian buffer widths in watersheds. *Aquatic Sciences*, 2004 (66), 446–455.

**YANG, W.; WEERSINK, A.:**

Cost-effective targeting of riparian buffers. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2004 (52), 17–34.

**YU, B (1998):**

Theoretical justification of the SCS method for run-off estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 124, 306–310.

**YU, B, U Cakurs and CW ROSE (1998):**

An assessment of methods for estimating run-off rates at the plot scale. *Transactions of the Am. Soc. Ag. Eng.* 41, 653–661.

**ZHANG, X., XINGMEI, L.; ZHANG, M.;****DAHLGREN, R. A.; EITZEL, M.:**

A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.*, 2010 (39), 76–84.







Bayerische Landesanstalt  
für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38  
85354 Freising  
[www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)



Industrieverband Agrar e. V.  
Mainzer Landstraße 55  
60329 Frankfurt am Main  
[www.iva.de](http://www.iva.de)