

EVALUATION DER ÖKOMASSNAHMEN UND TIERHALTUNGSPROGRAMME

Synthesebericht

Bereich Pflanzenschutzmittel



Impressum

Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme, Synthesebericht Bereich
Pflanzenschutzmittel

Herausgeber: Agroscope FAW Wädenswil
Eidg. Forschungsanstalt für Obst, Wein- und Gartenbau
CH-8820 Wädenswil
Tel. +41 (0)44 783 6111, Fax +41 (0)44 780 6341
www.faw.ch

Autoren: T. Poiger
H.R. Buser
M.D. Müller

Copyright Agroscope FAW Wädenswil, 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	9
2.1. Kulturlandschaft und Landwirtschaft im Wandel	9
2.2. Von der Mehr-Produktion zur Integrierten Produktion	11
2.3. Pflanzenschutzmittel als wichtiger Produktionsfaktor in einer nachhaltigen Landwirtschaft	14
2.4. IP und ökologischer Leistungsnachweis	15
2.5. Generelle Überlegungen bei der Umsetzung des Zielbereichs Pflanzenschutzmittel	17
2.6. Mögliche Zielkonflikte in der Ökologisierung des Pflanzenbaus	18
2.7. Referenzwerte und zeitliche Abläufe in der Evaluation	20
2.8. Erwartete Ursache-Wirkungsbeziehungen im PSM-Verbrauch und Umweltbelastung bei einer Zunahme von IP- und Bio-Betrieben	21
3. Quellen und Eintragswege von PSM in Oberflächengewässern	24
3.1. Welche Quellen kommen in Frage?	24
3.2. Welche Einflussfaktoren bestimmen den Eintrag aus landwirtschaftlichen Quellen?	26
3.3. Welchen Anteil haben die verschiedenen Quellen an der Gesamtbelastung?	28
4. Entwicklung des PSM-Verkaufs in der Schweiz	31
5. Ergebnisse der Evaluationsprojekte, Teilbereich PSM	34
5.1. PSM-Verbrauchserhebungen in den Einzugsgebieten des Baldegger-, Greifen- und Murtensees	34
5.1.1. Untersuchungskonzept	34
5.1.2. Bedeutung der Kulturen in den Einzugsgebieten und Umfang der Stichproben	35
5.1.3. Wirkstoffeinsatz gesamt und nach Spritzmittelgruppen	36
5.1.4. PSM-Einsatz in verschiedenen Kulturen	37
5.1.5. Die mengenmässig wichtigsten Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Seen	37

5.2. PSM-Konzentrationen und -Einträge in Oberflächengewässern	38
5.2.1. Untersuchungskonzept	38
5.2.2. Untersuchte Seen	39
5.2.3. Auswahl der PSM Zielverbindungen	42
5.2.4. PSM-Konzentrationen in den untersuchten Seen	42
5.2.5. Wie haben sich die PSM-Konzentrationen in den untersuchten Seen entwickelt?	46
5.2.6. PSM-Einträge in den Baldegger- Greifen- und Zürichsee	48
5.2.7. Wurde die angestrebte Reduktion der jährlichen PSM-Einträge in die untersuchten Seen erreicht?	51
6. Ergebnisse aus anderen Studien	53
6.1. PSM-Konzentrationen im Rhein bei Basel	53
6.2. Untersuchungen zum Herbizidaustrag aus einem kleinen Einzugsgebiet innerhalb des Greifensee-Einzugsgebietes	56
6.3. Greifenseeprojekt	57
7. Diskussion und Schlussfolgerungen	59
7.1. PSM-Verbrauch in der Schweiz	59
7.2. PSM-Einträge in Gewässer	60
8. Referenzen	63
9. Glossar	68

1. Zusammenfassung

Die Schweizer Landwirtschaftspolitik hat in den letzten 100 Jahren wiederholte und einschneidende Wandlungen durchgemacht. Dabei haben v.a. die beiden Weltkriege des 20. Jahrhunderts mit den Einschränkungen der Versorgung der Bevölkerung mit importierter Kohle und Nahrungsmitteln weitgehende Interventionen des Staates in die landwirtschaftliche Produktion hervorgerufen – bis hin zu einer detaillierten Steuerung und Vorgabe der Produktion etwa im 2. Weltkrieg (Plan Wahlen) zur Sicherung der Landesversorgung. Die Wiederaufnahme der Einfuhren verlagerte in der Nachkriegszeit das Schwergewicht der staatlichen Interventionen auf den Schutz und die Steuerung der landwirtschaftlichen Produktion im Inland [1].

Wie in den meisten Industriestaaten waren die Ziele der Landwirtschaftspolitik, die Produktion von pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln zu konkurrenzfähigen Preisen in ausreichender Menge sicherzustellen. Mit neuen oder verbesserten Strukturen und Produktionsmethoden (z.B. Ameliorationen, Aussiedlung von Höfen, Mechanisierung, Pflanzenschutz und Pflanzenernährung etc) wurden enorme Fortschritte in der Produktivität erzielt. Es wurde jedoch rasch klar, dass die Mengenausweitungen, gestützt durch faktische Abnahmegarantien der staatlichen Vermarktungsorganisationen, zu Angebotsüberhängen führen mussten („Milchschwemme“, „Butterberg“) die kaum mehr über reguläre Absatzkanäle zu regulären Preisen vermarktbar waren [2]. Zudem waren die negativen Seiten der intensivierten Landwirtschaft kaum mehr übersehbar: Probleme bei der Beseitigung von Gülle aus Intensivmast von Schweinen und Rindern führten zu Nährstoffüberschüssen auf den Höfen und zur Überdüngung von Gewässern, Rückstände von schwer abbaubaren Insektiziden und Fungiziden in der Umwelt wurden mit dem Rückgang von Vögeln verknüpft [3], ganz zu schweigen von der Verarmung der Landschaft durch Entfernung von Hecken und Hochstammbäumen.

Mit der Annahme des Verfassungsartikels 31octies durch die Stimmbürger im Jahr 1996 wurde die Grundlage für eine grundsätzliche Neuausrichtung der Schweizer Landwirtschaft in Richtung einer ökologisch, tierfreundlich und marktwirtschaftlich orientierten Produktion geschaffen. Im Zuge dieser Neuausrichtung wurden 1998 ein neues Landwirtschaftsgesetz und die entsprechenden Verordnungen verabschiedet [4, 5]. Eine wichtige Neuerung im Gesetz war, dass Direktzahlungen nur Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter erhalten, die

den ökologischen Leistungsnachweis erbringen. Dieser beinhaltet: eine tiergerechte Haltung der Nutztiere, eine ausgeglichene Düngerbilanz, einen angemessenen Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen, eine geregelte Fruchtfolge, einen geeigneten Bodenschutz sowie eine gezielte Auswahl und Anwendung der Pflanzenschutzmittel. In der Pflanzenproduktion basieren diese Ökomassnahmen auf den Konzepten der Integrierten Produktion, die vor mehr als 30 Jahren an der Forschungsanstalt Wädenswil entwickelt worden waren. Als Gegenleistung für die Erbringung des ökologischen Leistungsnachweises erhalten die Bewirtschaftenden allgemeine und ökologische Direktzahlungen.

Mit Einführung der ökologischen Direktzahlungen wurden konkrete Umsetzungs- und Wirkungsziele in den Bereichen Biodiversität, Stickstoff, Phosphor, Pflanzenschutzmittel und Tierhaltung definiert, deren Erreichung in verschiedenen Evaluationsprojekten überprüft werden sollte. Die Ziele im Bereich Pflanzenschutzmittel (PSM) betreffen einerseits den Verbrauch und andererseits Belastung der Umwelt, insbesondere die Oberflächengewässer.

Im Teilbereich PSM wurde als Umsetzungsziel eine Reduktion der eingesetzten PSM um 30% bis zum Jahr 2005 definiert, wobei der durchschnittliche Einsatz in den Jahren 1990 bis 1992 als Referenzwert festgelegt wurde. Als Datenbasis für die Untersuchung diente die von der SGCI¹ jährlich publizierte Statistik über die von Ihren Mitgliederfirmen in der Schweiz und in Lichtenstein verkauften Mengen an PSM. Diese Daten belegen, dass die Mengen der in der Schweiz eingesetzten (resp. verkauften) PSM-Wirkstoffe seit 1989 generell rückläufig sind, von damals rund 2500 Tonnen auf 1500 Tonnen im Jahr 2003. Während der Rückgang anfänglich rasch war, hat er sich in den letzten Jahren deutlich verlangsamt. Das Umsetzungsziel wurde im Jahr 2003 erstmals knapp erreicht und die Daten der SGCI deuten darauf hin, dass sich die verkauften Mengen etwa auf diesem Niveau eingependelt haben.

Die Reduktion der eingesetzten PSM-Mengen dürfte auf eine Kombination verschiedener Faktoren zurückzuführen sein, unter anderem auf den Ersatz älterer Wirkstoffe durch solche mit deutlich geringeren Aufwandmengen, einen Rückgang der intensiv bewirtschafteten Ackerflächen und Dauerkulturen, die Zunahme an Ackerflächen, welche unter Programmen für die extensive Produktion bewirtschaftet werden (Extenso-Getreide und -Raps). Aufgrund der vorliegenden Daten ist es jedoch nicht möglich, die Beiträge einzelner Faktoren zur gesamthaft verzeichneten Reduktion zu ermitteln.

Ein wesentlicher Nachteil der Verkaufsstatistiken ist der fehlende Bezug zum effektiven landwirtschaftlichen Einsatz. Ein ganz anderer Weg wurde deshalb bei den im Rahmen der

¹ SGCI: Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie

Evaluation durchgeführten Erhebungen des PSM-Einsatzes in den Einzugsgebieten des Baldegger-, Greifen- und Murtensees gewählt, welche durch die landwirtschaftlichen Beratungszentralen LBL² und SRVA³ durchgeführt wurden. Im Zeitraum von 1997 bis 2003 wurde der PSM-Einsatz auf insgesamt 400 ausgewählten Betrieben für jede Kultur und jede Parzelle gesondert erhoben und mit Hilfe der aus der Agrarstatistik bekannten Flächenanteile der Kulturen auf das jeweilige Einzugsgebiet hochgerechnet.

Diese regional erhobenen Daten zeigen in vielerlei Hinsicht ein ähnliches Bild wie die Daten zum PSM-Verkauf in der Schweiz, sowohl was die Entwicklung des PSM-Einsatzes, als auch die Mengenverhältnisse der wichtigsten Wirkstoffe angeht. Zusätzlich lässt sich aus den Daten ableiten, in welchen Kulturen welche PSM-Wirkstoffe zum Einsatz kommen, wann und wie häufig diese eingesetzt werden, etc. Veränderungen im PSM-Einsatz lassen sich dadurch stoffbezogen und kulturbezogen analysieren. Diese offenkundigen Vorteile sind jedoch verbunden mit einem bedeutenden Aufwand bei der Datenerhebung, -erfassung und Hochrechnung.

Der Umfang der Stichproben je Kultur ist eine Schlüsselgrösse, die darüber bestimmt, ob der PSM-Verbrauch in dieser Kultur hinreichend genau erfasst werden kann. Auch wenn die Anzahl der erfassten Betriebe in der Studie relativ hoch war, sind dennoch Kulturen mit kleinen Flächenanteilen und Wirkstoffe mit geringer Bedeutung nicht ausreichend präzise erfasst worden. Bei einer Ausdehnung dieses Konzeptes zur Erhebung des PSM-Einsatzes auf die ganze Schweiz wäre deshalb der Erfassung auch kleinerer Kulturen oder mengenmässig weniger wichtiger Wirkstoffe noch etwas Aufmerksamkeit zu widmen. Die breit eingesetzten Wirkstoffe, vor allem diejenigen, welche in Kulturen mit grossen Flächenanteilen, wie Weizen und Mais, eingesetzt wurden, konnten jedoch gut erfasst werden und die Daten bildeten eine wichtige Grundlage für die weiteren Evaluationsprojekte in diesem Bereich.

Als Wirkungsziel wurde eine Halbierung der Belastung von Oberflächengewässern mit PSM definiert. Bei der Definition dieses Zieles wurde angenommen, dass neben einer Reduktion des PSM-Einsatzes um 30% (Umsetzungsziel) eine weitere Reduktion um 20% durch verbesserte Applikation, durch generelle Einführung von Pufferstreifen, etc. zu erwarten ist. Als Mass für die „Belastung“ werden in diesem Zusammenhang Konzentrationen und jährliche Frachten in Gewässern, unabhängig von deren möglicher Wirkung auf Mensch und Umwelt verstanden. Stellvertretend für Oberflächengewässer wurden von EAWAG⁴ und

² LBL: Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau

³ SRVA: Service romand de vulgarisation agricole

⁴ Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Agroscope FAW fünf ausgewählte Seen, Baldegger-, Greifen-, Murten-, Sempacher- und Zürichsee, im Zeitraum von 1997 bis 2003 intensiv untersucht. In diesem Zeitraum wurden regelmässig, in der Regel monatlich, Proben aus den Seen entnommen und Konzentrationen ausgewählter PSM-Wirkstoffe und -Metaboliten bestimmt. Aus den Konzentrationen wurden bisher in drei der fünf Seen jährliche PSM-Frachten berechnet.

Die Auswahl der PSM-Wirkstoffe für die Untersuchung richtete sich unter anderem nach der Bedeutung (in Bezug auf die eingesetzten Mengen) der Stoffe in der Landwirtschaft, sowie nach der Verfügbarkeit von empfindlichen Nachweismethoden, die die Erfassung mehrerer Stoffe gleichzeitig im Spurenbereich ermöglichen (sog. „multi-residue“-Methoden). Auf diese Weise konnten im Verlauf der Untersuchungen 30-50 Wirkstoffe und Metaboliten analytisch erfasst werden. Diese Wirkstoffe decken etwa 30-45%, bezogen auf die Mengen, die in den Einzugsgebieten der Seen in der Landwirtschaft angewendeten PSM-Wirkstoffe ab.

Von den analytisch erfassten Stoffen konnte in den Seen nur ein kleiner Teil (je nach See 10 bis 14 Stoffe) in Konzentrationen über der Nachweisgrenze aufgefunden werden. Bei diesen Stoffen handelte es sich um Herbizide oder Metaboliten von Herbiziden, die praktisch durchwegs in Kulturen mit hohen Flächenanteilen eingesetzt werden, beispielsweise im Getreide- oder Maisanbau. Die Konzentrationen der nachweisbaren Stoffe waren durchwegs tief und nur in wenigen Fällen (Atrazin, sowie das Abbauprodukt Desethylatrazin) zeitweise über dem in der Gewässerschutzverordnung definierten Qualitätsziel von 0.1 µg/L.

Die mittleren Konzentrationen der meisten nachweisbaren Stoffe waren im Zeitraum von 1997 bis 2003 rückläufig. Für verschiedene Triazin-Herbizide, wo Daten aus früheren Jahren, im Baldegger- und Zürichsee seit 1988, im Greifensee seit 1990, zur Verfügung stehen, waren deutliche Konzentrationsabnahmen bereits vor 1997 zu verzeichnen. Beim wichtigsten Triazin-Herbizid, Atrazin, dürfte diese Abnahme auf verschiedene Anwendungseinschränkungen zurückzuführen sein, die in diesem Zeitraum verfügt wurden (Rückzug der Anwendung auf Bahnen, Einschränkung der Aufwandmengen, Verbot von Herbstanwendungen).

Die Einträge der meisten untersuchten Verbindungen, resp. die durch diese Einträge bedingten Konzentrationen in den Seen, zeigten charakteristische jahreszeitliche Verläufe mit Maxima jeweils im Frühsommer, kurz nach der Applikation der Stoffe im Feld. Bezogen auf die Mengen der jeweiligen Wirkstoffe, die in den Einzugsgebieten angewendet wurden, waren die Einträge in die Seen klein, im Bereich von 0.1 bis 3.3% oder weniger Gramm bis Kilogramm pro See.

Beim Eintrag von PSM, insbesondere Bodenherbiziden, in Gewässer aus behandelten Flächen über oberflächliche Abschwemmung und Drainagen spielt der Niederschlag eine wesentliche Rolle. Je kürzer die Zeitspanne zwischen PSM-Applikation und erstem grösserem Regenereignis ist und je intensiver und anhaltender der Regen ist, desto mehr an PSM gelangt ins Gewässer. Entsprechend waren die grössten Einträge auch in den Jahren zu verzeichnen, die während und direkt nach der Applikationsperiode der untersuchten Stoffe am niederschlagsreichsten waren. Die Schwankungen der PSM-Einträge von Jahr zu Jahr waren erheblich, mit Unterschieden bis zu einem Faktor 10 zwischen höchstem und tiefstem Wert. Deshalb war es nicht möglich, aus diesen Daten Trends zu ermitteln.

Lediglich für Atrazin im Greifensee standen ausreichend Daten zur Verfügung, um die Einträge vor und nach Einführung der ökologischen Direktzahlungen, direkt und unter Einbezug des Einflusses der Niederschläge, zu vergleichen. Dieser Vergleich legt nahe, dass die ökologischen Direktzahlungen bisher keinen wesentlichen Einfluss auf die Einträge hatten. Möglicherweise lässt sich dieses Ergebnis auf andere Wirkstoffe mit ähnlicher Anwendung (im Frühjahr auf wenig bewachsenen Boden) und ähnlichen Eigenschaften (mässig rasch abbaubar und im Boden relativ mobil) übertragen. Eine Übertragung auf die meisten Fungizide und Insektizide ist jedoch sicher nicht ohne weiteres möglich.

Eine im gleichen Zeitraum in mehreren kleinen Untereinzugsgebieten des Greifensees durchgeführte Untersuchung machte deutlich, dass es zwischen verschiedenen Parzellen grosse Unterschiede gibt bezüglich der Mengen an PSM, welche aus diesen Parzellen in Gewässer gelangen. Auch wurden grosse Parallelen zwischen der Nutzungseignung der Böden und dem Potential für die Belastung von Gewässern mit PSM festgestellt, wobei Böden, welche sich für ackerbauliche Nutzung nicht eignen, das grösste Belastungspotential aufwiesen. Die Ergebnisse der Untersuchung deuten darauf hin, dass durch Vermeidung von nicht-standortgerechter Landnutzung, insbesondere bei Parzellen, die oberflächlich oder über Drainagen an Gewässer angeschlossen sind, ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion der Gewässerbelastung durch PSM möglich wäre.

Untersuchungen im Einzugsgebiet des Greifensees, aber z.B. auch in Deutschland, zeigen, dass PSM nicht nur aus behandelten Flächen (sog. diffusen Quellen) in Gewässer eingetragen werden können, sondern dass auch sog. Punktquellen wie z.B. versehentliches Verschütten von geringen Mengen an PSM beim Befüllen der Spritzgeräte oder auch die Reinigung von Spritzgeräten, signifikant zur Gesamtbelastung der Gewässer mit PSM beitragen können. Bei den untersuchten *Herbiziden* machten diese Punktquellen im Greifensee etwa 15-30% aus. In Deutschland, wo in den untersuchten Gebieten diffuse Einträge in Gewässer weniger gross waren als in der Greifenseeregion, war der Anteil an

Punktquellen deutlich höher, im Bereich von über 90%. Es ist anzunehmen, dass bei vielen Fungiziden und Insektiziden, deren Eintrag über diffuse Quellen eher geringer sein dürfte als derjenige von Herbiziden, die Punktquellen auch in der Greifenseeregion eine deutlich grössere Rolle spielen. Deshalb ist es nach wie vor sinnvoll, durch weitere Anstrengungen die Punktquellen so weit als möglich zu reduzieren.

2. Einleitung

2.1. Kulturlandschaft und Landwirtschaft im Wandel

Seit vorgeschichtlicher Zeit wird der Schweizer Landschaftsraum durch landwirtschaftliche Aktivitäten geprägt und gestaltet. Statt des für das hiesige, gemässigte Klima ohne menschliche Einflüsse zu erwartenden und ökologisch stabilen Laubmischwaldes präsentiert sich eine Kulturlandschaft, die durch Jahrtausende alte menschliche Aktivitäten entstanden ist [6]. Ackerbauflächen und Dauerkulturen wie Obst- und Weinbau sind neben Wald und der sich weiter in die Landschaft ausbreitenden Verkehrs- und Siedlungsflächen zu finden. Diese in langen Jahren gewachsene und gestaltete Kulturlandschaft ist jedoch seit längerer Zeit einem Wandel unterworfen: im 19. Jahrhundert etwa sind bedeutende Rebbaulflächen in der Schweiz als Folge der Einschleppung der Reblaus, aber auch durch veränderte Lebensgewohnheiten (Fabrikarbeit, geringerer Alkoholkonsum) aufgehoben worden. Nach dem zweiten Weltkrieg etwa wurden staatlich subventionierte Ausmerzaktionen für Hochstammbäume durchgeführt und zurzeit ist in den Medien eine Diskussion im Gange, ob sich die Schweiz die dezentrale und angepasste Nutzung des Alpenraums mit der Weidewirtschaft noch leisten kann. Ein Rückzug der landwirtschaftlichen Nutzung dieser enormen Gebiete würde zu einer Vergandung dieser ökologisch, landwirtschaftlich und touristisch wichtigen Flächen führen.

Während vor wenigen hundert Jahren die Landwirtschaft noch weitgehend von Subsistenz geprägt war, so dass eine Bauernfamilie nur geringfügig über ihren Eigenbedarf und die in Naturalien abzuliefernden Steuern produzieren konnte, setzte im 19. Jahrhundert eine stürmische Entwicklung in der Produktivität im Pflanzenbau ein. So nahm der Weizenertrag in Deutschland zwischen 1820 und 1990 von etwa 1 t/ha auf 7 t/ha zu. Parallel dazu reduzierte sich die Zahl der Beschäftigten in der Landwirtschaft: um 1900 bewirtschaftete eine Erwerbsperson in der Landwirtschaft 1.4 ha und erzeugte Nahrungsmittel für 4 Personen – dies weitgehend ohne Mechanisierung, nur mit Hilfe von Ochsen und Pferden. Im Jahre 1950 erzeugte eine Person 2.9 t Nahrungsmittel und ernährte 10 Personen, und in den 1990er Jahren erzeugte eine Erwerbsperson in der Landwirtschaft auf 13.6 ha Nahrungsmittel für 75 Menschen [7, 8].

Dieser enorme Produktivitätszuwachs kann nur als Folge eines ganzen Bündels von Veränderungen und Neuerungen verstanden werden:

- neue und produktivere Sorten im Feldbau
- verbesserte Pflanzenernährung mit genügend verfügbarem und preisgünstigem NPK-Dünger (v.a. Herstellung von Nitrat mit dem Haber-Bosch Verfahren, siehe Ref. [9])
- verbesserte Anbautechnik und weitgehende Mechanisierung im Feldbau
- neue Methoden zum Schutz der Kulturpflanzen gegen tierische und pilzliche Schaderreger und konkurrierende Unkräuter

Alle diese Veränderungen blieben nicht ohne sichtbare und weniger sichtbare Auswirkungen auf die Landschaft und Umweltqualität in einem breiten Sinne. Wo früher Streuobstwiesen, Hecken und kleinparzellige Ackerflächen die Landschaft gliederten, präsentierten sich später von Hochstammbäumen und Hecken befreite, meliorierte Ackerflächen in einer der maschinellen Bearbeitung optimal zugänglichen Art mit begradigten oder gar eingedohnten Bächen. Diesen unübersehbaren Veränderungen, die durch weite Teile der Bevölkerung als Verlust und Verarmung wahrgenommen werden, standen andere, von blossem Auge nicht so leicht erkennbare, jedoch nicht minder dramatische gegenüber:

- eine Verarmung der Begleitflora und Fauna
- Bodenerosion und Abnahme der Bodenqualität (z.B. Bodenverdichtung)
- Bedeutende Verfrachtung von Nährstoffen und Konzentrationen von Nitrat, Phosphat und, in geringerem Umfang, Pflanzenschutzmitteln in Oberflächen- und Grundwasser mit Quellen u.a. aus der Landwirtschaft (und Siedlungsabwässern)

In jüngerer Zeit wurden intensive Anstrengungen von verschiedenen Kantonalen und Eidgenössischen Stellen unternommen, um dem fortschreitenden Verlust an Umweltqualität entgegenzusteuern. Dabei kamen wichtige Arbeiten aus der Landwirtschaftlichen Forschung, insbesondere und naheliegenderweise (siehe unten) das Konzept der Integrierten Produktion (IP) zum Tragen.

2.2. Von der Mehr-Produktion zur Integrierten Produktion

Die auf die Fläche bezogenen Erträge der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen haben sich, wie oben ausgeführt, geschichtlich gesehen, bis in das 19. Jahrhundert hinein kaum wesentlich verändert [7, 8]. Die im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts in Europa regional beobachteten Ertragseinbußen fanden ihre Erklärung in den agrikulturchemischen Arbeiten von Justus von Liebig, der – auf eine kurze Formel gebracht – nachgewiesen hat, dass die dem Boden durch die Ernte entzogenen Nährstoffe dem natürlichen Kreislauf entzogen werden. Er stellte fest, dass diese Nährstoffe wieder in den Boden eingebracht werden müssen; eine Erkenntnis, die dem gegenwärtigen »Recycling«-Denken um 150 Jahre voraus lief. Aus heutiger Sicht hat von Liebig, der als Begründer der Agrikulturchemie gilt, mit seinem Nachweis des Nährstoffkreislaufes in der Bodennutzung noch weit mehr angestossen, nämlich das Systemdenken in den Agrarwissenschaften [10].

Der markante Produktivitätsfortschritt der Landwirtschaft in den Industrieländern während der letzten Jahrzehnte geht darauf zurück, dass die Systemkomponenten Standort (v.a. Klima und Boden), Sortenwahl, Bodenbearbeitung, pflanzenbauliche Massnahmen, Pflanzenernährung und Betriebsführung (Betriebs- und Schlaggrösse, Spezialisierung etc.) in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit einem vertieften wissenschaftlichen Verständnis erschlossen wurden. Damit ist es möglich geworden, Produktivität nicht einfach als Folge von Wirkungen einzelner Komponenten zu begreifen, sondern als Folge von Wirkungen einzelner Komponenten im Rahmen des Systems Landwirtschaft zu verstehen. Letztlich beruht darauf der erstaunliche Ertragszuwachs in den landwirtschaftlich leistungsfähigen Ländern in den letzten Jahrzehnten – freilich auch das Problem der Überproduktion in wichtigen Teilbereichen der Agrarproduktion. Während noch im 19. Jahrhundert – und im 20. während den beiden Weltkriegen – Hunger und Mangelernährung in weiten Kreisen der Bevölkerung in Europa vorherrschten [11], produziert heute die Landwirtschaft auf verschiedenen Kontinenten Lebensmittel und pflanzliche Fasern in grossen Mengen und zu – relativ gesehen – erschwinglichen Preisen.

Ertragszuwachs allein kann also heute in den Industrieländern nicht mehr als wichtigste Zielvorstellung angesehen werden, obschon sich mahnende Stimmen erheben, die die Nahrungsmittelversorgung in Zukunft als nicht gesichert erachten [12].

Anstelle der Mengenausweitung in der Produktion wird mehr und mehr das Konzept der Nachhaltigkeit als prioritär angesehen. Zuerst in der Forstwirtschaft entwickelt, umschreibt

die Nachhaltigkeit ein Verhalten, das einen langfristigen, ressourcenschonend erzielten Ertrag einem auf kurzfristige Ertragsmaximierung angelegten Denken vorzieht. Auf die Landwirtschaft angewendet heisst dies, dass eine nachhaltige Landwirtschaft gesunde Lebensmittel produziert, dabei die natürlichen Ressourcen schont, sozial verträglich ist und ökonomisch Bestand hat.

Auch in einer nachhaltigen Landwirtschaft haben der Pflanzenschutz und damit auch Pflanzenschutzmittel ihren wichtigen Platz. Wie in vielen anderen Bereichen auch verlaufen in der Landwirtschaft Aufwand und Ertrag nicht linear: das wirtschaftliche Optimum bezüglich Ertrag und Qualität liegt unter Umständen deutlich unter dem theoretisch möglichen. Der optimale Mitteleinsatz für den Ertrag wird aber oft erst möglich, indem Pflanzenschutzmittel als Systembestandteil die erforderliche Produktionssicherheit gewährleisten.

Dieses Systemdenken wurde in den letzten Jahrzehnten im allgemein akzeptierten Konzept der »Integrierten Produktion« definiert und seither weiter präzisiert [13, 14]. In diesem Anbausystem sind alle einflussnehmenden Einzelmassnahmen darauf ausgerichtet, die pflanzliche Erzeugung unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Erfordernisse vorzunehmen.

Hierbei sind folgende Elemente massgebend:

- Der **Standort** hat in diesem Gesamtkonzept einen wesentlichen Einfluss, denn er stellt mit seinen Gegebenheiten wie Boden und Klima, aber auch als wirtschaftlicher Standort, z. B. hinsichtlich der Entfernung zum Markt, die Ausgangssituation für die Nutzungsart dar. Der Versuch, in Grenzlagen gegen die Voraussetzungen des Standortes zu arbeiten, führt meist zu erhöhten Aufwendungen in anderen Bereichen und/oder zu stärkerer Belastung im ökonomischen und ökologischen Bereich.
- Die **Fruchtfolge** sollte zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Eindämmung von Schaderregern möglichst vielseitig sein. Allerdings werden hierbei die Möglichkeiten durch die Bedingungen des Standortes, die Mechanisierungsmöglichkeiten, die Verfügbarkeit von Arbeitsleistung sowie die Einflussnahme auf die Wirtschaftlichkeit, also Markt- und Preissituation oft eingengt. Mit der Fruchtfolge sollte eine möglichst lange Bedeckung des Bodens, eine optimale Nutzung der Nährstoffe und die Unterdrückung von Krankheiten und Schädlingen angestrebt werden. Wo es die Anbaupausen zwischen zwei Hauptfrüchten (Marktfrüchten) ermöglichen, sollte der Anbau von Zwischenfrüchten eingeplant werden.

- Die **Sortenwahl** ist vor jedem Anbau neu zu klären. Nur dann kann der Züchtungsfortschritt — neben Ertragsleistung und Qualitätsmerkmalen ist das etwa die Anfälligkeit auf bestimmte Schaderreger - genutzt werden.
- Die **Anbautechnik** (pflugloser Anbau im Getreide, Frässaaten im Mais, Begrünung im Rebberg etc) ist so zu gestalten, dass die Bodenfruchtbarkeit erhalten wird und sich die Pflanzen gesund entwickeln können.
- Die **Pflanzenernährung** ist nach der Untersuchung des Bodens und Erstellen einer Nährstoffbilanz nach dem Bedarf der Kulturpflanzen vorzunehmen. Eine ausgewogene Pflanzenernährung nach Art, Menge und Zeitpunkt der Düngergabe stärkt die Widerstandskraft der Kulturpflanzen gegen Krankheiten und Schaderregerbefall und ist eine Voraussetzung für eine gesunde Kultur und sicheren und hohen Ertrag.
- Der **Pflanzenschutz** ist wesentlicher Bestandteil des Integrierten Pflanzenbaus. Im Pflanzenschutzgesetz der Bundesrepublik Deutschland von 1986 (§ 2) ist der Integrierte Pflanzenschutz definiert »als eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Massnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird«. Zusätzlich sollen - aus dem Blickwinkel des Integrierten Pflanzenbaus - Belange des Naturschutzes, wie zum Beispiel die Schaffung von unbehandelten Randstreifen, Nützlingsschonung und andere umweltfreundliche Massnahmen, stärkere Berücksichtigung finden.

Die Integrierte Produktion betrachtet das Agrarökosystem als Ganzes und die optimale Einbettung der obigen Elemente. IP ist deshalb keine exakt definierbare, bestimmte Form der Pflanzenproduktion mit einfachen Regeln. Sie ist vielmehr ein dynamisches System, das sich unter Nutzung der jeweils neuesten Erkenntnisse weiterentwickelt. Wesentlich geprägt wird IP auch von sich ändernden ökonomischen Bedingungen und ökologischen Erkenntnissen. Dabei müssen die erreichten Ziele, nämlich die Bereitstellung ausreichender Nahrungsmittelmengen, qualitativ hochwertiger Nahrungsmittel, preiswerter Nahrungsmittel, erhalten bleiben und um ein weiteres, die umweltschonende Produktionsweise, vervollständigt werden. Die Landbewirtschaftung nach den Gesichtspunkten der „Integrierten Produktion“ soll damit schonend für die Umwelt, mit Respekt gegenüber landwirtschaftlichen Nutztieren *und* wirtschaftlich für den Landwirt gestaltet werden und damit gleichzeitig Produktionsmethoden ermöglichen, die den Erwartungen der Öffentlichkeit an eine gesunde, umweltschonende Landwirtschaft entsprechen.

Weil der Landwirt durch die IP auf einen Teil der Einkünfte aus dem Verkauf von Produkten verzichtet resp. Mehraufwand durch Beachtung ethologischer Richtlinien im Umgang mit

Nutztieren hat, hat sich die Überzeugung durchgesetzt, dass der Bauer für diese Leistungen entschädigt werden sollte. Vor einigen Jahren wurden in der Schweiz die Grundlagen für diese Entschädigungen, die nicht über den Produktpreis abgegolten werden, geschaffen und werden unter der Bezeichnung „Ökologischer Leistungsnachweis“ (ÖLN) zusammengefasst.

2.3. Pflanzenschutzmittel als wichtiger Produktionsfaktor in einer nachhaltigen Landwirtschaft

Das Schweizer Landwirtschaftsgesetz [4] hält in seinem Zweckartikel fest

Art. 1 Zweck

Der Bund sorgt dafür, dass die Landwirtschaft durch eine nachhaltige und auf den Markt ausgerichtete Produktion einen wesentlichen Beitrag leistet zur:

- a. sicheren Versorgung der Bevölkerung;
- b. Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen;
- c. Pflege der Kulturlandschaft;
- d. dezentralen Besiedelung des Landes.

Mit diesem Bekenntnis zur multifunktionalen Landwirtschaft übernimmt der Bund die Verantwortung dafür, dass die Landwirtschaft auf nachhaltige Weise qualitativ hochstehende Lebensmittel zu tragbaren Preisen produzieren kann. Die PSM stellen hier einen wichtigen Produktionsfaktor dar: sie sind neben Dünger und pflanzlichem Vermehrungsmaterial eine der Grundlagen für die Pflanzenproduktion.

Wie die meisten Länder verfügt die Schweiz über ein gut ausgebautes System zur Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln. Unter der Federführung des Bundesamtes für Landwirtschaft beurteilen FachexpertInnen in den verschiedenen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten des Bundes, darunter auch die MitarbeiterInnen der Arbeitsgruppe Pflanzenschutzchemie von Agroscope FAW Wädenswil, die Wirkungen und Nebenwirkungen von PSM. In den letzten Jahren hat die Pflanzenschutzchemie der FAW in verschiedenen Artikeln zur konkreten Umsetzung der zahlreichen gesetzlichen Vorschriften zur Prüfung und Zulassung von PSM Stellung genommen [15-18].

Wie in vielen anderen Ländern bildet in der Schweiz eine Nutzen-Risiko-Abwägung mit definierten Schutzziele die Grundlage für die staatliche Zulassung von Pflanzenschutzmitteln [19]. Obschon die bewilligten Präparate teilweise schon längere Zeit im Handel sind und sich deshalb die Zulassungen auf eine unterschiedliche Datenbasis stützen, kann gesagt werden, dass prinzipiell alle Wirkstoffe und Produkte den Minimalkriterien von Wirksamkeit und Sicherheit genügen. Im Bereich Umweltsicherheit gibt es die Aspekte Verbleib und Verhalten von Wirkstoffen, die eine Prognose über mögliche Exposition der Fauna und Flora in der Umwelt ermöglichen. Der Bereich „Umweltverhalten“ wird durch die Pflanzenschutzchemie der FAW bearbeitet, während die Auswirkungen auf Fische, Vögel etc. von der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie (ab Juli 05 FAW Wädenswil) bearbeitet werden.

Auch bei sorgfältiger Anwendung von Pflanzenschutzmitteln können gewisse Anteile des Wirkstoffs nicht wie gewünscht auf der Kultur verbleiben, sondern gelangen auf oder in den Boden oder durch Verdampfung in die Atmosphäre. Im Idealfall werden PSM-Rückstände im Boden festgehalten und abgebaut. In der Realität werden im Allgemeinen geringe Anteile der Rückstände von Wirkstoffen oder deren Umwandlungsprodukte, die sich in den oberen Bodenschichten befinden, mit Regenwasser abtransportiert und gelangen in Bäche, Flüsse und Seen oder ins Grundwasser. Diese Transportprozesse führen zu Rückständen von Wirkstoffen in Gewässersystemen. Solche Rückstände werden in Gewichtseinheiten pro Liter Wasser gemessen und sind im allgemeinen etwa um einen Faktor 1000 bis eine Million tiefer als die Konzentration von Nitrat in Grundwasser. Man spricht dabei von „Belastung“, obschon die gemessenen Konzentrationen, in Relation gesetzt zu möglichen Effekten auf Wasserlebewesen, meist so gering sind, dass kurz- und langfristige Schadefekte wenig wahrscheinlich bis unwahrscheinlich sind. Die „Belastung“ meint also das blosse Vorhandensein von Spuren von Rückständen, für deren Nachweis hochempfindliche analytische Verfahren eingesetzt werden.

2.4. IP und ökologischer Leistungsnachweis

Das Bedürfnis des zuständigen Bundesamtes, die verschiedenen Ebenen der Auswirkung der Anwendung von PSM im Pflanzenbau und die Auswirkungen der IP mit den damit verbundenen Zahlungen besser zu verstehen und im Sinne eines „Impact monitoring“ auch belegen und ggf. steuernd eingreifen zu können, ist nachvollziehbar.

Wie oben ausgeführt, ist IP kein System mit starren Regeln und einfachen ja/nein-Antworten. Die staatliche Forderung und Förderung einer nachhaltigen pflanzenbaulichen Produktion, die u.a. über das System der IP erreicht werden kann, musste deshalb über den Umweg von

nachvollziehbaren, leichter dokumentierbaren und standardisierten Verfahren erreicht werden. Nur so konnte eine Kompatibilität mit der staatlichen landwirtschaftlichen Administration erzielt werden. Die Anforderungen des ÖLN umfassen [5] :

- Tiergerechte Haltung der Nutztiere: Einhaltung der Tierschutzverordnung.
- Ausgeglichene Düngerbilanz: Nährstoffbilanz / maximaler Fehlerbereich bei N und P: 10 %.
- Angemessener Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen: 3,5 % der Landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) bei Spezialkulturen, 7 % bei der übrigen LN.
- Geregelter Fruchtfolge bei mehr als 3 ha offener Ackerfläche.
- Geeigneter Bodenschutz bei mehr als 3 ha offener Ackerfläche in der Ackerbauzone bis und mit Bergzone I.
- Auswahl und gezielte Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln: Einschränkung bei Voraufbau-Herbiziden, Granulaten und Insektiziden. Schadschwellen sowie Prognosen und Warndienste berücksichtigen. Unbehandelte Kontrollfenster bei Wachstumsregulatoren im Getreide, bei Fungiziden im Raps und bei Sonderbewilligungen.

Solche Leistungen des Bewirtschafters tragen zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft bei und werden durch den Staat mit Zahlungen abgegolten.

Der Bezug der IP-Grundlagen und deren Umsetzung in verschiedenen Kulturen (Spezialkulturen, Feldbau) zum ÖLN ist somit kein direkter, sondern offensichtlich wurden Elemente aus der IP für den ÖLN verwendet, die relativ einfach dokumentierbar sind.

In der Evaluation des ÖLN wurde eine weitere Übersetzung vorgenommen, indem Zielbereiche ausgewählt wurden, in denen sich die zunehmende ÖLN-Beteiligung abbilden sollte. Die folgenden Zielbereiche wurden gewählt:

- Biodiversität
- Pflanzenernährung: Stickstoff
- Pflanzenernährung: Phosphor
- **Pflanzenschutzmittel**
- Tierhaltung
- Wirtschaftlichkeit

wobei jeder Zielbereich jeweils in eine Beteiligungsanalyse, eine Wirkungsanalyse und eine sektorale Entwicklungsanalyse gegliedert ist. Im folgenden soll nur noch der Teil Pflanzenschutzmittel weiter betrachtet werden.

2.5. Generelle Überlegungen bei der Umsetzung des Zielbereichs Pflanzenschutzmittel

Während die Zulassungspraxis von PSM auf einer prospektiven Beurteilung der Anwendung eines bestimmten Produktes in konkreten Anwendungsszenarien und der Sicherheit darin beruht, geht es beim Modul PSM viel mehr um die retrospektive Erfassung der Anwendung der ganzen Palette von Produkten in allen relevanten Kulturen.

Die **Beteiligungsanalyse** umfasst die statistische Ermittlung der Beteiligung der Betriebe an IP- und Bio-Programmen (Verantwortung BLW).

Die **Wirkungsanalyse** stellt den weitaus grössten Teil im Zielbereich PSM dar. Die Unterbereiche umfassen die Erfassung des Einsatzes (welches Produkt wann in welcher Menge auf welcher Kultur eingesetzt wird, Federführung LBL und SRVA), und die Erfassung der Umweltbelastung (EAWAG und FAW).

Die **sektorale Entwicklungsanalyse** schliesst die Analyse der Verkaufsstatistiken und die Entwicklung der Gewässerbelastung mit ein (Agroscope FAW und EAWAG).

Die zu wählende Methodik zur experimentellen Ermittlung der Umweltbelastung mit PSM und die Auswahl der Untersuchungsgebiete verursachte anfangs einige Schwierigkeiten.

Aus den vielen Möglichkeiten – z.B. Ermittlung der PSM -Rückstände im Boden oder im Grundwasser – schieden viele wegen mangelnder Umsetzbarkeit aus. Die Wahl fiel schliesslich auf Seen (siehe Abschnitt 5.2.1). Dies vor allem, weil diese eine ausgleichende (integrierende) Wirkung haben und erlauben, Frachten in einem Einzugsgebiet mit verhältnismässigem Aufwand zu erfassen. Durch Berücksichtigung des Wasseraustauschs lässt sich damit eine Bilanzierung der auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten und in Gewässer ausgetragenen Wirkstoffe erreichen.

Die eingesetzten Mengen an Wirkstoff in Kulturen bewegen sich im Bereich von wenigen g Wirkstoff/ha für Sulfonylharnstoff-Herbizide im Feldbau und Insektizide (z.B. Pyrethroide) zu mehreren Dutzend kg Wirkstoff/ha für den Einsatz von Mineralölen als Insektizide. Es liegt auf der Hand, dass Wirkstoffe wie Sulfonylharnstoffe kaum geeignet sind, als Massstab für

Gewässerbelastung zu dienen, da die gute Abbaubarkeit und die geringen eingesetzten Mengen zu erwartenden Konzentrationen in den Bereich von pg/L führen – was mit gängigen Methoden nicht nachzuweisen ist. Mineralöle sind hingegen zu wenig quellspezifisch, da diese Stoffe in vielen Bereichen (Treibstoffe etc.) eingesetzt werden und Kontaminationen nicht zugeordnet werden können. Aus diesem Grund bieten sich gebräuchliche herbizide Wirkstoffe an. Sie werden mit Aufwandmengen von mehreren hundert Gramm Wirkstoff bis einige kg/ha angewendet. Diese Stoffe werden deshalb mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch in Oberflächengewässern wieder nachweisbar sein, wobei die Nachweisgrenzen typischerweise mit wenigen ng WS/l möglichst tief gewählt wurden. Diese Stoffe sind auch hinreichend, aber nicht vollständig quellspezifisch (Einsatz von Herbiziden im Nichtkulturland).

Aus der Gesamtmenge wurden v.a. Boden-Herbizide gewählt, da viele dieser Produkte im Feldbau eingesetzt werden, mässig rasch abbaubar sind und auf wenig bewachsenem Boden eingesetzt werden. Der intensive Bodenkontakt dürfte deshalb Möglichkeiten zur Abschwemmung in Oberflächengewässer bieten.

Im Zielbereich „Pflanzenbehandlungsmittel“ (PSM) wurde deshalb vereinbart (vgl. Konzeptbericht Evaluation, Juni 1999 [20]):

- durch Messungen in Seen die Entwicklung des PSM-Eintrags zu verfolgen und im Vergleich mit den gesetzten Zielen zu interpretieren
- anhand von Verkaufszahlen und Felderhebungen zu prüfen, ob sich die eingesetzten PSM im vorhergesehenen Mass reduzieren (Umsetzungsziel).

Das Wirkungsziel für 2005 wurde mit einer 50 %-igen Reduktion des Eintrags an PSM in Oberflächengewässer und Reduktion des PSM-Einsatzes um 30 % eher ambitiös angesetzt.

2.6. Mögliche Zielkonflikte in der Ökologisierung des Pflanzenbaus

Eine vertiefte Betrachtung von möglichen Szenarien zur Kulturführung in der pflanzlichen Produktion führt unweigerlich zum Schluss, dass jede Wahl für ein bestimmtes Szenario auch eine Wahl unter sich widerstrebenden Zielen bedeuten kann. Diese Zielkonflikte sind nicht immer sehr deutlich erkennbar. Es darf jedoch vermutet werden, dass gerade in Fällen, wo die Ertragssicherheit auf dem Spiel steht und der Unternehmer eine bewusste Wahl vornimmt, die Ertragssicherheit eher höher gewichtet wird als hypothetische negative Auswirkungen auf die Umwelt. Wir möchten diese These anhand einiger Beispiele erläutern:

Direktsaatverfahren im Ackerbau. Intensive Bodenbearbeitung und zunehmende Achslasten der Maschinen und Fahrzeuge schwächen die Bodenstruktur. Die Bodenkrümel halten auf Dauer der mechanischen Belastung nicht stand und sind ihrer Funktion als Nährstoffspeicher und biologisch aktive Filter beraubt. Feinerde-Teilchen verstopfen die Grobporen des Bodens und verringern die Infiltration (erhöhtes Erosionsrisiko). Eine mögliche Lösung besteht darin, ganz auf Bodenbearbeitung zu verzichten (Direktsaat). So werden Bodenlebewesen weniger dezimiert, v.a. Regenwürmer sind aktiver. Regenwurmgänge und abgestorbene Wurzelgänge bilden ein Drainagesystem im Boden und sorgen für bessere Durchlüftung und Entwässerung. Der Lebendverbau und die Bodenbedeckung verhindern Erosion und erhöhen die Tragfähigkeit des Bodens. Zudem ist Direktsaat das kostengünstigste Anbausystem. Direktsaat ist in der Schweiz auf leichten bis mittelschweren Standorten etabliert, hingegen auf schweren Böden mit sehr hohen Tongehalten bisher noch nicht.

In einem ausgedehnten Versuch der FAL wurden die Verfahren verglichen: Bodenbearbeitung: Direktsaat versus 'betriebsüblich' (Sommerungen nach Pflug, Getreide pfluglos). In einer Fruchtfolge: Winterweizen (anschliessend Zwischenfrucht) - Körnermais - Eiweisserbsen - Winterweizen (anschliessend Zwischenfrucht) - Sonnenblumen, waren die Erträge in den meisten Fällen ähnlich [21].

Es ist jedoch anzunehmen, dass die verbesserte Bodenstruktur mit mehr Makroporen auch zu einer Erhöhung der schnellen Infiltration von Pflanzenschutzmitteln in tiefere Bodenschichten führt. Hier ist der Zielkonflikt Erhalt der langfristigen Bodenfruchtbarkeit und Reduktion der Erosion gegen Schutz des Grundwassers vor erhöhten Einträgen von Pflanzenschutzmittel-Rückständen.

Pflugloser Anbau, Herbizid-Einsatz und Befall von Roggen mit Mutterkorn (*Claviceps purpurea*). In den letzten Jahren wurde in vielen Ländern in Europa eine Zunahme des Befalls von Roggen mit Mutterkorn beobachtet. Das dunkel gefärbte „Mutterkorn“ ist die Überwinterungsform des Pilzes und enthält hochgiftige Alkaloide. In modernen Mühlen wird durch Reinigung des Mahlgutes ein grosser Teil des allenfalls vorhandenen Mutterkorns eliminiert. Eine Reihe von zusätzlichen Massnahmen feldbaulicher Art (Mutterkorn-freies Saatgut, Fruchtwechsel) tragen dazu bei, den Befall zu reduzieren. Eine direkte chemische Bekämpfung ist nicht möglich. Als weitere Massnahme wird eine intensive Bodenbearbeitung nach Roggen empfohlen, um die zu Boden gefallenen Sklerotien in tiefere Bodenschichten zu entsorgen. Zusätzlich können im Fruchtwechsel Gräserherbizide Ungräser als

Zwischenwirte kontrollieren, so dass der Befallsdruck und damit zusammenhängend die Kontamination des Mehls mit dem hochgiftigen und backresistenten Ergotamin deutlich reduziert werden kann. Die Zunahme des Befalls in Europa kann deshalb in Zusammenhang mit dem pfluglosen Anbau und dem reduzierten Einsatz von Graminiziden gebracht werden. Hier ist der Zielkonflikt Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und Erosionsverhinderung, Minimierung des Herbizideinsatzes gegen Reduktion der Belastung von Roggenmehl mit dem hochgiftigen Ergotamin.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass landwirtschaftliche Produktionssysteme eine bedeutende Komplexität in den Interaktionen der verschiedenen Produktionsfaktoren aufweisen. Zielkonflikte sind in der Ökologisierung der pflanzenbaulichen Produktion eher die Regel als die Ausnahme, und eine ökologische Bewertung von möglichen Szenarien für ein bestimmtes Produktionsverfahren muss der Komplexität der Systeme angepasst sein. Dies ist nur möglich anhand von konkreten, möglichst repräsentativen Fallbeispielen, wo Fachexperten interdisziplinär zusammenarbeiten.

2.7. Referenzwerte und zeitliche Abläufe in der Evaluation

Naturgemäss spielen in einer Untersuchung des Umweltzustandes im breitesten Sinne die Referenzwerte vor und nach Einführung von Massnahmen wie des ÖLN eine wichtige Rolle. Je besser diese Referenzwerte bekannt sind, desto klarer lassen sich Trends und ggf. Ursache-Wirkungsbeziehungen ableiten.

Zumindest für den Zielbereich PSM waren diese Referenzwerte in allen Teilbereichen nur rudimentär oder gar nicht bekannt. Dies mag damit zusammenhängen, dass bereits vor der Einführung der ÖLN eine beträchtliche Anzahl Betriebe nach IP und Bio gewirtschaftet hatten [22]. So wurden z.B. bereits im Jahr 1994 74 % der Obstbaubetriebe nach den IP-Richtlinien bewirtschaftet. Dieser Anteil erhöhte sich bis ins Jahr 2002 auf 94 %, wobei neben 5 % Bio-Betrieben die konventionell wirtschaftenden nahezu verschwunden waren.

Die Schweizer Zulassungsbehörde für PSM orientiert sich seit längerer Zeit an der „Guten Landwirtschaftlichen Praxis“ für die Beurteilung der Notwendigkeit der Bewilligung von Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln. Probleme in einer bestimmten Kultur, die mit Sortenwahl, Fruchtwechsel etc. gelöst werden können, dürfen nicht mit der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln gelöst werden. Ein Beispiel dafür ist die Bekämpfung der Karottencystennematode in Karotten mit Nematiziden, die mit einem angepassten Fruchtwechsel unnötig sind.

In diesem Sinn war eine Zustandsbeschreibung mit Vergleich vorher/nachher bereits mit einem bedeutenden systematischen Fehler versehen, da der Zustand „vorher“ sich nicht mehr auf eine überwiegend konventionelle (d.h. nicht-IP und nicht Bio) Landwirtschaft bezog (siehe oben), sondern bereits einen beträchtlichen Prozentsatz an beiden als ökologisch betrachteten Betriebsarten aufwies.

Der zeitliche Ablauf war ursprünglich so vorgesehen, dass der Projektstart im Jahre 1995 hätte stattfinden sollen. Da jedoch die Vorarbeiten für das Monitoring der Gewässerbelastung noch nicht abgeschlossen waren, verzögerte sich der Projektstart im Zielbereich PSM um zwei Jahre von 1995 auf 1997.

2.8. Erwartete Ursache-Wirkungsbeziehungen im PSM-Verbrauch und Umweltbelastung bei einer Zunahme von IP- und Bio-Betrieben

Der Ausgangspunkt für die folgenden Überlegungen ist das Eigenverständnis der IP, für das wir uns in den folgenden Ausführungen auf das IOBC-Dokument Integrated Production, Principles and Technical Guidelines, 3rd Edition, 2004 beziehen [14].

Die darin festgehaltenen 10 Regeln der Integrierten Produktion (ip) lauten wie folgt:

- 1) ip is applied only holistically
- 2) external costs and undesirable impacts are minimised
- 3) the entire farm is the unit of ip implementation
- 4) the farmers' knowledge of ip must be regularly up-dated
- 5) stable agroecosystems must be maintained as key components
- 6) nutrient cycles must be balanced and losses minimised
- 7) intrinsic soil fertility must be preserved and improved
- 8) ipm is the basis for decision making in crop protection
- 9) biological diversity must be supported
- 10) total product quality is an important characteristic of sustainable agriculture product quality.

Die Punkte, die mit PSM am engsten verbunden sind, betreffen v.a. den möglichen Ersatz von Pflanzenschutzmitteln durch **Biotechnische Verfahren**, die **Biodiversität** und das **Schadschwellenkonzept** im Pflanzenschutz.

Biotechnische Verfahren zur Bekämpfung von tierischen Schadorganismen wurden v.a. im Bereich Dauerkulturen erfolgreich eingeführt. So haben die pheromonbasierte Verwirrungstechnik gegen den Apfelwickler im Obstbau oder die Traubenwickler im

Weinbau weite Verbreitung und Akzeptanz in der Schweiz gefunden. Der Ersatz von gewissen wenig selektiven Insektiziden konnte damit erreicht werden. Die Kontrolle von anderen tierischen Schädlingen, konkurrierenden Unkräutern und Schadpilzen hingegen wird durch akzeptierte praxisreife biotechnische Verfahren kaum abgedeckt, so dass auch die IP noch auf den chemische Pflanzenschutz abstellt.

Die Förderung der **Biodiversität** und die Verhinderung der Reduktion von räuberischen Antagonisten wird durch die erwiesene Nützlingsschonung von Präparaten abgedeckt. Normalerweise sollten nur untoxische oder neutrale Produkte eingesetzt werden. Solche Mittel sind naturgemäss selektiver als breiter wirksame Produkte.

Beispiele hierfür sind der Rückzug von Pyrethroiden aus dem Obstbau in den 80-er Jahren. Dafür müssen, v.a. wenn eine ganze Reihe von Schaderregern über der Schadenschwelle sind, mehr selektive Präparate eingesetzt werden. IP kann somit durchaus zu einer Intensivierung der Behandlungen führen, die zwar je für sich mit nützlingsschonenden Präparaten durchgeführt werden, aber insgesamt zu einer höheren Belastung des Agrarökosystems und der Umwelt führen. Die IP-Praxis [13] spricht hier auch bewusst von einem „Agrarökosystem“, und weist darauf hin, dass die Kulturpflanze in ein Agrarökosystem eingebettet ist. So zeigt auch der Praxisvergleich IP-Bio im Obstbau [22], dass im Bio-Verfahren u. U. durchaus mehr pflanzenschützerische Interventionen benötigt werden als im IP-Verfahren.

Das **Schadschwellenkonzept** hat sich v.a. in der Bekämpfung von tierischen Schaderregern gut bewährt, konnte sich jedoch in der Unkrautkontrolle in der Praxis nicht durchsetzen. In der Entomologie ist die Befallsprognose hinreichend genau, und meist ist das Zeitfenster, das für eine Behandlung zur Verfügung steht, genügend gross. Bei pilzlichen Schaderregern wurde erst in den vergangenen Jahren Modelle entwickelt, die den Befallsdruck hinreichend genau prognostizieren und genügend Zeit lassen, weitgehend vorbeugend Fungizide anzuwenden. Die Anwendung von kurativen Fungiziden in eine ausgebrochene Infektion hatte zu massiven Resistenzproblemen geführt, so dass seit einiger Zeit meist nach Warndienst, aber vorbeugend gespritzt wird.

Somit lässt sich festhalten, dass mit IP zwar gezielter und mit selektiveren PSM, aber nicht a priori weniger als im konventionellen Landbau gespritzt wird.

Ein weiterer und wichtiger Aspekt ist die Beeinflussung der oberflächlichen Abschwemmung durch die Kulturführung. Während in Raumkulturen (Obstbau, Weinbau) sich Begrünung und Management des Unterstockbereichs vielfach durchgesetzt haben, und überdies die

Anwendung von PSM auf einer entwickelten Kultur mit guter Rückhaltefähigkeit erfolgt, wird im Feldbau und Gemüsebau vielfach im frühen Nachauflauf appliziert. Dies betrifft v.a. die Herbizide, die wo möglich im Nachauflauf eingesetzt werden. Während Fungizide z.B. im Getreidebau oder in Kartoffeln eher spät – zu den Zeiten des höchsten Infektionsdrucks – eingesetzt werden und generell hohe Rückhaltefähigkeit der Kultur treffen, wird ein beträchtlicher Teil der herbiziden Wirkstoffe auf die Erde gelangen. Dies ist nicht a priori unerwünscht: viele selektive Herbizide wirken als Residualmittel, d.h. Rückstände des Herbizids liegen im Boden bioverfügbar vor und werden durch keimende Unkräuter aufgenommen. Solche Wirkstoffe unterliegen potentiell einer oberflächlichen Abschwemmung in Gewässer. Diese Austragungen werden voraussichtlich von IP kaum beeinflusst, da hier die Witterung (Starkregenfälle nach der Anwendung) den grössten Einfluss haben dürfte. Ein vergleichbar hohes Potential zur Abschwemmung weisen nur als Granulat angewendete Insektizide oder Schneckenbekämpfungsmittel im Feldbau auf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Übergang von konventioneller Betriebsführung zu IP (und zu Bio) in Feldbau und Spezialkulturen nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der ausgebrachten Menge an PSM führt. Zudem erwarten wir in IP-konformen Anwendungen von Herbiziden im Feldbau im Nachauflauf nur eine relativ geringfügige Reduktion des Austrags von PSM aus behandelten Flächen durch Ackerrandstreifen, da diese bei Starkregenfällen kaum genügen, um Abschwemmungen aufzuhalten.

Eine grosse Bedeutung dürfte jedoch generell der Ersatz von älteren Wirkstoffen durch neuere mit sich bringen. Im allgemeinen sind die Aufwandmengen bei neuen Wirkstoffen deutlich geringer als bei den älteren. Eine Faktorisierung im komplexen Muster des effektiven Verbrauchs in den verschiedenen Kategorien wäre zwar interessant, dürfte aber mit dem vorhandenen statistischen Material nicht zu erreichen sein.

Diese Hypothesen werden durch die Aussagen von 1995 in einem Fachartikel in der „Agrarforschung“ gestützt, indem die Autoren festhalten [13]:

„Bei der Beurteilung der Qualität einer nachhaltigen Betriebsführung im Bereich Pflanzenschutz gewinnt die Beurteilung der vorbeugenden betrieblichen Massnahmen eine grosse Bedeutung. Die alleinige Erfassung des mengenmässig reduzierten Pestizideinsatzes würde wenig über die ökologische Qualität der angewendeten Pflanzenschutzstrategie aussagen“.

3. Quellen und Eintragswege von PSM in Oberflächengewässern

3.1. Welche Quellen kommen in Frage?

Die landwirtschaftliche Anwendung von PSM führt, auch bei sorgfältiger und sachgerechter Anwendung, zu gewissen Einträgen in Gewässer. Die wichtigsten Eintragswege in Gewässer aus landwirtschaftlicher Anwendung, die auch in der Risikobewertung bei der Zulassung von PSM berücksichtigt werden, sind Abtrift (bei der Applikation), oberflächliche Abschwemmung und Einträge über Drainagen aus behandelten Flächen. Bei diesen Eintragsquellen spricht man auch von diffusen Quellen. Daneben sind aber auch Einträge aus anderen Quellen möglich (siehe Abbildung 1). Auf der landwirtschaftlichen Seite sind dies etwa Einträge von Hofabläufen (z.B. nach Spritzgerätereinigung, versehentlichem Verschütten, etc.) oder seltene Ereignisse wie z.B. Unfälle, welche zu Direkteinträgen von PSM führen. Auf der nicht-landwirtschaftlichen Seite wären u.a. die Anwendung von PSM auf versiegelten Flächen wie Unterhalt von Strassen und Plätzen, Unkrautbekämpfung auf Bahnanlagen, Anwendungen im Hausgarten und Verwendung von PSM im Materialschutz, sowie medizinische Anwendungen (Fungizide, Insektizide) zu nennen. Da es sich häufig um dieselben Stoffe handelt, ist die Unterscheidung von landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Quellen nur in wenigen Fällen möglich.

Mengenmässig dürften die im nicht-landwirtschaftlichen Bereich eingesetzten Wirkstoffe oft unbedeutend sein im Vergleich zum landwirtschaftlichen Einsatz, auch wenn genaue Zahlen für den nicht-landwirtschaftlichen Bereich häufig fehlen. Dennoch können aus nicht-landwirtschaftlichen Anwendungen erhebliche Gewässerbelastungen resultieren, wenn Einträge aus diesen Anwendungen direkt, d.h. ohne vorgelagerte Abbauprozesse erfolgen. Beispielsweise führte die Anwendung von Atrazin auf Bahntrassen in Gewässernähe zu erheblichen Belastungen, da diese Anlagen gut drainiert sein müssen um den sicheren Betrieb zu gewährleisten. Das Sickerwasser aus den Trassen gelangt relativ direkt in Gewässer. Inzwischen wurde Atrazin für diese Anwendung zurückgezogen und es wird ein anderer Wirkstoff (Glyphosat) eingesetzt, der wesentlich stärker adsorbiert wird und deshalb weniger mobil ist.

Ein weiteres Beispiel für direkte Einträge stellt die an sich verbotene Anwendung von Herbiziden zur Unkrautbekämpfung auf versiegelten Flächen, wie Strassen, Plätze und Flachdächer, dar [23]. Im Vergleich zur Anwendung auf landwirtschaftlichen Flächen werden die Stoffe auf versiegelten Flächen kaum zurückgehalten oder abgebaut. Sie gelangen mit dem Meteorwasser entweder direkt oder über Kläranlagen in Gewässer. Viele Wirkstoffe passieren Kläranlagen praktisch unverändert, zum Teil auch solche, die im Boden relativ rasch abgebaut werden.

Im Materialschutz werden diverse Wirkstoffe eingesetzt, die mit landwirtschaftlich eingesetzten PSM identisch sind, z.B. diverse Fungizide und Herbizide in Fassadenanstrichen. Ein in Bitumenbahnen für die Abdichtung von Flachdächern als Wurzelschutz eingesetzter Stoff wurde als wichtige Quelle für das Herbizid Mecoprop in Gewässern identifiziert [24, 25]. Durch eine spezielle, stereoselektive Analytik ist es möglich, Mecoprop aus landwirtschaftlicher Anwendung und aus Flachdach-Ablauf zu unterscheiden und nachzuweisen, dass beide Quellen für die Gesamtbelastung der Gewässer wichtig sein können.

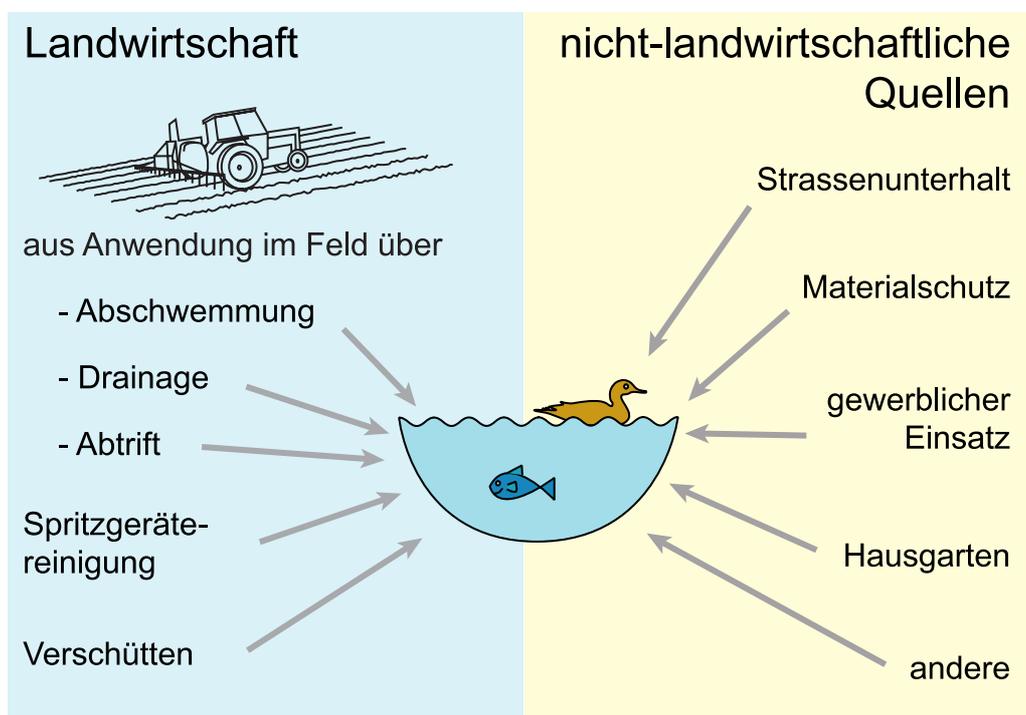


Abbildung 1: Mögliche Quellen für PSM in Oberflächengewässern aus landwirtschaftlicher oder nicht-landwirtschaftlicher Anwendung.

Einen besonderen Fall stellt die Anwendung von PSM-Wirkstoffen auf Materialien dar, die direkt im Gewässer exponiert werden, da bei solchen Anwendungen, im Verhältnis zur verwendeten Menge, mit besonders grossen Einträgen zu rechnen ist. Ein Beispiel ist die Anwendung von Wirkstoffen in Bootsanstrichen, die vor Bewuchs des Bootskörpers schützen sollen [26]. Ein Wirkstoff aus dieser Anwendung, der in der Schweiz zwar nicht als PSM-Wirkstoff zugelassen ist, aber eine sehr ähnliche Struktur zu bewilligten Stoffen aufweist, wurde in verschiedenen Seen nachgewiesen [27-29]. Andere Stoffe werden zwar ebenfalls eingesetzt, aber falls sie, wie z.B. Diuron, mit in der Landwirtschaft eingesetzten PSM identisch sind, ist eine Unterscheidung der Quellen nicht möglich.

Auch die Verwendung von PSM im Hausgarten stellt eine potentielle Quelle für die Belastung der Gewässer dar, obwohl die Flächen relativ klein sind. In Haus- und Schrebergärten werden intensiv PSM eingesetzt (vergl. Angaben aus Österreich, [30]) und die BewirtschafterInnen dieser Gärten sind zum grössten Teil nicht im Umgang mit diesen Stoffen geschult. Entsprechend ist anzunehmen, dass z.B. Spritzbrühereste nicht wie in der Landwirtschaft direkt auf der behandelten Fläche, sondern grösstenteils über die Kanalisation „entsorgt“ werden. Auch dürfte die Reinigung der Spritzgeräte nicht auf der behandelten Fläche, sondern im besten Fall am Spültrog passieren. In dicht besiedeltem Gebiet ist also mit einem signifikanten Beitrag von privaten Gärten an die Gesamtbelastung der Gewässer mit PSM zu rechnen.

3.2. Welche Einflussfaktoren bestimmen den Eintrag aus landwirtschaftlichen Quellen?

Bei der Risikobewertung von PSM in Oberflächengewässern im Rahmen der Zulassung werden Abtrift, oberflächliche Abschwemmung und Einträge über Drainagen aus behandelten Flächen als mögliche Eintragsquellen beurteilt. Die übrigen Eintragsquellen werden nicht berücksichtigt, da sie entweder selten und kaum kalkulierbar (z.B. Unfälle) oder vermeidbar sind, resp. durch unsachgemässe Anwendung verursacht werden (z.B. Einträge von Hofabläufen). Dennoch besteht gerade im letzteren Bereich immer noch ein vermutlich recht grosses Potential für Verbesserungen (siehe nächsten Abschnitt).

Bei der *Abtrift* spielt in erster Linie die Nähe einer behandelten Fläche zu einem offenen Gewässer eine Rolle. Der Sprühnebel, welcher bei der PSM-Applikation erzeugt wird, gelangt wohl zum grössten Teil auf die zu behandelnde Kultur. Ein gewisser Teil wird jedoch auch auf Flächen in der unmittelbaren Umgebung verlagert. Ungünstige Windverhältnisse

und die Applikation auf Raumkulturen fördern diesen Prozess. Umgekehrt verringern Pufferstreifen, Hecken und Böschungen mögliche Einträge in Gewässer wesentlich. Technische Verbesserungen wie die Verwendung von Injektordüsen können Einträge durch Abtrift ebenfalls erheblich reduzieren [31].

Oberflächliche Abschwemmung entsteht, wenn bei starkem und/oder länger anhaltendem Niederschlag der Boden allmählich mit Wasser gesättigt wird, sodass ein Teil nicht länger versickern kann, sondern an der Oberfläche abfließt. Neben der Niederschlagsmenge und -intensität spielen bei diesem Prozess auch die Eigenschaften des Bodens, die Hangneigung und die Bodenbearbeitung eine wichtige Rolle. Böden mit geringer Durchlässigkeit, geringer Bedeckung und in steilen Lagen neigen besonders zu oberflächlicher Abschwemmung. Entsteht bei Niederschlag oberflächliche Abschwemmung, so können PSM an der Oberfläche mit dem abfließenden Wasser transportiert werden, sowohl in gelöster Form, als auch gebunden an Kolloide.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass das erste grössere Regenereignis nach der Applikation entscheidend für den Eintrag von PSM in Gewässer durch oberflächliche Abschwemmung ist [32-38]. Sowohl der Zeitpunkt relativ zur Applikation, als auch die Intensität des Niederschlags spielen dabei eine Rolle. Insbesondere frisch applizierte PSM neigen zu Verlusten über oberflächliche Abschwemmung, während mit der Alterung der Rückstände sowohl die Bindung an die Bodenmatrix stärker wird, als auch die Gesamtmenge an PSM durch Abbau geringer wird. Darüber hinaus ist auch entscheidend, ob ein Wirkstoff direkt auf den Boden oder auf eine etablierte Kultur appliziert wird. Direkt auf den Boden - insbesondere unbewachsenen - applizierte Stoffe werden häufiger in Gewässern nachgewiesen als solche, die auf einer schon mehr oder weniger stark bewachsenen Fläche appliziert werden.

Auch über *Drainagen* können PSM in Oberflächengewässer gelangen. Im Unterschied zu Einträgen über oberflächliche Abschwemmung ist es hier das versickernde Regenwasser, welches PSM mitführen kann. Bei Böden, die bei Austrocknung zur Rissbildung neigen oder die eine grosse Dichte an Regenwürmern aufweisen, können über sog. präferentielle Fliesswege frisch applizierte PSM rasch in tiefere Bodenschichten verlagert und in Drainagen ausgewaschen werden. Auch bei diesem Prozess spielen, analog wie bei oberflächlicher Abschwemmung, Zeitpunkt und Intensität der Niederschläge eine wichtige Rolle.

Neben der Witterung und den Eigenschaften des Bodens spielen sowohl bei oberflächlicher Abschwemmung, als auch bei Drainage, die Eigenschaften des PSM-Wirkstoffes eine

wichtige Rolle. Rasch abbaubare und wenig wasserlösliche, resp. stark am Boden adsorbierte Stoffe neigen weniger zu Eintrag in Gewässer durch Abschwemmung und Drainagen, als langsam abbaubare, wenig adsorbierte Stoffe.

Welche der diskutierten Eintragswege am meisten zur Gesamtbelastung der Gewässer durch PSM beitragen, hängt sehr stark von der jeweiligen Situation im Einzugsgebiet ab. Obwohl es zahlreiche Untersuchungen zum PSM-Eintrag in Gewässer gibt, lässt sich deshalb auf die Frage der relativen Bedeutung der verschiedenen Eintragswege keine abschliessende Antwort geben. Auch die bei der PSM-Registrierung verwendeten Szenarien lassen sich nur bedingt für die Beantwortung dieser Frage heranziehen, da sie jeweils den ungünstigsten möglichen Fall abbilden sollen und nicht eine typischerweise eintretende Situation. Entsprechend wird in diesen Betrachtungen der Eintrag über Abtrift relativ hoch gewichtet, da kurzzeitig hohe Konzentrationen in Gewässern auftreten können, während in der Mehrzahl der Fälle, resp. im Mittel über grössere Einzugsgebiete, eher oberflächliche Abschwemmung als Haupteintragsweg angesehen wird [33]. Dies gilt insbesondere für die am häufigsten in Gewässern nachgewiesenen Mais- und Getreideherbizide. Lokal und je nach betrachtetem Wirkstoff können jedoch auch Einträge über Drainagen oder Abtrift bedeutender sein.

Insgesamt sind die Einträge in Gewässer aus diffusen Quellen im Verhältnis zu den eingesetzten Mengen relativ gering, im Mittel über grössere Einzugsgebiete maximal 5%, das heisst, der weit überwiegende Teil der ausgebrachten PSM wird im Boden zurückgehalten und abgebaut [33, 35]. Von Jahr zu Jahr können jedoch die diffusen Einträge in Gewässer erheblich schwanken. Diese Schwankungen werden generell unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den verschiedenen Jahren zugeschrieben. In sehr grossen Einzugsgebieten (z.B. des Mississippi in den Vereinigten Staaten) sind diese jährlichen Schwankungen deutlich geringer als in kleineren Gebieten (z.B. den Einzugsgebieten der untersuchten Schweizer Seen) da dort regionale Unterschiede in der Witterung statistisch ausgemittelt werden [33, 36, 37, 39].

3.3. *Welchen Anteil haben die verschiedenen Quellen an der Gesamtbelastung?*

Das Vorhandensein von PSM-Rückständen in Gewässern wird generell mit dem landwirtschaftlichen Einsatz dieser Stoffe in Verbindung gebracht. In den meisten Fällen dürfte der landwirtschaftliche Einsatz auch die wichtigste Quelle darstellen. Gewässer mit hoher Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet können jedoch auch erheblich mit

Siedlungsabwasser belastet sein. Entsprechend ist zu erwarten, dass in solchen Gewässern die nicht-landwirtschaftliche Anwendung von PSM ebenfalls wesentlich zur Gesamtbelastung beiträgt. Im Rahmen der Evaluation der Ökomassnahmen wurden verschiedene Seen untersucht, solche mit eher ländlichem Einzugsgebiet (Baldeggersee, Murtensee und Sempachersee) und solche mit erheblichem Siedlungswasseranteil (Greifensee und Zürichsee). Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse aus diesen Seen erlaubt jedoch nur sehr bedingt eine Unterscheidung von Quellen (s.u.).

Eine Untersuchung im Einzugsgebiet des Greifensees zeigte, dass ein erheblicher Teil der im See nachgewiesenen Herbiziden über Kläranlagen eingetragen wird [40]. Einige der erfassten Wirkstoffe, wie Diuron, werden nur in geringen Mengen in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet des Sees eingesetzt. Hingegen wurde Diuron zum Zeitpunkt der Studie (1999-2000) vermutlich nach wie vor bei der Unkrautbekämpfung entlang von Strassen verwendet, obschon diese Anwendung seit 1994 nicht mehr erlaubt ist. Entsprechend hoch (bis zu 60%) war der Anteil an Diuron, welches über Kläranlagen in den See gelangte.

Deutlich niedriger (15-30%) fiel dieser Anteil bei Wirkstoffen aus, die primär und in grösseren Mengen in der Landwirtschaft eingesetzt werden (Atrazin und Metolachlor). Bei diesen Wirkstoffen konnten im Abwasser charakteristische Konzentrationsspitzen beobachtet werden, die nicht mit Regenereignissen korrelierten und deshalb eher auf Verluste über Hofabläufe, die ans Kanalisationsnetz angeschlossen sind, deuten. Diese auf unsachgemässe Anwendung zurückzuführenden Einträge in Gewässer wären praktisch vollständig vermeidbar durch Verlagerung aller heiklen Manipulationen wie Befüllen und Spülen des Spritztanks direkt auf das Feld. Es konnte in der Studie gezeigt werden, dass durch gezielte Information die Einträge aus Hofabläufen etwas reduziert werden konnten. Das Potential für weitere deutliche Verbesserungen wäre aber vorhanden.

Ebenfalls ein sehr hoher Anteil an der Gesamtfracht aus Kläranlagen (60-80%) wurde für den Wirkstoff Mecoprop festgestellt. Dieser Befund deckt sich mit Ergebnissen aus vergleichenden Untersuchungen im Baldeggersee, Greifensee, Sempachersee und Zürichsee, wo mit Hilfe einer speziellen Analytik Mecoprop, wie es in der Landwirtschaft eingesetzt wird und Mecoprop aus Abläufen von Flachdächern unterschieden wurde [41, 42]. Auch in diesen Studien wurde ein hoher Anteil Mecoprop aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen in stark durch Siedlungsabwasser beeinflussten Gewässern postuliert, im Greifensee bis zu 85%.

In Studien in Deutschland [43, 44] wurden im Vergleich zu den oben dargestellten Ergebnissen noch deutlich grössere Anteile von PSM-Einträgen über Kläranlagen von über

90% festgestellt, da dort die Einträge aus diffusen Quellen im Verhältnis zum Greifensee deutlich geringer waren. Analog ist zu erwarten, dass für PSM, welche weniger zu diffusen Einträgen in Gewässer neigen, beispielsweise Fungizide und Insektizide, welche auf etablierte Kulturen appliziert werden, Einträge aus anderen Quellen im Verhältnis bedeutender wären. Systematische Untersuchungen dazu sind den Autoren jedoch nicht bekannt.

Eine Zuordnung von Quellen muss deshalb streng genommen sowohl für jeden Stoff als auch für jedes Gewässer einzeln durchgeführt werden und dürfte in vielen Fällen auch noch jahreszeitlich stark unterschiedlich ausfallen. Eine Verallgemeinerung auf „die PSM“ und „die Gewässer“ ist daher wenig sinnvoll. Wegen der vielen möglichen Einflüsse von nicht-landwirtschaftlichen Anwendungen von PSM sollte sich jedoch die Evaluation der Ökomassnahmen auf jeden Fall vorwiegend auf Daten aus Gewässern mit primär landwirtschaftlich geprägtem Einzugsgebiet stützen und weniger auf solche, die zusätzlich stark mit Siedlungsabwasser belastet sein können.

4. Entwicklung des PSM-Verkaufs in der Schweiz

Die Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie (SGCI) stellt die von ihren Mitgliederfirmen verkauften Mengen an PSM in einer jährlichen PSM-Marktstatistik zusammen [45]. Die in dieser Statistik erfassten Mengen stellen nach Einschätzung der SGCI einen Anteil von 90-95% des gesamten Marktvolumens dar. Nicht erfasst werden in dieser Statistik Produkte von denjenigen Firmen, welche nicht in der SGCI organisiert sind, sowie Parallelimporte gem. Landwirtschaftsgesetz (Art. 160) und Direktimporte durch Landwirte.

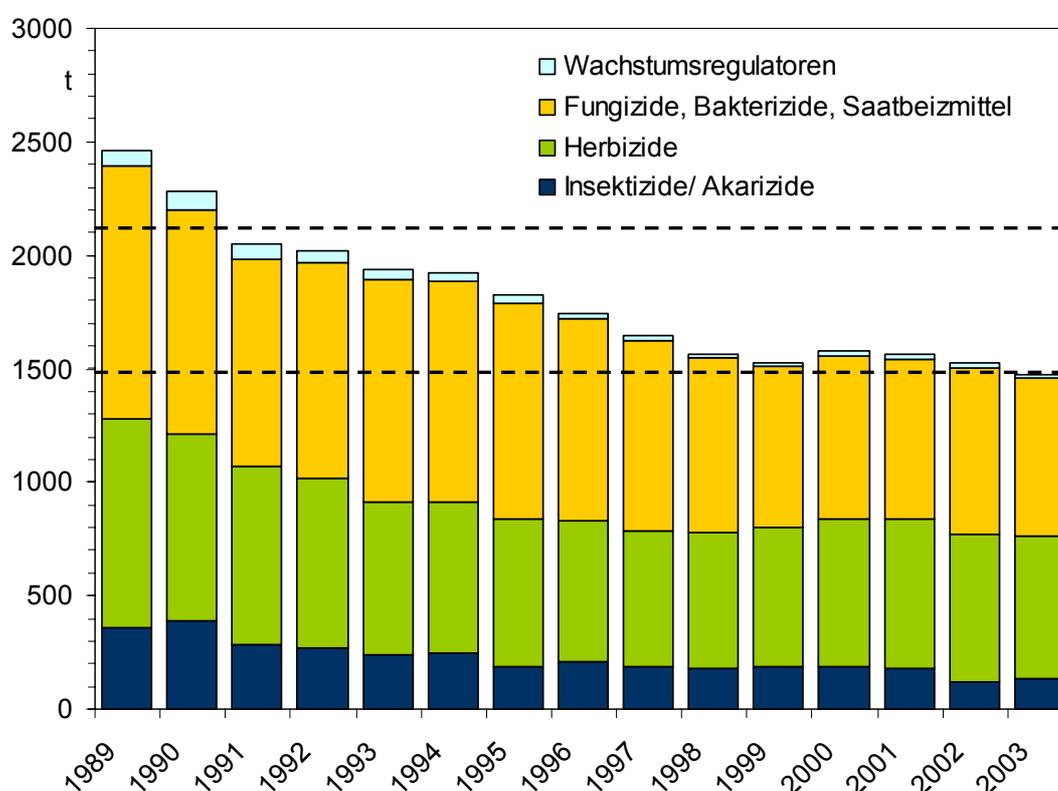


Abbildung 2: Entwicklung des PSM-Absatzes in der Schweiz (in Tonnen Wirkstoff) von 1989 - 2003, gemäss Marktstatistik der SGCI, aufgeschlüsselt nach Hauptgruppen. Die gestrichelten Linien bezeichnen den Referenzwert (1990-1992) resp. das Umsetzungsziel (30% Reduktion bis 2005).

In Abbildung 2 ist die Entwicklung des PSM-Absatzes in der Schweiz im Zeitraum von 1989 bis 2003 grafisch dargestellt. Laut der Marktstatistik der SGCI hat die Gesamtmenge an jährlich verkauften PSM in diesem Zeitraum von anfänglich ca. 2500 auf ca. 1500 Tonnen Wirkstoff abgenommen. Diese Abnahme ist in allen Bereichen zu verzeichnen, wobei

anteilmässig vor allem die Wachstumsregulatoren (Abnahme um 72%) und Insektizide (Abnahme um 58%) stark zurückgingen.

Gegenüber dem für die Evaluation definierten Referenzzeitraum (1990-1992) betrug der Rückgang bis 2003 30%. Somit wurde die bis 2005 angestrebte Reduktion des PSM-Verbrauches bereits im Jahr 2003 knapp erreicht. Seit 1999 sind die verkauften Mengen jedoch relativ konstant geblieben und es sieht so aus, als ob sich die Verkaufsmengen etwa auf diesem Niveau eingependelt haben. Gewisse Schwankungen von Jahr zu Jahr sind zu erwarten, da der Befallsdruck je nach Witterung und Populationsdynamik bei den Schaderregern mehr oder weniger Behandlung erfordert. Zum Beispiel dürfte der trockene Sommer 2003 weniger Fungizideinsatz als in anderen Jahren erfordert haben, sodass ein gewisser Rückgang bei den verkauften Mengen an Fungiziden auf das Wetter und nicht auf eine veränderte landwirtschaftliche Praxis zurückzuführen sein könnte.

Gemäss SGCI-Angaben werden von der Gesamtmenge der verkauften PSM je nach Jahr ca. 60-70% durch die 20 mengenmässig wichtigsten Wirkstoffe abgedeckt. Die auch im Biolandbau eingesetzten anorganischen Fungizide Kupfer und Schwefel stellen dabei bereits einen Anteil von ca. 20% und die ebenfalls auch im Biolandbau als Insektizide eingesetzten Öle, Mineral- und Rapsöl trugen je nach Jahr 5-9% zur Gesamtmenge bei.

Auf welche Ursachen der generelle Rückgang beim PSM-Verkauf zurückzuführen ist, lässt sich nicht aus den uns zur Verfügung stehenden Daten der Marktstatistiken ablesen. Einen wichtigen Anteil dürfte dabei der Ersatz von älteren Wirkstoffen mit tendenziell höheren Aufwandmengen durch neuere Wirkstoffe mit geringeren Aufwandmengen haben. Beispiele sind etwa der Ersatz von Mineralöl gegen Spinnmilben im Obstbau (Aufwandmenge 20 L pro Hektare) durch den insektiziden Wirkstoff Etoxazol (Aufwandmenge 0.5 L Produkt, resp. 50 g Wirkstoff pro Hektare) oder der Ersatz von Schwefel gegen Echten Mehltau im Kernobst (Aufwandmengen bis 12 kg/ha) durch den fungiziden Wirkstoff Difenconazole (Aufwandmenge von 60 g Wirkstoff pro Hektare). Viele weitere Beispiele liessen sich aufzählen. Um solche Substitutionen belegen zu können, sind die Daten der Marktstatistiken jedoch zu stark aggregiert (zusammengefasst nach Wirkstoffgruppen). Insbesondere bei Herbiziden und Fungiziden, wo die Rubrik "Andere" jeweils etwa die Hälfte der verkauften Mengen ausmacht, deren Anteil etwa gleich geblieben oder sogar deutlich angestiegen ist, ist der direkte Nachweis der Substitution bestimmter Wirkstoffen durch andere praktisch unmöglich. Weiter erschwert wird er durch die fehlende Verknüpfung von Wirkstoffen mit deren landwirtschaftlichem Einsatz bei Stoffen, die in verschiedenen Kulturen und gegen unterschiedliche Schaderreger eingesetzt werden können.

Dass der gesunkene PSM-Absatz nicht einfach auf einen Rückgang der Produktionsflächen zurückzuführen ist, lässt sich anhand der in Abbildung 3 gezeigten Entwicklung der Ackerflächen im Zeitraum von 1990/92 bis 2002 belegen. Demnach blieb die gesamte Ackerfläche in der Schweiz in etwa konstant, bei einer leichten Zunahme der Flächen an Kunstwiesen, primär auf Kosten der Getreidefläche (Rückgang um ca. 15%). Insgesamt ist also die (intensiv bewirtschaftete) offene Ackerfläche deutlich weniger stark zurückgegangen, als der Absatz an PSM. Neben dem Rückgang der Getreideflächen hat aber mit der Einführung des Extenso-Programmes im Getreide und Raps auch eine Reduktion des PSM-Einsatzes auf einem Teil dieser Flächen stattgefunden, was Reduktion des PSM-Verbrauches wenigstens zum Teil erklären kann.

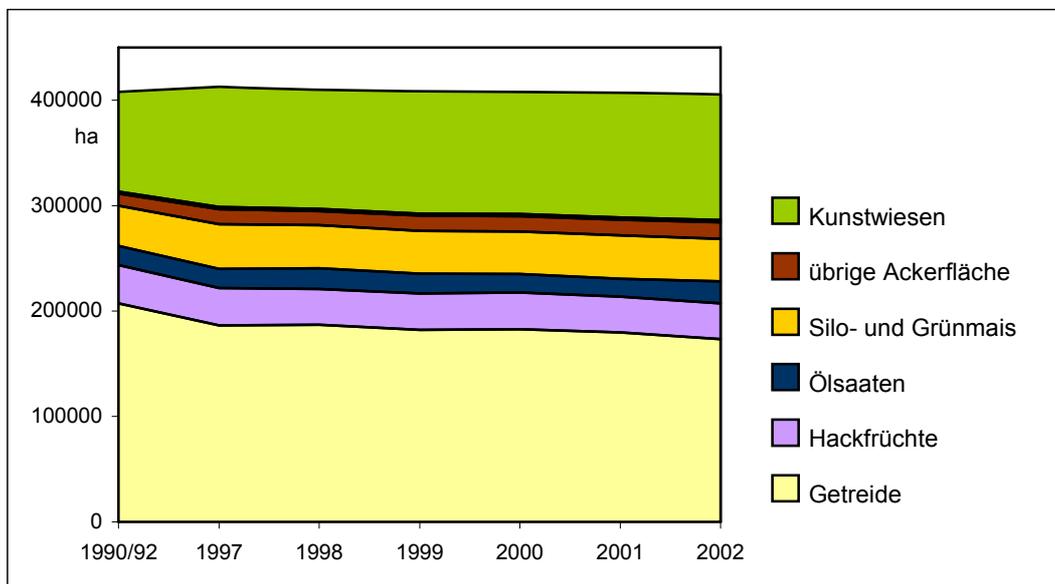


Abbildung 3: Entwicklung der offenen Ackerfläche in der Schweiz seit 1990/92 ([46]).

5. Ergebnisse der Evaluationsprojekte, Teilbereich PSM

5.1. PSM-Verbrauchserhebungen in den Einzugsgebieten des Baldegger-, Greifen- und Murtensees

5.1.1. Untersuchungskonzept

Die beiden landwirtschaftlichen Beratungszentralen LBL und SRVA wurden vom Bundesamt für Landwirtschaft beauftragt, während mehrerer Jahre (1997 bis 2003) in den Einzugsgebieten des Greifen-, Murten- und Baldeggersees repräsentative Daten über das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln durch die Landwirtschaft zu erheben. Mit diesen Erhebungen sollte die Entwicklung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln unter dem Einfluss der laufenden Agrarreform verfolgt werden. Die Erhebungen sollten zeigen, welche Substanzen in welchen Mengen auf welche Kulturen und zu welchen Zeitpunkten in den einzelnen Regionen ausgebracht wurden. Die Ergebnisse sollen zudem in Beziehung gesetzt werden mit den durch regelmässige Wasseranalysen erhobenen Daten in den drei Seengebieten (siehe Abschnitt 5.2). Die Daten wurden in einem ausführlichen Schlussbericht zusammengestellt und ausgewertet [47].

Die Datenerhebung basierte grundsätzlich auf bestehenden Aufzeichnungsgrundlagen wie Feldkalender, ÖLN-Kalender und anderen gängigen Produkten. Die Datenerfassung erfolgte mit dem eigens für das Projekt entwickelten Computer-Programm „Phytodat“. Die Daten wurden in einer Access-Datenbank abgespeichert. Für die Auswertung wurden die Produktmengen in Wirkstoffmengen umgerechnet und dann für die einzelnen Einzugsgebiete und Kulturen hochgerechnet.

Die Auswahl der Betriebe erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Aufgrund des eher schlechten Rücklaufes von Angaben aus Bio- und konventionell wirtschaftenden Betrieben basierte die Auswertung primär auf Daten aus IP-, resp. ÖLN-Betrieben. Während der Jahre 1997 bis 2003 wurden jährlich die Daten von zirka 400 Landwirtschaftsbetrieben erfasst. Pro Betrieb wurden sämtliche Kulturen erfasst, wobei pro Kultur jeweils nur die grösste Parzelle ausgewertet wurde, um den Datenbestand und den Aufwand bei der Datenerfassung möglichst tief Niveau zu halten. Die Annahme, dass die übrigen Parzellen mit den gleichen

Kulturen innerhalb eines Betriebes in der Regel gleich bewirtschaftet wurden, scheint jedoch plausibel.

5.1.2. Bedeutung der Kulturen in den Einzugsgebieten und Umfang der Stichproben

In allen untersuchten Einzugsgebieten beanspruchen Grünflächen (unter dieser Bezeichnung sind sowohl Dauergrünflächen als auch Kunstwiesen zusammengefasst) mit 51 bis 74% den grössten Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN), gefolgt von Getreide (13 bis 28%) und Mais (7 bis 9%). Der Anteil an Hackfrüchten ist mit 11% der LN im Einzugsgebiet des Murtensees deutlich grösser als in den anderen beiden Gebieten.

Tabelle 1: Anteile der verschiedenen Kulturen in den drei untersuchten Einzugsgebieten (Durchschnitt über die Jahre 1997 bis 2003).

Kulturen	Baldeggersee	Greifensee	Murtensee
Grünflächen	74%	69%	51%
Getreide (ohne Mais)	14%	13%	28%
Mais	7%	9%	8%
Hackfrüchte	3%	3%	11%
übrige	2%	6%	2%

Der Umfang der Stichproben je Kultur ist eine Schlüsselgrösse, die darüber bestimmt, ob der PSM-Verbrauch in dieser Kultur ausreichend genau erfasst werden kann. Von den Autoren der Untersuchung wurde eine Stichprobe von 10 erfassten Parzellen als ausreichend für eine statistisch signifikante Bestimmung des PSM-Verbrauches angesehen. Je nach Einzugsgebiet und Erhebungsjahr erfüllten 5 bis 12 Kulturen diese Anforderung, wobei die höhere Anzahl generell für das Einzugsgebiet des Murtensees gilt, da dort doppelt so viele Betriebe erfasst wurden wie in den beiden anderen Gebieten. Die Kulturen, die in allen Einzugsgebieten in allen Erhebungsjahren mit genügend hoher Genauigkeit erfasst wurden, sind Grünfläche, Mais, Weizen und Gerste.

Bei genauerer Betrachtung sind allerdings weitere Einschränkungen nötig, da viele PSM-Wirkstoffe bei weitem nicht auf jeder Parzelle, oftmals nicht einmal auf jeder zehnten Parzelle angewendet werden. Beispielsweise werden im Weizen nur auf einem Teil der Parzellen Fungizide eingesetzt. Für eine Behandlung eines bestimmten Krankheits-

komplexes stehen ausserdem in der Regel verschiedene gleichwertige Produkte zur Verfügung, die ganz unterschiedliche Wirkstoffe enthalten können. Analog können, je nach Unkrautbestand, auch unterschiedliche Herbizide eingesetzt werden, etc. Deshalb ist die Grenze für die statistisch signifikante Erfassung von Wirkstoffen nochmals deutlich höher anzusetzen. Entsprechend dürfte auch der PSM-Verbrauch in den Einzugsgebieten nur für die meistverwendeten Wirkstoffe ausreichend genau erfasst worden sein und die nachfolgende Diskussion wird sich deshalb vorwiegend auf diese Wirkstoffe beschränken.

5.1.3. Wirkstoffeinsatz gesamt und nach Spritzmittelgruppen

Entsprechend der Grösse der Einzugsgebiete, resp. der LN innerhalb der Einzugsgebiete, ist der Gesamtverbrauch an PSM in den drei Gebieten recht unterschiedlich. Ebenfalls recht unterschiedlich ist der Anteil der verschiedenen Biozidgruppen am Gesamtverbrauch (siehe Tabelle 2). Auffällig hoch ist der Anteil der Herbizide am Gesamtverbrauch im Verhältnis zum Schweizerischen Durchschnitt (ca. 50%, siehe Abschnitt 4), insbesondere im Einzugsgebiet des Greifensees.

Tabelle 2: PSM-Verbrauch (1997 bis 2003) und Anteil der verschiedenen Biozidgruppen in den Seeneinzugsgebieten

	Baldeggersee	Greifensee	Murtensee
Gesamtverbrauch	3.4 - 4.6 t	3.3 - 4.3 t	63 - 75 t
Anteil Herbizide	63 - 78%	80 - 83%	59 - 66%
Anteil Fungizide	10 - 23%	7 - 13%	29 - 33%
übrige	8 - 21%	7 - 12%	5 - 9%

Ein klar abnehmender Trend beim Gesamtverbrauch konnte lediglich im Einzugsgebiet des Murtensees festgestellt werden, der sowohl auf einer leichten Zunahme des Grünlandanteils, als auch einer geringfügigen Abnahme der Pflanzenschutzintensität basierte. Die Autoren mutmassen, dass die grössten Veränderungen im PSM-Einsatz, sowohl qualitativ wie quantitativ, bereits vor 1997 stattfanden, sodass im Erhebungszeitraum lediglich eine gewisse Konsolidierung erfolgte. Dies deckt sich auch in etwa mit den Daten zum PSM-Verkauf in der Schweiz.

5.1.4. PSM-Einsatz in verschiedenen Kulturen

Grosse Unterschiede bestehen beim PSM-Einsatz in verschiedenen Kulturen (Tabelle 3). Sowohl bezüglich der eingesetzten Mengen, als auch der Anzahl Behandlungen ist der Kartoffelanbau unter den Feldbaukulturen am intensivsten, gefolgt von Zuckerrüben und Getreide. Entsprechend hoch ist auch der Anteil von Kartoffeln am Gesamtverbrauch an PSM, obschon diese Kultur nur etwa 3% der LN im Einzugsgebiet des Murtensees belegt. Ähnlich intensiv wie der Kartoffelanbau bezüglich PSM-Einsatz dürften jedoch Dauerkulturen wie Kern- und Steinobst oder Weinbau sein (in Tabelle 3 nicht aufgeführt, da zu kleine Stichprobe).

Der technische Fortschritt in Bezug auf die Anzahl Behandlungen ist klar ersichtlich, da diese in der Praxis im Durchschnitt z.T. tiefer waren als im Jahr 1994 durch eine vom BLW eingesetzten Arbeitsgruppe festgehaltenen Stand der Technik (zitiert in Ref. [47]).

Tabelle 3: Vergleich von Wirkstoffeinsatz, Anzahl Behandlungen und Anteil ausgewählter Kulturen am Gesamtverbrauch an PSM im Einzugsgebiet des Murtensees (durchschnittliche Werte für den Zeitraum 1997 bis 2003)

	Durchschnittlicher Wirkstoffeinsatz (kg/ha)	Durchschnittliche Anzahl Behandlungen	Anteil an LN (%)	Anteil am Gesamt- verbrauch von PSM (%)
Weizen	1.8	2.2	19	23
Gerste	1.8	1.5	6.1	7
Triticale	1.1	1.5	1.7	2
Raps	1.6	1.8	2.4	3
Mais	1.2	1.1	8.3	7
Kartoffeln	11.9	5.5	2.8	25
Zuckerrüben	4.8	3.7	3.7	13
Grünfläche	< 0.1	1.0	51	1

5.1.5. Die mengenmässig wichtigsten Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Seen

Unter den mengenmässig wichtigsten Wirkstoffen finden sich in allen drei Einzugsgebieten vorwiegend Herbizide und, im Fall des Murtensees, einige Fungizide. Die mengenmässig wichtigsten Herbizid-Wirkstoffe waren über alle Gebiete gesehen Isoproturon, Atrazin, Metamitron, Asulam, Glyphosat, Mecoprop-P und MCPA. Insbesondere im Einzugsgebiet

des Baldeggersees nahm die Bedeutung von Glyphosat im Zeitraum von 1997 bis 2003 stark zu, was auf eine Zunahme des Anteils an bodenschonenden Anbauverfahren in diesem Gebiet deutet. Unter den mengenmässig wichtigsten Fungiziden führt Mancozeb die Liste klar an, gefolgt von Chlorothalonil, Maneb, Folpet und Prochloraz. Die Reihenfolge ist derjenigen aus der PSM-Verkaufsstatistik für die ganze Schweiz (Abschnitt 4) sehr ähnlich.

Zwischen den Gebieten gibt es gewisse Unterschiede in der relativen Bedeutung der Wirkstoffe, die einerseits auf einem leicht unterschiedlichen Anteil an den verschiedenen Kulturen basieren, andererseits aber auch zeigen, dass die unterschiedliche Präsenz der verschiedenen PSM-Firmen einen entscheidenden Einfluss auf die Auswahl der Wirkstoffe hat.

5.2. PSM-Konzentrationen und -Einträge in Oberflächengewässern

5.2.1. Untersuchungskonzept

In diesem Teilprojekt der Evaluation sollten die Auswirkungen der Ökomassnahmen auf die Belastung der Oberflächengewässer mit Pflanzenschutzmitteln untersucht werden. Im Vordergrund standen dabei die Bestimmung der PSM-Konzentrationen in ausgewählten Seen und die Berechnung der jährlichen Einträge (Frachten) als Mass für die Gewässerbelastung. Durch Vergleich der jährlichen Einträge mit dem PSM-Verbrauch in den jeweiligen Einzugsgebieten sollten ausserdem gewisse Zusammenhänge zwischen Anwendung und Einträgen herausgearbeitet werden, die Aufschluss darüber geben könnten, welches die wichtigsten Einflussgrössen sind, die das Ausmass der Einträge bestimmen. Die Erarbeitung von Ursache–Wirkungsbeziehungen zwischen PSM-Einträgen in Gewässer und einzelnen Elementen des ÖLN, war dabei nicht vorgesehen.

Wie diverse Studien zeigen, sind die Konzentrationen von PSM in Fliessgewässern (Bäche, Flüsse) sehr starken Schwankungen unterworfen (siehe z.B. Referenzen [33, 37, 48, 49]). Um PSM-Frachten in Fliessgewässern hinreichend genau berechnen zu können, muss deshalb eine grosse Anzahl von Wasserproben untersucht werden, was mit grossem Aufwand verbunden ist. Seen sind besser geeignet, da sie integrierend wirken und kurzfristige Schwankungen der PSM-Konzentrationen in den Zuläufen ausgleichen. Die in einen See eingetragenen Mengen an PSM können deshalb mit einer relativ geringen Anzahl von Proben recht genau erfasst werden [50, 51]. Aus diesen Gründen wurden verschiedene Schweizer Mittellandseen für diese Feldstudie ausgewählt und von 1997 bis 2003 intensiv untersucht.

Die Auswahl von Seen als Untersuchungsobjekte hat jedoch nicht nur Vorteile. Während vor allem in kleinen Fließgewässern kurzzeitig recht hohe PSM-Konzentrationen auftreten können, z.B. während grösseren Regenereignissen, sind die erwarteten Konzentrationen in Seen, auch kurz nach grösseren Einträgen, eher tief, im Bereich von wenigen Nanogramm (ng, Milliardstel Gramm) pro Liter. Deshalb sind für die Untersuchung nicht nur sehr empfindliche Nachweismethoden erforderlich, sondern es wird dadurch auch die Auswahl an Stoffen, die untersucht werden können, deutlich eingeschränkt auf solche, die auf einem grossen Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Einzugsgebiet eingesetzt werden. Dies sind insbesondere Herbizide, die in Kulturen mit hohem Flächenanteil zugelassen sind, beispielsweise im Getreide- oder Maisanbau. Diese notwendige Einschränkung und die sich daraus ergebenden Konsequenzen werden in Abschnitt 7.2 diskutiert.

5.2.2. Untersuchte Seen

Für die mehrjährige Feldstudie wurden der Baldeggersee, Greifensee, Murtensee, Sempachersee und der Zürichsee ausgewählt, wobei nicht alle Seen gleich detailliert untersucht wurden. In Abbildung 4 sind diese Seen mit ihren Einzugsgebieten in einer Karte der Schweiz eingezeichnet. Die Auswahl dieser Seen ist natürlich nicht unbedingt repräsentativ für die "Situation Schweiz", da zu viele Faktoren, die das Auftreten von PSM in Gewässern beeinflussen, variieren.

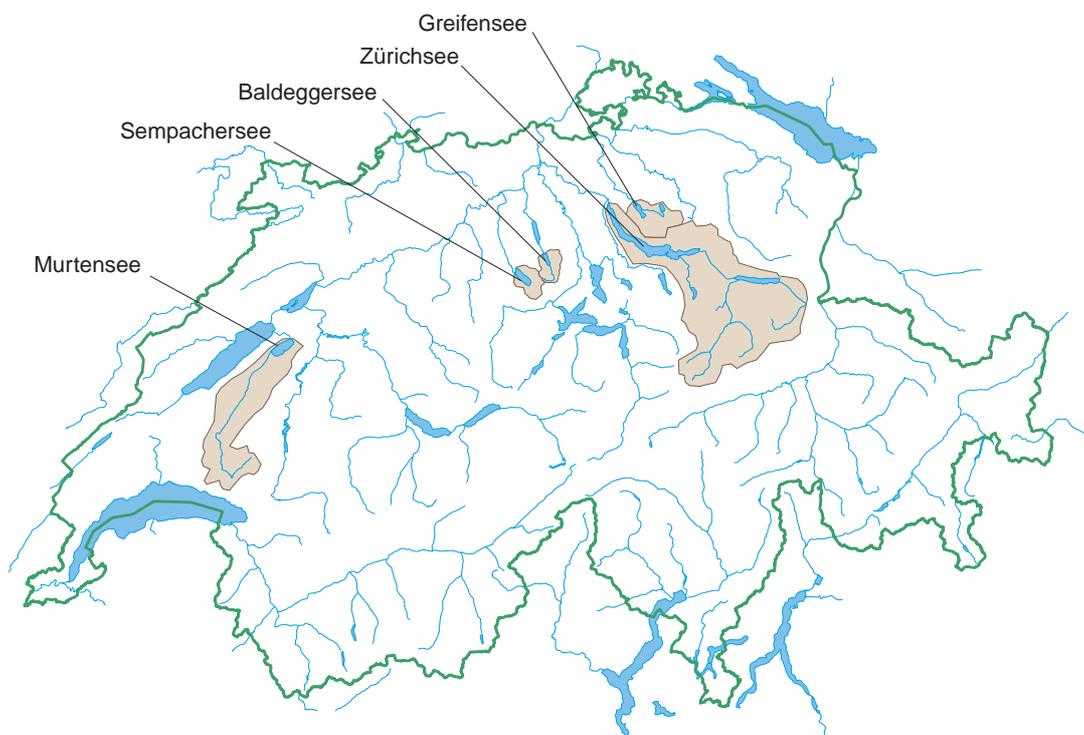


Abbildung 4: Karte mit den Einzugsgebieten der untersuchten Seen.

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl war die Einbettung in bestehende Untersuchungsprogramme, die einerseits die Probenahme erleichterte und andererseits sicherstellte, dass neben den PSM-Konzentrationen weitere für die Wasserqualität wichtige Parameter erfasst werden. Weitere Kriterien, waren die Grösse, geographische Lage, Grösse des Einzugsgebietes, durchschnittliche Wasseraufenthaltsdauer, Bevölkerungsdichte und der Anteil an Landwirtschaft. In Tabelle 4 sind einige hydrologische und andere Daten zu diesen Seen aufgeführt. An der FAW wurden der Baldeggersee und der Zürichsee detailliert untersucht, an der EAWAG vor allem der Greifensee und, etwas weniger detailliert, auch der Murtensee und der Sempachersee.

Tabelle 4: Charakteristische Daten zu den untersuchten Seen¹⁾

	Einheit	Greifensee	Murtensee	Sempacher-	Baldegger-	Zürichsee
<i>Morphologie</i>						
Volumen	10 ⁸ m ³	1.5	5.5	6.4	1.73	33
Oberfläche	10 ⁶ m ²	8.5	22.8	14.4	5.2	67
max. Tiefe	m	32	45	87	66	136
<i>Hydrologie</i>						
mittl. Wasserdurchfluss (Q)	m ³ /s	4.3	10.8	1.3	1.3	94.5
mittl. Wasseraufenthaltszeit	Jahre	1.1	1.6	15	4.2	1.1
<i>Einzugsgebiet</i>						
Fläche	km ²	167	693	61	69	1760
Einwohner		100'000	75'800	12'000	10'000	350'000
Einwohner/Q ²⁾	P s/m ³	23'256	7'019	9'230	7'692	3'704
Anzahl landw. Betriebe ³⁾		756	2'244	-	697	-
Landw. Nutzfläche ³⁾	ha	8'664	52'202	-	10'802	-

1) Daten aus Referenz [52]

2) Anzahl Einwohner, normiert auf den mittleren Abfluss, als Mass für die Belastung des Gewässers mit Siedlungsabwässern. Je grösser ein Wert, desto höher die Belastung mit Abwasser.

3) AGIS-Daten 1997, Angaben aus Ref. [47]. Daten zum Sempacher- und Zürichsee wurden nicht zusammengestellt, da für diese Seen keine PSM-Verbrauchserhebungen durchgeführt wurden.

Baldeggersee und Sempachersee sind charakterisiert durch recht kleine, ländliche Einzugsgebiete mit relativ geringer Siedlungsdichte und relativ langsamen

Wasseraustausch. Dies führt dazu, dass die Seen, insbesondere der Sempachersee, mit einer Wasseraufenthaltszeit von 15 Jahren, ein relativ langes „Gedächtnis“ haben, bzw. dass sich Änderungen in der Belastung mit PSM erst mit einiger Verzögerung auf die Konzentrationen im See auswirken, mit Ausnahme von saisonalen Spitzen im Oberflächenwasser im Sommer. Die v.a. in der Vergangenheit recht hohe Belastung mit Nährstoffen hat zu einer starken Eutrophierung (Überdüngung) dieser beiden Seen geführt. Der Baldeggersee wie auch der Sempachersee werden daher seit 1982, resp. 1984 künstlich belüftet, weisen aber im Sommer im Tiefenwasser immer noch zeitweise sehr tiefe Sauerstoffkonzentrationen auf. Obwohl die Zufuhr an Phosphor in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden konnte, übersteigt die jährliche Zufuhr die für gesunde Seen tolerierbare Menge immer noch bei weitem [53, 54].

Greifensee, Murtensee und Zürichsee zeichnen sich durch deutlich rascheren Wasseraustausch aus. In diesen Seen wirken sich Änderungen in der Belastung mit Fremdstoffen deshalb deutlich rascher auf die Konzentrationen im Seewasser aus. Die Seen unterscheiden sich untereinander sowohl in der Grösse als auch im Charakter ihrer Einzugsgebiete. Während der Murtensee ein eher ländliches Einzugsgebiet mit viel landwirtschaftlicher Produktionsfläche, insbesondere Futterbau aufweist, sind der Greifen- und Zürichsee deutlich stärker mit Siedlungsabwässern belastet. Der Greifensee ist bezüglich Siedlungsabwässern, gemessen am Verhältnis der Anzahl Einwohner im Einzugsgebiet zu abfließender Wassermenge, der am stärksten belastete grössere See in der Schweiz. Deshalb ist beim Greifensee auch mit der höchsten Belastung durch PSM aus nichtlandwirtschaftlichen Quellen zu rechnen. Beim Zürichsee, mit ebenfalls recht hoher Einwohnerzahl im Einzugsgebiet, wird diese Belastung dadurch etwas gemildert, dass diesem See auch viel sauberes Wasser aus alpinen Regionen zuströmt und so Einträge von Fremdstoffen relativ stark verdünnt werden.

Im Projektverlauf wurde entschieden, dass Baldegger-, Greifen- und Murtensee als Hauptuntersuchungsgebiete dienen sollten. Um die finanziellen und personellen Mittel für die PSM-Verbrauchserhebungen (siehe Abschnitt 5.1) möglichst gewinnbringend einzusetzen, wurden diese Erhebungen nur in den Einzugsgebieten dieser drei Seen durchgeführt. Die beiden anderen Seen wurden weniger prioritär behandelt. Beim Sempachersee wurden nur sporadisch Messungen durchgeführt, da sich die mittleren Konzentrationen im See wegen der langen Wasseraufenthaltszeit nur sehr langsam ändern. Aus dem gleichen Grund sind die jährlichen PSM-Einträge im Vergleich zur Menge im See recht gering, sodass die Berechnung der Einträge sehr ungenau ausfallen würde. Beim Zürichsee sprachen die generell tiefen PSM-Konzentrationen im See gegen eine allzu aufwendige Auswertung der

Messdaten. Das Einzugsgebiet des Zürichsees ist zudem sehr gross, sodass repräsentative Verbrauchserhebungen in diesem Gebiet auch sehr aufwendig geworden wären.

5.2.3. Auswahl der PSM Zielverbindungen

Angesichts der Vielzahl von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen, die in der Schweiz zugelassen sind (ca. 400 Verbindungen in ca. 1800 Produkten), sowie einer noch grösseren Zahl von möglichen Um- und Abbauprodukten, musste eine Auswahl für die Untersuchung getroffen werden, die einerseits möglichst viele mengenmässig wichtige Stoffe erfasst und die andererseits eine Untersuchung mit möglichst wenig verschiedenen, selektiven und empfindlichen analytischen Methoden mit Nachweisgrenzen im tiefen ng/L-Bereich, erlaubt. Anfänglich wurden ca. 30 Verbindungen aus verschiedenen Stoffgruppen, vor allem Herbizide, sowie einige Fungizide und Metaboliten, in das Messprogramm aufgenommen, welche ca. 30-45% der in den Einzugsgebieten der drei Seen eingesetzten Menge an Wirkstoffen ausmachen. Im Projektverlauf wurden bei einigen Seen verschiedene Stoffe aus dem Programm gestrichen, da sie über einen längeren Zeitraum nicht nachgewiesen werden konnten, aber auch andere aufgenommen, sodass zeitweise bis zu 50 Verbindungen untersucht wurden.

Von den ins Messprogramm aufgenommenen *Herbiziden* gehören Atrazin, Isoproturon (nicht über den ganzen Zeitraum erfasst), MCPA, Mecoprop, Metamitron und Metolachlor zu den 20 gemäss SGCI-Marktstatistik mengenmässig wichtigsten PSM-Wirkstoffen. Von den in dieser 20er-Liste aufgeführten Herbiziden sind es ausserdem die einzigen, für welche zu Beginn der Untersuchung ausreichend empfindliche Nachweismethoden zur Verfügung standen.

5.2.4. PSM-Konzentrationen in den untersuchten Seen

In Tabelle 5 sind die in den verschiedenen Seen im Zeitraum 1997-2003 bestimmten PSM-Konzentrationen zusammengefasst. Die ausführlichen Resultate sind in den jeweiligen Abschlussberichten [27, 55] aufgeführt. In allen Seen wurden PSM regelmässig nachgewiesen, wobei die Konzentrationen im tiefen ng/L (Milliardstel Gramm pro Liter) Bereich lagen, und nur im Fall von Atrazin und sporadisch auch von Desethylatrazin den Trinkwassertoleranzwert von 100 ng/L überschritten, was auf eine sehr gute Wasserqualität dieser Seen (in Bezug auf die untersuchten PSM) hinweist. Neben den in Tabelle 5 aufgeführten Verbindungen wurden zeitweise 20 bis 40 weitere PSM in Wasserproben analysiert, konnten jedoch nicht oder nur sporadisch nachgewiesen werden. In den

Bergseen, die zu Vergleichszwecken untersucht wurden, konnten mit ganz wenigen Ausnahmen keine PSM nachgewiesen werden.

Die Konzentrationen der meisten Verbindungen waren in allen Seen, abgesehen vom Zürichsee, recht ähnlich. Im Zürichsee wurden, bedingt durch den vergleichsweise raschen Wasseraustausch, wesentlich tiefere Konzentrationen gefunden. Eine Ausnahme ist jedoch das Herbizid Mecoprop welches auch im Zürichsee in auffällig hohen Konzentrationen auftrat, für die jedoch hauptsächlich nicht-landwirtschaftliche Quellen verantwortlich sein dürften (vergl. Abschnitte 3.1 und 3.3).

Tabelle 5: PSM-Konzentrationen in den untersuchten Seen (ng/L):

		Baldegger ¹⁾ -	Greifen ²⁾ -	Murten ²⁾ -	Sempacher ^{2,3)}	Zürichsee ¹⁾
<i>Triazine</i>	Atrazin	62 - 250	48 - 123	69 - 171	109 - 125	3 - 18
	Desethylatrazin ²⁾	26 - 130	43 - 60	34 - 51	80 - 105	1 - 10
	Simazin	11 - 84	7 - 13	10 - 28	19 - 24	1 - 7
	Propazin	1 - 6	- ⁴⁾	-	-	< 1 - 4
	Terbutylazin	5 - 34	11 - 14	7 - 13	11 - 13	1 - 10
<i>Acetanilide</i>	Metolachlor	3 - 34	3 - 10	3 - 22	< 3	1 - 2
	Dimethenamid	< 2 - 2	2 - 4	< 2	< 2	< 2
<i>Säuren</i>	Mecoprop	6 - 55	26 - 43	21 - 43	8 - 14	3 - 27
	MCPA	4 - 57	10 - 24	15 - 32	8 - 9	1 - 9
	Dicamba	1 - 51	-	-	-	< 1 - 3
	2,4-D	1 - 10	5 - 7	12 - 31	4 - 6	1 - 4
<i>Phenylharnstoffe</i>	Isoproturon	-	3 - 18	13 - 96	< 3	-
	Diuron	-	9 - 18	19 - 29	7 - 9	-
	Chlortoluron	-	< 3	3 - 23	< 3	-

1) Daten von April 1997 bis Dezember 2003

2) Daten von Januar bis September 2000

3) es wurden nur Tiefenprofile im März und September gemessen

4) „-“ bedeutet, dass keine Daten zur Verfügung stehen

Die PSM-Konzentrationen in Seen unterliegen ausgeprägten saisonalen und räumlichen Schwankungen, die bedingt sind durch Applikation der Wirkstoffe im Feld in einem bestimmten, oftmals engen Zeitfenster, sowie durch saisonal unterschiedliche Wasserkirkulation im See. Die Verknüpfung mit dem Applikationszeitpunkt ergibt sich aus der Tat-

sache, dass praktisch alle heute eingesetzten PSM im Boden rasch bis mässig rasch abgebaut werden und somit nur während einer gewissen Zeit nach Applikation im Boden in nennenswerter Konzentration vorliegen resp. aus dem Boden ausgewaschen werden können. In Abbildung 5 sind zur Illustration der saisonalen Schwankungen die Konzentrationsverläufe von Atrazin, Metolachlor und Dicamba im Baldeggersee in den Jahren 1997-2003 dargestellt. Alle drei Herbizide werden primär im Frühjahr angewendet, sodass Einträge in diesem Zeitraum zu erwarten sind. Die mit diesen Einträgen verbundenen Konzentrationsanstiege im See sind in Abbildung 5 deutlich zu erkennen. Ausserdem ist zu erkennen, dass diese Konzentrationsanstiege von Jahr zu Jahr mehr oder weniger stark ausfallen können.

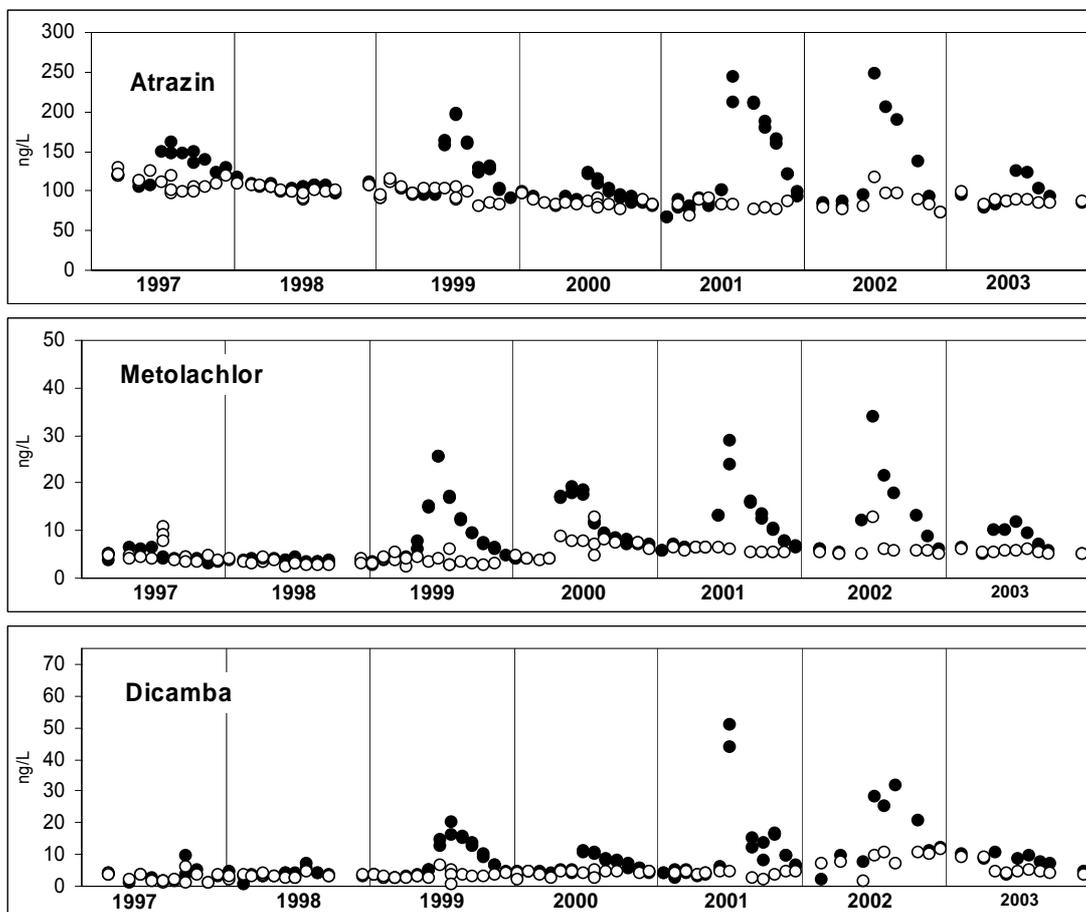


Abbildung 5: Konzentrationen von Atrazin, Metolachlor und Dicamba im Baldeggersee in den Jahren 1997 – 2003 in 1-2.5 m Tiefe (volle Kreise) und 20 m Tiefe (leere Kreise).

Die räumliche Verteilung von PSM (und anderen Stoffen) in Seen ist in hohem Mass abhängig von der Durchmischung des Sees. Während die horizontale Mischung in den untersuchten Seen relativ rasch (innerhalb von Tagen) erfolgt, ist die Durchmischung in der Vertikalen je nach Jahreszeit deutlich langsamer. Typische Seen im Schweizerischen

Mittelland zeigen im Sommerhalbjahr (Mai-September) eine ausgeprägte Schichtung als Folge der Erwärmung des Oberflächenwassers. Es bildet sich eine gut durchmischte Oberflächenschicht aus, die sich nur sehr geringfügig mit dem kalten Tiefenwasser mischt. In diesem Zeitraum gelangen PSM und andere Verbindungen, die mit Bächen in den See eingetragen werden, zum grössten Teil in die Oberflächenschicht. Deshalb nehmen die Konzentrationen der in Abbildung 5 gezeigten Herbizide im Frühjahr lediglich in der Oberflächenschicht zu, während sie in grösserer Tiefe nahezu gleich bleiben. Erst im Spätherbst, wenn sich das Oberflächenwasser stark abgekühlt hat und kräftige Winde die Zirkulation begünstigen, wird der See auch vertikal vollständig durchmischt.

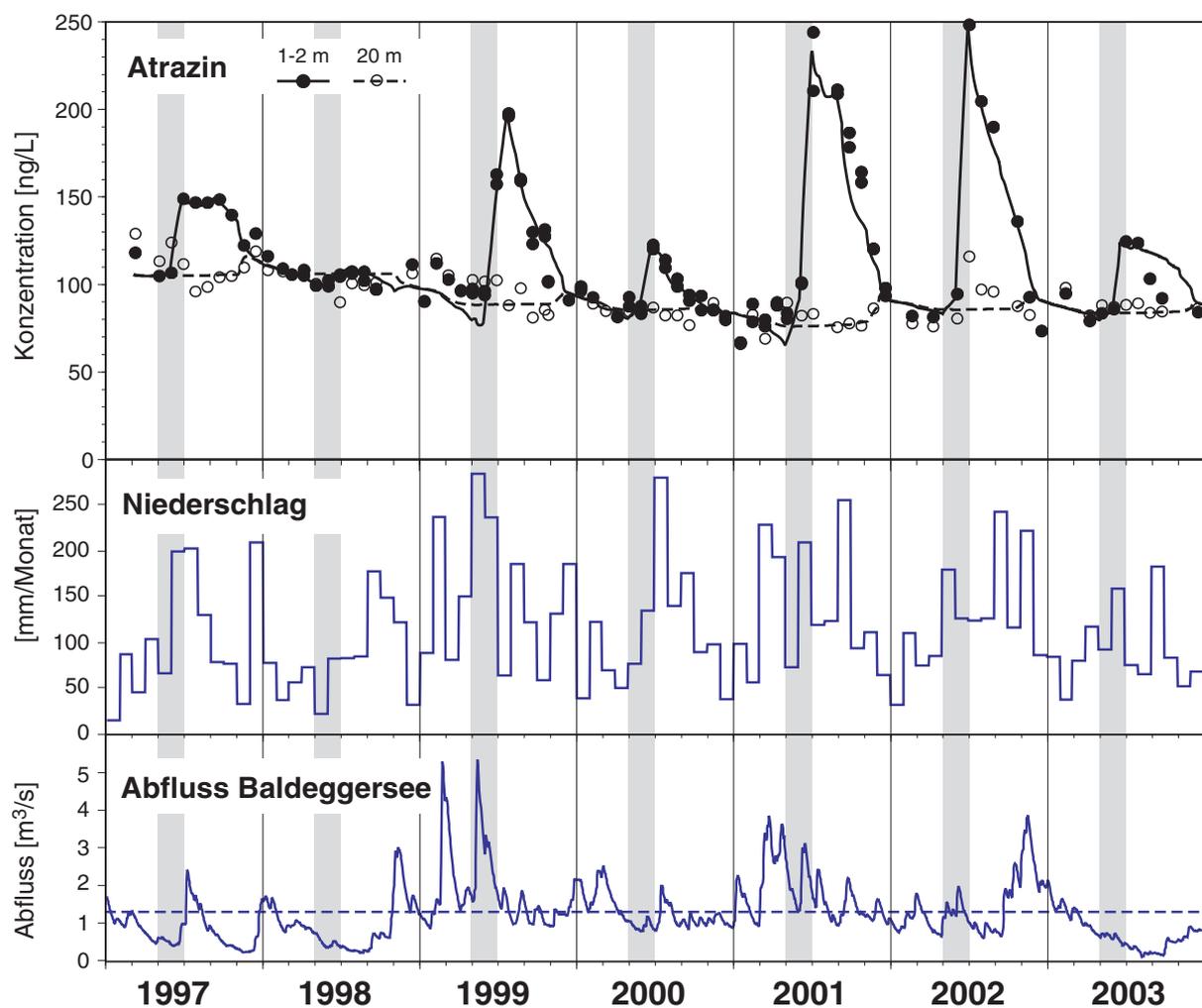


Abbildung 6: Konzentrationen von Atrazin in verschiedenen Wassertiefen im Baldeggersee (oben), sowie die monatlichen Niederschläge (Mitte) und Abfluss des Baldeggersees (unten). Die Zeiträume, in denen Atrazin jeweils im Feld appliziert wurde, sind grau schattiert. Die gestrichelte Linie unten entspricht dem durchschnittlichen Abfluss.

Diffuse Einträge von Herbiziden in Gewässer über oberflächliche Abschwemmung und Drainagen sind prinzipiell gekoppelt an Niederschläge (vergl. Abschnitt 3.2). Für beide Eintragswege ist eine minimale Regenmenge (und -intensität) erforderlich, bevor diese eine Rolle spielen können. Es ist deshalb wenig verwunderlich, dass der Anteil an applizierter PSM Menge, welcher in die Gewässer gelangt, abhängig ist von den Niederschlagsmengen in einem bestimmten Zeitraum nach der Applikation [33, 38, 56]. Qualitativ lässt sich diese Abhängigkeit zeigen anhand des Konzentrationsverlaufs im See im Vergleich zu den monatlichen Niederschlagsmengen, resp. zum Abfluss aus dem See (als Mass für die Niederschläge), wie in Abbildung 6 anhand von Atrazin im Baldeggersee dargestellt. In "trockenen" Jahren (1998, 2000 und 2003) mit eher geringeren Niederschlägen während und kurz nach der Applikation von Atrazin, sind auch die saisonalen Konzentrationsanstiege im See geringer als in "nassen" Jahren.

5.2.5. Wie haben sich die PSM-Konzentrationen in den untersuchten Seen entwickelt?

Verschiedene Triazin-Herbizide wurden auch schon früher in den hier untersuchten Seen, aber auch in weiteren, nachgewiesen [50, 51, 57]. Ein Vergleich der Konzentrationen von Atrazin, Simazin und Terbutylazin Ende der Achzigerjahre (Ref. [51]) mit denjenigen zu Beginn (1997) und am Ende (2003) der Evaluationsprojekte ist in Tabelle 6 aufgeführt. Insbesondere die Konzentrationen von Atrazin sind zwischen 1988/90 und 1997 deutlich zurückgegangen, was vermutlich auf wiederholte Aufwandmengenreduktionen von Atrazin (1998 und 1994), auf ein Verbot von Herbestanwendungen (1989), sowie auf ein Verbot der Anwendung auf Eisenbahntrassen (1989) zurückzuführen ist.

Tabelle 6: Konzentrationen (ng/L) verschiedener Triazine im Zürich- und Baldeggersee

	<i>Zürichsee</i>			<i>Baldeggersee</i>		
	1988/89	1997	2003	1988/89	1997	2003
Atrazin	32-67	6-12	3-7	200-300	100-160	73-136
Simazin	5-12	2-6	2-3	49-68	20-45	12-22
Terbutylazin	7-24	3-9	1-2	20-40	20-34	4-7

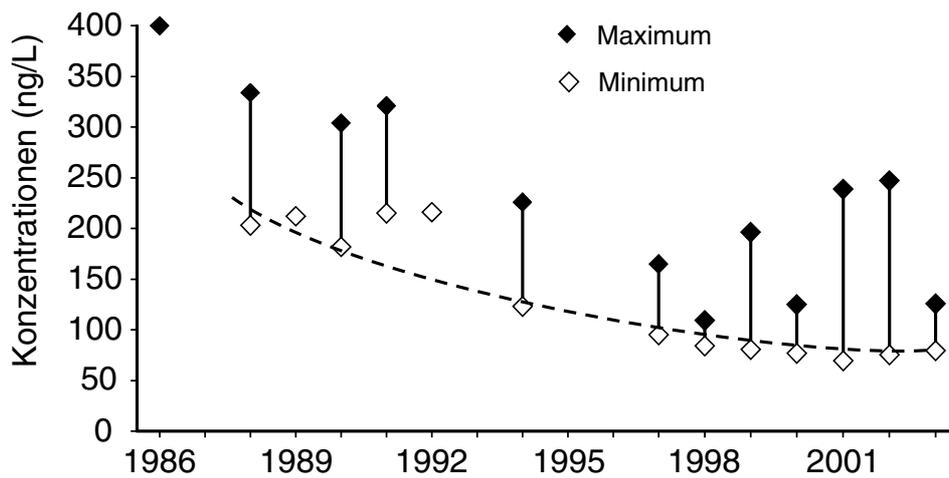


Abbildung 7: Konzentration von Atrazin im Baldeggersee kurz vor dem Eintrag (Minimum) und nach dem Eintrag (Maximum) im Mai/Juni in den Jahren 1986-2003

Die Entwicklung der Atrazin-Konzentrationen im Baldeggersee ist in Abbildung 7 dargestellt. Analog ist für den Greifensee der Rückgang der gesamten Atrazinnengen im See („Seeinhalte“) in Abbildung 8 dargestellt. In beiden Seen gingen die Konzentrationen bereits vor 1997 deutlich zurück, der Trend setzte sich jedoch zwischen 1997 und 2003 fort. Für die übrigen im Rahmen der Evaluationsprojekte untersuchten PSM-Wirkstoffe waren lediglich Daten für den Zeitraum 1997 bis 2003 verfügbar, die jedoch generell ebenfalls einen mehr oder weniger stark rückläufigen Trend aufwiesen.

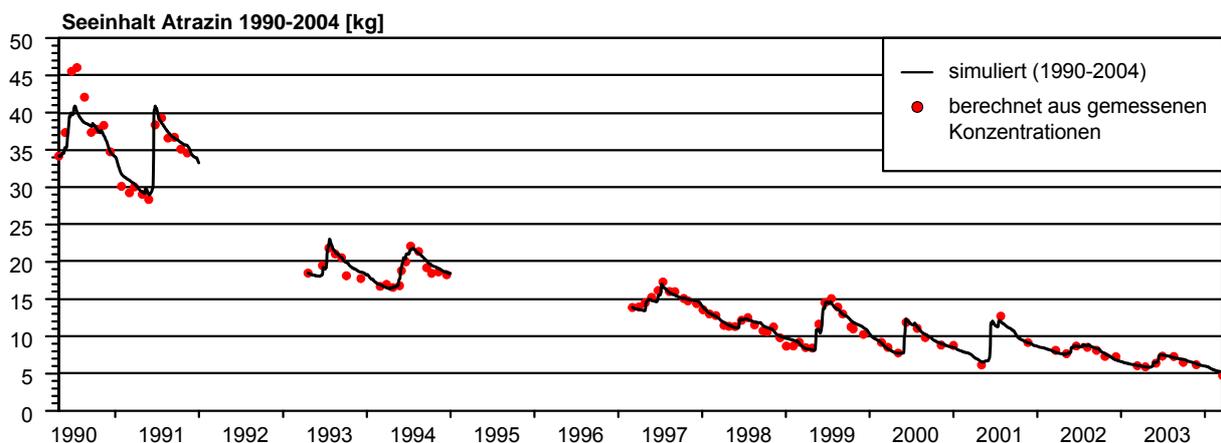


Abbildung 8: Mengen an Atrazin im Greifensee (in Kilogramm) im Zeitraum 1990 bis 2004.

5.2.6. PSM-Einträge in den Baldegger- Greifen- und Zürichsee

Für einige der im Baldegger-, Greifen- und Zürichsee bestimmten PSM wurden aus den gemessenen Konzentrationen die jährlichen Einträge (Frachten) bestimmt. Eine Auswahl dieser Frachten ist in Tabelle 7 aufgeführt (Originaldaten, vergl. Ref. [27, 55]). Frachten für weitere Stoffe in den drei Seen wurden für den gesamten Untersuchungszeitraum (1997 bis 2003) oder einen Teil davon berechnet. Die Auswertung der Daten im Murtensee wurde vorläufig noch zurückgestellt [55]. Für den Greifensee (nur Atrazin) standen ausreichend Daten zur Frachtberechnung auch für die Jahre 1990, 1991, 1993 und 1994 zur Verfügung. Die für die Frachtberechnung verwendeten Methoden reichen von sehr einfachen (Massenbilanz, im Zürichsee) bis zu hoch komplexen Modellen (Simulation unter Einbezug von Verdunstung und Seespiegelschwankungen, usw., wie im Greifensee).

Tabelle 7: Jährliche Einträge (Frachten in kg) ausgewählter PSM in den Baldegger-, Greifen- und Zürichsee.

	1990	1991	1993	1994	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Baldeggersee											
Atrazin	-	-	-	-	4.4	0.57	5.6	2.0	8.1	5.3	2.0
Terbuthylazin	-	-	-	-	0.23	0.09	0.32	0.09	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Metolachlor	-	-	-	-	0.13	0.078	1.0	0.98	1.0	0.99	0.26
Greifensee											
Atrazin	15.9	21.3	10.7	12.8	7.0	2.2	14.4	6.7	9.5	3.1	2.6
Zürichsee											
Atrazin	-	-	-	-	20	14	32	26	31	25	8.9

Die in Tabelle 7 aufgeführten jährlichen Einträge liegen, je nach Stoff und See, im Bereich von Gramm bis einigen Kilogramm. Diese Einträge führen in den Seen zu recht unterschiedlichen Konzentrationen, resp. Konzentrationsanstiegen. So sind beispielsweise die Einträge von Atrazin in den Zürichsee grösser als in die beiden anderen Seen. Durch die Verteilung auf eine grössere Wassermenge sind jedoch die Atrazin-Konzentrationen im Zürichsee ca. 10 mal tiefer.

Tabelle 8: Jährlich in den Baldegger- und Greifensee eingetragene PSM-Frachten, ausgedrückt in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Mengen.

	1990	1991	1993	1994	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Baldeggersee											
Atrazin	-	-	-	-	1.5	0.11	1.3	0.39	1.7	1.2	0.47
Metolachlor	-	-	-	-	0.87	0.20	0.95	1.2	1.92	0.90	0.23
Greifensee											
Atrazin	1.4	1.9	0.95	1.7	1.5	0.52	3.3	1.5	1.9	0.77	0.63

Mit Hilfe der Daten aus den Verbrauchserhebungen (vergl. Abschnitt 5.1) können die Einträge in den Greifensee und Baldeggersee normiert werden bezüglich des Verbrauches in den jeweiligen Einzugsgebieten/Jahren (Tabelle 8). Die jährlichen Einträge von Atrazin und Metolachlor lagen im Bereich von 0.2 bis 3.3% der in den Einzugsgebieten des Baldegger- und Greifensees applizierten Mengen. Es wurde also nur ein sehr geringer Teil der im Feld ausgebrachten PSM effektiv in die Gewässer eingetragen. Wie im Abschnitt 3.2 dargelegt, sind diffuse PSM-Einträge in Gewässer, über oberflächliche Abschwemmung oder Drainagen, eng verknüpft mit dem Niederschlag innerhalb eines begrenzten Zeitraumes nach der Applikation im Feld. Je grösser und je intensiver die Niederschläge, desto grössere Einträge werden erwartet.

Tatsächlich findet man den erwarteten Zusammenhang zwischen Einträgen verschiedener Stoffe und Niederschlägen, resp. den damit zusammenhängenden Wassermengen in den Zuläufen sowohl im Baldeggersee (Abbildung 9) als auch im Greifensee (Abbildung 10). Der grösste zwischen 1990 und 2003 beobachtete Eintrag an Atrazin in den Greifensee fand beispielsweise im Jahr 1999 statt, als im Mai besonders starke Niederschläge zu verzeichnen waren („Jahrhunderthochwasser“, Ref. [58]). Während beim Greifensee der Zusammenhang zwischen Niederschlägen (resp. Wassermenge im Zufluss) annähernd linear ist, mit relativ geringer Streuung, findet man beim Baldeggersee zwar auch eine Zunahme mit den Niederschlagsmengen, aber bei gleichzeitig grösserer Variabilität. Diese Unterschiede basieren möglicherweise auf der unterschiedlichen Grösse der beiden Einzugsgebiete.

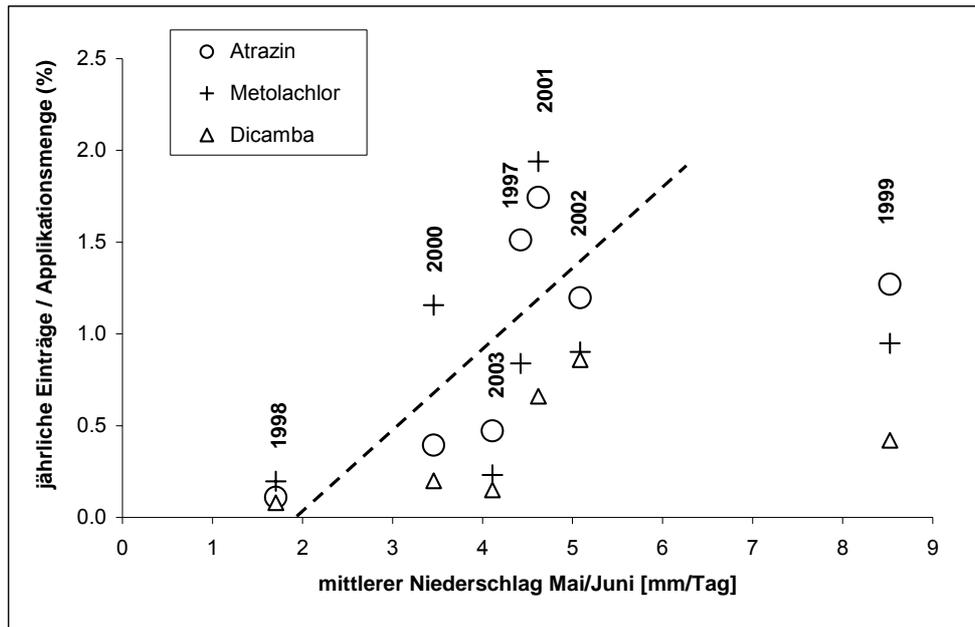


Abbildung 9: Jährliche PSM-Einträge (in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Mengen) in den Baldeggersee in Abhängigkeit der mittleren Niederschläge im Zeitraum Mai/Juni.

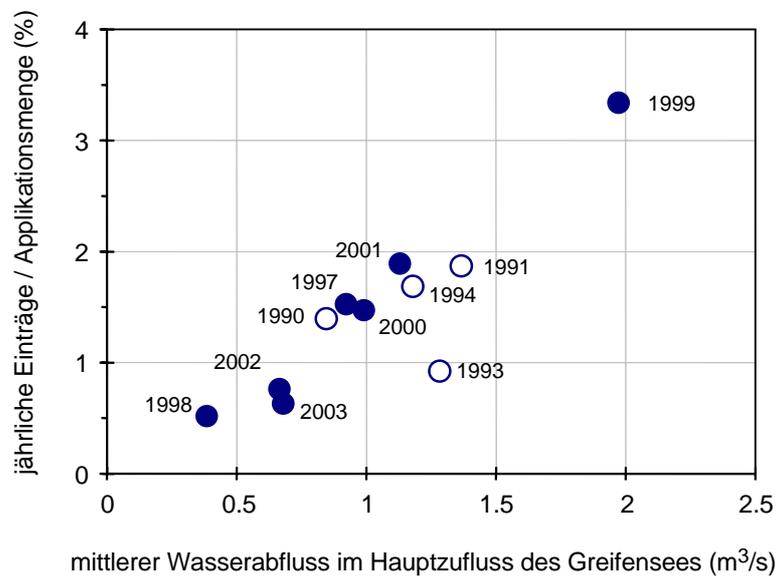


Abbildung 10: Jährliche Atrazin-Einträge in den Greifensee (in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Mengen) in Abhängigkeit des mittleren Wasserabflusses im Hauptzufluss zum Greifensee (als Mass für die abflussrelevanten Niederschläge) während und kurz nach der Applikationszeit von Atrazin. Einträge in Jahren vor (leere) resp. nach Einführung der ökologischen Direktzahlungen (volle Symbole) sind unterschieden.

Da PSM nicht gleichmässig im Einzugsgebiet, sondern jedes Jahr auf unterschiedlichen Parzellen appliziert werden und diese Parzellen in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit des Austrags von PSM über oberflächliche Abschwemmung oder Drainagen sehr verschieden sein können (vergl. Abschnitt 6.2), ist bei kleinen Einzugsgebieten, wie demjenigen des Baldeggersees, mit sehr viel grösserer Variabilität zu rechnen als bei grösseren Einzugsgebieten. Es ist jedoch zu beachten, dass auch bei grossen Einzugsgebieten der Zusammenhang zwischen Niederschlagsmengen und Einträgen nicht unbedingt *linear* sein müsste, wie dies für Atrazin im Greifensee ist. Geeignete Modelle, die PSM-Einträge in Gewässer für ganze Einzugsgebiete mit hinreichender Genauigkeit beschreiben oder gar vorhersagen können, sind erst in Entwicklung.

5.2.7. Wurde die angestrebte Reduktion der jährlichen PSM-Einträge in die untersuchten Seen erreicht?

Bei den jährlichen *Einträgen* der untersuchten PSM-Wirkstoffe in die Seen wurden grosse Streuungen von Jahr zu Jahr beobachtet, sowohl absolut (Tabelle 7), als auch nach Normierung bezüglich der im Einzugsgebiet eingesetzten PSM-Mengen (Tabelle 8). Diese Streuungen waren deutlich grösser (bis zu 10 mal), als die erwartete, resp. angestrebte Reduktion der PSM-Einträge in Gewässer (50%). Deshalb konnten eindeutige Trends bei den Einträgen im Zeitraum 1997 bis 2003 weder in zu-, noch in abnehmender Richtung festgestellt werden. Eine genauere Analyse der Daten bestätigt die in verschiedenen Studien gezeigte Abhängigkeit der Einträge von der Witterung im Zeitraum kurz nach der Applikation (Abbildung 9 und 10).

Wie in Abschnitt 5.2.5 erläutert, waren die *Konzentrationen* der meisten untersuchten Verbindungen im Baldegger-, Zürich- und Greifensee im Zeitraum 1997 bis 2003 rückläufig. Bei einzelnen Verbindungen ist diese Abnahme sehr ausgeprägt, beispielsweise bei Terbutylazin (Baldegger- und Zürichsee) und Dimethenamid (Greifensee), bei anderen etwas weniger, z.B. bei Atrazin (alle Seen), oder nur sehr geringfügig, z.B. bei Metolachlor, MCPA oder Dicamba. Bei einigen Triazin-Verbindungen, für die auch Daten aus früheren Jahren zur Verfügung stehen, zeigt sich generell eine recht deutliche Abnahme der Konzentrationen bereits vor 1997.

Eine Abnahme der Konzentrationen in den Seen lässt grundsätzlich auch auf eine Abnahme der jährlichen Einträge der untersuchten PSM in die Seen schliessen, wobei zumindest bei den Triazinen diese Abnahme grösstenteils bereits vor Projektbeginn (1997) stattfand, also in dem Zeitraum, wo auch die Beteiligung an IP/ÖLN-Programmen stark zunahm. Die Datenlage für den Zeitraum vor 1997 ist jedoch deutlich weniger gut als nach 1997. Lediglich

Atrazin im Greifensee wurde bereits vor 1997 ähnlich detailliert untersucht wie während der Dauer der Evaluationsprojekte, weshalb dieser PSM-Wirkstoff als Leitsubstanz vorgeschlagen wurde [59], an der die Entwicklung der Einträge beispielhaft für andere Wirkstoffe, mit ähnlichen Eigenschaften und Anwendung, untersucht werden könnte.

Ein direkter Vergleich zwischen den Atrazin-Einträgen vor und nach Einführung der ökologischen Direktzahlungen führt jedoch auch bei Atrazin im Greifensee zu keinem Ergebnis, da die witterungsbedingte Streuung zu gross ist. Durch die in Abbildung 10 gezeigte Darstellung der Einträge ist es hingegen möglich, den Einfluss der Witterung einzubeziehen, indem sich die Punkte für die jährlichen Einträge einigermaßen auf einer gedachten Linie anordnen. Die Einträge von Atrazin in den Greifensee vor und nach 1997 sind mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet. Sieht man vom Wert für das Jahr 1993 ab, unterscheiden sich die Einträge vor und nach 1997 nicht signifikant. Das heisst, abgesehen von der Witterung scheinen die Einträge (in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Mengen) nur unwesentlich verschieden voneinander zu sein, was den Schluss nahe legt, dass durch die ökologischen Direktzahlungen, resp. durch die damit eingeführten Veränderungen bei der Anwendung von PSM, die Eintragswahrscheinlichkeit für Atrazin in Gewässer nicht wesentlich verändert. Ob sich eine Verringerung des Eintrags durch ÖLN, im Bereich von 20% über die reine Verringerung des PSM-Verbrauchs hinaus, wie als Ziel definiert, in dieser Art statistisch signifikant nachweisen liesse, darf jedoch zumindest in Frage gestellt werden, solange nur sehr wenige Referenzwerte zur Verfügung stehen.

6. Ergebnisse aus anderen Studien

6.1. PSM-Konzentrationen im Rhein bei Basel

Über den Rhein fließt ca. 68% des Wasser aus der Schweiz Richtung Nordsee ab, etwa 28% mit Rhone und Po ins Mittelmeer und der Rest mit dem Inn und dann mit der Donau ins Schwarze Meer. Der Rhein entwässert einen Grossteil der Fläche der Schweiz, unter anderem das gesamte Schweizerische Mittelland. Die PSM-Frachten im Rhein bei Basel sind somit repräsentativ für den Export von PSM aus der Schweiz, auch wenn ein gewisser Teil des Rheineinzugsgebietes oberhalb von Basel auf deutschem und österreichischem Gebiet liegt.

Das Amt für Umwelt und Energie des Kt. Basel-Stadt untersucht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), sowie des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, regelmässig die Qualität des Rheins bei Weil am Rhein unterhalb von Basel auf verschiedenste Inhaltsstoffe, unter anderem auf eine Reihe von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen und -Metaboliten (insgesamt 60 Verbindungen) [60]. Der Analysenplan richtet sich im wesentlichen nach den lokalen Erfordernissen und dem Untersuchungsplan der IKSR (Internationale Kommission zum Schutze des Rheins), der alle Anliegerstaaten angehören.

Von den 60 untersuchten Verbindungen aus dem Bereich der PSM traten im Jahr 2003 etwa ein Drittel (21 Verbindungen) wenigstens in einer der 365 Tagessammelproben auf [60]. Diese Anzahl variiert etwas von Jahr zu Jahr. Die meisten Verbindungen traten nur sporadisch, resp. nur während kurzer Zeit auf. Lediglich Atrazin und Desethylatrazin waren in der überwiegenden Mehrzahl der Proben nachweisbar. Weitere häufig (in mehr als 10% der Tagessammelproben) nachweisbare Verbindungen waren Simazin, Metolachlor, Diazinon und Ethofumesat. Nach Häufigkeit des Nachweises und durchschnittlichen Konzentrationen sind die im Rhein auftretenden Mengen an Diazinon, Metolachlor, Simazin und Terbutylazin rückläufig, während andere Verbindungen wie Ethofumesat und Orbencarb eher zunehmen.

Die auftretenden Konzentrationen sind relativ tief im Vergleich zu denjenigen in kleineren Fliessgewässern (vergl. z.B. [49]). Ähnlich wie bei Seen, wird bei grösseren Fliessgewässern eine Verteilung der eingetragenen Substanzmengen über längere Zeit, d.h. in ein grösseres Wasservolumen, und damit eine stärkere Verdünnung beobachtet. In Abbildung 11 sind die

Konzentrationen von Terbutylazin und Atrazin im Rhein in den Jahren 1996 bis 2004 dargestellt. Ähnlich wie bei Seen, sind für Atrazin neben einer relativ konstanten Grundbelastung im Bereich von 10-20 ng/L, ausgeprägte Konzentrationsspitzen zu beobachten, die in ihrem Auftreten mit dem Zeitraum der Applikation von Atrazin im Feld übereinstimmen. Auch im Rhein fallen diese saisonalen Konzentrationsspitzen unterschiedlich hoch aus, was auch über dieses relativ grosse Einzugsgebiet noch auf einen deutlichen Einfluss der jährlich unterschiedlichen Niederschläge deutet. Im dargestellten Zeitraum ist bei Atrazin kein Trend bei den Konzentrationen festzustellen, d.h. weder eine deutliche Zu- oder Abnahme bei der Basisbelastung, noch der Höhe der saisonalen Konzentrationsmaxima.

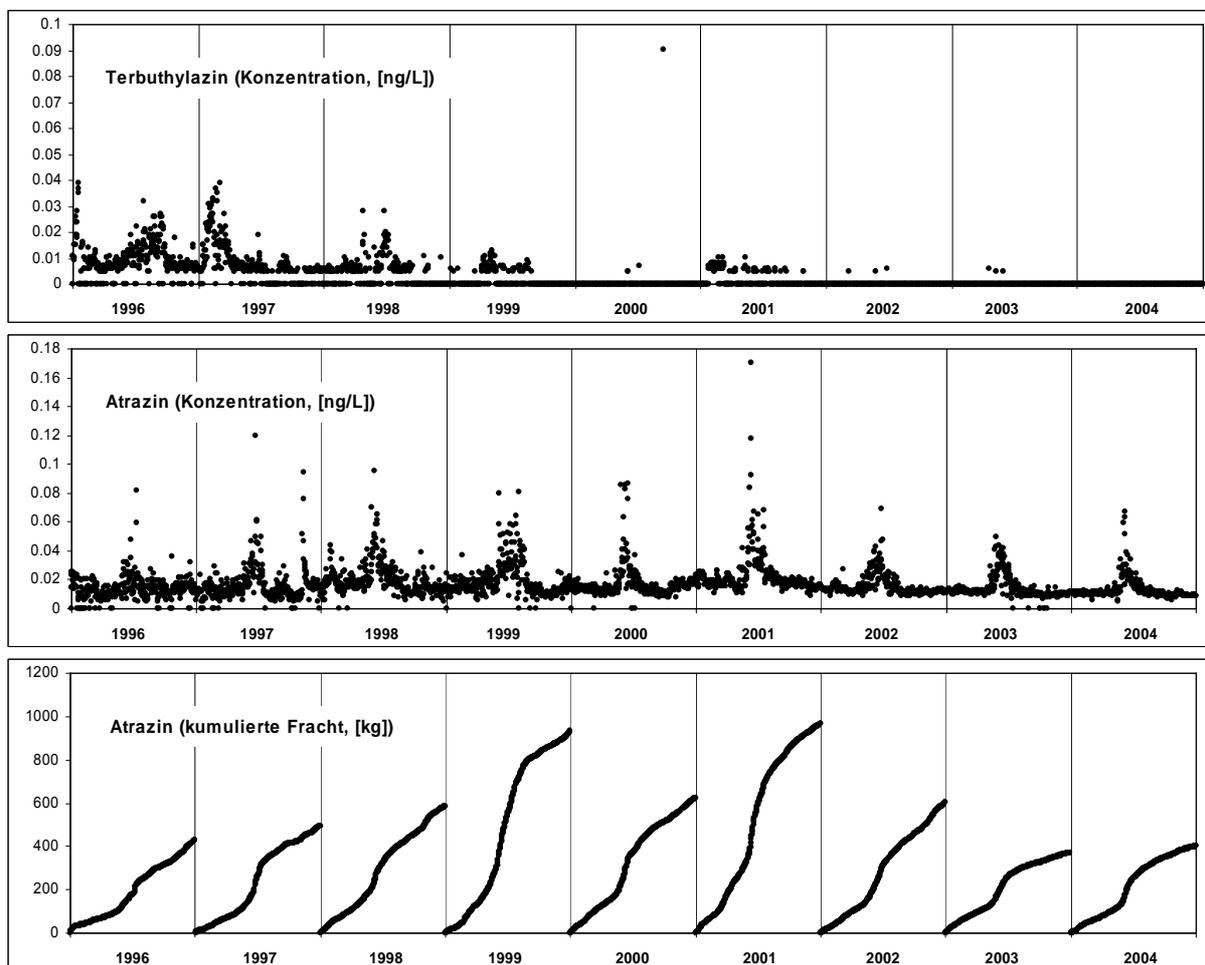


Abbildung 11: Konzentrationen von Terbutylazin und Atrazin, sowie jährliche kumulierte Frachten von Atrazin im Rhein bei Basel (Quelle: Amt für Umwelt und Energie, Basel-Stadt).

Im Gegensatz zu Atrazin ist bei Terbutylazin ein eindeutig abnehmender Trend festzustellen. Während am Anfang der dargestellten Zeitperiode noch in über 300 der 365 Tagessammelproben Terbutylazin nachgewiesen werden konnten, lagen im Jahr 2004 alle Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze von 5 ng/L. Dieser Trend bestätigt die Beobachtungen in verschiedenen Schweizer Seen (vergl. Abschnitt 5.2.5).

Da Atrazin seit 1991 in Deutschland nicht mehr angewendet werden darf, sollten die im Rhein bei Basel beobachteten Atrazin-Frachten ausschliesslich aus der Schweiz stammen. Die jährlichen Frachten von Atrazin im Rhein variieren zwischen 400 und 1000 kg (Abbildung 11), wobei die grössten Frachten in den Jahren 1999 und 2001 auftraten, analog beispielsweise zum Baldeggersee. Die Frachten im Rhein machen 1 - 2.5% der in der Schweiz in der Landwirtschaft eingesetzten Mengen an Atrazin aus. Diese anteiligen Frachten stimmen sehr gut mit Daten aus verschiedenen Feldstudien an grösseren Fließgewässern überein (siehe z.B. Ref. [37, 61, 62]). Die jährlichen Frachten des Hauptmetaboliten von Atrazin, Desethylatrazin, lagen im gleichen Zeitraum im Bereich von 200 bis 500 kg. Für die übrigen, deutlich weniger häufig im Rhein nachweisbaren PSM, ist die Berechnung von Frachten nicht möglich, da der Beitrag an den Tagen, wo die Verbindungen nicht nachweisbar sind, nur sehr ungenau abschätzbar ist.

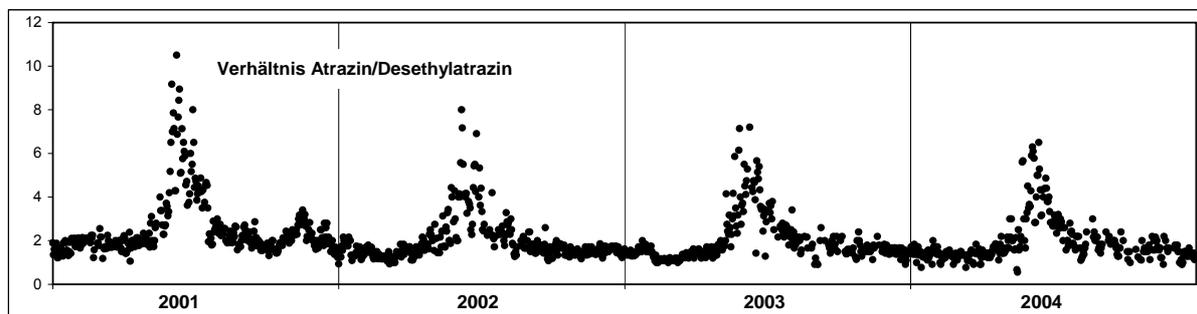


Abbildung 12: Verhältnis der Konzentrationen von Atrazin und Desethylatrazin im Rhein bei Basel (Datenquelle: Amt für Umwelt und Energie, Basel-Stadt)

Während Atrazin im Rhein einen typischen saisonalen Konzentrationsverlauf mit Maxima im Frühsommer zeigt, variieren die Konzentrationen des Hauptmetaboliten Desethylatrazin nur sehr geringfügig. Da Desethylatrazin beim Abbau von Atrazin im Boden erst nach und nach gebildet wird, verändert sich das Verhältnis Atrazin zu Desethylatrazin im Boden nach der Applikation. Frische Rückstände enthalten viel Atrazin und wenig Desethylatrazin, ältere Rückstände bestehen hingegen überwiegend aus Desethylatrazin. Das Verhältnis von Atrazin zu Desethylatrazin in Gewässern ist deshalb ebenfalls ein Mass für das Alter der Rückstände beim Eintrag in die Gewässer. In Abbildung 12 ist dieses Verhältnis im Rhein

dargestellt für die Jahre 2001 bis 2004. Gut zu erkennen sind in dieser Abbildung die Maxima im Frühsommer, die auf Eintrag relativ frischer Rückstände deuten, während im Herbst/Winter dieses Verhältnis relativ konstant etwa 2:1 beträgt. Das gleichzeitige Auftreten von Atrazin und Hauptmetaboliten deutet darauf hin, dass Atrazin im Rhein nicht aus einer (denkbaren) Quelle wie Abwasser aus der Produktion des Wirkstoffes kommt, sondern vielmehr aus der landwirtschaftlichen Anwendung.

6.2. Untersuchungen zum Herbizidaustrag aus einem kleinen Einzugsgebiet innerhalb des Greifensee-Einzugsgebietes

Im Einzugsgebiet des Greifensees wurde der Austrag von drei Residualherbiziden (Atrazin, Dimethenamid und Metolachlor) aus behandelten Parzellen unter kontrollierten Bedingungen in drei kleinen Untereinzugsgebieten untersucht [48, 63]. Die Herbizide wurden im gleichen Verhältnis und mit gleicher Aufwandmenge auf 13 Maisfelder ausgebracht und der Abbau der Stoffe im Boden, sowie das Auftreten in den aus den Einzugsgebieten abfließenden Bächen untersucht.

Im Einklang mit zahlreichen Arbeiten zu diesem Thema (siehe z.B. die Übersichtsarbeiten [32-34]) konnte gezeigt werden, dass für den Eintrag in Oberflächengewässer aus diesen Einzugsgebieten das erste Regenereignis nach der Applikation, welches zu signifikantem oberflächlichem, resp. Drainageabfluss führt, entscheidend für die Gesamtfracht ist. Dabei spielt sowohl der Zeitpunkt, als auch die Regenmenge eine Rolle.

Mittels zeitlich sehr hoch aufgelöster Probenahme konnte die Dynamik des Auftretens der Stoffe in den Bächen genau untersucht werden. Mehrere Einträge aus Hofabläufen (Punktquellen) wurden beobachtet, wobei die so eingetragenen Mengen zwar im Verhältnis zu den diffusen Einträgen relativ gering waren, jedoch zu den höchsten Konzentrationen führten. Diffuse Einträge hingegen führten zu Konzentrationsverläufen, die sich annähernd parallel zum Abfluss im Bach verhielten.

Die beobachteten Einträge in Gewässer lagen mit 0.3 bis 0.8% relativ zu den applizierten Mengen im Bereich, der für grössere Einzugsgebiete erwartet wird (max. 5%, [32-34]). Zwischen den drei untersuchten Verbindungen waren die Unterschiede relativ klein, und sind auf den unterschiedlich raschen Abbau in der kurzen Zeit zwischen Applikation und Abschwemmung, sowie die unterschiedliche Mobilisierung während dem Regenereignis zurückzuführen. Die Autoren der Studie kommen deshalb zum Schluss, dass der Ersatz von Herbiziden durch andere Herbizide mit etwas günstigerem Umweltverhalten (rascherer

Abbau, geringere Mobilität) verhältnismässig wenig Verbesserung in Bezug auf die Gewässerbelastung bringen dürfte.

Zwischen den verschiedenen Einzugsgebieten traten jedoch deutlich grössere Unterschiede bis zu einem Faktor 56 auf. Diese Unterschiede sind auf die Faktoren Bodeneigenschaften (insbesondere die Aufnahmefähigkeit des Bodens für Wasser und die Permeabilität), die Anbindung einer behandelten Fläche an das Gewässer, sowie die Topographie. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass für die PSM-Belastung der Gewässer aus diffusen Quellen bestimmte Flächen mit besonders ungünstigen Eigenschaften („Risikoflächen“) den Hauptbeitrag liefern. Damit knüpfen die Ergebnisse an ein bereits 1970 postuliertes Konzept der „contributing areas“ an [64].

6.3. Greifenseeprojekt

Die Erkenntnis, dass bestimmte Flächen innerhalb eines Einzugsgebietes besonders viel zu den Gesamteinträgen an Herbiziden beitragen, wurde in einer Arbeit im Rahmen des Greifenseeprojektes⁵ weiter entwickelt [65]. Im Einzugsgebiet des Greifensees wurden diejenigen Flächen identifiziert, die relativ stark geneigt sind oder die bei Niederschlag relativ rasch mit Wasser gesättigt und topographisch oder über Drainagen direkt an ein Gewässer angeschlossen sind. Die als Risikoflächen (bezüglich Herbizideintrag in Oberflächengewässer) bezeichneten Flächen decken sich grösstenteils mit denjenigen Flächen, die nicht für intensive ackerbauliche Nutzung geeignet sind.

Beim Vergleich mit der tatsächlichen Landnutzung im Einzugsgebiet zeigte sich, dass auch Standorte, die nicht dafür geeignet sind, z.B. ausgesprochene Grünland-Standorte, zum Teil intensiv ackerbaulich genutzt werden. Die Nutzungseignung ist also nicht in jedem Fall das dominante Entscheidungskriterium bei der Landnutzung. Zur Erklärung der Diskrepanz zwischen standortgerechter und realer Flächennutzung mussten die bestehenden Besitz- und Pachtverhältnisse herangezogen werden. Die Flächennutzung hängt demnach nicht nur von den in einer Region verfügbaren Flächen, sondern noch mehr von der Verteilung dieser Flächen zwischen den Betrieben und der innerbetrieblichen Knappheit von Fruchtfolgeflächen ab.

⁵ Das interdisziplinäre Forschungsprojekt Greifensee befasst sich mit der Land- und Landschaftsnutzung im dicht besiedelten Mittelland der Schweiz. Am Beispiel der Region Greifensee werden wissenschaftliche Grundlagen für die Gestaltung und Steuerung einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft sowie von Politikmassnahmen zu deren Umsetzung erarbeitet (siehe <http://www.ito.umnw.ethz.ch/greifensee/>).

Durch Modellrechnungen konnte gezeigt werden, dass es möglich wäre, dieselben Kulturen mit den entsprechenden Flächenanteilen in der Modellregion auf dafür geeigneten Standorten anzubauen, sofern die bestehenden Besitzverhältnisse ausser acht gelassen würden. Obwohl dies mittelfristig kaum zu realisieren wäre, konnte zumindest gezeigt werden, dass in dieser Region das Potenzial für standortgerechtere Landnutzung vorhanden wäre. Da sich damit auch der Einsatz von PSM auf Flächen mit grossem Risiko für Einträge in Oberflächengewässer deutlich reduzieren liesse, wäre eine aus agronomischer Sicht standortgerechte Landnutzung auch aus Sicht des Gewässerschutzes ausgesprochen vorteilhaft.

7. Diskussion und Schlussfolgerungen

7.1. PSM-Verbrauch in der Schweiz

Die Mengen der in der Schweiz eingesetzten (resp. verkauften) PSM-Wirkstoffe sind seit 1989 generell rückläufig. Die angestrebte Einsatzmengenreduktion von 30% gegenüber dem Referenzwert von 1990 bis 1992 wurde im Jahr 2003 knapp erreicht und die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass sich die verkauften Mengen an PSM in etwa auf diesem Niveau eingependelt haben.

Im Vergleich zu verschiedenen anderen Ländern ist die Datenlage im Bereich des PSM-Einsatzes in der Schweiz jedoch als eher kritisch einzustufen, da es in den meisten Fällen nicht möglich ist, einen Bezug zwischen verkauften Mengen und landwirtschaftlichem Einsatz herzustellen und da nur in wenigen Fällen Daten zum Verkauf einzelner Wirkstoffe zur Verfügung stehen.

Inwieweit die Veränderungen des PSM-Einsatzes auf ÖLN, resp. auf andere Entwicklungen zurückzuführen sind, ist mit den vorhandenen Daten nicht abzuschätzen. Sicher ist jedoch, dass neben ÖLN viele weitere Faktoren Einfluss auf den PSM-Einsatz haben und auch die zukünftige Entwicklung beeinflussen werden, u.a.:

- die Entwicklung und Einführung neuer PSM-Wirkstoffe mit z.T. deutlich tieferen Aufwandmengen im Vergleich zu PSM die gegenwärtig gegen dieselben Schad-erreger eingesetzt werden
- Veränderungen bei den Bewilligungsvorgaben (Rückzug von Bewilligungen, Einschränkung oder Ausdehnung des Einsatzes bestimmter Wirkstoffe)
- Veränderungen beim Kultur-Management, der Fruchtfolge
- Preissituation (PSM und landwirtschaftliche Produkte)
- Entstehung von Resistenzen/Veränderung der Epidemiologie
- Aufkommen neuer Schaderreger

Solche Veränderungen können langsam sein (z.B. Kulturmanagement), aber auch sehr schnell (z.B. Rückzug von Wirkstoffen, Resistenzen)

Die durch die landwirtschaftlichen Beratungszentralen LBL und SRVA erhobenen Daten zum PSM-Einsatz in den Einzugsgebieten des Baldegger-, Greifen- und Zürichsees zeigen in vielerlei Hinsicht ein ähnliches Bild wie die Daten zum PSM-Verkauf in der Schweiz. Obwohl regional gewisse Unterschiede im Einsatz einzelner Wirkstoffe beobachtet werden konnten, stimmt die mengenmässige Bedeutung der Wirkstoffe relativ zueinander recht gut mit derjenigen für die ganze Schweiz überein [47].

Auch in den regionalen Erhebungen waren im Zeitraum 1997 bis 2003 nur noch geringfügige Veränderungen im Gesamtverbrauch festzustellen. Die Autoren kommen deshalb zum Schluss, dass es aufgrund ihrer Daten schwierig sei, den Einfluss des ökologischen Leistungsnachweises im Erhebungszeitraum abzuschätzen und vermuten, dass v.a. die Einführung des Extenso-Programmes zu einer nachhaltigen Senkung des PSM-Einsatzes bereits vor 1997 geführt hat. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Gebiete in der Schweiz, resp. eine Hochrechnung des PSM-Verbrauchs für die ganze Schweiz wäre laut den Verfassern grundsätzlich möglich.

7.2. PSM-Einträge in Gewässer

In den fünf Seen, die im Rahmen der Evaluationsprojekte näher untersucht wurden, konnten diverse PSM-Wirkstoffe nachgewiesen werden. Bei diesen Wirkstoffen handelte es sich durchwegs um Herbizide, die in grösseren Mengen in den Einzugsgebieten der Seen, primär im Mais und im Getreide, eingesetzt werden. Der grössere Teil der ins Messprogramm aufgenommenen Stoffe konnte nicht, oder zumindest nicht regelmässig nachgewiesen werden. Die Konzentrationen der nachweisbaren Stoffe waren durchwegs tief und nur in wenigen Fällen (Atrazin, sowie das Abbauprodukt Desethylatrazin) zeitweise über dem in der Gewässerschutzverordnung definierten Qualitätsziel von 0.1 µg/L [66].

Da die Mengen der meisten Wirkstoffe im Baldegger- und Zürichsee tendenziell eher zurückgingen, ist anzunehmen, dass die Einträge vor 1997 eher höher waren als von 1997 bis 2003. Dennoch ist der direkte Nachweis einer Verringerung der PSM-Einträge in Oberflächengewässer mit Hilfe der Daten im Baldegger- und Zürichsee nicht gelungen. Neben den oben diskutierten witterungsbedingt grossen jährlichen Schwankungen der Einträge und dem im Verhältnis zur Einführung des ÖLN relativ späten Projektstart ist dies möglicherweise auch auf die notwendige Auswahl der Verbindungen, die in die Untersuchung einbezogen werden konnten, zurückzuführen.

Die angestrebte Reduktion der PSM-Einträge in Gewässer um 50%, gemäss der anfänglichen Zielsetzung, sollte einerseits durch die angestrebte Reduktion des PSM-Einsatzes um 30%, sowie andererseits durch eine zusätzliche Reduktion durch Verbesserungen bei der Applikation erreicht werden. Ein generelles Problem bei der Überprüfung der Zielerreichung war jedoch die Tatsache, dass diese Ziele nicht für bestimmte Wirkstoffe, sondern für „PSM allgemein“ definiert wurden, während sich eine Untersuchung der tatsächlichen Gewässerbelastung aber auf bestimmte ausgewählte Wirkstoffe beschränken muss.

Von den untersuchten PSM-Wirkstoffen konnten lediglich 10 Verbindungen nachgewiesen werden. Diese gehören zu den im Einzugsgebiet des Baldeggersees am häufigsten eingesetzten *Herbiziden*, sind jedoch in vielerlei Hinsicht Spezialfälle, da

- es sich bei der Mehrzahl um eher langsam abbaubare Verbindungen handelt, weil sie im Boden eine gewisse Residualwirkung haben müssen,
- diese Verbindungen eine doch merklich höhere Mobilität aufweisen als viele Insektizide und Fungizide, sowie gewisse Herbizide wie z.B. Glyphosat, welches in den letzten Jahren kontinuierlich an Bedeutung gewonnen hat.
- sie auf unbewachsenen oder wenig bewachsenen Boden appliziert werden, mit entsprechend grossem Potential für Einträge in Gewässer, ganz im Gegensatz zu den allermeisten Insektiziden und Fungiziden, die auf etablierten Kulturen angewendet werden

All diese Faktoren sind notwendig (zusätzlich zu den hohen Verbrauchsmengen), damit die Stoffe überhaupt in den untersuchten Seen beobachtet werden konnten. Diese Notwendigkeit führt aber eben auch dazu, dass die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf andere PSM mit deutlich anderen Eigenschaften und unterschiedlicher landwirtschaftlicher Anwendung übertragen werden können.

Umgekehrt wären in kleineren Gewässern, wo die Konzentrationen kurzzeitig deutlich höher sein können (weniger Verdünnung), zwar deutlich mehr Wirkstoffe nachweisbar, auch solche mit kleineren Aufwandmengen oder weniger verbreitetem Einsatz. Hingegen wäre dort die Übertragung auf andere Standorte und Anwendungssituationen problematisch, da die standortspezifischen Gegebenheiten unmöglich repräsentativ für grössere Gebiete oder die "ganze Schweiz" gewählt werden können. Dieses Dilemma der Skalen ist vermutlich kaum zu lösen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass sich der Nachweis einer Reduktion des PSM-Eintrages in Gewässer nicht mit einem Monitoring-Ansatz lösen lässt, solange die Fragestellung nicht auf bestimmte Wirkstoffe oder ausgewählte Anwendungssituationen

eingeschränkt wird. Noch schwieriger wird es, wenn man Veränderungen von Einträgen in Gewässer auf einzelne Elemente des ÖLN zurückführen will, da die dafür notwendigen systematischen Untersuchungen in den bisherigen Evaluationsprojekten nicht vorgesehen waren.

Die im Rahmen des Greifenseeprojektes gewonnene Erkenntnis, dass die Gewässerbelastung in einem Einzugsgebiet möglicherweise überwiegend aus der Anwendung von PSM auf wenigen, in Bezug auf PSM-Abschwemmung besonders ungünstigen, Parzellen resultiert, bildet möglicherweise einen neuen Ansatzpunkt für die Reduktion dieser Belastung. Unter dem Oberbegriff „standortgerechte Landwirtschaft“ wäre neben dem Kriterium „Nutzungseignung“ noch ein weiteres, das Risiko für die Gewässerbelastung, zu berücksichtigen, wobei diese beiden Kriterien in vielen Fällen weitgehend zu den gleichen Flächennutzungen führen würden. Für eine sinnvolle Umsetzung, beispielsweise in Form eines Zusatzes zu den Richtlinien für den ökologischen Leistungsnachweis, müssten jedoch erst die entsprechenden Grundlagen geschaffen werden. Dies betrifft einerseits weitere Anstrengungen in der Forschung und andererseits die Schaffung der Datenbasis zur Ausscheidung von Flächen mit besonderem Risiko für PSM-Belastung, wie sie bisher nur in der Greifenseeregion skizziert wurde.

8. Referenzen

1. Brugger, H., *Agrarpolitik des Bundes seit 1914*. 1992, Frauenfeld: Huber.
2. Marti, U., *Staatlich garantierter Milchpreis am Ende? Kartellkommission für Neuordnung des Milchmarktes*, in *NZZ, Neue Zürcher Zeitung*. 1993: Zürich.
3. Carson, R., *Silent Spring*. 1962, Boston: Houghton Mifflin.
4. *Bundesgesetz vom 29. April 1998 über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz, LwG)*. SR 910.1.
5. *Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV)*, vom 7. Dezember 1998 (Stand am 30. Dezember 2003). SR-910.13.
6. Nabholz, L. und Broggi, M.F., *Was wird aus unseren Kulturlandschaften? Die Folgen des landwirtschaftlichen Wandels. Referate gehalten an der Jahrestagung der SL im Oktober 1992*, erhältlich bei der Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, 3001 Bern (<http://www.sl-fp.ch/>).
7. Gunst, P., *Agrarian development and social change in eastern Europe, 14th - 19th centuries*. 1996, Aldershot, Hampshire: Variorum.
8. VCI, *Textheft 10, "Pflanzenschutz", Informationsserie für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II*. 1992, Fonds der Chemischen Industrie: Frankfurt. S. (<http://www.vci.de/fonds/>).
9. Bakemeier, H., Gössling, H. und Krabetz, R., *Ammoniak*, in *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*. 1974, Verlag Chemie: Weinheim. S. 444-513.
10. von Liebig, J., *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. zitiert nach der Broschüre "Justus von Liebig", herausgegeben durch die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh), erhältlich unter <http://www.liebig-museum.de/homepage.htm>. 1840, Braunschweig.
11. Bacci, M.L., *Population and nutrition : an essay on European demographic history*. Cambridge studies in population, economy and society in past time. Vol. 14. 1990 (Orig. Bologna 1987), Cambridge: Cambridge University Press.
12. Dixon, J., Gulliver, A. und Gibbon, D., *Global Farming Systems Study: Challenges and Priorities to 2030, Synthesis and Global Overview*. 2001, FAO: Rom.
13. Boller, E.F., Graf, B., Gut, D., Ammon, U., Bigler, F., Forrer, F., Fried, P.M. und Derron, J., *Pflanzenschutz als Teil einer nachhaltigen Produktion*. Agrarforschung, 1995. 2: S. 504-507.
14. Boller, E.F., Avilla, J., Joerg, E., Malavolta, C., Wijnands, F.G. und Esbjerg, P., Hrsg. *Integrated Production: Principles and Technical Guidelines, 3rd Edition*. IOBC wprs

- Bulletin, ed. IOBC / WPRS, C.I.-G.a.E. Vol. 27. 2004, Web access: <http://www.iobc-wprs.org/>.
15. Müller, M.D., Poiger, T. und Buser, H.R., *Pflanzenschutzchemie - im Dienst von allen*. Agrarforschung, 2000. **7**(9): S. 430-435.
 16. Müller, M.D., Barben, H. und Buser, H.R., *Sichere Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln*. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 1996: S. 420-424.
 17. Müller, M.D. und Buser, H.R., *Enantioselective analyses of persistent and modern pesticides. A step toward sustainable agriculture*. Chimia, 1997. **51**(10): S. 694-700.
 18. Müller, M.D., Patrian, B. und Poiger, T., *Qualitätsbeurteilung von Pflanzenschutzmitteln*. Agrarforschung, 2005. **12**(1): S. 16-21.
 19. *Verordnung über die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung)*. SR 916.161.
 20. Gantner, U., Forni, D. und Gujer, H.U., *Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme - überarbeiteter Konzeptbericht*. 1999, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern.
 21. Streit, B., *Langzeitvergleich Direktsaat - Pflug auf ÖLN-Betrieb*.
 22. Zürcher, M., Siegfried, W. und Sacchelli, M., *Systemvergleichsversuch: Integrierte und biologische Apfelproduktion*. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 2003. **140**(21): S. 9-13.
 23. *Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV)*. SR 814.013.
 24. Bucheli, T.D., Müller, S.R., Voegelin, A. und Schwarzenbach, R.P., *Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-mecoprop in roof runoff waters: Potential contamination of groundwater and surface waters*. Environmental Science & Technology, 1998. **32**(22): S. 3465-3471.
 25. Bucheli, T.D., Müller, S.R., Heberle, S. und Schwarzenbach, R.P., *Occurrence and behavior of pesticides in rainwater, roof runoff, and artificial stormwater infiltration*. Environmental Science & Technology, 1998. **32**(22): S. 3457-3464.
 26. Konstantinou, I.K. und Albanis, T.A., *Worldwide occurrence and effects of antifouling paint booster biocides in the aquatic environment: a review*. Environment International, 2004. **30**(2): S. 235-248.
 27. Poiger, T., Müller, M.D. und Buser, H.R., *Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. Bereich Pflanzenschutzmittel. Schlussbericht*. 2005, Agroscope FAW, Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau: Wädenswil.
 28. Poiger, T., Buser, H.R., Müller, M.D., Singer, H., Müller, S.R., Keller, L. und Amaudruz, M., *Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme: Vierter Zwischenbericht*. 2001, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern.

29. Nystrom, B., Becker-van Slooten, K., Berard, A., Grandjean, D., Druart, J.C. und Leboulanger, C., *Toxic effects of Irgarol 1051 on phytoplankton and macrophytes in Lake Geneva*. Water Research, 2002. **36**(8): S. 2020-2028.
30. Sattelberger, R., *Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten im nicht-Land- und Forstwirtschaftlichen Bereich*. Monographien. Vol. 146. 2001, Wien: Umweltbundesamt.
31. Jaeken, P., De Maeyer, L., Broers, N. und Creemers, P., *Nozzle choice and its effect on spray deposit & distribution, uptake, drift and biological efficacy in standard apple orchards (Malus sylvestris, cv Jonagold)*. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 2003. **56**(2): S. 326-353.
32. Leonard, R.A., *Herbicides in surface waters*, in *Environmental Chemistry of Herbicides*, Grover, R., Hrsg. 1988, CRC Press: Boca Raton. S. 45-87.
33. Larson, S.J., Capel, P.D. und Majewski, M.S., *Pesticides in surface waters: distribution, trends and governing factors*. Pesticides in the hydrologic system, ed. Gilliom, R.J. Vol. 3. 1997, Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press.
34. Schulz, R., *Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: A review*. Journal of Environmental Quality, 2004. **33**(2): S. 419-448.
35. Burgoa, B. und Wauchope, R.D., *Pesticides in run-off and surface waters*, in *Environmental Behaviour of Agrochemicals*, Roberts, T.R. und Kearney, P.C., Hrsg. 1995, John Wiley & Sons: Chichester.
36. Capel, P.D., Larson, S.J. und Winterstein, T.A., *The behaviour of 39 pesticides in surface waters as a function of scale*. Hydrological Processes, 2001. **15**(7): S. 1251-1269.
37. Capel, P.D. und Larson, S.J., *Effect of scale on the behavior of atrazine in surface waters*. Environmental Science & Technology, 2001. **35**(4): S. 648-657.
38. Guo, L., Nordmark, C.E., Spurlock, F.C., Johnson, B.R., Li, L.Y., Lee, J.M. und Goh, K.S., *Characterizing dependence of pesticide load in surface water on precipitation and pesticide use for the Sacramento River watershed*. Environmental Science & Technology, 2004. **38**(14): S. 3842-3852.
39. Louchart, X., Voltz, M., Andrieux, P. und Moussa, R., *Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in a Mediterranean vineyard area*. Journal of Environmental Quality, 2001. **30**(3): S. 982-991.
40. Gerecke, A.C., Scharer, M., Singer, H.P., Müller, S.R., Schwarzenbach, R.P., Sagesser, M., Ochsenbein, U. und Popow, G., *Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through waste water treatment plants-current situation and reduction potential*. Chemosphere, 2002. **48**(3): S. 307-315.
41. Poiger, T., Müller, M.D. und Buser, H.R., *Occurrence and fate of organic micropollutants in the environment: Regional mass balances and source apportioning in surface waters based on laboratory incubation studies in soil and water, monitoring, and computer modeling*. Chimia, 2003. **57**(9): S. 492-498.

42. Buser, H.R. und Müller, M.D., *Occurrence and transformation reactions of chiral and achiral phenoxyalkanoic acid herbicides in lakes and rivers in Switzerland*. Environmental Science & Technology, 1998. **32**(5): S. 626-633.
43. Fischer, P., Burhenne, J., Bach, M., Spiteller, M. und Frede, H.G., *Quantifizierung der Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel in ein kleines Fließgewässer*. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 1996. **48**(8): S. 261-264.
44. Müller, K., Bach, M., Hartmann, H., Spiteller, M. und Frede, H.G., *Point- and nonpoint-source pesticide contamination in the Zwerster Ohm catchment, Germany*. Journal of Environmental Quality, 2002. **31**(1): S. 309-318.
45. SGCI, *Pflanzenschutzmittel-Statistik Schweiz*. 1995-2003, Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie: Zürich.
46. BLW, *Agrarberichte*. 2000-2003, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern.
47. Keller, L. und Amaudruz, M., *Evaluation der Ökomassnahmen: Auswertung der Pflanzenschutzmittel-Verbrauchsdaten 1997 - 2003 in drei ausgewählten Seengebieten*. 2005, Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau (LBL) und Service Romand de Vulgarisation Agricole (SRVA): Lindau.
48. Leu, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S.R. und Schwarzenbach, R.P., *Variability of herbicide losses from 13 fields to surface water within a small catchment after a controlled herbicide application*. Environmental Science & Technology, 2004. **38**(14): S. 3835-3841.
49. Balsiger, C., Niederhauser, P., Jäggi, O. und Meier, W., *Pestizide in Fließgewässern des Kantons Zürich: Auswertung der Untersuchungen von 1999 bis 2003*. 2004, AWEL, Amt für Wasser, Energie und Luft: Zürich.
50. Müller, S.R., Berg, M., Ulrich, M.M. und Schwarzenbach, R.P., *Atrazine and its primary metabolites in Swiss lakes: Input characteristics and long-term behavior in the water column*. Environmental Science & Technology, 1997. **31**(7): S. 2104-2113.
51. Buser, H.R., *Atrazine and Other S-Triazine Herbicides in Lakes and in Rain in Switzerland*. Environmental Science & Technology, 1990. **24**(7): S. 1049-1058.
52. Liechti, P., *Der Zustand der Seen in der Schweiz*. 1994, Bern: BUWAL.
53. Stadelmann, P., Lovas, R. und Butscher, E., *20 Jahre Sanierung und Überwachung des Baldeggersees*. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern, 2002. **37**: S. 115-164.
54. Wehrli, B. und Wüest, A., *Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen*. Schriftenreihe der EAWAG. Vol. 9. 1996, Dübendorf: Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz.
55. Singer, H. und Anfang, H.G., *Evaluation der Ökomassnahmen - Bereich Pflanzenschutzmittel - Abschlussbericht*. 2005, EAWAG, Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz: Dübendorf.
56. Müller, M.D. und Buser, H.R., *Conversion reactions of various phenoxyalkanoic acid herbicides in soil .1. Enantiomerization and enantioselective degradation of the chiral*

- 2-phenoxypropionic acid herbicides*. Environmental Science & Technology, 1997. **31**(7): S. 1953-1959.
57. Ulrich, M.M., Müller, S.R., Singer, H.P., Imboden, D.M. und Schwarzenbach, R.P., *Input and dynamic behavior of the organic pollutants tetrachloroethene, atrazine, and NTA in a lake - a study combining mathematical modeling and field measurements*. Environmental Science & Technology, 1994. **28**(9): S. 1674-1685.
58. Felber, T., *Zürichsee-Spiegel auf historischem Höchststand; Erdbeben und Überschwemmungen an verschiedenen Orten der Region.*, in *Neue Zürcher Zeitung (NZZ)*. 1999: Zürich. S. 45.
59. Singer, H.P., Anfang, H.G., Peter, A., Lück, A. und Müller, S.R., *Pestizidbelastung von Oberflächengewässern - Auswirkungen der ökologischen Massnahmen in der Landwirtschaft*. GWA: Gas Wasser Abwasser, 2005. **85**(11): S. 879-886..
60. AUE, *Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein, Jahresbericht*. 2003, erhältlich online über www.aue-bs.ch.
61. Clark, G.M., Goolsby, D.A. und Battaglin, W.A., *Seasonal and annual load of herbicides from the Mississippi River basin to the Gulf of Mexico*. Environmental Science & Technology, 1999. **33**(7): S. 981-986.
62. Crawford, C.G., *Factors affecting pesticide occurrence and transport in a large midwestern river basin*. Journal of the American Water Resources Association, 2001. **37**(1): S. 1-15.
63. Leu, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S.R. und Schwarzenbach, R.P., *Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment*. Environmental Science & Technology, 2004. **38**(14): S. 3827-3834.
64. Dunne, T. und Black, R.D., *Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed*. Water Resources Research, 1970. **6**(5): S. 1296-1311.
65. Stamm, C., Singer, H., Szerencsits, E., Zraggen, K. und Flury, C., *Standort und Herbizideinsatz aus Sicht des Gewässerschutzes*. Agrarforschung, 2004. **11**(10): S. 446-451.
66. *Gewässerschutzverordnung (GSchV)*, 28. Oktober 1998. SR 814.201.

9. Glossar

BLW: Bundesamt für Landwirtschaft

EAWAG: Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf

FAW: Forschungsanstalt Wädenswil, zur Zeit Agroscope FAW Wädenswil, Forschungsanstalt für Obst-, Wein und Gartenbau

GC-MS: Abkürzung zu Gaschromatographie-Massenspektrometrie: analytisches Verfahren zum Nachweis von Spuren von organischen Stoffen, hier angewendet auf Spuren von Pflanzenschutzmitteln in Wasser.

IP: Integrierte Produktion.

LBL: Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau

LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche.

Metabolisierung, Metabolit: Abbauvorgang an PSM-Wirkstoffen in der Umwelt. Diese Vorgänge bestehen aus Serien von Umsetzungen, die auf chemischem oder biochemischem Weg zustande kommen.

Modellierung: Mathematisches Verfahren zur Beschreibung des Vorkommens und Verhaltens von Stoffen (hier meist PSM-Wirkstoffe) in Seen. Kann zur Abschätzung von Seeinhalten und Einträgen eingesetzt werden, wobei die Modellierung mit analytischen Messresultaten abgeglichen wird.

ng: Abkürzung von Nanogramm. Gewichtseinheit (10^{-9} g, ein milliardstel Gramm). Die zugehörige Konzentrationseinheit ist ng/l Wasser.

pg: Abkürzung von Picogramm. Gewichtseinheit (10^{-12} g, ein billionstel Gramm). Die zugehörige Konzentrationseinheit ist pg/l. Wasser.

PSM: Pflanzenschutzmittel. Der Begriff Pflanzenbehandlungsmittel wurde gleichberechtigt verwendet.

SGCI: Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie.

Stereoisomere: Stereoisomere Wirkstoffe haben grundsätzlich die gleiche Struktur (Konstitution) - und damit natürlich auch die gleiche Summenformel - unterscheiden sich aber durch die räumliche Anordnung der Atome. Ein wichtiger Spezialfall sind Enantiomere, Stereoisomere, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten und keine Symmetrieebene aufweisen. Enantiomere unterscheiden sich deshalb in allen Chiralitätszentren (Atomen die aufgrund von vier unterschiedlichen Substituenten unter diesen zwei verschiedene Reihenfolgen erlauben). Stereoisomere, die keine Enantiomere sind, bezeichnet man als Diastereomere. Eine bedeutende Zahl von PSM-Wirkstoffen sind chiral.

SRVA: Service romand de vulgarisation agricole

WS: Abkürzung für Wirkstoff.