



GEWÄSSERBELASTUNG DURCH PESTIZIDE



ANSÄTZE ZUR VERMINDERUNG LANDWIRTSCHAFTLICH BEDINGTER EINTRÄGE IN OBERFLÄCHENGEWÄSSER

Die bisher umfangreichste Erfassung der Pestizidbelastung in fünf mittelgrossen Fließgewässern im Jahr 2012 zeigte, dass ökotoxikologische Qualitätskriterien und gesetzliche Anforderungen häufig überschritten werden. Zur Verminderung des Pestizeintrags aus landwirtschaftlichen Flächen gibt es neben Massnahmen am Feldrand, wie z. B. Pufferstreifen, effektive Möglichkeiten auf den Produktionsflächen. Nachhaltiger Erfolg bedingt adäquate Vorschriften und die konstruktive Einbindung wichtiger Akteure (Landwirte) und Betroffener (Konsumenten und Markt).

Simon Spycher*; Johannes Hunkeler; Andreas Bosshard, Ö+L Ökologie und Landschaft GmbH
Fritz Häni, Spiez – ehemals Professor für Pflanzenschutz und Agrarökologie an der HAFL

RÉSUMÉ

POLLUTION DES EAUX PAR LES PESTICIDES AGRICOLES – SOLUTIONS POUR RÉDUIRE LES APPORTS

En 2012, l'analyse la plus complète jamais effectuée de la pollution chimique des eaux de surface suisses a été menée dans cinq bassins versants (*observation nationale NAWA SPE*). La pollution due aux pesticides (produits phytosanitaires et biocides) s'est révélée plus élevée que supposé jusqu'ici. En effet, les concentrations mesurées dépassaient souvent les critères de qualité chroniques (CQC), ce qui peut nuire aux organismes aquatiques. Les produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture constituent la majeure partie des substances actives décelées, mais les produits phytosanitaires et les biocides qui ne sont pas issus de l'agriculture contribuent également à la pollution des eaux et peuvent parfois dépasser les apports d'origine agricole. Le présent article évalue les mesures possibles pour réduire les apports provenant de l'agriculture. Elles se répartissent en trois domaines proposés par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO): réduction de l'utilisation des pesticides, substitution des substances actives nuisibles pour l'environnement, optimisation des systèmes de cultures et de l'usage des produits phytosanitaires.

Pour évaluer l'efficacité de ces solutions, il est essentiel de savoir d'où provient chaque substance active. À l'aide de données publiques, on a pu retrouver l'origine des 33 substances les plus

EINLEITUNG

In fünf Einzugsgebieten wurde 2012 die bisher umfassendste Analyse der chemischen Belastung von Schweizer Oberflächengewässern im Hinblick auf eine Gefährdung der Gewässerorganismen durchgeführt (*Nationale Beobachtung NAWA Spez*) [1, 2]. Die Pestizidbelastung der Gewässer ist höher als die Daten des bisherigen Routinemonitorings vermuten liessen. Dies sowohl bezüglich der Anzahl nachgewiesener Substanzen als auch bezüglich der Toxizität der Mischungen [3]:

- An allen fünf Standorten und zu jedem Messzeitpunkt wurde ein Gemisch von 25 bis 45 Pestiziden nachgewiesen. Pestizide werden hier als Überbegriff für Pflanzenschutzmittel (Land- und Gartenbau sowie Privatgärten [4]) und Biozide (Schutz des Menschen und seiner Produkte, z. B. Desinfektionsmittel oder Holzschutzmittel [5]) verwendet
- Insgesamt wurden 112 Pestizidwirkstoffe nachgewiesen. Davon waren 85 ausschliesslich als Pflanzenschutzmittel (PSM), 2 nur als Biozid und 25 Wirkstoffe als PSM und als Biozid oder als Tierarzneimittel zugelassen
- 31 Wirkstoffe überschritten die numerische Anforderung der Gewässerschutzverordnung von 0,1 µg/l. 23 Wirkstoffe überschritten die ökotoxikologischen Qualitätskriterien (da-

* Kontakt: simon_jukas.spycher@alumni.ethz.ch

von sind 14 als reine PSM, 8 doppelt und einer nur als Biozid zugelassen).

Die Auswertung von Daten aus dem biologischen Monitoring zeigte, dass in Gebieten mit erhöhtem Ackerbauanteil und erhöhtem Anteil Spezialkulturen die ökologischen Ziele deutlich häufiger nicht erreicht werden als in Gebieten mit erhöhtem Grünlandanteil [6]. Gebiete mit erhöhtem Siedlungsanteil verfehlen die ökologischen Ziele ebenfalls deutlich häufiger. Es ist bekannt, dass der Gewässereintrag von PSM aus Siedlungsgebieten (z.B. von Hausgärten und Grünflächen) und Bioziden (z.B. vom Materialschutz) höher sein kann als der Eintrag aus der Landwirtschaft [7]. In Bezug auf die Länge der beeinträchtigten Flie遝sstrecke, die Anzahl Stoffe sowie deren Toxizität wird aber die Landwirtschaft als wichtigste Quelle diffus eingetragener Mikroverunreinigungen betrachtet [8].

Derzeit wird von der Bundesverwaltung ein «Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutzmittel» erarbeitet. Eine seiner zentralen Aufgaben wird es sein, mögliche Massnahmen aufzuzeigen, die sicherstellen sollen, dass die PSM-Einträge in Gewässern nicht zu negativen Auswirkungen auf Gewässerorganismen führen. Dazu soll die vorliegende Publikation einen Beitrag leisten.

Zur Identifikation wirksamer Massnahmen zur Verminderung der Einträge müssen einerseits die relevanten Quellen und andererseits die relevanten Eintragspfade in Oberflächengewässern bekannt sein [8]. Die relevanten Eintragspfade von PSM können vier Bereichen zugeordnet werden:

- Abschwemmung mit oberflächlich abfließendem Wasser und Bodenpartikeln
- Einträge in Drainagen
- Abdrift (Windverfrachtung wirkstoffhaltiger Tröpfchen)
- Punkteinträge (Folge von unsachgemässen Entsorgungen, Spritzen-, Fahrzeug- und Behälterreinigungen)

Die Abschwemmung macht den grössten Anteil aus, zumal die Klimaverhältnisse in der Schweiz diese stark begünstigen [9]. Da in der Schweiz 30% der Fruchtoberflächen drainiert sind [10], ist auch der zweite Eintragspfad relevant. Der Anteil des Eintrags durch Abdrift ist deutlich tiefer als derjenige durch Abschwemmung und Drainagen [11, 12]. Der Anteil von Punkteinträgen aus der Landwirt-

schaft kann relativ hoch sein. In einer für das Schweizer Mittelland charakteristischen Region wurde dieser auf gegen 20% geschätzt [13]. Bei Wirkstoffen, die auch im Siedlungsgebiet eingesetzt werden, können gar bis zu 75% der Eintragsmenge über Punkteinträge in Gewässer gelangen [13].

PROBLEMSTELLUNG UND METHODIK

Der vorliegende Artikel evaluiert die Möglichkeiten zur Verminderung des PSM-Eintrags aus der Landwirtschaft, dem anteilmässig wichtigsten PSM-Verbraucher [8]. Gemäss der *FAO Guidance on Pest and Pesticide Management* lassen sich drei Handlungsansätze unterscheiden, wie PSM-Einträge in Gewässer vermindert werden können [14]:

- Reduktion
- Substitution
- Optimierung des Anbaus und der Handhabung

Die Reduktion des PSM-Einsatzes ist v.a. möglich durch ökologisch ausgerichtete Anbausysteme, z.B. die integrierten Produktion oder den biologischen Landbau. Eine Substitution ist möglich, wenn Wirkstoffe mit günstigerem Umweltprofil und niedrigerem Eintragsrisiko zur Verfügung stehen. Für eine Optimierung des Anbaus zur Eintragsverminderung gibt es eine Reihe von Massnahmen auf dem Feld, am Feltrand und bei der PSM-Handhabung [12, 15].

Die vorliegende Studie zeigt exemplarisch wichtige Handlungsmöglichkeiten auf. Im Zentrum stehen drei Hauptfragen:

- 1) Aus welchen Kulturen stammen die in Oberflächengewässern nachgewiesenen Wirkstoffe?
- 2) Welche Möglichkeiten zur Verminderung der Einträge bieten ökologisch ausgerichtete Anbausysteme, speziell die integrierte Produktion und der Biolandbau?
- 3) Welches Potenzial haben die drei Handlungsansätze Reduktion, Substitution und Optimierung zur Verminderung der Gewässerbelastung und welche Auswirkungen auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit sind zu erwarten?

ANALYSE BELASTUNGSQUELLEN

DATENSATZ CHEMISCHES MONITORING

Die 2012 von der Eawag in den fünf Einzugsgebieten Salmsacher Aach (TG), Furt-

bach (ZH), Surb (AG), Limpach (SO) und Mentue (VD) durchgeführten Messungen dienten als Grundlage für die vorliegende Analyse [1, 2]. Die Messungen wurden von Mitte März bis Mitte Juli durchgeführt und decken damit die Mehrheit der PSM-Applikationen ab. Die flächenmässig relevantesten damit nicht erfassten Applikationen sind im Herbst vorgenommene Herbizidanwendungen von Winterkulturen. Ebenfalls nicht erfasst sind die Herbstbehandlungen mit Fungiziden bei Raps und Zuckerrüben [16].

Mit der verwendeten Analytik konnten 80-90% aller eingesetzten Wirkstoffe erfasst werden [1]. Der flächenbezogen sehr häufig eingesetzte Wirkstoff Glyphosat wurde nicht erfasst, da dessen Messung eine Spezialanalytik erfordert. Die gemessenen Konzentrationen wurden mit den in den bisherigen Auswertungen verwendeten chronischen Qualitätskriterien (CQK) verglichen [1, 3]. Das CQK ist ein Schwellenwert, bei dessen langfristiger Überschreitung mit negativen Auswirkungen auf Gewässerorganismen zu rechnen ist [17].

ZUORDNUNG DER WIRKSTOFFE ZU KULTUREN

Die Interpretation von Monitoringdaten lässt sich durch Angaben zum PSM-Einsatz verbessern. In Grossbritannien wird deshalb seit Jahrzehnten für jede Kultur publiziert, welcher Anteil mit den einzelnen Wirkstoffen behandelt wird z.B. [18, 19] – eine Information, die auch für die Beratung, Forschung und die PSM-Industrie von grossem Nutzen ist.

Für die vorliegende Studie wurde als Ersatz für die mangelnden Daten für jeden untersuchten Wirkstoff anhand der öffentlich verfügbaren Informationen ein Verteilschlüssel definiert (*Box 1*).

Der Verteilschlüssel ergab folgendes Bild:

- Bei sieben der 33 untersuchten Wirkstoffe war die Zuordnung eindeutig, denn sie waren nur in einer einzigen Kultur bewilligt: Foramsulfuron, Metosulam, Nicosulfuron, Atrazin (alle ausschliesslich Mais), Isoproturon und das Saatbeizmittel Fipronil (ausschliesslich Getreide). Für das Biozid CMI (Konservierungsmittel) gibt es keine Verwendung im Pflanzenschutz.
- Für weitere sieben Wirkstoffe ergab die Abschätzung einen sehr hohen oder mehrheitlichen Anteil einer Kultur: > 90% bei MCPA, Metamitron, Terbutylazine und Pethoxamid, > 50% bei Prosulcarb, Metazachlor und Propyzamide.

AUS WELCHEN KULTUREN STAMMEN DIE IN GEWÄSSERN FESTGESTELLTEN PSM?

Um diese Frage zu beantworten, legten wir in Anlehnung an eine in Deutschland entwickelte Methode einen Verteilschlüssel fest [20]. Für jeden Wirkstoff wurden alle im Jahr 2012 zugelassenen Kulturen und Schaderreger berücksichtigt. Zur Gewichtung der einzelnen Zulassungen wurden folgende Angaben beigezogen: Anbaufläche der betreffenden Kulturen in der Schweiz, Empfehlungen für den Einsatz der Wirkstoffe gemäss den kantonalen Fachstellen *Arenenberg* und *Strickhof* (Ackerbau) und von *Agroscope* (Obst- und Weinbau), Erwähnung im Zielsortiment von *fenaco* (Acker-, Obst-, Wein-, Beeren- und Gemüsebau), Einschränkung durch Sonderbewilligungen im Ackerbau und der hauptsächlichliche Anwendungszeitpunkt (Herbst oder Frühling). Das Beispiel des Herbizids Pethoxamid illustriert das Vorgehen: Zulassungen bestanden für Erdbeeren (455 ha), Bohnen im Gemüsebau (295 ha), Ölkürbisse (49 ha), Hülsenfrüchte (3827 ha), Mais (62 944 ha) und Raps (22 097 ha). Da für alle Kulturen im Zielsortiment von *fenaco* (*Landi*) je ein Produkt aufgeführt ist, wurden alle Kulturen gleich gewichtet. Dies ergab eine Verteilung von 70% Mais, 25% Raps, 4% Hülsenfrüchte und <1% in den übrigen Kulturen. Da für Raps nur Anwendungen im Herbst emp-

fohlen sind, ist während der Messperiode März bis Juli ein Eintrag aus Rapsflächen unwahrscheinlich. Der eingesetzte Korrekturfaktor für Winterkulturen führte zur Schätzung von 92% Einsatz im Mais und 8% in den übrigen Kulturen.

Zusätzlich berücksichtigten wir die wenigen verfügbaren Daten zum Einsatz ausserhalb der Landwirtschaft (Forstwirtschaft, Private, Garten- und Landschaftsbau) [21, 22, 23]. Dadurch lassen sich auch Rückschlüsse ziehen, bei welchen Wirkstoffen Massnahmen in der Landwirtschaft wenig bringen. Eine detaillierte Zusammenstellung der verwendeten Daten und deren Auswertung ist auf Anfrage erhältlich.

Weil die Auswertungen vor allem bei Fungiziden und Insektiziden mit teilweise mehreren hundert Indikationen (Kombination Kultur und Schädling) mit hohem Aufwand verbunden sind, wurde die Untersuchung auf diejenigen 23 Wirkstoffe begrenzt, deren Konzentrationen in den fünf Einzugsgebieten die chronischen Qualitätskriterien (CQK) überschritten. Zusätzlich einbezogen wurden zehn weitere Wirkstoffe, die vergleichsweise häufig in Gewässern nachgewiesen wurden (> 40% der Proben) und deren Maximalkonzentration höchstens um das Zehnfache unter den CQK lag.

Box 1

- Bei zehn Wirkstoffen erfolgt der Einsatz v. a. in zwei dominierenden Kulturen, die insgesamt mehr als 70% der abgeschätzten Menge abdecken.
- Bei den übrigen neun Wirkstoffen verteilt sich der Einsatz auf drei oder mehr Kulturen.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Abschätzung. Gewisse Wirkstoffe sind inzwischen nicht mehr zugelassen (Atrazin, Carbofuran, Diazinon, Fipronil) oder die Zulassung wurde eingeschränkt. So sind bestimmte Pyrethroide wie Deltamethrin oder Cypermethrin (sogenannte Gruppe A) mittlerweile wegen Resistenzproblemen nicht mehr gegen Rapsglanzkäfer zugelassen.

Werden die gemessenen Konzentrationen der 33 Wirkstoffe gemäss dem geschätzten Einsatz auf die einzelnen Kulturen verteilt, zeigt sich, dass der Mais die Kultur mit den meisten CQK-Überschreitungen ist (19% Überschreitungen aller Wirkstoffe bzw. 38% der Herbizide). Interessant ist die Frage, welche im Maisanbau relevanten Herbizide nicht in erhöhten Konzentrationen gemessen werden. Eine analog zum Vorgehen in *Box 1* durchgeführte Abschätzung für alle im Maisanbau zugelassenen Herbizide ergab nur bei drei weiteren Wirkstoffen Mais als relevanteste Kultur, nämlich bei Dimethenamid, Sulcotrione und Mesotrione. Aus den verfügbaren Daten

kann geschlossen werden, dass fast alle im Maisanbau eingesetzten Wirkstoffe in erhöhten Mengen in die Gewässer eingetragen werden. Dies dürfte vor allem am hohen Flächenanteil des Maisanbaus liegen, aber auch daran, dass Mais als Kultur langsam aufläuft und damit der Boden länger als in anderen Kulturen unbedeckt ist [24, 25], und dass die eingesetzten Wirkstoffe vergleichsweise mobil sind [26]. Massnahmen zur Verminderung der Einträge aus dem Maisanbau sind daher von grossem Interesse.

KORRELATION MIT LANDNUTZUNG

Zur Überprüfung der Abschätzungen in *Tabelle 1* wurden diese mit dem Flächenanteil der entsprechenden Kulturen in den fünf Einzugsgebieten verglichen. Dafür wurden die mittleren Konzentrationen von Wirkstoffen, die während der Messperiode primär in einer oder zwei Kulturen angewendet werden, mit dem Flächenanteil der entsprechenden Kulturen in den fünf Einzugsgebieten korreliert. Eine hohe Korrelation ist nicht zwingend zu erwarten, aber Wirkstoffe, die sich klar einer Kultur zuordnen lassen, sollten in Einzugsgebieten mit tiefem oder fehlendem Anbau der entsprechenden Kultur nicht in erhöhten Konzentrationen nachweisbar sein. In *Figur 1* wird dies für die fünf Einzugsgebiete bestätigt. Auch bei vier weiteren möglichen Vergleichen zwischen mittlerer Konzentration

und Landnutzung wurden bei tiefem Anteil der entsprechenden Kultur keine erhöhten Konzentrationen gemessen, konkret für Metamitron (Zuckerrüben), Propyzamide (Gemüse), Prosulfocarb (Kartoffeln), Carbendazim (Summe Gemüse und Obst). Kein Zusammenhang zwischen mittlerer Konzentration und Landnutzung bestand bei Isoproturon, Lambda-Cyhalothrin und Deltamethrin. Im Fall von Diuron korrelierten die Konzentrationen in hohem Masse mit dem Siedlungsanteil, was auch schon in anderen Studien beobachtet wurde [7]. Für die im Maisanbau eingesetzten Wirkstoffe waren keine Vergleiche möglich, weil der Maisanteil in allen Einzugsgebieten beinahe gleich hoch ist. Insgesamt stützen die Vergleiche die Plausibilität der Abschätzungen in *Tabelle 1*.

FAZIT: WICHTIGSTE BELASTUNGSQUELLEN

- Die meisten Herbizidkonzentrationen oberhalb der CQK können dem Maisanbau zugeordnet werden. Auch Herbiziden aus dem Gemüse-, Kartoffel-, Zuckerrüben- und Getreidebau wurden Überschreitungen zugeordnet. Im Fall von Diuron legt die Korrelation mit dem Siedlungsanteil den Biozideinsatz als wichtigste Belastungsquelle nahe. Bei Getreide und Raps ist zu beachten, dass die bezüglich Herbizideinsatz relevanten Herbstapplikationen durch die Messungen nicht abgedeckt wurden.

Wirkstoff	Wirkungsbereich und Zulassungsstatus ¹	RQ _{max} ²	Anzahl CQK-Überschreitungen	Anteil > 5 ng/l	Wichtigste Kulturen ³	Unsicherheit der Schätzung ⁴
Deltamethrin	Insektizid (P, B)	667	10	32 ⁵	Raps (40%), Gemüse (35%)	**
Chlorpyrifos-methyl	Insektizid (P)	40	8	48 ⁵	Gemüse (45%), Obst (40%)	**
lambda-Cyhalothrin	Insektizid (P, B)	25	7	23 ⁵	Raps (40%), Gemüse (35%)	**
Metazachlor	Herbizid (P)	8,9	12	44	Gemüse (65%) ⁶	***
Foramsulfuron	Herbizid (P)	8,7	4	9	Mais (100%)	***
Thiacloprid	Insektizid (P, B)	6,5	6	22	Raps (45%), Gemüse (20%), Obst (15%)	*
S-Metolachlor	Herbizid (P)	3,6	9	98	Mais (70%), Rüben (25%)	**
Diazinon	Insektizid (PX, BX, T)	2,9	8	47	Gemüse (35%), Private (30%), Obst (25%)	*
Terbuthylazine	Herbizid (P, BX)	2,9	6	62	Mais (90%)	***
Diuron	Herbizid (P, B)	2,6	13	60	Obst (55%), Reben (30%)	**
Cypermethrin	Insektizid (P)	2,5	7	77 ⁵	Gemüse (40%), andere Nutzungen (30%) ⁷ , Raps (25%)	**
Carbofuran	Insektizid (P)	2,3	4	22	Zierpflanzen und Gartenbau (50%), Rüben (25%)	*
Flufenacet	Herbizid (P)	2,1	3	44	Mais (65%), Getreide (25%) ⁸	**
Cyprodinil	Fungizid (P)	2,1	1	38	Reben (45%), Getreide (25%), Obst (15%)	*
CMI	Bakterizid (B)	1,8	2	9		***
Metosulam	Herbizid (P)	1,4	1	4	Mais (100%)	***
Dicamba	Herbizid (P)	1,3	1	20	Getreide (40%), Wiesen (30%), Mais (25%)	*
Nicosulfuron	Herbizid (P)	1,3	2	38	Mais (100%)	***
Fipronil	Insektizid (PX, B, T)	1,2	1	2	Getreide (100%)	***
Prosulfocarb	Herbizid (P)	1,1	1	44	Kartoffeln (85%) ⁹	***
Isoproturon	Herbizid (P, B)	1,1	1	67	Getreide (100%)	***
Linuron	Herbizid (P)	1,0	1	38	Kartoffeln (25%), Gemüse (25%), andere (15%)	*
Pethoxamid	Herbizid (P)	1,0	1	24	Mais (90%) ⁶	***
Metribuzin	Herbizid (P)	1,0	0	40	Kartoffeln (70%), Getreide (15%)	**
Atrazine	Herbizid (PX)	0,6	0	71	Mais (100%)	***
2,4-D	Herbizid (P)	0,4	0	76	Wiesen (35%), Getreide (25%) ⁸ , Obst (20%), Garten- und Landschaftsbau (20%)	*
Metamitron	Herbizid (P)	0,4	0	62	Rüben (95%)	***
Thiamethoxam	Insektizid (P, B)	0,3	0	44	Saatbeizmittel Getreide (35%) ⁹ , Garten- und Landschaftsbau bzw. Private (25%), Obst (20%)	**
Propyzamide	Herbizid (P)	0,2	0	60	Gemüse (65%) ⁶	**
MCPA	Herbizid (P)	0,2	0	76	Wiesen (90%)	**
Carbendazim	Fungizid (P, B)	0,2	0	69	Obst (35%), Gemüse (20%)	*
Mecoprop	Herbizid (P)	0,1	0	98	Wiesen (55%), Getreide (30%)	*
Azoxystrobin	Fungizid (P)	0,1	0	76	Getreide (25%), Reben (20%), Kartoffeln (15%), Gemüse (15%)	*

¹ P: Pflanzenschutzmittel; B: Biozid; T: Tierarzneimittel; X: 2005–2012 zeitweise zugelassen, heute nicht mehr

² Risikoquotient RQ_{max} = MFC_{max}/CQK mit MFC_{max}: höchste gemessene Konzentration und CQK: chronisches Qualitätskriterium

³ Für Gewässereintrag während Messperiode in Frage kommende Kulturen. Bei Kulturen mit Empfehlung für Einsatz im Herbst oder Einsatz im Herbst und Frühling wurde der Anteil um einen von der Abbaubarkeit abhängigen Faktor 5–20 reduziert

⁴ Unsicherheit des Anteils der verschiedenen Kulturen: *** gesichert (ausschliesslich eine Kultur oder eine Kultur bzw. Indikation klar dominant),

** mässig gesichert, * hohe Unsicherheit, weil zahlreiche Kulturen und Indikationen

⁵ Anteil über Nachweisgrenze (statt > 5 ng/l)

⁶ Raps nur Herbst

⁷ vor allem in Forstwirtschaft [21]

⁸ Getreide Herbst und Frühling

⁹ Getreide nur Herbst

Tab. 1 Zuordnung der untersuchten Wirkstoffe zu den Kulturen. Die Wirkstoffe sind nach abnehmender Höhe des Risikoquotienten RQ (höchste gemessene Konzentration dividiert durch chronisches Qualitätskriterium) geordnet. Die Anteile der Kulturen sind auf 5% gerundet. Kulturen mit einem Anteil <15% sind nicht wiedergegeben

Attribution des substances actives analysées aux différentes cultures. Les substances actives sont classées dans l'ordre décroissant des quotients de risque (rapport entre la concentration mesurée la plus haute et les critères de qualité chroniques). Les parts attribuées à chaque culture sont arrondies aux 5% supérieures. Les cultures dont la part est inférieure à 15% ne sont pas représentées

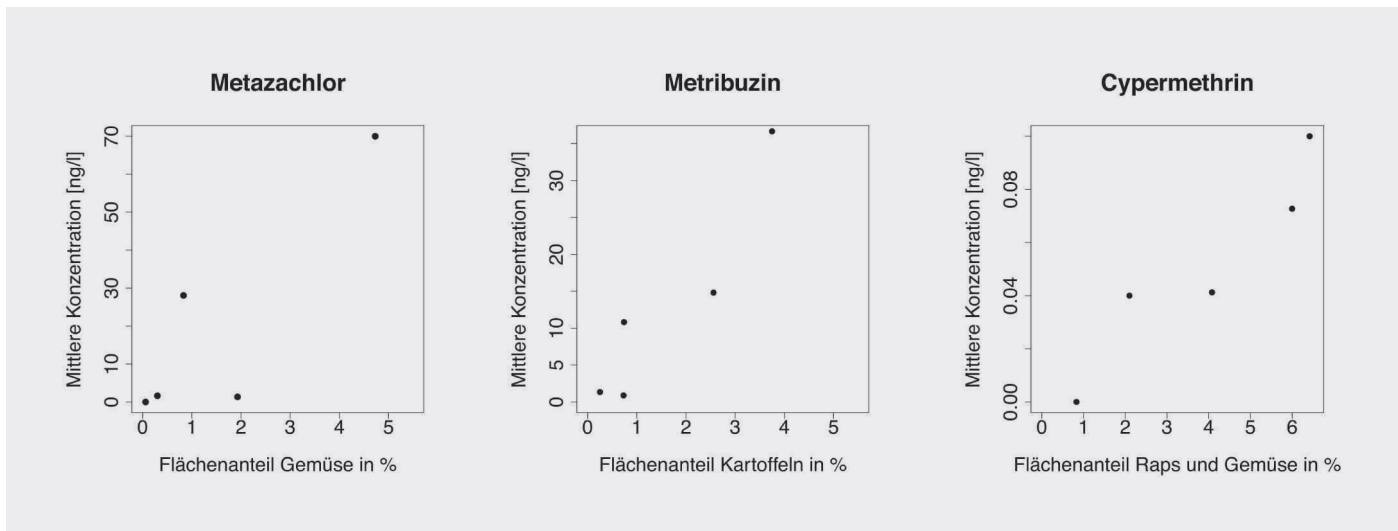


Fig. 1 In den fünf Einzugsgebieten von März bis Mitte Juli gemessene mittlere Konzentration, aufgetragen gegen den prozentualen Flächenanteil (an gesamtter Bodennutzung) der für Metazachlor, Metribuzin und Cypermethrin gemäss Tabelle 1 relevantesten Kultur(en)

Concentration moyenne dans les 5 bassins versants pendant la période de mesures en relation avec le pourcentage des surfaces occupées par les cultures les plus pertinentes pour le métazachlore, la métribuzine et la cyperméthrine

– Die in den Gewässern gemessenen Insektizide konnten vor allem dem Gemüse- und dem Rapsanbau zugeordnet werden, allerdings mit erhöhter Unsicherheit. Bei den Fungiziden sind keine Aussagen zur Herkunft möglich.

Die nachfolgenden Ausführungen über Möglichkeiten zur Verminderung des Eintrags in Gewässer konzentrieren sich deshalb erstens auf Maisherbizide bzw. Herbizide aus anderen Reihenkulturen wie Zuckerrüben, und zweitens auf den Raps. Die Bedeutung des Rapsanbaus für die Problemstellung ergibt sich auch aus dem im nächsten Kapitel beschriebenen historischen Vergleich.

POTENZIAL ÖKOLOGISCH AUSGERICHTETER ANBAUSYSTEME

Die erwähnte dreiteilige Strategie «Reduktion – Substitution – Optimierung» ist nicht neu, sondern seit jeher impliziter Bestandteil betont ökologischer Anbausysteme, speziell der Integrierten Produktion (IP) und des biologischen Landbaus (Bio) [27, 28]. Beide Anbausysteme sind dem Vorsorgeprinzip verpflichtet [29-32]. Beide schliessen explizit auch den Gewässerschutz ein und basieren auf dem Agrarökosystem, indem sie prioritär die natürliche Regulation ausschöpfen. Der Biolandbau geht dabei am weitesten, indem auf synthetische PSM verzichtet wird (Reduktion auf null). Auch in der Substitution (Ersatz durch Mittel mit günstigerem Umweltprofil oder biologische Bekämpfung) und der

Optimierung des Anbausystems ist «Bio» in der Regel am konsequentesten. Da der Flächenanteil von Bio im Flachland (Talzzone) nur 7,1% beträgt (gegenüber 12,3% im schweizerischen Durchschnitt) [33], wäre eine Ausdehnung des Biolandbaus in Ackerbaugebieten deshalb eine wirksame Strategie zur Reduktion des PSM-Eintrags in die Gewässer. Der Bedarf des Schweizer Marktes wird bei weitem nicht gedeckt (z.B. Bio-Brotgetreide nur zu 34% aus inländischer Produktion [34]). Allerdings kann auch im Bio-Landbau die Verschmutzung der Gewässer durch PSM nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden (z. B. Kupfer, Pyrethrine, Spinosad [35]).

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Potenzial der flächenmässig vorherrschenden Standardproduktion (ÖLN) und bei den Möglichkeiten der IP zur Verringerung des Gewässereintrags von PSM. Die konkreten Verbesserungsmöglichkeiten im Rahmen der IP sind in der Diskussion um die Gewässerbelastung heute wenig präsent. Dies, obwohl die Schweiz in diesem Bereich vor allem Ende der 1970er- bis in die 90er-Jahre Pionierarbeit geleistet [36-39] und auch auf internationaler Ebene die Entwicklungen entscheidend mitgeprägt hat [40-42]. Grundidee der IP ist eine vorrangige Ausnutzung natürlicher Regulationsmechanismen, was zu einer Reduktion des Einsatzes von Hilfsstoffen führt und gleichzeitig ein nachhaltiges bäuerliches Einkommen ermöglichen soll. Ziel ist die umweltschonende Produktion guter Er-

träge hoher Qualität sowie die Erhaltung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und einer vielgestaltigen Umwelt [16, 28, 40].

Die grundlegende Studie für die Beurteilung der Notwendigkeit und der Einschränkungsmöglichkeit von Pflanzenschutzmassnahmen war die Analyse der phytomedizinischen Situation in der Schweiz im Jahre 1986 durch die Gesellschaft für Phytomedizin [54]. Diese wissenschaftliche Gesellschaft war 1982 u. a. als Reaktion auf das zunehmende Problembewusstsein bezüglich des chemischen Pflanzenschutzes gegründet worden und versuchte, auch die Beratung, die Erfahrung innovativer Landwirte, die Konsumenten, den Markt und die Agrarpolitik stärker einzubeziehen [29, 55, 56]. In der Analyse der phytomedizinischen Situation wurden für alle wichtigen Kulturen die Möglichkeiten einer möglichst umweltschonenden Produktion evaluiert [54]. Implizit und z. T. auch explizit wurden die drei Handlungsansätze Reduktion, Substitution und Optimierung des Anbau- und Agrarökosystems berücksichtigt. Die 1993 erlassene Verordnung über Beiträge für besondere ökologische Leistungen in der Landwirtschaft (OeBV) und die später eingeführte Direktzahlungsverordnung (DZV) und der ÖLN basierten in wesentlichen Teilen auf dieser Analyse und Folgeberichten. Die wichtigsten direkt den Pflanzenschutz betreffenden Elemente waren die geregelte Fruchtfolge, die Einführung von Nährstoffbilanzen und Bekämpfungsschwel-

WAS BRINGT DIE IP DEM GEWÄSSERSCHUTZ? – ENTSTEHUNGSGESCHICHTE UND NEUE MÖGLICHKEITEN

In der öffentlichen Wahrnehmung hat die Integrierte Produktion (IP) das Problem, dass sie häufig mit der heutigen Standardproduktion (ÖLN) gleichgesetzt oder mit integriertem Pflanzenschutz verwechselt wird. Der integrierte Pflanzenschutz (*Integrated Pest Management*) entstand in den 1950er-Jahren als Reaktion auf die mit den v. a. im Obst- und Weinbau zunehmend eingesetzten chemischen PSM entstandenen Probleme von Schädlingsresistenzen und Umweltbelastung [43]. Eine frühe Definition der FAO liess der Interpretation breiten Raum [44]. Zahlreiche Neudefinitionen folgten [45], aber erst die Erweiterung zum umfassenden Konzept der integrierten Produktion mit klarer Ausrichtung auf den landwirtschaftlichen Betrieb als Einheit und auf die gezielte Pflege und Nutzung des Agrarökosystems mit explizitem Einbezug von Boden, Wasser, Luft, Pflanzen und Tieren vermochte zu befriedigen. Ähnlich wie im Biolandbau beschränkt sich die IP nicht auf rein technische Aspekte, sondern es geht auch darum, nach der in den 70er-Jahren verstärkt aufkommenden Höchstertragsstrategie die Landwirtschaft wieder vermehrt als Agri-Kultur zu betreiben – verantwortlich, neugierig und kreativ (cf. Geschichte von IP und Biolandbau [27, 31, 38, 39, 46, 47, 48]). Während in anderen Ländern die IP in der konkreten Umsetzung zum Teil stets vage blieb oder sich gar nicht von den gesetzlichen Vorschriften abhob, die für alle Landwirte gelten, nahm die IP in der Schweiz einen andern Verlauf:

Seit 1992 fördert der Bund den extensiven Getreidebau (keine Fungizide, Insektizide und Wachstumsregulatoren). 1993 beschloss das Bundesparlament, Beiträge

für besonders umweltgerechten Pflanzenbau und tiergerechte Haltungssysteme einzuführen. Es entstanden fünf Ökoprogramme, darunter die IP und der Biolandbau (Bio). Diese Programme wurden von den Landwirten sehr gut aufgenommen und zeigten bald erste positive Ergebnisse [49, 50]. Vor allem die Ackerbaubetriebe, die für den Gewässerschutz besonders relevant sind, beteiligten sich schon in den ersten Jahren rasch zunehmend an der IP, während für eine Umstellung auf «Bio» im Ackerbau die Hemmschwelle grösser ist (in der Talzone beträgt der Bio-Anteil wie erwähnt nur 7,1%) [33].

Diese staatliche, sogenannte Bundes-IP basierte auf Freiwilligkeit. Wer sich dafür entschied, gehörte zur Elite und war zu Recht stolz darauf. 1999 wurde die IP jedoch als eigenes Ökoprogramm abgeschafft und durch den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) ersetzt. Wer den ÖLN nicht erfüllt, erhält keine Direktzahlungen. Aus einem attraktiven, freiwilligen Programm war nun eine obligatorische Bedingung für staatliche Beiträge geworden [51].

Wie reagierten private Initiativen? Im Jahre 1989 wurde die Vereinigung integrierter produzierender Bäuerinnen und Bauern gegründet (heute IP-Suisse). Ab etwa 1995 setzte IP-Suisse verstärkt auf den Labelmarkt und vermochte sich so mit zusätzlichen und strengeren Vorschriften als beim ÖLN zu profilieren – gesamtbetrieblich z. B. bezüglich Biodiversität und bei bestimmten vom Markt verlangten Produkten gerade auch durch Verminderung des PSM-Einsatzes (eigene, nach Umweltkriterien reduzierte PSM-Liste). Die Marktnachfrage ist bedeutend und die Attraktivität für die Landwirte gross.

Entscheidender Motivationsgrund dürfte neben dem Preisbonus für einzelne Produkte die Freiwilligkeit und die Bedeutung sein, die der Kreativität und Innovation des einzelnen Landwirts erneut zugemessen wird. Der IP-Landwirt darf sich dank seiner freien Wahl wieder zu Recht einer Pioniergruppe zugehörig fühlen. Mit seinem Wissen und Können strebt er durchaus eine hohe Produktionsleistung an, aber mit einer bestmöglichen Ausschöpfung der natürlichen Regulation. Wichtig sind dabei eine kompetente Beratung und möglichst objektive, auf die Bedürfnisse der Landwirte zugeschnittene Informationsquellen, die der Beurteilungsvielfalt Rechnung tragen. Als gutes Beispiel sollten die Inhalte zum Umweltschutz in den Zielsortimenten der *fenaco* nicht abgebaut, sondern möglichst noch ausgebaut werden (z. B. die frühere Einteilung aller PSM in drei Kategorien mit unterschiedlicher Umweltgefährdung [52]). Bedeutsam ist, dass mit den verschiedenen Label-Organisationen eine neue positive Konkurrenz unter verschiedenen Anbietern (Bio und IP mit verschiedenen Labels) entstehen kann. Zusätzlich zur Einhaltung von Mindestansprüchen können die einzelnen Labels auch unterschiedliche Schwerpunkte setzen, z. B. bei der Biodiversität, beim Energieaufwand oder beim PSM-Einsatz [53].

Für einen nachhaltigen Erfolg ist die konstruktive Einbindung der wichtigsten Akteure (in erster Linie die Landwirte) und der Betroffenen (vorab die Konsumenten und der Markt) zentral. Für die praktische Einführung neuer Forschungsergebnisse und neuer Praktiken können Labelorganisationen bzw. deren Mitglieder eine Pionierfunktion übernehmen.

Box 2

len, die Präferenz für nützlichsschonende PSM, minimale Anteile an ökologischen Ausgleichsflächen (heute Biodiversitätsförderflächen) und später das Instrument der «Sonderbewilligungen» für PSM. Im Jahre 1999 wurden wie erwähnt mit der Einführung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) als Voraussetzung für Direktzahlungen die meisten Inhalte übernommen.

Die Konzepte, welche anhand der «Analyse der phytomedizinischen Situation» entwickelt wurden, stellten eine gute Lösung

für die damaligen schweizerischen Betriebsstrukturen dar. Die Situation hat sich seither jedoch verändert. So hat die Mechanisierung massiv zugenommen und parallel dazu der Arbeitszeitbedarf um den Faktor 2–4 abgenommen [65]. Die Betriebsgrössen sind laufend gewachsen, Lohnunternehmen erledigen immer mehr Aufgaben, Saatgutbeizungen nahmen zu, neue Resistenzen traten auf. Lösungsansätze für die heutigen Probleme müssen diese veränderten Rahmenbedingungen berücksichtigen.

POSITIVE UND NEGATIVE TRENDS BEIM INSEKTIZIDEINSATZ

Wegen mangelnder Daten zur Pflanzenschutzpraxis können sowohl negative als auch positive Entwicklungen nicht so leicht erkannt und vor allem nicht mit Daten belegt werden. In der Schweiz ist der Mangel an historischen Daten besonders ausgeprägt, weil z. B. konsistente Zahlen zum Verkauf erst seit 2006 existieren. Eine Nationalfondsstudie mit einer umfassenden Zusammenstellung der Behandlungshäufigkeiten im Jahr 1990

[57] ermöglicht immerhin den Vergleich mit aktuellen Erhebungen der *Agroscope* [58]. Auch wenn beide Datenquellen nicht von gesamtschweizerischen Erhebungen stammen, sind vor allem bei grossen Abweichungen Trendaussagen, z. B. zum hier diskutierten Insektizideinsatz, möglich. *Figur 2* zeigt analog zum in der Nationalfondsstudie gewählten Vorgehen die mit Insektiziden behandelte Fläche als Produkt von durchschnittlicher Anzahl Interventionen und Anbaufläche (*Application Area Treated*). Die Unterschiede von 1990 und 2009 basieren nur zu einem

geringen Teil auf Veränderungen der Anbaufläche, die von maximal 22% Zunahme (Zuckerrüben) bis zu 37% Abnahme (Kartoffeln) reicht, sondern primär auf Änderungen der Anzahl Interventionen, welche von einer Zunahme um 120% (Kartoffeln) bis zu einer Abnahme um nahezu 90% (Reben) reicht.

ERFOLGE IM REBBAU

Die deutlichste Reduktion der mit Insektiziden behandelten Fläche konnte im Rebbau erreicht werden. Sie beruht auf der erfolgreichen Umsetzung von drei

Massnahmen, welche die Philosophie der integrierten Produktion sehr gut illustrieren [60]:

- indirekter Pflanzenschutz durch Begrünungen und entsprechender Förderung von Nützlingen [61]
- Einsatz von Pheromonen zur Bekämpfung des Traubenwicklers [62]
- Bevorzugung nützlingsschonender Mittel durch Empfehlungen und Vorgaben der Forschungsanstalten bzw. der Labelorganisation *Vitiswiss*

Die Basis dieser Erfolgsgeschichte ist die Betrachtung und Gestaltung des Rebbergs als funktionales Ökosystem, in dem Kultur- und Pflanzenschutzmassnahmen positive und negative Wirkungen haben können. Mit diesem Fundament konnten in Zusammenarbeit mit motivierten Winzern und engagierten Verbandsvertretern neue Konzepte in die Praxis getragen werden.

PROBLEMATISCHE ENTWICKLUNG BEI RAPS

Die markanteste Zunahme des Insektizideinsatzes betrifft den Rapsanbau. Neben der Zunahme der flächigen Behandlungen kamen im Lauf der 1990er-Jahre noch die Behandlungen des Saatguts mit Neonikotinoiden dazu, die aber seit 2014 sistiert sind. Die Aufwandmenge pro Hektar liegt bei diesen Insektizidwirkstoffen im ähnlichen Bereich wie bei den gespritzten Anwendungen [59]. Auch Fungizide wurden 1990 noch nicht gespritzt, während in den Erhebungen von 2009 0,8 Behandlungen pro Jahr erfasst wurden. Die treibenden Faktoren, die zur starken Zunahme des PSM-Einsatzes im Rapsanbau führten, bedürften einer gesonderten Analyse.

WEITERE BEISPIELE AUS ACKER- UND GEMÜSEBAU

Eine frühe Erfolgsgeschichte der IP und der angewandten Agrarforschung ist die Entwicklung und Verbreitung der Methode zur Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen (in grössem Ausmass seit 1984). Demgegenüber wird der Maiszünsler in einigen Ländern chemisch bekämpft [63]. Mit begrenzten Mitteln war es möglich, in der Schweiz eine Praxis zu etablieren, die jährlich auf mehreren Tausend Hektaren den Einsatz von Insektiziden ersetzt – ein Erfolg, der sich aber nicht in der Statistik niederschlug, denn die in *Figur 2* ersichtliche Abnahme des flächigen Insektizidein-

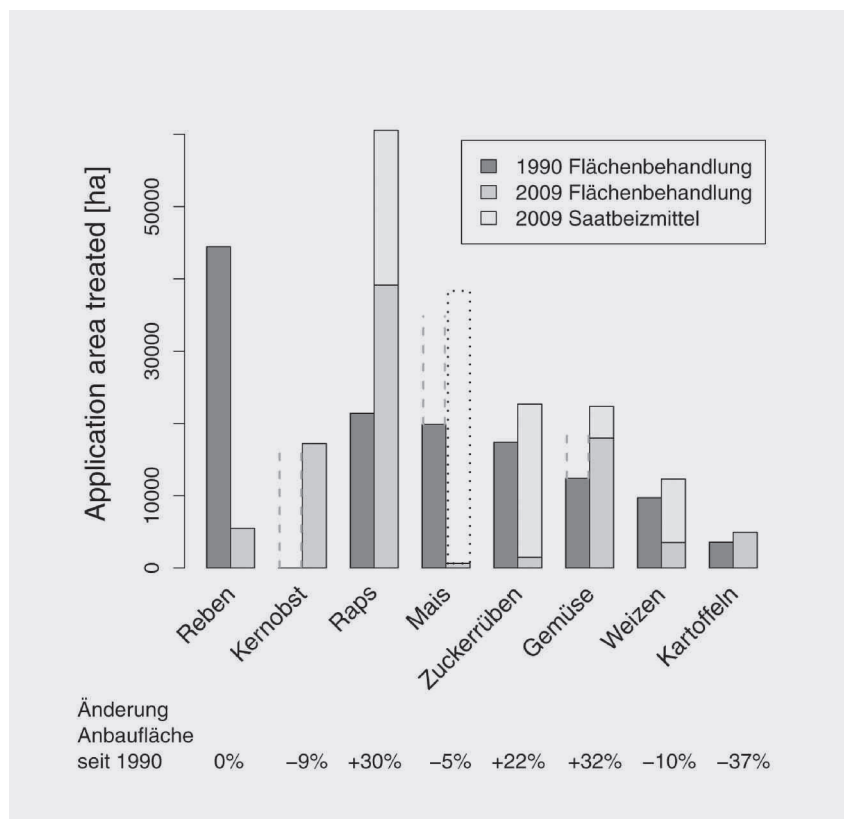


Fig. 2 Entwicklung der mit Insektiziden behandelten Fläche, Vergleich zwischen 1990 und 2009.¹ Die hellgrauen Balken stellen Saatgutbehandlungen dar [59].² Gestrichelte Linien weisen darauf hin, dass für 1990 keine vergleichbaren Informationen vorliegen (Kernobst und Saatbeizmittel, wobei 1990 noch keine Neonikotinoide eingesetzt wurden)

Évolution des surfaces traitées avec des insecticides, comparaison entre 1990 et 2009.¹ Les colonnes gris clair représentent les traitements des semences [59].² Les traitillés indiquent l'absence d'informations comparables pour 1990 (fruits à pépins et désinfectants de semences, en 1990 en effet encore aucun néonicotinoïde n'était employé)

¹ Bei Gemüse gab es in der Erhebung von 2009 keine gesicherten Angaben zur Behandlungshäufigkeit, weshalb für 2009 die gleiche Behandlungshäufigkeit wie 1990 angenommen wurde. Die Angaben beschränken sich auf Kohlgewächse, Salate, Karotten und Zwiebeln

L'enquête de 2009 n'a fourni aucune donnée confirmée sur la fréquence des traitements des légumes, c'est pourquoi on a appliqué la même fréquence qu'en 1990. Les données se limitent aux choux, aux salades, aux carottes et aux oignons

² Bei den Saatbeizmitteln im Mais muss unterschieden werden zwischen dem bereits länger eingesetzten Methiocarb und den Neonikotinoiden, deren Anteile für 2009 aber unbekannt sind.

Pour les désinfectants de semences du maïs, il faut distinguer le méthiocarbe, déjà utilisé depuis longtemps, et les néonicotinoïdes, dont les données pour 2009 ne sont pas connues.

satzes seit 1990 ist nicht die Folge einer veränderten Maiszünslerbekämpfung, sondern der veränderten Bekämpfung bodenbürtiger Schädlinge, die 2009 im Gegensatz zu 1990 über die Saatgutbeizungen erfolgte.

Eine analoge Verlagerung von der flächigen Behandlung zur Beizung fand bei Zuckerrüben statt. Zum intensiven Gemüsebau enthält die Erhebung der *Agroscope* keine Daten, weshalb mit den Angaben von 1990 gerechnet wurde. Die Zunahme in *Figur 2* ist damit ausschliesslich auf die grössere Anbaufläche zurückzuführen. Zu beachten ist, dass die Anzahl Interventionen gemäss der verwendeten Schweizer Daten von 1990 eher tiefer liegen als die von aktuellen ausländischen Erhebungen zum PSM-Einsatz im Gemüsebau, vor allem bei Karotten und Salat [64, 19]. Beim Weizen beruht die Abnahme der flächigen Behandlungen vorwiegend auf der Einführung des Extenso-Anbaus, der heute rund 50% der Fläche ausmacht.

FAZIT

Die in den 1990er-Jahren in die angewandte Agrarforschung und das Bera-

tungssystem investierten Ressourcen haben bei mehreren Kulturen zu einer zumindest als Trend belegbaren Reduktion des Insektizideinsatzes geführt.

EINTRAGSVERMINDERUNG BEI EINZELNEN BEDEUTENDEN KULTUREN

Nachfolgend werden für die Kulturen Mais, Zuckerrüben und Raps die drei an die *FAO Guidance* angelehnten Handlungsansätze Reduktion des PSM-Einsatzes, Substitution durch Wirkstoffe mit günstigerem Umweltprofil und Optimierung des Einsatzes konkrete Möglichkeiten evaluiert. Im Maisanbau werden fast ausschliesslich Herbizide gespritzt. Fungizide sind keine zugelassen und die flächige Applikation chemisch-synthetischer Insektizide braucht eine Sonderbewilligung und deckt gemäss dem Agrarbericht des Bundesamts für Landwirtschaft BLW eine sehr begrenzte Fläche ab [65]. Deshalb wurden beim Maisanbau ausschliesslich der auf rund 60 000 ha erfolgende Herbizideinsatz evaluiert. Bei Zuckerrüben ist gemäss den Erhebungen der *Agroscope* mit 3,8

Behandlungen/Jahr ebenfalls der Herbizideinsatz die häufigste Massnahme. Im Rapsanbau steht der Insektizideinsatz im Vordergrund, aber auch Herbizide und Fungizide werden häufig eingesetzt, weshalb bei dieser Kultur alle drei Wirkungsbereiche evaluiert wurden.

MAIS

Reduktion

Mais reagiert in gewissen Phasen empfindlich auf Nährstoff- und vor allem auf Wassermangel, weshalb eine Unkrautregulierung zentral ist. Eine in den 1990er-Jahren verbreitete Variante des reduzierten Herbizideinsatzes ist die Reihenbehandlung mit Bandspritzen, die das Herbizid ausschliesslich in die Maisreihe applizieren. Die Unkrautregulierung zwischen den Reihen erfordert in der Regel zwei zusätzliche Durchgänge mit Hackgeräten. Auch eine rein mechanische Unkrautregulierung ist möglich, vor allem wenn eine Lösung für die Verunkrautung in den Reihen gefunden wird. Eine auch zur Verminderung der Erosion und Nitratauswaschung besonders inte-

Verfahren	Standorte	Wirtschaftlichkeit im Vergleich	Ertrag	Reduktion Herbizide	Weitere untersuchte Aspekte
Umfassende IP gemäss [68] inkl. Bandspritzung und Hacken	Kanton Bern [69, 70] 1985–1991	DfE ¹ –4,4% bis +3,0%	–3,0% bis –6,1%	73%	Nützlinge, Unkrautbesatz, Krankheiten, Schädlinge, Kosten, Bodenbiologie (CO ₂ , ATP, Regenwürmer, Zelluloseabbau)
Bandspritzung und Hacken	Kanton Thurgau [71] 1988	standortabhängig ²	+4% (n.s.) bis +11% (s.)	67%	
Bandspritzung und Hacken bzw. mechanisch (biologischer Anbau)	Kanton Luzern 1997–2002 [72]	–7% ³	–5% Silomais und –8% Körnermais ⁴	63%	Unkrautbesatz, Kosten, Energie, Bodengefüge, Nützlinge, Biodiversität
		+97% ³	–6% Silomais ⁵ und –14% Körnermais	100%	
Bandspritzung und Hacken	Baden-Württemberg, DE 2011–2012 [73] ⁶	–5% (n.s.) ⁷	–3% (n.s.)	70%	Unkrautbesatz, Kosten
Bandspritzung und Hacken bzw. 7 herbizidlose Verfahren (mechanisch)	Umbrien, IT [74] 2002–2004	keine Angaben	–2 bis –5% (n.s.)	50%	Unkrautbesatz
			+2 bis –45% ⁸ (s.)	100%	
mechanisch (konventioneller Anbau)	Lelystad, NL 2009–2013 [75]	noch keine Angaben	–3% ⁹	100%	Kosten, Stoffliche Inputs (noch nicht publiziert)

n.s. nicht signifikant in Fisher's LSD Test, s.: signifikant

¹ DfE: Direktkostenfreier Ertrag im Vergleich zum intensiven Anbausystem

² Je nach Auslastung der Geräte zwei- bis viermal höhere Kosten, wobei die Kosten für die flächige Behandlung mit Atrazin sehr tief waren

³ Unterschied des Deckungsbeitrags von IP-intensiv und IP-extensiv bzw. biologisch, im Fall des biologischen Anbaus mit Produzentenpreis für Bioprodukt gerechnet

⁴ Düngung um 40–33 kg N/ha tiefer als beim Verfahren mit flächiger Herbizidanwendung

⁵ Durchschnitt des gesamten Anbausystemversuchs 1991–2008 [76]

⁶ Die Studie enthält Ergebnisse eines weiteren in Italien getesteten Verfahrens mit einem modellgestützten System für den Entscheid, ob das Unkraut chemisch oder mechanisch reguliert werden soll, und eines in Slowenien getesteten Verfahrens mit teilweise reduzierter Herbizidmenge kombiniert mit mechanischer Unkrautregulierung. Erträge und Bruttoergebnis in beiden Verfahren ebenfalls nicht signifikant tiefer oder höher

⁷ Unterschied des Bruttoergebnisses

⁸ Verfahren bei höheren Ertragsverlusten z.T. nicht praxiserprobt und eher experimenteller Natur

⁹ Pflug (bei pfluglosem Anbau z.T. höhere Ertragsausfälle, vor allem bei Strip-Till)

Tab. 2 Resultate von Studien zu reduziertem Herbizideinsatz im Maisanbau. Als Vergleich diente in allen Studien der ganzflächige Herbizideinsatz mit in der Region üblichen Aufwandmengen und Behandlungshäufigkeiten

Résultats des études sur la réduction de l'utilisation d'herbicides dans les cultures de maïs. Dans l'ensemble des études, l'utilisation d'herbicides sur de grandes surfaces a été comparée avec les dosages et les fréquences de traitement habituels de la région



Fig. 3 Die mechanische Unkrautregulierung hat sich weiterentwickelt.

Links: Hackgerät mit manueller Lenkung (Foto: R. Tschachtli, BBZN) und rechts: Hackgerät mit Kamerasteuerung
Le désherbage mécanique a fait des progrès.

À gauche: sarcluse avec guidage manuel (Photo: R. Tschachtli, BBZN), et à droite: sarcluse avec guidage par caméra

ressante Möglichkeit ist der Einsatz von unkrauthemmenden Untersaaten. Das Konzept besteht darin, nach der Maissaat (evtl. Bandspritzung) und einem oder eher zwei Hackgängen eine geeignete Leguminosen- und/oder Gräserart (z. B. Weissklee und Englischs Raigras) einzusäen, welche die Spätverunkrautung unterdrückt, aber das Maiswachstum nicht behindert (Verfahren «Integriert B» und «Bio» [16]; cf. [67]). Gemäss Versuchen, die in den 1980er-Jahren vom *Forschungsinstitut für biologischen Landbau* (FiBL) durchgeführt wurden, lagen die Erträge mit den untersuchten Klee- und Gräseruntersaaten nur leicht unter der chemischen Kontrolle, aber über der rein mechanischen Unkrautregulierung [66]. Derzeit läuft an der *Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften* (HAFL) ein neues Projekt, in dem die Eignung von Untersaaten für herbizidlosen Maisanbau untersucht wird [116].³

Tabelle 2 bietet einen Überblick über Versuche zu Unkrautregulierungsmethoden mit reduziertem Herbizideinsatz bzw. ohne Herbizide.

Die Erträge bei Reihenbehandlungen weichen nur geringfügig von den Erträgen bei flächiger Behandlung ab. In dem an der Forschungsanstalt *Agroscope* in Tänikon durchgeführten Versuch wurden z. T. signifikant höhere Erträge erzielt, was der Autor auf die Bodenlockerung zurückführte [71]. Die Erträge herbizidloser Verfahren variieren je nach Standort und Verfahren, wobei die Ertragsreduktion in der Regel weniger als 10% ausmachte. Das entscheidende Hindernis bei der Herbizidreduktion ist nicht die Auswirkung auf den Ertrag, sondern der höhere Arbeitsaufwand und die Unsicherheit, Problemunkräuter ausreichend kontrollieren zu können.

Die Angaben zur Wirtschaftlichkeit weichen stark voneinander ab und sind schwer vergleichbar. In der umfassendsten Evaluation unter Schweizer Bedingungen, dem Anbausystemversuch Burgrain, wurden von 1997 bis 2002 auch Reihenbehandlungen mit Bandspritzungen getestet. Der zusätzliche Arbeitsaufwand wurde auf sechs Arbeitskraftstunden pro Hektar beziffert [77]. Dass er so hoch ist, liegt primär an den zwei benötigten Arbeitskräften (Fig. 3, links).

Die Hackgeräte der heutigen Generation benötigen keine zusätzliche Arbeitskraft für die Lenkung und haben teilweise

doppelte Arbeitsbreiten (Fig. 3, rechts). Aktuellere Zahlen zur Wirtschaftlichkeit wären daher sehr wertvoll. In langjährigen Versuchen im Burgrain wurde ein erhöhter Vorrat keimfähiger Unkrautsamen, aber kein Einfluss auf den Ertrag beobachtet, wobei der Standort als günstig eingestuft wurde (Fehlen gewisser Problemarten wie Ackerkratzdisteln) [78].

Substitution

Die eingesetzten Wirkstoffe haben abhängig von Abbaubarkeit und Sorptionsverhalten eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit, mit Oberflächen- oder Drainagenabfluss in die Gewässer zu gelangen. Als erste Näherung wurde ein auf den beiden Wirkeigenschaften Sorptionskonstante und Halbwertszeit basierender Indikator für die Eintragswahrscheinlichkeit verwendet [26]. Bei den für den Maisanbau als relevant eingeschätzten Wirkstoffen unterscheidet sich der Indikator um mehr als einen Faktor 100 (höchste Eintragswahrscheinlichkeit für Nicosulfuron und tiefste für Pendimethalin) [26]. Der bevorzugte Einsatz weniger mobiler und leichter abbaubarer Wirkstoffe sollte daher vertieft evaluiert werden.

Optimierung

Bei der Anwendung von PSM existieren mehrere, in anderen Publikationen im Detail beschriebene Möglichkeiten, um den Eintrag durch Abdrift [79, 80], Abschwemmung [81, 82] und Punkteinträge [83] zu vermindern. Auch Konzepte zur konkreten Umsetzung existieren [84, 85, 86]. Geeignete Massnahmen zur Verminderung von Einträgen in Drainagen fehlen hingegen weitgehend [87]. Die Effektivität von Massnahmen zur Verminderung der Abschwemmung, wie z. B. Pufferstreifen am Feldrand, Erosionsschutzstreifen im Feld, grobes Saatbeet usw., hängt stark von den lokalen Verhältnissen ab (Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität, Topografie, Gewässeranschluss). Eine in Beratungsunterlagen (z. B. [82]) als zentral eingestufte Massnahme ist die reduzierte oder schonende Bodenbearbeitung. Deren Potenzial wurde in umfassenden Reviews evaluiert [88, 89]. Je nach Bodentyp, Kultur und Art der Bodenbearbeitung (Pflug, Mulchsaat, Streifenfrässaat, Direktsaat) weichen die Werte sehr stark voneinander ab, weshalb hier etwas spezifischer auf die Situation in der Schweiz eingegangen wird.

Der Anteil der Direktsaat liegt in der Schweiz bei rund 4% der Ackerfläche [90]. Im Schweizer Maisanbau ist die in den 1990er-

³ Das untere Foto auf der Titelseite ist von einem Versuchsfeld mit Untersaat und zeigt die gute Bodenbedeckung nach der Ernte (Foto: H. Ramseier).

Jahren von innovativen Landwirten und der Forschungsanstalt *Agroscope* (Reckenholz) entwickelte Streifenfrässaat am relevantesten [25]. Zu deren Flächenanteil im Maisanbau liegen bisher nur Schätzungen vor [91], aber ab 2016 sollten die Anmeldungen für Ressourceneffizienzbeiträge (REB) genaue Aussagen ermöglichen. Spezifische Studien zur Verminderung der Abschwemmung durch die heute praktizierte Streifenfrässaat sind den Autoren nicht bekannt. Eine von 1989–1992 an sieben Standorten durchgeführte Studie zur Atrazin-Abschwemmung kann als Näherung dienen. Die reduzierte Bodenbearbeitung führte nicht zu tieferen Konzentrationen im abfließenden Wasser. Weil aber 50% weniger Wasser abfloss und 95% weniger Bodenpartikel abgetragen wurden, wurde eine im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit dem Pflug um 80% verminderte Atrazinabschwemmung festgestellt. Eine aktuelle Studie mit künstlichen Beregnungsversuchen gibt Aufschluss über verschiedene Einflussfaktoren [92]. Beim Vergleich von Mulchsaat und konventioneller Bodenbearbeitung mit dem Pflug zeigte sich, dass die als schonende Bodenbearbeitung eingestufte Mulchsaat nicht notwendigerweise zu tieferem Oberflächenabfluss führt. Voraussetzung für die effektive Reduktion des Oberflächenabflusses und des Bodenabtrags ist die Kombination aus optimierter Bodenbedeckung, möglichst tiefer Anzahl Anbauschnitte und grober Saatbettbereitung. Die Praxis der reduzierten Bodenbearbeitung geht heute jedoch in der Regel mit erhöhtem Herbizideinsatz einher [93]. Möglichkeiten zur Reduktion der Abhängigkeit von Glyphosat werden derzeit europaweit erforscht [94] und sind auch Gegenstand des Nationalfondsprojekts «Cover crops for conservation agriculture». Der Weg zum Erfolg führt über die Wahl geeigneter Zwischenfrüchte und Untersaaten.

Unbestritten sind die Vorteile der reduzierten Bodenbearbeitung im Bereich Erosionsschutz. Auch über das Thema Bodenbearbeitung hinaus bestehen Synergien zwischen Gewässer- und Bodenschutz, angefangen von Massnahmen gegen Verdichtung bis zu Erosionsschutzstreifen [95].

Fazit

Im Maisanbau gibt es bei Reduktion, Substitution und Optimierung effektive Möglichkeiten. Auf erosionsgefährdeten Flächen dürfte die schonende Bodenbe-

arbeitung vorteilhaft sein, während auf drainierten Flächen und in Regionen mit erhöhten Grundwasserbelastungen die Reduktion des PSM-Einsatzes am effektivsten ist.

ZUCKERRÜBEN

Reduktion

In Versuchen des französischen *Institut Technique de la Betterave* (ITB) schnitten kombinierte Verfahren aus chemischer und mechanischer Unkrautregulierung wiederholt wirtschaftlicher ab als rein chemische Verfahren. Werden statt der üblichen vier Behandlungen mit Herbiziden je zwei chemische und zwei mechanische Durchgänge vorgenommen, lassen sich die Kosten pro Hektar um rund 25–35% reduzieren [96]. Bei den Berechnungen wurde laut ITB berücksichtigt, dass bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen die mechanische Regulierung nicht möglich ist (Annahme: mechanische Regulierung in sieben von zehn Jahren möglich). Aus Deutschland liegen ebenfalls Berichte über mögliche Kosteneinsparungen vor, wobei zusätzlich positive Effekte auf den Ertrag erwähnt werden [97]. Derzeit wird das Potenzial solcher Ansätze in der Schweiz in einer Studie der HAFL in Zusammenarbeit mit Branchenorganisationen evaluiert [117]. Die im Vergleich zu Frankreich oder Deutschland geringeren Parzellengrößen und die höheren Niederschläge sind besondere Herausforderungen für den Einsatz von mechanischen Hackgeräten in der Schweiz. Erste Ergebnisse der Studie in der Schweiz zeigen, dass die Herbizidmengen deutlich reduziert werden können. Wegen der hohen Arbeits- und Maschinenkosten sind die Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung auf einem ähnlichen Niveau wie in einem rein chemischen Verfahren. Die modernen Hackgeräte mit Kamerasteuerung funktionieren technisch einwandfrei und ermöglichen hohe Flächenleistungen. Für einen wirtschaftlichen Einsatz entscheidend ist aber eine möglichst hohe Auslastung der Geräte durch einen überbetrieblichen Einsatz in allen Hackkulturen.

Substitution und Optimierung

Auch bei Zuckerrüben besteht ein bisher nicht systematisch evaluierter Spielraum für die Substitution mobiler Wirkstoffe durch weniger mobile. Für den Handlungsansatz Optimierung sind weitge-

hend die gleichen Konzepte wie für den Mais relevant.

RAPS

Reduktion

Insektizide: Der Befall der im Frühjahr relevantesten Schädlinge Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus* und *M. viridescens*) und Rapsstängelrüssler (*Ceutorhynchus napi*) lässt sich durch verschiedene Massnahmen regulieren [16].

- In der Schweiz wurden Verfahren entwickelt, die auf der Beimischung von Rüben (*Brassica rapa*) als Fangpflanze basieren. Rüben entwickeln sich rascher und blühen früher als Raps und locken dadurch verschiedene Rapschädlinge an [98]. Empfohlen wird, dem Raps am Feldrand auf 10 bis 15 m breiten Streifen 5% Rüben beizumischen und beim Überschreiten der Schadschwelle ausschliesslich diesen Streifen mit Insektiziden zu behandeln [16]. Die für Gebiete mit mässigem Befallsdruck geeigneten Verfahren wurden in einigen Kantonen durch Abgabe von gratis Rübensaatgut unterstützt, sind aber heute in der Praxis nur noch wenig verbreitet.
- In Frankreich empfiehlt *Terres Inovia*, das Technische Institut der Ölsaatenbranche, in Regionen mit mässigem Befallsdruck 5–10% einer besonders früh blühenden Rapsorte beizumischen. Laut Auskunft von *Terres Inovia* wird das Verfahren in gewissen Regionen auf 30% der Flächen angewendet. Zu prüfen wäre, ob sich das Verfahren mit dem Schweizer Ansatz kombinieren liesse, indem ein Streifen mit einer früh blühenden Sorte angelegt wird, der im Bedarfsfall behandelt wird.

Bemerkenswert sind die Entwicklungen im Bereich wirtschaftlicher Schadschwellen. So wurden in Frankreich die Schadschwellen des Rapsglanzkäfers in den letzten Jahren kontinuierlich angehoben. Es zeigte sich, dass ausreichend mit Nährstoffen versorgter Raps Frassschäden gut kompensieren kann, weshalb bei gesundem Raps deutlich tiefere Schadschwellen ermittelt und in frühen Stadien heute sogar der Verzicht auf eine Behandlung empfohlen wird [99]. Abzuklären wäre, inwieweit solche Überlegungen auf die Schweiz übertragbar sind.

Fungizide: Versuche der Plattform Ackerbau haben gezeigt, dass der Fungizidein-

satz häufig nicht wirtschaftlich ist [100]. Gemäss Studien des *Institut National de la Recherche Agronomique* (INRA) lässt sich das Krankheitsrisiko durch Düngung, Saatzeitpunkt und Sortenwahl stark reduzieren [101]. Daran könnte man anknüpfen.

Herbizide: Raps ist eine vergleichsweise konkurrenzstarke Pflanze. In den Kantonen Genf und Freiburg erwies sich der Einsatz unkrautunterdrückender Untersaaten als ertrags- und kostenneutral [102, 103], im Kanton Luzern im ersten Versuchsjahr ebenfalls, während das zweite Jahr gezeigt hat, dass das Untersaatverfahren günstige Verhältnisse bei der Saat voraussetzt [104]. Auch Bandspritzungen und rein mechanische Unkrautregulierung sind im Raps machbar und wirkten sich bei Versuchen in Schweden nicht substantiell auf den Ertrag aus (Erträge +4% mit Bandspritzung bzw. -3% bei rein mechanischer Unkrautregulierung) [105].

In einer von 2005–2007 an 17 Standorten in Frankreich durchgeführten Studie wurden jeweils intensive Verfahren mit integrierten Anbausystemen verglichen [106]. Diese sind nicht direkt auf die Schweiz übertragbar, aber das Ergebnis zeigt die Notwendigkeit solcher Studien auf, denn das integrierte Anbausystem wies im Durchschnitt 44% weniger PSM-Einsatz, 6% weniger Ertrag und einen um 20% höheren Deckungsbeitrag auf. Während im schweizerischen Ackerbau im internationalen Vergleich schon die frühesten solcher Studien durchgeführt wurden [42, 69, 72], fehlen aktuelle Daten.

Substitution

Versuche mit Gesteinsmehl waren bisher nur begrenzt erfolgreich [107, 108]. Mit geeigneten Netzmitteln und Tonmineralien wurde in aktuellen Versuchen eine verbesserte Wirksamkeit erreicht: Bei ein bis zwei Behandlungen jeweils 5% tieferer Ertrag als mit chemisch-synthetischen Mitteln und bei drei

Behandlungen 4% höher (Fig. 4) [109]. Wegen des vergleichsweise höheren Preises der Behandlungen wären Tonmineralien vor allem im Extensio-Anbau interessant, wo sie aber nach den geltenden Beitragsbedingungen (Direktzahlungsverordnung, Art. 69) nicht erlaubt sind.

Optimierung

Raps ist wegen der schnellen und hohen Bodenbedeckung eine Kultur mit eher tiefem Erosionsrisiko und auch mit tiefem Abschwemmungspotenzial. Zudem weisen im Fall der Insektizide die bisher vorwiegend eingesetzten Pyrethroide eine starke Tendenz zur Sorption an Bodenpartikel auf [110], sodass primär Abschwemmung mit Partikeln und Punkteinträge als Eintragspfade in Frage kommen. Durch die Verlagerung der eingesetzten Wirkstoffe zu anderen Wirkstoffklassen mit höherer Mobilität (Pyrethroide sind wegen Resistenzproblemen nicht mehr gegen Rapsglanzkäfer zugelassen) kann das Risiko von Einträgen aber zunehmen, weshalb sich auch im Rapsanbau die bereits beim Mais erwähnten Massnahmen gegen Abschwemmung lohnen dürften.

Fazit

Auch beim Rapsanbau gibt es bei Reduktion, Substitution und Optimierung effektive Möglichkeiten. Angesichts der Resistenzprobleme bei den Rapsschädlingen besteht auf jeden Fall ein über den Gewässerschutz hinausgehendes Interesse an integrierten Strategien zur Schädlingsregulation.

BEWERTUNG DER DREI HANDLUNGSANSÄTZE

Für einen quantitativen Vergleich der drei Handlungsansätze Reduktion, Substitution und Optimierung müssen Informationen zum Anteil der verschiedenen Eintragspfade und quantitative Angaben zur Effektivität vorliegen.



Fig. 4 Einsatz von Tonmineralien gegen den Rapsglanzkäfer im sensiblen Stadium (links) und blühender behandelter Raps (rechts)

Application d'argile minérale contre le mélégiète du colza pendant le stade sensible (à gauche), colza traitée en floraison (à droite)

(Fotos: W. Jossi, Agroscope)

Reduktion

Beim Handlungsansatz Reduktion des PSM-Einsatzes sind quantitative Angaben möglich und deren Wirksamkeit in Bezug auf die Verminderung von PSM-Einträgen ist unabhängig vom Eintragspfad.

Substitution

Bei der Substitution von Wirkstoffen durch leichter abbaubare und weniger mobile Wirkstoffe sind mit Modellen und durch die Auswertung von Monitoringdaten quantitative Angaben zur Wirksamkeit generierbar. Die Wirksamkeit ist abhängig vom Eintragspfad. Während sich der Eintrag in Drainagen durch den bevorzugten Einsatz stärker sorbierender oder schnell abbaubarer Wirkstoffe reduzieren lassen sollte, hängt die Abschwemmung nur geringfügig von der Sorption ab [111].

Optimierung

Bei der Optimierung ist die Quantifizierung am schwierigsten. Der Hauptgrund sind die auf Parzellenebene stark variierenden Eintragsrisiken z. B. durch vernässte Bereiche [111] und die hohe Zahl möglicher indirekter Einträge etwa über Ablaufschächte am Feldrand [84]. Auf der konkreten Ebene der Planung von Massnahmen besteht das Problem, dass es schwierig ist, allein anhand von GIS-Daten eine Unterscheidung von gesättigtem und ungesättigtem Oberflächenabfluss vorzunehmen [84]. Diese Unterscheidung ist aber zentral für die Auswahl effektiver Massnahmen, denn für Flächen, die zu gesättigtem Oberflächenabfluss neigen (vernässte Standorte), stehen viel weniger Massnahmen für die Reduktion der Einträge zur Verfügung als bei ungesättigtem Oberflächenabfluss [82]. Die Erkennung dominierender Eintragspfade zur Unterstützung des Handlungsbereichs Optimierung ist also eine wichtige Forschungsfrage [112]. Wegen der hohen Unsicherheit bei Substitution und Optimierung wurde in *Tabelle 3* die mögliche Verminderung der Einträge auf grobe Klassen von «+» bis «+++» beschränkt.

Tabelle 3 verdeutlicht, dass eine Eintragsverminderung durch Massnahmen im Bereich Reduktion unabhängig von den Eintragspfaden erfolgt. Die Eintragsverminderung durch Reihenbehandlungen bei ungesättigtem Oberflächenabfluss wurde als erhöht bewertet, weil bekannt

	Reduktion ¹	Substitution	Optimierung
Abschwemmung durch gesättigten Oberflächenabfluss	++	+	+
Abschwemmung durch ungesättigten Oberflächenabfluss	+++	+	+++
Einträge in Drainagen	++	++	(+)
Punktquellen	(+)	(+) ²	+++

¹ Gilt für die Reduktion durch Reihenbehandlungen mit Herbiziden. Bei rein mechanischer Unkrautregulierung ist die Eintragsverminderung überall hoch.

² Bei Punktquellen keine Eintragsverminderung, wenn das PSM nur weniger mobil ist, aber geringere Wirkung auf Gewässerorganismen, wenn es weniger toxisch ist.

Tab. 3 Matrix der Handlungsansätze und Eintragspfade am Beispiel Herbizide:

Wirksamkeit (+++: hoch, ++: mittel, +: tief) und Unsicherheit (weiss: sehr tief, hell: tief, mittel: mittel, dunkel: hoch)

Matrice des solutions et des voies d'apports à l'exemple des herbicides:

efficacité (+++: élevée, ++: moyenne, +: faible) et incertitude (blanc: très faible, clair: faible, moyen: moyenne, foncé: grande)

ist, dass die zusätzliche Bodenbearbeitung zu einer Verminderung der Abschwemmung führt [113]. Eine Substitution durch andere chemische PSM bietet einen begrenzten Spielraum (am ehesten bei Drainage). Eine Substitution chemischer Mittel durch biologische Schädlingsbekämpfung ist hingegen aus Sicht des Gewässerschutzes hoch wirksam.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass vor allem beim Mais (Herbizide), aber auch beim Raps (Insektizide) neue Ansätze dringlich sind.

Einen geeigneten Lösungsansatz bieten die umfassenden, auf dem Vorsorgeprinzip basierenden Anbauverfahren der integrierten Produktion und des biologischen Landbaus. Ihre positiven Umweltwirkungen gehen zudem weit über den Gewässerschutz hinaus.

Die drei eingangs gestellten Fragen der Problemstellung lassen sich folgendermassen beantworten:

1)

Die Zuordnung der Wirkstoffe zu den einzelnen Kulturen ist teilweise gut möglich, teilweise mit Unsicherheiten behaftet und teilweise nicht möglich. Maisherbizide weisen einen besonders hohen Anteil an gemessenen Überschreitungen der chronischen Qualitätskriterien auf. Regionale Daten zum PSM-Einsatz, wie sie in der Schweiz bisher fehlen, aber in verschiedenen Ländern Europas erhoben werden, könnten einen wesentlichen Beitrag leisten, um die Belastungsquellen besser eingrenzen und gezielter Lösungen finden zu können.

2)

Die integrierte Produktion und der biologische Anbau haben viele Elemente, welche PSM-Einträge in Gewässer wirksam vermindern oder ganz verhindern können. Damit diese Elemente in der Praxis vermehrt angewendet werden, sind auf mehreren Ebenen Massnahmen nötig. Diese reichen von der Beratung über die Verbesserung bestehender Techniken bis hin zu geeigneten Anreizen und politischen Rahmenbedingungen. Die vorhandenen Daten zur Unkrautregulierung in Mais, Raps und Zuckerrüben weisen darauf hin, dass an geeigneten Standorten eine Reduktion des PSM-Einsatzes nur zu geringen Ertragseinbussen führt oder ertragsneutral ist. Flexible Anreizsysteme, wie die im Kanton Waadt seit diesem Jahr ausbezahlten Prämien für den herbizidlosen Anbau, können dazu führen, dass die nötige Erfahrung mit diesen Methoden der Unkrautregulierung aufgebaut wird und sie Verbreitung finden. Beim Raps gibt es sowohl bei Insektiziden und Fungiziden als auch bei Herbiziden ein Potenzial, den PSM-Einsatz zu reduzieren. Eine systematische Evaluation aller Kulturen, wie sie 1986 bei der «Analyse der phytomedizinischen Situation in der Schweiz» durchgeführt wurde, wäre von hohem Wert; eine periodische Evaluation der Situation wurde im Schussdokument der Schweizerischen Gesellschaft für Phytomedizin auch explizit angeregt [54].

3)

Das Potenzial aller drei Handlungsansätze (Reduktion, Substitution, Optimierung) ist hoch und sollte parallel vorangetrieben werden. Diesen Grundgedanken widerspiegeln auch Europä-

ische Forschungsprojekte wie PURE (*Pesticide Use-and-Risk Reduction*) als Teil des 7. Rahmenprogramms im Themenbereich «wissensgestützte Biowirtschaft». Erfolge bei der Reduktion sind besonders effektiv, weil sie bei allen Eintragspfaden gleichermaßen wirken. Auf beitragenden Flächen ist die Reduktion des PSM-Einsatzes abgesehen von einem Flächenabtausch die klar effektivste Lösung. Bei der Substitution durch andere chemische PSM ist zu beachten, dass das Umweltprofil neben dem Eintrag in Oberflächengewässer auch andere Aspekte umfasst (Grundwasser, Nützlinge, terrestrische Flora und Fauna). Bei der Optimierung könnte eine bessere Abstimmung von Boden- und Gewässerschutz zur Verminderung der Einträge der ausgebrachten Wirkstoffe beitragen, denn bestimmte Massnahmen gegen Bodenverdichtung (z.B. Reduktion der Radlasten und des Reifendrucks, bodenverbessernde Zwischenkulturen) und gegen Erosion (Zwischenkulturen, Erosionsschutzstreifen) reduzieren direkt auch die Abschwemmung [114]. Über die Auswirkungen der einzelnen Massnahmen auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit ist für die Anbaubedingungen in der Schweiz noch zu wenig bekannt. Für eine erfolgreiche Einführung geeigneter Massnahmen sind aber entsprechende Daten, wie sie z. B. in Frankreich anhand von Betriebsnetzen erhoben werden, entscheidend. Ein eigentliches Netz mit 205 Pilotbetrieben war auch in der Schweiz eine wichtige Basis für die Beurteilung

der Wirtschaftlichkeit des biologischen Landbaus und der integrierten Produktion (z. B. [115]). Mit solchen Netzen kann auch evaluiert werden, welche Massnahmen so wirtschaftlich sind, dass sie allein schon über eine verbesserte Beratung Verbreitung finden können, bei welchen noch angewandte Forschung nötig ist, oder wo finanzielle Anreize für eine breitere Anwendung unumgänglich sind.

In der Schweiz führten in den 1990er-Jahren die Kombination von angewandter Agrarforschung, motivierten Pionierbetrieben, Beratung mit Einbezug innovativer Landwirte und geeignete agrarpolitische Rahmenbedingungen zu entscheidenden Verbesserungen in Richtung einer ökologisch geprägten Bewirtschaftung, die auch den Gewässerschutz einschloss. Die aktuellen Gewässerdaten zeigen jedoch, dass die numerischen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung eindeutig nicht erfüllt und die Qualitätskriterien häufig überschritten werden. Der Fokus liegt im vorliegenden Artikel auf dem Potenzial der flächenmässig vorherrschenden Standardproduktion (ÖLN) und den Möglichkeiten der integrierten Produktion zur Eintragsverminderung. Aussichtsreiche Stossrichtungen sind beschrieben und es wird aufgezeigt, dass es bei jeder Kultur bedeutende Spielräume für Verbesserungen gibt. Die Erfahrungen in der Vergangenheit haben gezeigt, dass es bei einem konsequenten Zusammenwirken der Akteure möglich ist, innerhalb weniger Jahre substanzielle Verbesserungen zu erreichen.

DANK

Die Studie wurde durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanziert. Den für die Recherchen in diesem Zusammenhang mit diesem Artikel Befragten möchten wir herzlich danken. Insbesondere Irene Wittmer (Eawag), Padruot Fried (ehemals Agroscope), Franz Bigler (ehemals Agroscope), Christoph Moschet (Eawag/UC Davis), Muriel Valantin-Morison (INRA), Ruedi Büchi (ehemals Agroscope), Hans Ramseier (HAFL), Andreas Keiser (HAFL), Daniel Strahm (fenaco), Markus Jenny (Vogelwarte), Andreas Schwarz (Kt. St. Gallen), Johannes Ranke (jrwb), Emilien Quilliot (ITB) und Suzanne Blocaille (ITB). Ein besonderer Dank geht an Bertrand Omon (Chambre d'Agriculture de l'Eure) für die detaillierten Informationen zu den Betriebsnetzen in der Normandie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wittmer, I. K. et al. (2014): Über 100 Pestizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas* 3, p. 32–43
- [2] Moschet, C. et al. (2014): Picogram per liter detections of pyrethroids and organophosphates in surface waters using passive sampling. *Water Res.* 66, p. 411–422
- [3] Moschet, C. et al. (2014): How a complete pesticide screening changes the assessment of surface water quality. *Environ. Sci. Technol.* 48, p. 5423–5432
- [4] SR916.161 (2015): Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV)
- [5] SR813.12 (2015): Verordnung über das Inverkehrbringen von und den Umgang mit Biozidprodukten (Biozidprodukteverordnung, VBP)
- [6] Leib, V. (2015): Biologischer Zustand kleiner Fließgewässer. *Aqua & Gas* 4, p. 66–75
- [7] Wittmer, I. K. et al. (2011): Loss rates of urban

biocides can exceed those of agricultural pesticides. *Sci. Total Environ.* 409, p. 920–932

- [8] Braun, C. et al. (2015): Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen. *Situationsanalyse. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514*
- [9] Leu, C.; Schneider, M. K.; Stamm, C. (2010): Estimating catchment vulnerability to diffuse herbicide losses from hydrograph statistics. *J. Environ. Qual.* 39, p. 1441–1450
- [10] Béguin, J.; Smola, S. (2010): Stand der Drainagen in der Schweiz – Bilanz der Umfrage 2008. *Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern*
- [11] Huber, A.; Bach, M.; Frede, H. G. (2000): Pollution of surface waters with pesticides in Germany: Modeling non-point source inputs. *Agric. Ecosyst. Environ.* 80, p. 191–204
- [12] Reichenberger, S. et al. (2007): Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground and surface water and their effectiveness; A review. *Sci. Total Environ.* 384, p. 1–35
- [13] Singer, H. et al. (2006): Evaluation der Ökomassnahmen, Gewässer und Pestizide, Konzept- und Ergebnisbericht. *Eawag: Dübendorf*
- [14] FAO (2010): International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides Guidance on Pest and Pesticide Management Policy Development.
- [15] Ernst Basler und Partner. (2015): Massnahmen zur Reduktion von Einträgen von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer – Eine Auslegeordnung
- [16] Häni, F. J.; Popow, G.; Reinhard, H.; Schwarz, A.; Vögeli U. (2012, 8. Aufl.): *Pflanzenschutz im nachhaltigen Ackerbau. edition-Imz, p. 1–466*
- [17] Junghans, M.; Kase, R.; Chèvre, N. (2012): Qualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel. *Aqua & Gas* 11, p. 16–22
- [18] Garthwaite, D. G. et al. (2013). *Pesticide usage survey report 235: arable crops in the United Kingdom 2012*
- [19] Garthwaite, D. G. et al. (2014). *Pesticide usage survey report 257: outdoor vegetable crops in the United Kingdom 2013*
- [20] Gutsche, V.; Strassemeyer, J. (2007): SYNOPSIS – ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd* 59, p. 197–210
- [21] Moschet, C. (2011): *Faktenblatt Insektizide und Fungizide aus landwirtschaftlichen Nutzflächen, in Faktenblatt. Eawag: Dübendorf*
- [22] Wittwer, A.; Gubser, C. (2010): *Umsetzung des Verbots von Pflanzenschutzmitteln. Untersuchung zum Stand der Umsetzung des Anwendungsverbots von Unkrautvertilgungsmitteln auf und an Strassen, Wegen und Plätzen. Umwelt-Wissen Nr. 1014*
- [23] Krebs, R.; Hartmann, F. (2011): *Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Schweizerischen Gartenbau: Datenübersicht – indikatorbasierte*

- Risikobeurteilung – Monitoringkonzept. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), Wädenswil
- [24] Rüttimann, M. (Basel, 2001). Boden-, Herbizid-, und Nährstoffverluste durch Abschwemmung bei konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaat von Silomais. Dissertation Universität Basel
- [25] Bigler, F.; Waldburger, M.; Ammon, H.-U. (1995): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993 – Die Verfahren im Vergleich. *Agrarforschung* 2, p. 353–356
- [26] Wittmer, I.; Stamm, C.; Singer, H.; Junghans, M. (2014). Mikroverunreinigungen Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen aus diffusen Einträgen. *Eawag: Dübendorf*
- [27] Diercks, R. (1983). *Alternativen im Landbau*, Ulmer Verlag, p. 1–379
- [28] Häni, F.; Boller, E. F.; Bigler, F. (1990): Integrierte Produktion – ein Weg zur ökologisch geprägten Landwirtschaft. *Schweiz. Landw. Forsch.* 29, p. 101–115
- [29] Schweizerische Gesellschaft für Phytomedizin (1988): Vernetztes Denken im modernen Pflanzenschutz. *Schweiz. Landw. Forsch.* 27, p. 1–114
- [30] Häni, F. (1994): Entwicklung ökologisch ausgerichteter Bewirtschaftungssysteme in der Schweiz – Projekt «Dritter Weg», in *Integrierter Landbau*, 2. Aufl. (eds. Diercks, R.; Heitefuss, R.), Verlagsunion Agrar, p. 329–338 und 426–427
- [31] Häni, F.; Boller, E. F.; Keller, S. (1998): Natural Regulation at the Farm Level, in *Enhancing Biological Control* (eds. Bugg, R. L.; Pickett, Charles H.). University of California Press, p. 161–210
- [32] Boller, E. F.; Häni, F.; Poehling, H.-M. (2004): Ökologische Infrastrukturen – Ideenbuch zur funktionalen Biodiversität auf Betriebsebene. *IOBC/Agriidea Eschikon-Lindau*, p. 1–213
- [33] *Bio-Suisse* (2015): *Bio in Zahlen – Bio Suisse Jahresmedienkonferenz vom 8. April 2015*. www.bio-suisse.ch/media/Ueberuns/Medien/BioInZahlen/JMK2015/d_jmk_15_bio_in_zahlen_2015_final.pdf [Accessed on 10.05.2015]
- [34] *Bio Suisse* (2015): *Mengen Biobrotgetreide*. www.bioaktuell.ch/de/markt/biomarkt/markt-bioacker-allgemein/brotgetreide/mengen.html [Accessed on 10.05.2015]
- [35] *FIBL* (2015): *Betriebsmittelliste – Hilfsstoffe für den biologischen Landbau in der Schweiz*, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick
- [36] Altner, A. et al. (1977): *Integrated Plant Protection – a Road to an Ecosystem-orientated Plant Production* (Statement of Ovronnaz Switzerland, July 1976). *WPRS Bull.* 4, p. 93–116
- [37] Boller, E. F.; Avilla, J.; Gendrier, J. P.; Jörg, E.; Malavolta, C. (1998): *Integrated Production in Europe – 20 years after the declaration of Ovronnaz (CH)*. *IOBC wprs Bull.* 21, p. 1–41
- [38] Baggioini, M. (1990): *La valorisation qualitative de la production agricole*. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 10, p. 51–57
- [39] Boller, E. F. (1990): *Integrierte Produktion in der Schweiz. Weiterentwicklung in den achtziger Jahren, heutiger Stand und künftige Entwicklungen*. *Mitt. Schweiz. Entomol. Gesellschaft* 63, p. 501–505
- [40] El Titi, A.; Boller, E. F.; Gendrier, J. P. (1993): *Integrated Production: Principles and Technical Guidelines*. *IOBC-wprs Bull.* 16, p.1–97
- [41] Boller, E. F.; Malavolta, C.; Jörg, E. (1997): *Guidelines for Integrated Production of Arable Crops in Europe – IOBC Guideline III*. *IOBC-wprs Bull.* 20, p. 1–16
- [42] Häni, F.; Vereijken, P., eds. (1990): *Development of ecosystem-oriented farming – current status and prospects in Switzerland and other European countries*. *International Organization for Biological and Integrated Control (IOBC-wprs)*. *Schweizerische Landwirtsch. Forsch.* 29, p. 221–436
- [43] Stern, V.; Van den Bosch, R.; Hagen, K. (1959): *The integrated control concept*. *Hilgardia* 29, p. 81–101
- [44] *FAO* (1966): *Principles, definitions and scope of integrated pest control*. *Proc. Integr. Pest Control* 1, p. 11–17
- [45] Bajwa, W. I.; Kogan, M. (2002): *Compendium of IPM Definitions*. Publication No. 998, Oregon State University, Corvallis
- [46] Edens, T.; Fridgen, C.; Battenfield, S. (1985): *Sustainable agriculture and integrated farming systems*. *Proc. 1984 conference*. Michigan St. Univ. Press, East Lansing
- [47] Lampkin, N. (1990): *Organic farming*. Farming Press, Ipswich, U.K.
- [48] Zihlmann, U. et al. (2010): *Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich. Resultate aus dem Anbausystemversuch Burgrain 1991 bis 2008*. *ART-Bericht* 722, p. 1–16
- [49] Widmer, C. (1994): *Rege Beteiligung am IP-Programm*. *Agrarforschung Schweiz* 1, p. 76–78
- [50] Hilfiker, J.; Malitius, O. (1995): *Vergleich der Landbauformen. IP und Biolandbau – wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Produktion*. *FAT-Berichte* Nr.465, p. 1–12
- [51] Schreiber, C. (2001): *Erfolge und Nebenwirkungen staatlich geförderter Ökologie*. *NZZ*, 4.1.2001
- [52] *fenaco* (1989–2008): *Zielsortimente Pflanzenbehandlungsmittel (Einteilung aller PSM in 3 Kategorien betr. Umweltverhalten) / (ab 2009): (neue) Zielsortimente (z.T. mit Umweltinfos bei einzelnen PSM)*
- [53] Vogel, B. (2015): *Migros stellt die Bio-Frage*. *Der Bund*, 4.9.2015
- [54] Schweizerische Gesellschaft für Phytomedizin (1986): *Analyse der phytomedizinischen Situation in der Schweiz 1986*. *Schweizerische Landwirtsch. Forsch.* 25, p. 245–388
- [55] Schweizerische Gesellschaft für Phytomedizin (1993): *Jahresberichte der Präsidenten 1982–92 und Beiträge zum Pflanzenschutz*. *Schweizerische Landwirtsch. Forsch.* 32, p. 279–425
- [56] Schweizerische Gesellschaft für Phytomedizin (1989): *Analyse von 19 Anbaulichlinien (5-mal Bio, 14-mal IP)*, Arbeitsgruppe «Anbau- und Pflegesysteme», 35 pp.
- [57] Fried, P. M. et al. (1993): *Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen in der Schweiz*, SNF Schwerpunktprogramm *Biotechnologie (Modul 6)*, *Biotechnologie der höheren Pflanzen*
- [58] Spycher, S.; Daniel, O. (2013): *Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln – Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009–2010*. *Agroscope, Wädenswil*
- [59] Moschet, C. et al. (2015): *Insektizide und Fungizide in Fliessgewässern*. *Aqua & Gas* 4, p. 54–65
- [60] Boller, E. F. et al. (1995): *Pflanzenschutz als Teil einer nachhaltigen Produktion*. *Agrarforschung* 2, p. 504–507
- [61] Remund, U.; Gut, D.; Boller, E. F. (1992): *Beziehungen zwischen Begleitflora und Arthropodenfauna in Ostschweizer Rebbergen*. *Schweizerische Zeitschrift für Obst und Weinbau* 128, p. 527–540
- [62] Günter, M.; Pasquier, D. (2008): *Verwirrungstechnik im Weinbau – eine Erfolgsgeschichte*. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* p. 4–6
- [63] Bigler, F.; Bosshart, S.; Waldburger, M.; Ingold, M. (1990): *Einfluss der Dispersion von Trichogramma evanescens Westw. auf die Parasitierung der Eier des Maiszünslers, Ostrinia nubilalis Hbn.* *Mitteilungen der Schweizerischen Entomol. Gesellschaft* 63, p. 381–388
- [64] Rossberg, D.; Hommes, M. (2014): *NEPTUN-Gemüsebau 2013 – Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 175, Kleinmachnow, Deutschland*
- [65] *BLW* (2013): *Agrarbericht 2013 Bern*
- [66] Kläy, R. (ETH Zürich, 1984): *Untersaaten zu Mais – Gegenseitige Beeinflussung von Unterkultur und Mais, sowie Auswirkungen auf Bodenstruktur, Nitratauswaschung, Stickstoff-Fixierung und die Entwicklung der Folgekulturen*, Dissertation ETH Nr. 7530
- [67] Zwerger, P.; Ammon, H.U. (2002): *Unkraut – Ökologie und Bekämpfung*, Ulmer, p. 1–419 / *Dierauer, H.U., Stöppler-Zimmer, H. (1994): Unkrautregulierung ohne Chemie*, Ulmer, p. 1–134
- [68] Häni, F. (1987): *Integrierter Landbau – Regeln für Ackerkulturen*. *UFA-Revue* 9, p. 11–14 / *Niklaus et al. (1989): SVIAL-Anbauempfehlungen für den integrierten Ackerbau*, *UFA-Revue* 2, p. 19–31
- [69] Häni, F. (1989): *The Third Way*. *WPRS-Bulletin* XII, p. 51–66
- [70] Häni, F. (1993): *Weiterentwicklung umweltscho-*

- nender Bewirtschaftungssysteme – Projekt Dritter Weg. Schweiz. Landwirts. Forschung 32, p. 341–364
- [71] Irla, E. (1989): Bandspritzung und Hacken in Zuckerrüben und Mais: Verfahrensvergleich der Unkrautbekämpfung – FAT Berichte 359
- [72] Reckenholz Agroscope FAL (2004): Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Schriftenreihe der FAL 52
- [73] Vasileiadis, V. P. et al. (2015): On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. *Eur. J. Agron.* 63, p. 71–78
- [74] Pannacci, E.; Tei, F. (2014): Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Prot.* 64, p. 51–59
- [75] Huiting, H.; van der Weide, R.; Riemens, M. (2014): Practical experiences from physical and cultural weed control in reduced tillage maize growing systems, in: 10 th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control – Alnarp, Sweden (ed. Cloutier, D. C.)
- [76] Tschachtli, R. (2010): Vergleich von Anbausystemen auf Burgrain. Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung, BBZ Natur und Ernährung, Schüpfheim
- [77] Tschachtli, R.; Dubois, D.; Ammann, H. (2004): Produzentenpreise entscheidend für ökonomischen Erfolg, in: Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Schriftenreihe der FAL 52 p. 42–47
- [78] Streit, B.; Scherrer, C.; Tschachtli, R. (2004): Dynamik der Unkrautpopulationen, in: Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Schriftenreihe der FAL 52 p. 70–75
- [79] Schweizer, S.; Kauf, P.; Höhn, H. (2013): Abdrift – reduzierende Massnahmen im Praxisversuch, *Agrarforschung Schweiz* 4, p. 484–491
- [80] Balsari, P., Duruchowski, G., Ophoff, H.; Roettele, M. (2013): Best Management Practices to reduce spray drift. TOPPS *prowadis*, www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/de_drift_book.pdf
- [81] Hanke, I.; Poiger, T.; Aldrich, A. P. (2014): Pflanzenschutzmitteleinsatz – Risikomindernde Massnahmen bezüglich Abschwemmung. *Agrarforschung Schweiz* 5, p. 180–187
- [82] Bauer, F. et al. (2014): Gute fachliche Praxis zur Verringerung der Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln durch Run-off und Erosion. TOPPS *prowadis*, www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/de_runoff_book.pdf [Accessed on 10.05.2015]
- [83] TOPPS. (2011): Vermeiden von Gewässerunreinigungen durch Punktquellen – TOPPS Beste Management Praxis (BMP). TOPPS *prowadis*, www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/topps_de.pdf [Accessed on 10.05.2015]
- [84] Stamm, C., Doppler, T., Prasuhn, V.; Singer, H. (2012): Standortgerechte Landwirtschaft bezüglich der Auswirkung von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen auf Oberflächengewässer. Projekt-Schlussbericht, EAWAG: Dübendorf
- [85] Joos, O.; Bosshard, A.; Bühler, L. (2013): Win4 Pilotprojekt Alberswil-Mauensee/LU – Methodikentwicklung und regionale Vorabklärungen für eine landschaftsorientierte Umsetzung. Ö+L GmbH, Litzibuch
- [86] Daniel, O. et al. (2014): Win4 in der Landwirtschaft: Verbesserungen in den Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie. *Agrarforschung Schweiz* 5, p. 64–67
- [87] Brown, C. D.; van Beinum, W. (2009): Pesticide transport via sub-surface drains in Europe. *Environ. Pollut.* 157, p. 3314–3324
- [88] Alletto, L. et al. (2010): Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, p. 367–400
- [89] Maetens, W.; Poesen, J.; Vanmaercke, M. (2012): How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? *Earth-Science Rev.* 115, p. 21–36
- [90] Friedrich, T.; Kassam, A.; Corsi, S. (2013): Conservation Agriculture in Europe in: Conservation Agriculture – Global Prospects and Challenges (eds. Jat, R. A., Sahrawat, K. L.; Kassam, A. H.) p. 127–179
- [91] Anken, T. (2015): 25 Jahre Streifenfrässaatclub für nachhaltigen Maisanbau. *Schweizer Landtechnik* 6/7, p. 48–49
- [92] Hösl, R.; Strauss, P. (2014): Wirksamkeit konservierender Bodenbearbeitungsverfahren zur Reduktion von Oberflächenabfluss und Boden-erosion in: Das INTERREG IV A-Projekt «Gewässer-Zukunft» 2009–2013 (ed. HBLFA Raumberg-Gumpenstein) p. 59–68
- [93] Freier, B. et al. (2011): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2010 Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2010 – Berichte aus dem Julius Kühn-Institut. Kleinmachnow, Deutschland
- [94] Melander, B. et al. (2013): European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technol.* 27, p. 231–240
- [95] Mosimann, T. (2013): Erosionsmonitoring im Kanton Basel-Landschaft 1982-2012. Entwicklung der Erosionsgefährdung Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung Folgerungen für die Praxis, Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal
- [96] Institut Technique de la Betterave (2015): Dés-herbage mécanique combiné : coûts et efficacité. La Tech. Betteravière p. 1–2
- [97] Schellbach, I. (2003): Streicheleinheiten für Zuckerrüben. *top Agrar* 4, p. 101–103
- [98] Büchi, R.; Häni, F.; Schenk, B.; Frei, P.; Jenzer, S. (1987): Rüben in Raps als Fangpflanzen für Rapsschädlinge. *Mitt. Schweiz. Landw.* 35, p. 34–40
- [99] Terres Innovia (2015): Guide de culture - colza 2015. Thiverval-Grignon, Frankreich
- [100] Basler, S. (2014): Raps: Fokus Sorten und Fungizide, in Tagung Forum Ackerbau – Erkenntnisse aus Praxisversuchen 19.11.2014. www.forumackerbau.ch/fileadmin/forumackerbau.ch/Versuche_Raps/FA_Raps_Sorten_und_Fungizide_2014_SB.pdf [Accessed on 10.25.2015]
- [101] Aubertot, J. N., Pinochet, X.; Doré, T. (2004): The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on *Leptosphaeria maculans* development on winter oilseed rape. *Crop Prot.* 23, p. 635–645
- [102] AgriGenève. (2014): Fiche technique: colza associé, avril 2014, Groupe d'intérêts: Agriculture de conservation
- [103] Rossier, N. (2014): Rapsuntersaat-Versuch in Grangeneuve, 18. August 2014, Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg (LIG). www.vulg-fr.ch/index.php/de/dokumente/pflanzenbau/420-rapsuntersaat-versuch-in-grangeneuve [Accessed on 10.05.2015]
- [104] Hebeisen, H. (2015): Versuchsbericht Rapsanbau, BBZ Natur und Ernährung, berufsbildungszentren/bbzn/bbzn_fachbereich_lw/bbzn_lw_projekte_versuche/anbauversuche_ackerbau [Accessed on 10.05.2015]
- [105] Nilsson, A. T. S. et al. (2014): Integrated control of annual weeds by inter-row hoeing and intra-row herbicide treatment in spring oilseed rape, 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 11.–13. März 2014, Braunschweig. *Julius-Kühn-Archiv* p. 746–750
- [106] Bouchard, C.; Valantin-morison, M.; Grandeau, G. (2011): Itinéraires techniques intégrés du colza d'hiver: comment concilier environnement et économie. *Courrier de l'environnement de l'INRA* 61, p. 5–20
- [107] Ludwig, T. (2012): Regulierung von Rapsschädlingen im ökologischen Winterrapsanbau durch den Mischanbau mit Rüben (*Brassica rapa* L. var. *silvestris* (Lam.) Briggs) sowie den Einsatz naturstofflicher Pflanzenschutzmittel, Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin
- [108] Daniel, C.; Dierauer, H.; Clerc, M. (2013): The potential of silicate rock dust to control pollen beetles (*Meligethes* spp.). *IOBC-WPRS Bull.* 96, p. 47–55
- [109] Jossi, W.; Humphrys, C.; Dorn, B.; Hiltbrunner,

- J. (2014): Bekämpfung des Rapsglanzkäfers mit dem Naturstoff Surround. *Agrar. Schweiz* 5, p. 80-87
- [110] De Baan, L.; Spycher, S.; Daniel, O. (2015): Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz von 2009 bis 2012. *Agrar. Schweiz* 6, p. 48-55
- [111] Leu, C. et al. (2005): Comparison of Atrazine Losses in Three Small Headwater Catchments. *J. Environ. Qual.* 34, p. 1873
- [112] Schmocker-Fackel; P., Naef, F.; Scherrer, S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, p. 891-906
- [113] Couforier, N. et al. (2008): Limiter la formation du ruissellement en sol limoneux, Fiche n° 1 - Maïs. www.seine-maritime.chambagri.fr/fiches_techniques_erosion.asp [Accessed on 10.05.2015]
- [114] Agridea (2013): *Landwirtschaft und Naturgefahren*. p. 10
- [115] Hilfiker, J. (1997): Vergleich der Landbauformen - Sind IP und Biolandbau wirtschaftliche Alternativen zur konventionellen Landwirtschaft. *FAT-Berichte Nr. 498., Tänikon*
- [116] Ramseier, H. (2015): *Persönliche Mitteilung (Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelschaften, Zollikofen)*
- [117] Keiser, A. (2015): *Persönliche Mitteilung (Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelschaften, Zollikofen)*

> SUITE DU RÉSUMÉ

pertinentes des mesures du NAWA SPE et déterminer leur utilisation dans les différentes cultures et en dehors de l'agriculture. On a établi avec une grande, voire très grande certitude, que deux tiers des substances actives sont utilisées pour une ou plusieurs cultures ou comme biocide. On a pu attribuer à la grande majorité des herbicides utilisés en culture de maïs des concentrations supérieures aux CQC, mais aussi à ceux employés dans les betteraves sucrières, les céréales, les pommes de terre et les légumes. Une comparaison avec les données historiques montre, à l'image des insecticides, que les méthodes de culture qui ont été mises au point dans les années 1980 et 1990 ont conduit à des progrès notables. Les meilleurs exemples sont le maïs, la betterave sucrière et le colza, pour lesquels il est aujourd'hui possible d'agir sur les trois fronts - réduction, substitution et optimisation. Ainsi, pour le maïs et les cultures sarclées en général, il est possible de réduire l'emploi des herbicides en associant désherbage chimique et désherbage mécanique, en préférant l'utilisation de substances moins mobiles et en travaillant le sol de façon à limiter le ruissellement superficiel. Il est important d'œuvrer en synergie avec les autres objectifs agronomiques tels que la lutte contre l'érosion et la gestion des résistances. Il est également intéressant d'analyser les résultats obtenus dans le passé. Ces résultats s'expliquent par la collaboration entre chercheurs en agronomie, vulgarisateurs et chefs d'exploitation innovants et par le soutien de la politique agricole axée sur des objectifs sociaux. Aussi s'attendent à des effets durables - d'un point de vue écologique, économique et social -, si non seulement les prescriptions et les contrôles sont adéquats, mais les acteurs principaux (en premier lieu les agriculteurs) et les personnes concernées (les consommateurs et le marché) sont impliqués de façon constructive.

IS - E

die starke Softwarelösung für Energieversorger

- > Abrechnung aller Energiearten (Gas, Wasser, Strom etc.)
- > Abrechnung verschiedener Dienstleistungen (Kehricht, Kabel-TV, Telefon, Internet)
- > Flexible Produktgestaltung
- > CRM / Marketing
- > Vertragsmanagement
- > Installationskontrolle
- > Integration von Ablesegeräten, Fernablesesystemen, Smart Metering
- > Dokumentmanagement

Über 440 Energieversorger mit mehr als 2.2 Mio. Messgeräten setzen auf das führende Informationssystem IS-E.

 **InnoSolv**
www.innosolv.ch