

Pflanzenschutzmitteleinträge durch Erosion und Abschwemmung reduzieren

Volker Prasuhn¹, Tobias Doppler², Simon Spycher³ und Christian Stamm³

¹Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

²VSA-Plattform Wasserqualität, 8600 Dübendorf, Schweiz

³Eawag, 8600 Dübendorf, Schweiz

Auskünfte: Volker Prasuhn, E-Mail: volker.prasuhn@agroscope.admin.ch



Kleine Fliessgewässer werden häufig durch Pflanzenschutzmitteleinträge belastet. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope)

Einleitung

Aktuelle Gewässeruntersuchungen zeigen, dass Fliessgewässer in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten häufig stark mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) belastet sind. Die numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung bezüglich PSM (0,1 µg/l je Einzelstoff) werden nicht erfüllt und die ökotoxikologisch basierten Qualitätskriterien werden – insbesondere in kleinen Gewässern – regelmässig überschritten (Munz *et al.* 2012; Wittmer *et al.* 2014; Doppler *et al.* 2017). Bezogen auf die Länge der beeinträchtigten Fliessstrecke, die Anzahl an Stoffen und das Risiko für ökotoxikologische Effekte ist die Landwirtschaft als wichtigste Quelle diffus eingetragener PSM anzusehen (Braun *et al.* 2015). Die beobachtete Konzentrationsdynamik in den Gewäs-

sern gibt klare Hinweise auf die relevanten Eintragsprozesse. Hohe PSM-Spitzen treten in kleinen Gewässern häufig während und nach Niederschlagsereignissen auf, was durch Abschwemmung, Erosion oder schnellen Drainageabfluss zu erklären ist. Feldbeobachtungen stützen diese Interpretation.

Der nationale Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln strebt eine deutliche Reduktion der Einträge durch die Landwirtschaft in Gewässer an (Der Bundesrat 2017). Um die Gewässerbelastung durch PSM zu reduzieren, sind deshalb unter anderem Massnahmen zur Verminderung von Abschwemmung und Erosion notwendig. Die von Hanke *et al.* (2014) und Alix *et al.* (2017) vorgestellten

Massnahmen lassen sich direkt mit der Zulassung von PSM verknüpfen. Neue Weisungen betreffend der Massnahmen zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln für Abschwemmung sind derzeit beim Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) in Erarbeitung.

Der vorliegende Artikel gibt eine generelle Übersicht zu Massnahmen betreffend Verminderung der PSM-Einträge in Gewässer aus Ackerflächen und beschreibt insbesondere auch Massnahmen, die unabhängig von der Produktzulassung sind. Betrachtet werden Stoffeinträge über Erosion, Abschwemmung und Drainage; ein Bereich, beim dem sich Boden- und Gewässerschutz substanziell überlappen. Reduktionsmassnahmen zu anderen Eintragungspfaden wie Abdrift, Auswaschung ins Grundwasser, Einträgen aus Punktquellen oder die Reduktion von PSM-Einsatz sowie präventive Pflanzenschutzmassnahmen sind nicht Bestandteil dieser Arbeit. In Dauerkulturen wie Obst und Reben sowie im Gartenbau und in Privatgärten gibt es teilweise spezielle Massnahmen. Die nachfolgende Übersicht an Massnahmen beschränkt sich auf Acker- und Gemüseflächen.

Relevante Transportprozesse

Oberflächenabfluss kann während Niederschlägen oder Schneeschmelze entstehen, wenn der Boden bis zur Oberfläche mit Wasser gesättigt ist (Sättigungsüberschuss) oder die Niederschlagsintensität das Aufnahmevermögen des Bodens übersteigt (Infiltrationsüberschuss) (Abb. 1). Letzteres kann vor allem bei Starkregen und auf verschlammtem, verkrustetem oder gefrorenem Boden passieren. Von Sättigungsüberschuss sind häufig Standorte mit stauenden Schichten (natürlich oder durch Bodenverdichtung), Grundwassernähe, Mulden, Senken und Hangfusslagen betroffen. Der auf beide Arten entstehende Oberflächenabfluss kann zu Bodenerosion (Sediment- und partikulärer Stofftransport) und/oder Abschwemmung (gelöster Stofftransport) führen. Dabei kann der Transport flächenhaft oder konzentriert (Rillen, Talwege) erfolgen. Bodenerosion durch Wasser ist immer mit Abschwemmung verbunden, während Abschwemmung auch ohne Bodenerosion stattfinden kann.

Drainageabfluss gehört eigentlich nicht zum Oberflächenabfluss, sondern zum Sickerwasserabfluss. Oberflächenabfluss kann aber über präferenzielle Fliesswege (Makroporen) unter mehrheitlicher Umgehung der Bodenmatrix in die Drainage gelangen. Da Drainagen in der Regel in ein Oberflächengewässer münden, bilden sie somit einen Kurzschluss zum Gewässer.

Oberflächenabfluss und Drainageabfluss sind zeitlich und räumlich häufig gekoppelt und schwer voneinander

Zusammenfassung

Viele Schweizer Bäche zeigen hohe Belastungen mit Pflanzenschutzmitteln (PSM). Erosion und Abschwemmung sind dabei wichtige Eintragungspfade. Dieser Artikel gibt eine Übersicht über Massnahmen zur Verminderung der PSM-Einträge in Gewässer aus Ackerflächen über die Pfade Erosion, Abschwemmung und Drainage sowie eine expertenbasierte, qualitative Bewertung dieser Massnahmen bezüglich Forschungsstand, Praxistauglichkeit, Akzeptanz, Stand der Umsetzung und Reduktionspotenzial. Die Wirksamkeit vieler Massnahmen ist wissenschaftlich belegt, die Praxistauglichkeit ist ebenfalls häufig gegeben. Die Akzeptanz der Massnahmen seitens der Landwirtinnen und Landwirte und vor allem die Umsetzung könnte deutlich verbessert werden. Viele der Massnahmen haben standortspezifisch ein grosses Potenzial zur Reduktion der PSM-Einträge, doch nur bei wenigen Massnahmen kann es gesamtschweizerisch realisiert werden. Wegen der grossen Variation der Standortfaktoren in der Schweiz sind Reduktionsmassnahmen daher regional und standortangepasst zu ergreifen.

der zu trennen. Dabei kann der Transport ins Gewässer direkt oder auch indirekt über Wege- und Strassentwässerungen, Wartungs- und Einlaufschächte oder Drainagen erfolgen. Somit können auch weit von einem Oberflächengewässer entfernt liegende Flächen zur Gewässerbelastung mit PSM beitragen.

Reduktionsmassnahmen

Oberflächenabfluss beziehungsweise Abschwemmung und Erosion können auf geeigneten landwirtschaftlich genutzten Flächen kaum vollständig verhindert, aber stark vermindert werden. Ungünstige Konstellationen zwischen Kulturanbauphase und Witterungsbedingungen, die Oberflächenabfluss zur Folge haben, lassen sich nie vollkommen ausschliessen. Die Reduktionsmassnahmen lassen sich in verschiedene Typen untergliedern (Abb. 2). Massnahmen können die gesamte Bewirtschaftungsparzelle (z.B. Mulchsaat oder Winterbegrünung) oder nur Teile der Parzelle betreffen (z.B. Begrünung des Vorgewendes), oder sie werden ausserhalb der Parzelle eingesetzt, um die Konnektivität zum Gewässer zu brechen (z.B. Gewässerrandstreifen). Viele Massnahmen

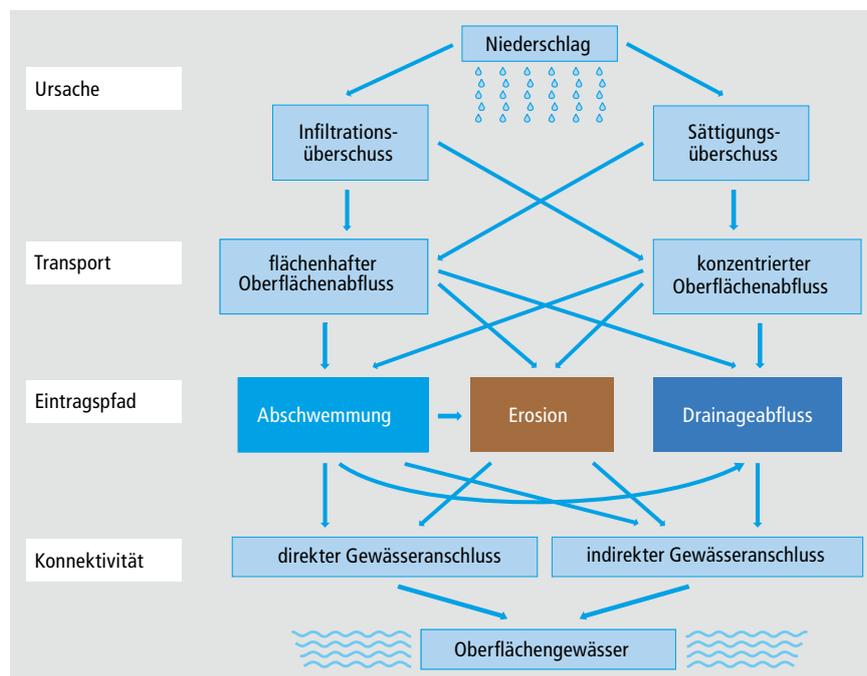


Abb. 1 | Schema zu wichtigen Prozessen und Einflussfaktoren, die zu Stoffeinträgen via Abschwemmung, Erosion und Drainagen in Oberflächengewässer beitragen.

sind agronomisch, d. h. vom Landwirt selber im Rahmen seiner Feldbewirtschaftung durchzuführen. Es gibt aber auch eher technische Lösungen, z.B. die Anlage von Retentionsweihern oder Schutzgräben und -dämmen. Schliesslich dienen viele Massnahmen der Ursachenbekämpfung, d. h. der Verminderung von Oberflächenabfluss beziehungsweise Abschwemmung und Erosion. Massnahmen wie Pufferstreifen am Gewässer sind dagegen eher Symptombekämpfung, da sie nur den Gewässereintritt vermindern sollen, nicht aber die eigentlichen Ursachen: Abschwemmung und Erosion. Je nach Ursache und lokalen Gegebenheiten können Massnahmen der verschiedenen Massnahmentypen gleichwertig oder auch kombiniert eingesetzt werden und zur Problemlösung beitragen. Agronomische Massnahmen, die auf der gesamten Parzelle der Ursachenbekämpfung dienen, sind aber zu priorisieren, da hier eine besonders nachhaltige und effiziente Wirkung zu erwarten ist.

Forschungsstand

Der Forschungs- und Wissensstand bezüglich Boden-erosion ist sowohl bezüglich Prozessverständnis als auch Wirkungsweise von Reduktionsmassnahmen international und national gut bis sehr gut. Es gibt eine nationale Erosionsrisikokarte (ERK2) und Gewässeranschlusskarte (GAK2), verschiedene Massnahmenkataloge und Merkblätter, ein Langzeitmonitoring in der Testregion Frienis-

berg (BE) sowie ein Hilfsmittel Massnahmenplan Erosion (Agridea 2017).

Bezüglich Abschwemmung ist der Forschungsstand etwas schlechter, aber zufriedenstellend. Es gibt verschiedene Fallstudien, vor allem auch in Zusammenhang mit Abschwemmung von Phosphor (P). Bezüglich Drainageabfluss ist der Wissensstand hingegen lückenhaft und unbefriedigend. Die Transportprozesse sind zwar grundsätzlich verstanden, es ist aber kaum möglich, quantitative Vorhersagen über Stoffverluste aus Drainagen auf einzelnen Feldern oder in Einzugsgebieten zu machen. Zum einen ist die Datenlage zur exakten Lage, Verbreitung und Zustand von Drainagen in der Schweiz dürftig. Auf der anderen Seite gibt es keine einfachen, grossflächig anwendbaren Modelle, welche die komplexen Wirkungszusammenhänge bezüglich Wasser- und Stoffhaushalt verlässlich abbilden. Weiterhin fehlen in weiten Teilen der Schweiz grossmassstäbige Bodenkarten, die für die Beurteilung des Eintragsrisikos von PSM in Gewässer über Erosion, Abschwemmung und Drainage von grosser Bedeutung sind.

Parallelen von Phosphor- und PSM-Einträgen

Die Transportprozesse vieler PSM sind sehr ähnlich wie diejenigen von P. P sorbiert stark an Ton-Humus-Komplexe. Auch für viele PSM stellt das organische Material das wichtigste Sorptionsmaterial im Boden dar. Der

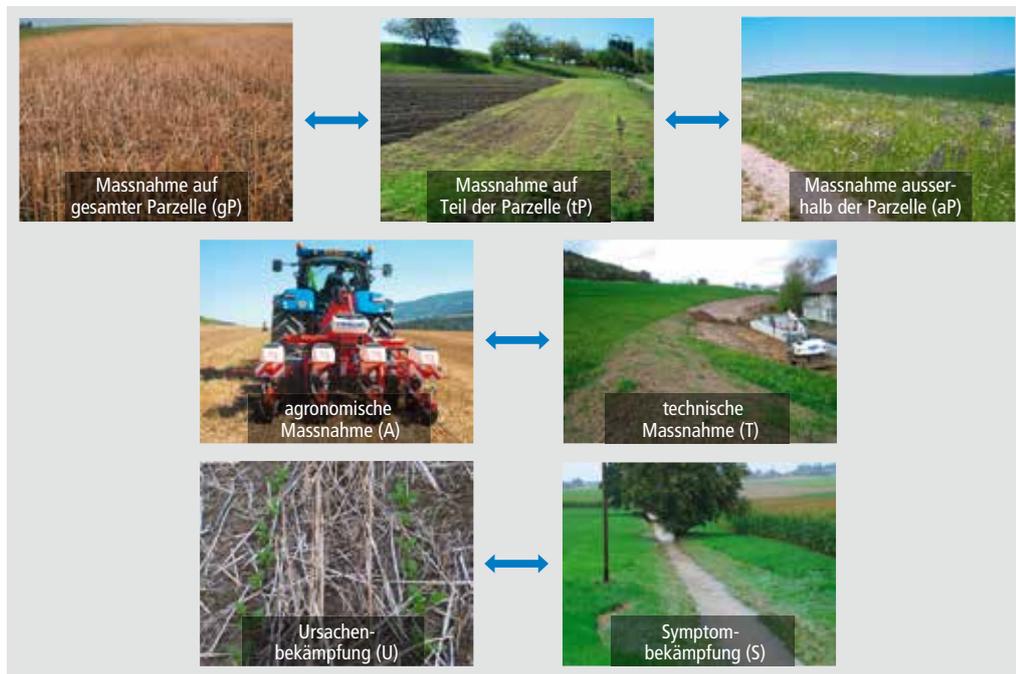


Abb. 2 | Typen von Massnahmen von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Gewässer. Die Buchstaben im Klammern dienen zur Klassifizierung der Massnahmen in Tabelle 1.

partikuläre P-Transport über Erosion ist daher ähnlich wie der partikuläre Transport von stärker adsorbierenden PSM; allerdings ist der Anreicherungsfaktor von PSM im Erosionsmaterial stoffabhängig und deshalb sehr unterschiedlich. Der gelöste P-Transport über Abschwemmung von Ackerflächen verläuft ähnlich wie der gelöste Transport von weniger stark sorbierenden PSM. Auch in Drainagen sind P- und PSM-Verluste in der Regel ereignisgetrieben, d. h. die Konzentrationen steigen mit dem Abfluss an. Untersuchungen aus Schweden zeigen zudem klare Korrelationen zwischen P- und PSM-Konzentrationen.

Bezüglich der Minderungsstrategie für PSM bedeutet dies, dass alle Erosionsschutzmassnahmen auch geeignete Massnahmen sind, um PSM-Einträge über Erosion und damit verbundener Abschwemmung zu reduzieren. Erosionsschutzmassnahmen zielen allerdings in erster Linie auf den partikulären Transport. Um die Abschwemmung gelöster PSM zu vermindern, sind andere oder zusätzliche Massnahmen nötig. PSM-Einträge über präferenziellen Fluss in Drainagen können durch manche Massnahmen ebenfalls reduziert werden, da präferenzielle Fliesswege nur dann wichtig sind, wenn oberflächennah viel Wasser seitlich in diese Fliesswege hineinströmt. Welches Reduktionspotenzial für Drainageeinträge besteht, ist aber schwierig zu quantifizieren. Hier besteht noch Forschungsbedarf. Alle auf der Parzelle

ansetzenden Massnahmen haben neben der Reduktion von PSM-Einträgen in Gewässer auch weitere Vorteile: Sie dienen der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit oder der Verminderung der Nährstoffeinträge in Gewässer (Eutrophierung); einige fördern auch die Biodiversität und erhöhen die Bodenwasserverfügbarkeit und Grundwasserneubildung.

Resultate

Die wichtigste Verminderungsmassnahme ist die Förderung eines möglichst vollständigen Versickerens (Infiltration) des Niederschlagswassers in den Boden. Dies kann am besten durch eine geringe Bodenbearbeitungsintensität und eine grobe Saatbettbereitung erzielt werden. Neben der Verminderung von Erosions- und Abschwemmungsverlusten hat die vollständige Infiltration weitere positive agronomische Wirkungen wie die Verbesserung der Wasser- und Nährstoffspeicherung. Bodenverdichtung ist ein wichtiger Grund verminderter Wasseraufnahme durch den Boden sowie für Sättigungsüberschuss. Wissen und Technik bezüglich Verminderungsmassnahmen gegen Bodenverdichtung sind vorhanden (z. B. Terranimo, www.terranimo.ch), doch zunehmende Fahrzeuglasten und Termindruck von Landwirtinnen und Landwirten oder Lohnunternehmerinnen und Lohnunternehmern stehen dem entgegen. Alle anderen

Tab. 1 | Expertenbasierte Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Erosion und Abschwemmung. Zur genaueren Beschreibung der Massnahmen siehe TOPPS-Prowadis (2014) und Agridea (2017).

| Massnahme | Wissensstand | Anwendbarkeit, Praxis-tauglichkeit | Akzeptanz Landwirte | Stand der Umsetzung CH | Reduktions-potenzial PSM-Eintrag | Massnahmentyp und Prozess (Abb. 1 und 2) | | |
|---|--------------|------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|--|-----|-----|
| geringere Bodenbearbeitungsintensität | ++ | ++ | + | + | ++ | gP | A | U |
| grobe Saatbettbereitung | ++ | ++ | 0 | 0 | ++ | gP | A | U |
| Vermeidung von Bodenverdichtung | ++ | + | + | – | ++ | gP | A | U |
| Aufkalkung (pH-Wert erhöhen) | ++ | ++ | ++ | + | 0 | gP | A | U |
| Eintrag von organischer Substanz | ++ | + | + | 0 | + | gP | A | U |
| Kulturwahl und Optimierung der Fruchtfolge | ++ | – | – | + | ++ | gP | A | U |
| Anbau von Zwischenkulturen, Winterbegrünung | ++ | + | ++ | + | + | gP | A | U |
| doppelte Saatstärke bei Drillsaat, Saat übers Kreuz | 0 | + | + | – | 0 | gP | A | U |
| Mischkulturen (Leguminosen-Getreide) | + | ++ | + | 0 | 0 | gP | A | U |
| Anlage von Querdämmen oder Strohmatte in Dammkulturen | – | 0 | ? | – | ? | tP | A | U |
| exakte höhenlinienparallele Bewirtschaftung (GPS) | ++ | – | – | – | 0 | gP | A | U |
| Streifenanbau quer zum Hang | ++ | + | + | + | + | gP | A | U |
| Planung und Ausrichtung von Fahrgassen | + | + | 0 | 0 | 0 | tP | A | U |
| Fahrgassen auflockern, begrünen; Erdwälle anlegen | – | ? | – | – | ? | tP | A | U |
| Erntegassen begrünen (Gemüse) | + | ++ | + | 0 | 0 | tP | A | U |
| Verbreiterung des Vorgewendes (quer zum Hang) | – | ? | – | – | ? | tP | A | U |
| Begrünung des Vorgewendes | 0 | + | – | – | 0 | tP | A | U |
| bewachsene Pufferstreifen im Feld | ++ | + | – | 0 | 0 | tP | A | S/U |
| Talwegpuffer (<i>grassed waterways</i>) | + | – | – | – | 0 | tP | A/T | S/U |
| Anlage von Hecken im Feld | ++ | – | – | – | 0 | tP | A/T | S/U |
| Pflege von Feldzufahrten | – | ? | ? | – | ? | tP | A/T | S/U |
| bewachsene Pufferstreifen am tiefer liegenden Feldrand | ++ | + | – | – | + | aP | A/T | S |
| bewachsene Pufferstreifen am Gewässer | ++ | ++ | + | + | + | aP | A/T | S |
| bewachsene Pufferstreifen an Einlaufschächten | 0 | ? | ? | – | ? | aP | A/T | S |
| Anlage von Retentionsweihern | 0 | – | – | – | 0 | aP | T | S |
| Anlage von bewachsenen Erdwällen oder Gräben (Feldrand) | ++ | – | – | – | 0 | aP | T | S |
| Wasser ableiten (Furchen) | 0 | – | 0 | 0 | – | tP | T | S |

++ = sehr gut + = gut 0 = mittel – = gering ? = unklar ■ = Infiltrationsüberschuss ■ = Sättigungsüberschuss ■ = beides
 gP = ganze Parzelle tP = Teil einer Parzelle aP = ausserhalb Parzelle A = agronomisch T = technisch U = Ursachenbekämpfung S = Symptombekämpfung

Massnahmen aus Tabelle 1 sind als Ergänzung sinnvoll, da die Sicherstellung einer vollständigen Infiltration durch die oben aufgeführten Massnahmen nicht immer möglich ist.

Verminderungsmassnahmen müssen standortspezifisch sein. Nicht jede Massnahme eignet sich für jeden Standort, und nicht jede Massnahme hat auf jedem Standort die gleiche Wirkung. Massnahmenkombinationen sind oftmals sinnvoll. Massnahmen müssen überbetrieblich umgesetzt werden, wenn der Oberflächenabfluss sich über mehrere Parzellen verschiedener Bewirtschafter erstreckt oder Wasserzufluss aus nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen (Strassen, Wald) erfolgt. Es wurde bewusst darauf verzichtet, das Potenzial quantitativ abzuschätzen, da die Wirkung von Massnahmen sehr

standortabhängig ist und auch die Befunde aus der Literatur zu vielen Massnahmen sehr grosse Streuung zeigen. Sehr eindrücklich wurde das für die Wirksamkeit von Pufferstreifen gezeigt (Reichenberger *et al.* 2007). Daher bieten auch die bestehenden Ansätze zur Risikobewertung von PSM-Einträgen immer eine Palette möglicher Massnahmen, aus denen dann je nach Situation im Feld die geeigneten ausgewählt werden können. Zur Bewertung des Risikos von PSM-Austrag aus Ackerflächen in Gewässer durch Erosion und Abschwemmung bestehen bereits verschiedene Ansätze (TOPPS-Prowadis 2014; Bühler und Daniel 2017; Noll *et al.* 2010). Die Risikodiagnose einer Parzelle beruht dabei jeweils auf einer Bewertungsmatrix, welche die wichtigsten Einflussfaktoren für Oberflächenabfluss, Erosion und Drai-

nagen sowie den Anschluss an ein Gewässer analysiert. Der Ansatz von Bühler und Daniel (2017) wurde in der Schweiz erfolgreich angewendet und stellt ein geeignetes Vorgehen dar. Je nach Risikoeinstufung können dann Empfehlungen für Verminderungsmassnahmen abgeleitet werden. Am meisten Erfahrungen mit solchen Ansätzen bestehen in Frankreich, wo die vom ARVALIS-Institut entwickelte Bewertungsmethodik mittlerweile auf über einer Million Hektaren angewendet wurde (B. Réal, ARVALIS, pers. Mitt. 2016); aber auch in anderen Nachbarländern werden zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie grosse Anstrengungen unternommen, um die PSM-Einträge zu reduzieren.

In Tabelle 1 wurden die wichtigsten Massnahmen zur Reduktion von PSM-Einträgen in Gewässer ohne Anspruch auf Vollständigkeit in Anlehnung an bestehende Massnahmenkataloge (TOPPS-Prowadis 2014; BLW und BAFU 2016; Agridea 2017) zusammengestellt. Mit dem Handbuch von TOPPS-Prowadis (2014) liegt ein gut dokumentierter und anschaulich beschriebener Massnahmenkatalog aus dem benachbarten Ausland vor. Die Bewertung der Massnahmen in Tabelle 1 beruht auf Expertenwissen und wurde mit praxiserfahrenen Kollegen verschiedener kantonaler Fachstellen abgestimmt. Sie zeigt den schweizerischen Durchschnitt; in einzelnen Kantonen kann es durchaus grössere Abweichungen davon geben. Auch zwischen Deutsch- und Westschweiz gibt es bei der Akzeptanz und beim Stand der Umsetzung teilweise grosse Unterschiede.

Beim Forschungs- und Wissensstand zeigt sich, dass für die meisten Massnahmen in der Schweiz ausreichende Kenntnisse, d. h. wissenschaftliche Publikationen zu Wirkungsweise und Effizienz, existieren. Bei der Praxistauglichkeit wurde bewertet, ob die jeweilige Massnahme in der Schweiz praxiserprobt ist und entsprechende Erfahrungen für die Umsetzung der Massnahme existieren, und wie einfach sie umzusetzen ist. Hier zeigt sich, dass bei einigen Massnahmen noch Defizite bestehen. Zudem sind manche Massnahmen für die Schweizer Landwirtschaft (kleine Parzellengrösse, starke Reliefierung etc.) kaum geeignet (z. B. höhenlinienparallele Bewirtschaftung, Verbreiterung des Vorgewendes, Talwegpuffer). Nur bei wenigen Massnahmen besteht in weiten Kreisen der Landwirtschaft eine gute Akzeptanz, da viele Massnahmen mit zusätzlichem Aufwand oder Kosten verbunden sind. Massnahmen, welche die Produktionsfläche verkleinern (z. B. Pufferstreifen im Feld, Anlage von Hecken) oder Eingriffe in die Betriebsstruktur darstellen (z. B. Kulturwahl und Optimierung der Fruchtfolge), stossen im Allgemeinen auf geringe Akzeptanz. Beim Stand der Umsetzung spielen gesetzliche Regelun-

gen (z. B. ÖLN-Richtlinien für Pufferstreifen, geregelte Fruchtfolge, Bodenbedeckung) oder Förderprogramme (z. B. Ressourceneffizienzbeiträge für schonende Bodenbearbeitung) eine wichtige Rolle. Auch wenn einige Massnahmen weit verbreitet sind, gibt es hier noch Verbesserungspotenzial. Viele Massnahmen werden aber nur vereinzelt eingesetzt, und es gibt grosse regionale Unterschiede.

Das Potenzial der Massnahmen zur Reduktion von PSM-Einträgen in die Gewässer soll zeigen, ob die jeweilige Massnahme für die Gewässerbelastung der ganzen Schweiz relevant ist. Die Bewertung erfolgt dabei unabhängig davon, ob die Massnahme noch nicht oder bereits sehr verbreitet ist und stellt daher das Gesamtpotenzial dar. Jede Massnahme kann in einer bestimmten Situation ein sehr grosses Reduktionspotenzial haben. Beschränkt sich eine Massnahme nur auf bestimmte Situationen (Standorte, Kulturen, Flächenanteile), ist ihre Bedeutung für die Schweiz gering. Da die Massnahmen zu Bodenbearbeitungsintensität, Saatbettbereitung und Vermeidung der Bodenverdichtung nahezu alle Ackerflächen betreffen, ist hier das grösste Reduktionspotenzial zu erwarten. Die Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität sollte dabei allerdings nicht mit einem höheren PSM-Einsatz verbunden sein.

Winterbegrünung ist auch eine weit verbreitete und effiziente Erosionsschutzmassnahme, fällt aber nicht in die Applikationszeit von PSM und ist daher für die Reduktion von PSM-Einträgen weniger bedeutend. Sie kann aber indirekt über ihre Auswirkungen auf die organische Bodensubstanz und die Bodenstruktur beitragen, die Erosion und Abschwemmung zu reduzieren.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die durchgeführte qualitative Bewertung von Massnahmen zur Verminderung der durch Erosion und Abschwemmung bedingten Gewässereinträge von PSM kann nur einen ersten, groben Überblick über die Situation in der Schweiz liefern. Die Standortfaktoren und die Art und Weise der Ausführung der jeweiligen Massnahme sind letztendlich entscheidend, welche Massnahme oder Massnahmenkombination am besten ist. Die Variation der Standortfaktoren ist in der Schweiz aber sehr gross, daher sind konkrete Aussagen nur auf Parzellenebene möglich.

Generell sind Flächen, die zu Oberflächenabfluss durch Infiltrationsüberschuss und zu Bodenerosion neigen und Gewässeranschluss haben, leichter zu identifizieren (mittels ERK2 und GAK2). Für diese Flächen gibt es viele ge-

eignete Reduktionsmassnahmen. Daher sind hier auch die grössten Fortschritte im Vollzug gemacht worden, und die Umsetzung ist am weitesten. Flächen, die zu gesättigtem Oberflächenabfluss neigen oder drainiert sind, lassen sich schwieriger identifizieren; man weiss weniger über die Prozesse, und es gibt weniger geeignete Reduktionsmassnahmen. Entsprechend besteht in diesen Bereichen sowohl noch Forschungsbedarf als auch ein Vollzugsdefizit. Vor allem beim indirekten Gewässeranschluss (inklusive Drainagen) und der Rolle von Kurzschlüssen bestehen noch Forschungs- und Vollzugsdefizite. Gemäss GAK2 haben 32 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Tal- und Hügelzone einen indirekten und nur 16 % einen direkten Gewässeranschluss (Prasuhn *et al.* 2014). Drainagen sind dabei allerdings noch nicht berücksichtigt und würden den Anteil indirekt angeschlossener Flächen noch erhöhen. Viele der vorgeschlagenen Massnahmen sind durch gesetzliche Regelungen bereits erfasst oder werden in gesonderten Programmen gefördert. Grundlagen für Massnahmen bilden die Direktzahlungsverordnung, insbesondere die neue Regelung (2017) zur Erosion, ÖLN-Richtlinien, Förderprogramme wie Ressourceneffizienzbeiträge und Gewässerschutz- und Ressourcenprogramme nach Gewässerschutzgesetz Art. 62a beziehungsweise Landwirtschaftsgesetz Art. 77a, b. Die beiden PSM-Projekte im Kanton Bern und im Leimental

(BL) sollen praktische Erfahrungen zur Umsetzung von Reduktionsmassnahmen liefern und die bisherigen Erfahrungen aus dem Projekt von Boiron de Morges (Noll *et al.* 2010) erweitern.

Die Zusammenstellung in Tabelle 1 zeigt, dass es ein ganzes Bündel an Massnahmen zur Reduktion von Erosion und Abschwemmung gibt, deren Wirksamkeit – wenn sie am richtigen Ort angewendet werden – erwiesen ist. Viele davon sind praxistauglich und in der Schweiz anwendbar. Ein paar dieser Massnahmen haben ein grosses Potenzial zur Reduktion der PSM-Einträge in Gewässer. Bei allen Massnahmen kann jedoch die Umsetzung in der Schweiz verbessert werden. Dies hat komplexe Ursachen wie Informationsdefizite, ökonomische Bedenken, soziale Aspekte, Ästhetik, Tradition etc. Das Bewusstsein und die Sensibilität für die Problematik muss bei den Landwirtinnen und Landwirten durch Beratung, Ausbildung, Feldbegehungen oder Kurse gesteigert werden. Geeignetes Informationsmaterial wie Merkblätter, Praxishilfen oder EDV-Tools sind bereitzustellen und neue Massnahmen und innovative Techniken sollten gefördert werden. Technische Feinheiten zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Massnahmen sind immer möglich und teilweise schon in Entwicklung (z. B. Querdammhäufel und Dyker im Kartoffelanbau). Bei neuen Massnahmen besteht jedoch noch Forschungsbedarf, um ihre Wirksamkeit und Praxistauglichkeit aufzuzeigen. ■

Literatur

- Alix A., Brown C., Capri E., Goerlitz G., Golla B., Knauer K., Laabs V., Mackay N., Marchis A., Poulsen V., Alonso Prados E., Reinert W. & Streloke M., 2017. Mitigating the Risks of Plant Protection Products in the Environment: MAgPIE. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Zugang: <https://www.setac.org/store/ViewProduct.aspx?id=9006489> [7.11.17].
- Agridea, 2017. Hilfsmittel Massnahmenplan Erosion. Version 2017. Agridea, Lindau, 9 S.
- BLW & BAFU, 2016. Erosion – Risiken beschränken. Merkblätter-Set. Deutsche Übersetzung des Anhangs 8 «Cahier de fiches techniques: Erosion – réduire les risques» der Masterarbeit «Appréciation du risque d'érosion des sols agricoles et proposition de mesures de lutte» an der Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences, Muttenz, von Sébastien Gassmann, 14. September 2010.
- Braun C., Gälli R., Leu C., Munz N., Schindler Wildhaber Y., Strahm I. & Wittmer I., 2015. Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse. Umwelt-Zustand Nr. 1514, Bundesamt für Umwelt, Bern, 78 S.
- Bühler L. & Daniel O., 2017. Pflanzenschutzmitteleintrag in Oberflächenengewässer: Analyse und Reduktionsmassnahmen auf Ebene Betrieb. Studie im Auftrag von Win⁴, finanziert vom Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 15.12.2013. *Agroscope Science* 51, 1–49.
- Der Bundesrat, 2017. Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern. Zugang: <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html> [6.11.17].
- Doppler T., Mangold S., Wittmer I., Spycher S., Comte R., Stamm C., Singer H., Junghans M. & Kunz M., 2017. Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen. *Aqua & Gas* 4, 46–56.
- Hanke I., Poiger T., Aldrich A.P. & Balmer E., 2014. Pflanzenschutzmitteleinsatz – Risikomindernde Massnahmen bezüglich Abschwemmung. *Agrarforschung Schweiz* 5, 180–187.
- Munz N., Leu C. & Wittmer I., 2012. Pestizidmessungen in Fließgewässern – Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas* 11, 32–41.
- Noll D., Dakhel N. & Burgos S., 2010. Beurteilung der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss. *Agrarforschung Schweiz* 1, 110–117.
- Prasuhn V., Alder S., Liniger H.P. & Herweg K., 2014. Hoch aufgelöste Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarten als Hilfsmittel für den Vollzug. 4. Umweltökologisches Symposium, Raumberg-Gumpenstein, 75–80.
- Reichenberger S., Bach M., Skitschak A. & Frede H.-G., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review. *Sci. Total Environ.* 384, 1–35.
- TOPPS-Prowadis (2014). Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion. Handbuch, 81 S., Zugang: <http://www.topps-life.org/key-documents.html> [7.11.17].
- Wittmer I., Moschet C., Simovic J., Singer H., Stamm C., Hollender J., Junghans M. & Leu C., 2014. Über 100 Pestizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas* 3, 32–43.

Riassunto**Ridurre le immissioni di prodotti fitosanitari dovute all'erosione e al dilavamento**

Molti ruscelli svizzeri presentano elevate concentrazioni di prodotti fitosanitari (PF). L'erosione e il dilavamento sono, a tal proposito, importanti vie di contaminazione. Questo articolo offre una panoramica riguardo alle misure per la riduzione delle immissioni nei corsi d'acqua di PF provenienti da superfici campicole tramite l'erosione, il dilavamento e il drenaggio. Inoltre fornisce una valutazione qualitativa, effettuata da esperti, di queste misure per quanto riguarda lo stato della ricerca, l'idoneità nella pratica, l'accettazione, lo stato dell'applicazione e il potenziale di riduzione. L'efficacia di molte misure è scientificamente provata, come peraltro la loro idoneità nella pratica. Vi è invece un buon margine di miglioramento riguardo all'accettazione delle misure da parte degli agricoltori e in particolare alla loro applicazione. Molte delle misure hanno un grande potenziale per la riduzione delle immissioni di PF a livello locale, eppure soltanto poche possono essere realizzate su tutto il territorio svizzero. A causa della significativa variazione dei fattori legati all'ubicazione in Svizzera occorre quindi intraprendere misure per la riduzione adattate alla regione e al sito.

Summary**Reducing PPP inputs due to erosion and runoff**

Many Swiss streams exhibit high levels of plant-protection product (PPP) inputs, with erosion and runoff being important entry paths. This article furnishes an overview of measures for reducing PPP inputs into bodies of water from arable land due to erosion, runoff and drainage, and provides an expert-based qualitative evaluation of these measures in terms of state of research, practical feasibility, acceptance, progress with implementation, and potential for reduction. The effectiveness of many measures is scientifically proven, and practical feasibility is also given in many cases. There is significant room for improvement in terms acceptance of the measures by farmers, and regarding implementation in particular. Whereas many of the measures have great potential for reducing PPP inputs in a specific location, only a few show potential for nationwide implementation. Consequently, the large variation in site factors across Switzerland means that reduction measures must be taken regionally and be adapted to the site in question.

Key words: plant protection products, erosion, surface runoff, water protection, mitigation measures.