

## Management zur Verminderung und Vermeidung von diffusen Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion in Oberflächengewässer

*Best management practices to reduce and prevent water pollution with herbicides from run-off and erosion*

**Klaus Gehring**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising  
klaus.gehring@lfl.bayern.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.049

### Zusammenfassung

Die natürlichen Phänomene in Form von Abschwemmung (Run-off) und Erosion führen bei extremen Witterungsereignissen zu unvermeidbaren Gewässerbelastungen mit Pflanzenschutzmitteln (PSM). Der Herbizideinsatz ist hierbei aufgrund der spezifischen Anwendungsbedingungen ein besonders gefährdeter Einsatzbereich. In der EU-Rahmenrichtlinie 2009/128/EG für einen nachhaltigen Einsatz von PSM sind ambitionierte Ziele zur Verbesserung des Gewässerschutzes formuliert. Im nationalen Aktionsplan für die nachhaltige PSM-Anwendung sind quantitative Ziele formuliert, die ohne eine wesentliche Minimierung von diffusen Austrägen von PSM und Herbiziden durch Run-off und Erosion in Oberflächengewässern nicht erreicht werden können. Im europäischen TOPPS prowadis Projekt zur Verminderung von diffusen Austrägen in Gewässer wurden erstmals fundierte und feldtaugliche Verfahren zur Diagnose des spezifischen Run-off Risikos entwickelt. Durch die Zuordnung geeigneter und sachgerechter Minderungsmaßnahmen zu den jeweiligen Risiko-Klassen wurden harmonisierte Standards für eine gute fachliche Praxis für den vorbeugenden Gewässerschutz definiert. Die verschiedenen Diagnosemethoden und deren Anwendung werden beschrieben. Weiterführende Dokumente und Hintergrundinformationen sind online unter [<http://www.topps-life.org/>] abrufbar.

**Stichwörter:** Gewässerschutz, gute fachliche Praxis, nachhaltiger Pflanzenschutz, TOPPS prowadis Projekt, Umweltschutz

### Abstract

The natural phenomenon of run-off and erosion lead to unpreventable pesticide water pollution in case of extreme weather conditions. In this relationship the use of herbicides involves a higher risk than other pesticides because of the specific terms of application. Directive 2009/128/EC for the sustainable use of pesticides aspires to enhanced water protection. German national action plan contains quantitative objectives which require strong reduction of water pollution by run-off and erosion of pesticides and accordingly herbicides. The European TOPPS prowadis project developed a consolidated and basic diagnosis concept for the first time to determine the field specific run-off risk. Compatible mitigation measures were linked to specific risk scenarios. Risk diagnosis and suitable mitigation measures determine best management practices for the prevention of run-off and erosion. Different new diagnosis methods and the implementation are presented. Further documents and information are available on the web [<http://www.topps-life.org/>].

**Keywords:** Surface water, sustainable use of pesticides, TOPPS prowadis project, water protection

### Einleitung

Die Vermeidung und Verminderung von Wirkstoffverlusten aus der Anwendung von PSM in Umweltkompartimente, wie Oberflächengewässer, sind ein wesentliches Ziel der EU-Rahmenrichtlinie zum nachhaltigen Einsatz von PSM. Die Zielgrößen für den gewässerschonenden PSM-Einsatz sind in der Wasserrahmenrichtlinie definiert. Ein wesentlicher Teil der Belastung von Gewässern mit Pflanzenschutzmitteln ist darauf zurückzuführen, dass bestehende Regelungen zur sachgerechten Restentleerung und zur Reinigung der Pflanzenschutzgeräte noch nicht ausreichend umgesetzt werden. Während diese so genannten Punktquellen durch entsprechend sorgsame Handlungsweisen nahezu vollständig entschärft werden können, sind diffuse Eintragspfade aus landwirtschaftlichen Flächen durch Abdrift, Abschwemmung nach Niederschlagsereignissen oder über Drainagen wesentlich schwieriger zu kontrollieren. Die

Bestandsaufnahme zur Durchführung der Richtlinie 2006/11/EG hat ergeben, dass an einigen Oberflächengewässern in den Einzugsgebieten der deutschen Flüsse die Qualitätsziele für einen oder mehrere PSM-Wirkstoffe überschritten sind. Die Belastungen betreffen vor allem Gewässer mit einem großen Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen im Einzugsgebiet. Hierbei zeigt sich, dass die für den Naturhaushalt unbedenklichen Konzentrationen von PSM-Wirkstoffen besonders in Kleingewässern überschritten werden und ein guter chemischer und ökologischer Zustand nicht gegeben ist. Kleine Gewässer werden durch diffuse Einträge oder Punkteinträge relativ stärker belastet, da es nicht zu Verdünnungseffekten wie in großen Gewässern kommt. Die Ursachen der aktuellen Belastung dieser Gewässer mit PSM-Rückständen sind vielfältig und können nicht vollständig kontrolliert werden. Um den Eintrag von PSM in Grund- und Oberflächengewässer zu verhindern oder zu vermindern, gibt es zwar spezifische Vorsorgemaßnahmen, die kontinuierlich weiterentwickelt und an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst werden (z. B. Gerätetechnik, Abstandsaufgaben), weitergehende Maßnahmen sind jedoch erforderlich, um die Belastungssituation zu verbessern und einen guten chemischen und ökologischen Zustand für unsere Gewässer zu erreichen.

In Kohärenz zwischen Wasser- und Pflanzenschutzrecht wurde im Nationalen Aktionsplan (NAP) das Ziel definiert bis zum Jahr 2015 in Oberflächengewässern keine Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen (UQN) für prioritäre PSM und relevante Metabolite gemäß Oberflächengewässerverordnung zu verursachen. Ab dem Jahr 2018 wird angestrebt für nichtrelevante Metabolite eine Überschreitung des gesundheitlichen Orientierungswerts (GOW) zu verhindern. Diese außerordentlich ambitionierten Ziele sind allerdings ohne weitere, intensive Anstrengungen für eine Verminderung der Eintragspotenziale nicht realistisch erreichbar. Die zielgerichtete Implementierung von Risikominderungsmaßnahmen ist ohne eine standortspezifische Bewertung der jeweiligen Behandlungsflächen und Einzugsgebiete nicht möglich. Dieser Aufgabe stellt sich eine multinationale Arbeitsgruppe aus Vertretern der Forschung, der Officialberatung, der Privatberatung und der Pflanzenschutzmittelindustrie im Rahmen des vom europäischen Pflanzenschutzverband (ECPA) geförderten TOPPS-prowadis Projektes (TOPPS: Train Operators to Promote best Practices and Sustainability; prowadis: protect water from diffuse sources). In dem von 2011 bis 2014 terminierten Projektzeitraum werden in zwei Arbeitsgruppen, die sich aus Vertretern aus sieben europäischen Ländern zusammensetzen, praxistaugliche Verfahren zur Diagnose und Verminderung von diffusen PSM-Belastungen in Oberflächengewässern entwickelt und der Fachberatung wie auch den Landwirten zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden die Arbeitsergebnisse zur Verminderung und Vermeidung von Oberflächengewässerbelastrungen durch Abschwemmung/Run-off und Erosion dargestellt, die insbesondere für den umweltverträglichen Einsatz von Herbiziden relevant sind.

## **Material und Methoden**

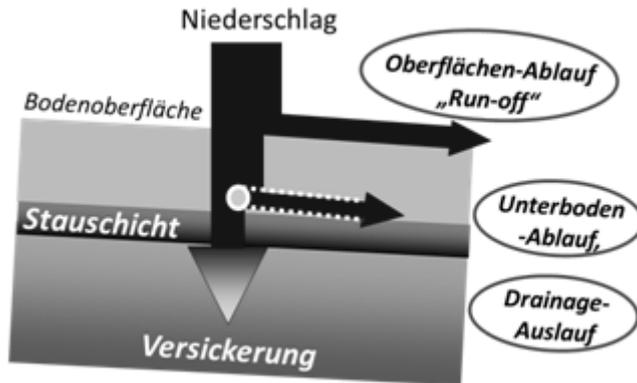
Das wesentliche Arbeitsprinzip besteht aus der Transformierung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Verfahren, z. B. auf GIS-Techniken basierende Risikobewertungs- und Prognosemodelle, in für die pflanzen- und umweltschutztechnische Fachberatung geeignete und effektive Hilfsmittel zur schlagspezifischen Klassifikation des jeweiligen Run-off-Risikos und damit auch zur Möglichkeit ein bestimmtes Gewässereinzugsgebiet beurteilen zu können und vorhandene Hot-Spots im Sinne des Gewässerschutzes zu detektieren. Auf Basis einer umfangreichen Literaturstudie wurden hierbei die bereits bei den französischen Projektpartnern ARVALIS Institut du vegetal (Boigneville) und IRSTEA Cemagref (Lyon) vorhandenen Risikobewertungsverfahren weiterentwickelt. Die Entwicklung der neuen Diagnoseverfahren wurde parallel in sieben europäischen Ländern in repräsentativen Projektgebieten durchgeführt. Hierbei wurde die Praxistauglichkeit der Diagnoseverfahren mit den verfügbaren wissenschaftlichen Standards abgeglichen. Im abschließenden Projektzeitraum wird die Effizienz der den flächenspezifischen Run-off Risikoklassen zugeordneten Verminderungs- und Vermeidungsmaßnahmen überprüft. Neben der wichtigen Aufgabe, neue und harmonisierte Standards für die gute fachliche Praxis zur Verminderung und Vermeidung von PSM Belastungen

durch Run-off und Erosion in Oberflächengewässern zu entwickeln, sind die Erstellung von Materialien für die Information, Schulung und Ausbildung von Landwirten, Beratern und Interessensvertretern und damit die Motivation und Aktivierung von möglichst vielen Beteiligten an der Umsetzung und Verbreitung verbesserter Verfahren für den Gewässerschutz weitere wesentliche Ziele des TOPPS-Projektes.

## **Ergebnisse**

Gewässerbelastungen durch punktuelle Einträge könnten weitestgehend vermieden werden. Diffuse Einträge durch Run-off und Erosion unterliegen allerdings vielfältigen, standort- und jahrgangsspezifischen Einflussfaktoren. Insbesondere extreme Witterungsereignisse in Form von Starkregen können dazu führen, dass das Schutzpotenzial von sachgerechten Risiko-Reduktionsmaßnahmen überfordert wird. Diffuse Wirkeinträge in Oberflächengewässer durch Run-off und Erosion können daher grundsätzlich vermindert, aber nie vollständig vermieden werden. Die Herausforderung besteht darin, ein Risikominderungspotenzial zu ermitteln, das an die durchschnittlichen regionalen Witterungsbedingungen angepasst ist. Extreme Unwetterereignisse (z.B. Eintrittswahrscheinlichkeit einmal in 50 Jahren) können nicht die Basis für die Beratung und die Anwendung von Vermeidungsmaßnahmen sein.

Bei der fallspezifischen Betrachtung von Abflussereignissen können unterschiedliche Formen von Run-off und Erosion festgestellt werden. Eine typische Form von Run-off tritt besonders in Folge von Starkniederschlägen im Frühjahr und teilweise auch im Spätsommer 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, was ebenfalls zu oberflächlichen Ablauf bzw. Run-off und Erosion führen kann (Abb. 1). Eine weitere wichtige Form von 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 Speicherkapazität (Feldkapazität) des Bodens. Im Zusammenhang mit einem wasserübersättigten Boden können zwei spezifische Sonderformen von unterirdischem Run-off auftreten: 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 von lateralem Sickerwasser 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 Absorption gegeben. Laterales Sickerwasser kann an Flussufern oder direkt an exponierten Stellen (Terrassen, Hangquellen) im Wassereinzugsgebiet auftreten. Der zweite 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 Drainage-Ablauf 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 (BROWN VAN BEINUM und VAN BEINUM, 2009).



**Abb. 1** Schema für das Auftreten unterschiedlicher Formen von Run-off.

**Fig. 1** Diagram for the occurrence of different types of run-off.

Ein wichtiger Aspekt im Fall von oberflächlichem Ablauf ist die Konzentration von Run-off in durch die Bewirtschaftung entstandenen Strukturen (z. B. Fahrgassen, Reihenkulturen) oder den vorhandenen Landschaftsformen (Hang, Talweg bzw. Wassersammellinie). 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 auch PSM-Wirkstoffen.

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 Risiko-Minderungsmaßnahmen im Sinne der guten fachlichen Praxis (GfP) festgelegt werden. Die Diagnose des Run-off Risikopotenzials einer einzelnen Ackerfläche ist in der Regel Bestandteil der Bewertung eines Gewässereinzugsgebietes, für die im Vorfeld wichtige Daten und Informationen aus bereits vorhandenen Unterlagen und Datenbanken herangezogen werden. Die Feld-Diagnose 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. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Folgenden nur auf die schlagspezifische Risikobewertung eingegangen. Hierfür wurden fallspezifische Diagnosemethoden in Form einer Bewertungsmatrix entwickelt.

In Tabelle 1 ist die Bewertungsmatrix (D1) für die Diagnose des Run-off Risikos im Fall von begrenzter Infiltration des auftretenden Niederschlagswassers in den Oberboden dargestellt. Die Berücksichtigung der wesentlichen Einflussfaktoren erfolgt hierbei von links nach rechts. In Bezug auf die Lages des Feldes zu einem Oberflächengewässer ist eine Auftrennung in zwei unterschiedliche Bewertungspfade notwendig. Falls das zu bewertende Feld über ein hydraulische Verbindung zu einem Oberflächengewässer verfügt, muss in der zweiten Bewertungsebene die Permeabilität des Oberbodens durch Feldansprache hinsichtlich Verschlämmungsneigung bzw. Schluffanteil, Bodenart, Humusgehalt und Bodenstruktur erfolgen. Nachfolgend wird die Hangneigung nach drei Intensitätsstufen berücksichtigt und daraus eine resultierende Risikoklasse und Run-off Szenario definiert. Falls das zu bewertende Feld allerdings selbst keinen direkten Anschluss an ein Oberflächengewässer besitzt, ist zu beurteilen, ob auftretender Run-off über ein nachgelagertes Feld in ein Gewässer gelangen kann.

**Tab. 1** Bewertungsmatrix für die Klassifikation des Run-off Risikos aufgrund begrenzter Infiltration (D1).

**Tab. 1** Dashboard for the diagnosis of run-off and erosion in case of infiltration restriction (D1).

Lage zum Gewässer	Permeabilität Oberboden	Hangneigung	Risiko Klasse & Szenario*
Feld mit Gewässer verbunden  (angrenzend, bzw. Wasserabfluss in Gewässer möglich)	niedrig	steil (> 5%)	hoch <b>I7</b>
		mittel (2-5%)	hoch <b>I6</b>
		flach (< 2%)	mittel <b>I4</b>
	mittel	steil (> 5%)	hoch <b>I5</b>
		mittel (2-5%)	mittel <b>I3</b>
		flach (< 2%)	niedrig <b>I2</b>
	hoch	steil (> 5%)	mittel <b>I3</b>
		mittel (2-5%)	niedrig <b>I2</b>
		flach (< 2%)	sehr niedrig <b>I1</b>
Feld <u>nicht</u> mit Gewässer verbunden	Run-off in tiefer liegendes Feld?	ja	Run-off erreicht Gewässer?
			ja
	nein	ja	sehr niedrig <b>T2</b>
nein		sehr niedrig <b>T1</b>	

\*) „I“ steht für Infiltration und „T“ für Transfer.

Die zweite Matrix zur Bewertung des Run-off Risikos infolge von Wasserübersättigung (D2) gestaltet sich umfangreicher. Auch hier muss als erstes die hydraulische Anbindung an ein vorhandenes Gewässer geklärt werden. Im Fall einer direkt möglichen Verbindung sind die Faktoren Drainage, Topographie, Permeabilität des Unterbodens und die Wasserhalte- bzw. -speicherkapazität für die Ermittlung einer spezifischen Risikoklasse und Run-off Szenarios zu beurteilen. Für die Bewertung der Unterbodenpermeabilität und Wasserspeicherkapazität ist hierbei eine Aufnahme des Bodenprofils notwendig. Falls das jeweilige Feld keine direkte Anbindung an ein Gewässer besitzt ist wiederum die Möglichkeit eines Transfers zu klären.

Im Regelfall sind beide Bewertungsverfahren (D1 und D2) für das zu beurteilende Feld durchzuführen. Die Diagnose und Bewertung von konzentriertem Run-off und Erosion ist dagegen nur erforderlich, wenn es regelmäßig bei ortsüblichen Niederschlagsereignissen zu entsprechend konzentriertem Run-off kommt. In der hierfür konzipierten Bewertungsmatrix (D3) wird überprüft, ob konzentrierter Run-off in dem zu beurteilenden Feld entsteht oder aus einer höher gelegenen Fläche eingetragen wird. Im Weiteren wird die Form und Intensität des Run-off, hydromorphe Bodenmerkmale und die Infiltrationsfähigkeit von nachgelagerten Puffersystemen bewertet.

Für die Erstellung der verschiedenen Diagnosen wurde ein Feldhandbuch erarbeitet, in dem neben Formblättern für die Dokumentation der Ergebnisse auch Unterlagen für die Bodenansprache enthalten sind. Die Diagnosekonzepte, das Feldhandbuch, ein Kompendium zur guten fachlichen Praxis für die Risikominderung von Run-off Gewässerbelastungen, ein Praxisratgeber und weiterführende Literatur und Informationsmaterialien sind auf der Online-Präsenz [<http://www.topps-life.org/>] verfügbar.

**Tab. 2** Bewertungsmatrix für die Klassifikation des Run-off Risikos aufgrund von Wasserübersättigung (D2).

**Tab. 2** Dashboard to assess the risk for run-off due to saturation excess (D2).

Lage zum Gewässer	Drainage	Topographie	Permeabilität Unterboden	Feldkapazität (nFK*)	Risiko Klasse & Szenario
Feld <u>grenzt an</u> Gewässer	nein	Hangfuß, Tallage	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	hoch <b>S4</b>
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	hoch <b>S4</b>
				> 120 mm	mittel <b>S3</b>
			durchlässig	< 120 mm	mittel <b>S3</b>
		> 120 mm		niedrig <b>S2</b>	
		Hangkopf, einheitliches Gefälle	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	hoch <b>S4</b>
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	mittel <b>S3</b>
				> 120 mm	niedrig <b>S2</b>
	durchlässig		< 120 mm	niedrig <b>S2</b>	
		> 120 mm	sehr niedrig <b>S1</b>		
	ja	alle Lagen	Pflugsohle <u>und</u> Stauschicht	...	mittel <b>SD3</b>
			Pflugsohle, oder Stauschicht	< 120 mm	mittel <b>SD3</b>
> 120 mm				niedrig <b>SD2</b>	
durchlässig			< 120 mm	niedrig <b>SD2</b>	
			> 120 mm	sehr niedrig <b>SD1</b>	
Feld <u>grenzt nicht an</u> Gewässer			Runoff in unterliegendes Feld?	ja	Runoff erreicht Gewässer?
	nein	niedrig <b>T2</b>			
	nein	sehr niedrig <b>T1</b>			

\*) nFK = nutzbare Feldkapazität nach Feldansprache

„S“ steht für Wassersättigung, „SD“ für Wassersättigung mit Drainage und „T“ für Transfer.

**Tab. 3** Bewertungsmatrix für die Klassifikation von konzentriertem Run-off (D3).

**Tab. 3** Dashboard for the diagnosis of concentrated run-off and erosion (D3).

Run-off entsteht im Feld?	Run-off Formen/Intensität und Bodenmerkmale	Risiko-Klasse	
Nein	Run-off kommt aus einer höher liegenden Fläche	C1	
JA	Run-off ist in Fahrgassen konzentriert	C2	
	Run-off verstärkt am Feld-Ende	C3	
	Run-off vor allem an der Feld-Zufahrt	C4	
	Run-off in Rinnen/Rillen	Boden nicht hydromorph	C5
		Boden hydromorph	C6
	Run-off im Talweg bzw. der Wassersammellinie	Boden nicht hydromorph	C7
		Boden hydromorph	C8
	Konzentrierter Run-off <u>ohne</u> Grabenerosion im Talweg		C9
	Run-off <u>mit</u> Grabenerosion im Talweg	Hohe Infiltration im Puffer	C10
		Niedrige Infiltration im Puffer	C11

„C“ steht für konzentrierten Run-off.

Auf Basis der feldspezifischen Risikodiagnose sind geeignete und dem jeweiligen Risikograd angepasste Minderungsmaßnahmen anzuwenden. Den einzelnen Risikoklassen und Szenarien sind entsprechend geeignete Maßnahmen zur Verminderung des Risikos für Run-off und Erosion zugeordnet. Sie betreffen im Wesentlichen unterschiedliche Verfahren der Bodenbearbeitung, Anbaumethoden, Puffer- und Rückhaltesysteme, die Bewässerungssteuerung und den angepassten Einsatz von PSM. Entsprechend angepassten Verfahren der Bodenbearbeitung und Anbaumethoden kommt hierbei die größte Bedeutung zu, da sie auf die Vermeidung der Entstehung von Run-off und Erosion in der Fläche abzielen. Die einzelnen Maßnahmen zielen dabei auf die Verbesserung der Wasseraufnahme- und Wasserspeicherefähigkeit des jeweiligen Standortes ab. Neben der Verminderung oder Vermeidung von Run-off und Erosion wirken sie auch hinsichtlich der Rückhaltung von Nährstoffausträgen und fördern die nachhaltige Ertragsfähigkeit. Im Bereich der Bodenbearbeitung sind dies im Wesentlichen Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung, die je nach Intensität des spezifischen Run-off Risikos den Bereich eines temporären Verzichts auf tief-wendende Bodenbearbeitung bis hin zu Direktsaatverfahren umspannen. Die Vermeidung von Strukturschäden in Form von Oberboden- und Untergrundverdichtungen sichert die standortspezifische Wasseraufnahmefähigkeit ab. Eine wichtige Bedeutung kommt auch dem Fahrgassenmanagement und der Technik der Saatbettbereitung zu. Die Anpassung der Anbaumethoden hinsichtlich Fruchtfolge, Kulturwechsel im Geländeverlauf, Anbau entlang der Hanglinien oder regelmäßiger Zwischenfruchtanbau wirkt sowohl direkt auf die unmittelbare Anfälligkeit gegenüber Run-off und Erosion als auch langfristig hinsichtlich der nachhaltigen Verbesserung der Bodenstruktureigenschaften des Standortes. Bei der Implementierung der jeweiligen Maßnahmen ist neben der risikospezifischen Notwendigkeit für die Intensität und Kombination verschiedener Maßnahmen auch die sozioökonomische Akzeptanz der betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe zu berücksichtigen. Hierbei kann eine Vernetzung von Maßnahmenprogrammen zwischen den Betrieben eines Einzugsgebietes genauso hilfreich sein, wie ein gegebenenfalls möglicher finanzieller Ausgleich im Rahmen von Förderprogrammen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit.

Beim PSM-Einsatz kommt der Herbizidbehandlung eine besondere Bedeutung zu, weil diese Mittel in der Regel in einem sehr frühen Stadium der jeweiligen Feldkultur eingesetzt werden, in dem der weitgehend offene Boden ein hohes Run-off Risiko bei stärkeren Niederschlagsereignissen aufweist (BAKER und MICKELSON, 1994). Nicht alle Herbizid-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 vom abfließenden Wasser mit verfrachtet, während hydrophobe Substanzen vorwiegend in adsorbierter Form durch Sedimentverlagerung (Erosion) ausgetragen werden können. Die spezifischen Stoffeigenschaften bestimmen die Art und Weise und das Risikopotenzial für eine Verlagerung durch Wasserabfluss bei Run-off und Erosion. Die Hauptmerkmale Persistenz und Mobilität im Boden charakterisieren das Verhalten der Wirkstoffe nach der Ausbringung. Da für Berater und Anwender die für die Bewertung dieser Faktoren notwendigen Daten in der Regel nicht verfügbar sind, ist die Berücksichtigung der mit der Zulassung ausgesprochenen Anwendungsbestimmungen hinsichtlich des Abschwemmungsrisikos auf Hangflächen ein wichtiges Kriterium für die spezifische Risikoeinstufung einzelner Präparate. Für alle Herbizide 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. Der witterungsbezogenen Einsatzplanung kommt daher im Rahmen der anwendungstechnischen Möglichkeiten eine wichtige Bedeutung zu. Spätere Nachauflaufbehandlungen auf einen gegebenenfalls bereits geschlossenen Kulturbestand haben hierbei ein grundsätzlich geringeres Run-off Risiko als Vorauflauf- oder sehr frühe Nachauflaufbehandlungen.

## Diskussion

Die Verminderung und Vermeidung von Gewässerbelastungen durch Run-off und Erosion von PSM ist eine wichtige Aufgabe für die Weiterentwicklung eines möglichst umweltverträglichen PSM-Einsatzes in der Landwirtschaft. Neben den direkten positiven Effekten durch die Schonung der aquatischen Ökosysteme und den aktiven Grund- und Trinkwasserschutz als unverzichtbare Lebensgrundlage kann durch erfolgreiche und flächendeckende Maßnahmen zur Risikominimierung auch die Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl an PSM und Herbiziden abgesichert werden. Ein Verlust an einsatzfähigen Wirkstoffen hat nicht nur negative Konsequenzen für die jeweilige Indikation bzw. die Effizienz der Unkrautkontrolle; weniger Wirkstoffe führen auch verstärkt zu Problemen im Bereich der Herbizidresistenz und zur relativen Steigerung des Einsatzumfangs der verbleibenden Wirkstoffe, was wiederum ein erhöhtes Umweltbelastungspotenzial verursachen kann.

Das natürliche Phänomen von Run-off und Erosion ist durch multifaktorielle, nicht-lineare Prozesse in der Entstehung und der jeweils auftretenden Intensität gekennzeichnet (BLANCHARD und LEARCH, 2000). Weiterhin sind wesentliche Faktoren für das Auftreten von Run-off- und Erosionsereignissen nicht regulierbar. Die vorbeugende Implementierung von sachgerechten und situationsbezogenen Risikominderungsmaßnahmen ist daher eine erhebliche Herausforderung für die Fachberatung und erfordert eine hohe Motivation bei der Anwendung und nachhaltigen Umsetzung auf Seiten der Landwirtschaft. Hierbei kommt erschwerend hinzu, dass die Auswirkungen von Run-off Minderungsmaßnahmen häufig nicht unmittelbar erkennbar sind und/oder nur sehr zögerlich wirksam werden (MEALS *et al.*, 2010). Andererseits haben Maßnahmen zur Verminderung von Run-off und Erosion neben der Reduzierung der PSM-Gewässerbelastung regelmäßig auch positive Effekte hinsichtlich der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, der Standortertragsleistung und der Begrenzung von Nährstoffverlusten (REICHENBERGER *et al.*, 2007).

Die im Rahmen des TOPPS-prowadis Projektes entwickelten Diagnosemethoden und Standards für eine gute fachliche Praxis zur Minimierung der Gewässerbelastung sind effiziente und praktikabel anwendbare Verfahren. Hiermit stehen der Fachberatung erstmals fundierte und felddaugliche Methoden zur Verfügung, um die komplexen Prozesse von Run-off und Erosion in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft positiv zu beeinflussen und damit zu einer Verbesserung des Gewässerschutzes und des nachhaltigen PSM-Einsatzes beizutragen (AGNEW *et al.*, 2006).

## Literatur

- AGNEW, L. J., S. LYON, P.G. MARCHANT, V.B. COLLINS, A.J. LEMBO, T.S. STEENHUIS und M.T. WALTER, 2006: Identifying hydrologically sensitive areas: bridging the gap between science and application. *Journal of Environmental Management* **78**(1), 63–76.
- ANBUMOZHI, V., J. RADHAKRISHNAN und E. YAMAGI, 2005: Impact of riparian buffer zones on water quality and associated management considerations. *Ecological Engineering* **24**, 517–523.
- ANGIER, J. T., G.W. MCCARTY, C.P. RICE und K. BIALEK, 2002: Influence of riparian wetland on nitrate and herbicides exported from an agricultural field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 4424–4429.
- BAKER, J. L. und S.K. MICKELSON, 1994: Application technology and best management practices for minimizing herbicide run-off. *Weed Technology* **8**, 862–869.
- BANASIK, K. und L. HEJDUK, 2012: Long-term changes in run-off from a small agricultural catchment. *Soil and Water Res.* **7**, 64–72.
- BLANCHARD, P.E. und R.N. LEARCH, 2000: Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: interactions of chemistry, hydrology, and land use. *Environ. Sci. Technol.* **34**, 3315–3322.
- BROWN, C.D. und W. VAN BEINUM, 2009: Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environmental Pollution*. **157**, 3314–3324.
- DABNEY, S.M., M.T. MOORE und M.A. LOCKE, 2006: Integrated management of in-field, edge-of-field, and after-field buffers. *Journal of American Water Resources Association* **42**, 15–24.
- FAWCETT, R. S., B.R. CHRISTENSEN und D.P. TIERNEY, 1994: The impact of conservation tillage on pesticide run-off into surface water: A review and analysis. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**(2), 126–135.
- FIENER, P. und K. AUERSWALD, 2003: Effectiveness of grassed waterways in reducing run-off and sediment delivery from agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* **32**, 927–936.
- FLANAGAN, D. C., G.R. FOSTER, W.H. NEIBLING und J.P. BURT, 1989: Simplified equations for filter strip design. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **32**, 2001–2007.

- GHIDEY, F., C. BAFFAUT, R.N. LERCH, N.R. KITCHEN, E.J. SADLER und K.A. SUDDUTH, 2010: Herbicide transport to surface run-off from a claypan soil: Scaling from plots to fields. *Journal of Soil and Water Conservation* **65(3)**, 168–179.
- KRUTZ, L. J., S.A. SENSEMAN, R.M. ZABLOTOWICZ und M.A. MATOCHA, 2005: Reducing herbicide run-off from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science* **53**, 353–367.
- LACAS, J. G., M. VOLTZ, V. GOUY, *et al.*, 2005: Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **25**, 253–266.
- LEU, C., M.K. SCHNEIDER und C. STAMM, 2010: Estimating Catchment Vulnerability to Diffuse Herbicide Losses from Hydrograph Statistics. *J. Environ. Qual.* **39**, 1441–1450.
- LOWRANCE, R., S. DABNEY und R. SCHULTZ, 2002: Improving water and soil quality with conservation buffers. *J. Soil Water Conserv.* **57**, 36–43.
- MEALS, D. W., S.A. DRESSING und T.E. DAVENPROT, 2010: Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices – A Review. *J. Environ. Qual.* **39**, 85–96.
- NORRIS, V., 1993: The use of buffer zones to protect water quality – a review. *Water Resources Management* **7**, 257–272.
- OTTO, S., A. CARDINALI, E. MAROTTA, C. PARADISI und G. ZANIN, 2012: Effect of vegetative filter strips on herbicide run-off under various types of rainfall. *Chemosphere* **88**, Issue 1, 113–119.
- POPOV, V. H., P.S. CORNISH und H. SUN, 2006: Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural run-off. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **114**, 351–359.
- PROKOPY, L. S., K. FLORESS, D. KLOTTHOR-WEINKAUF und A. BAUMGART-GETZ, 2008: Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* **63(5)**, 300–311.
- RABOTYAGOV, S. S., M.K. JHA und T. CAMPBELL, 2010: Impact of crop rotations on optimal selection of conservation practices for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation* **65(6)**, 369–380.
- RANKINS, A., D.R. SHAW und M. BOYETTE, 2001: Perennial grass filter strips for reducing herbicide losses in run-off. *Weed Science* **49**, 647–651.
- RANKINS, A., D.R. SHAW und J. DOUGLAS, 2005: Response of perennial grasses potentially used as filter strips to selected postemergence herbicides. *Weed Technology* **19**, 73–77.
- REICHENBERGER, S. M. BACH, A. SKITSCHAK und H. FREDE, 2007: Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment* **384**, 1–35.
- SHIPITALO, M. J. AND L.B. OWENS, 2006: Tillage system, application rate, and extreme event effects on herbicide losses in surface run-off. *J. Environ. Qual.* **35**, 2186–2194.
- ZHANG, X., L. XINGMEI, M. ZHANG, R.A. DAHLGREN und M. EITZEL, 2010: A Review of Vegetated Buffers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.* **39**, 76–84.