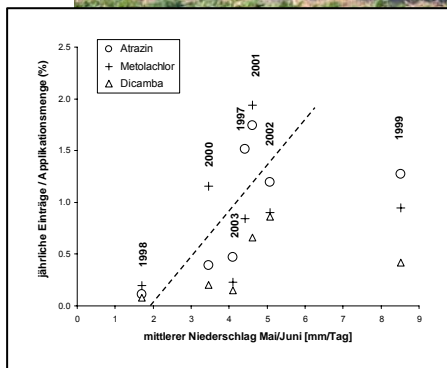
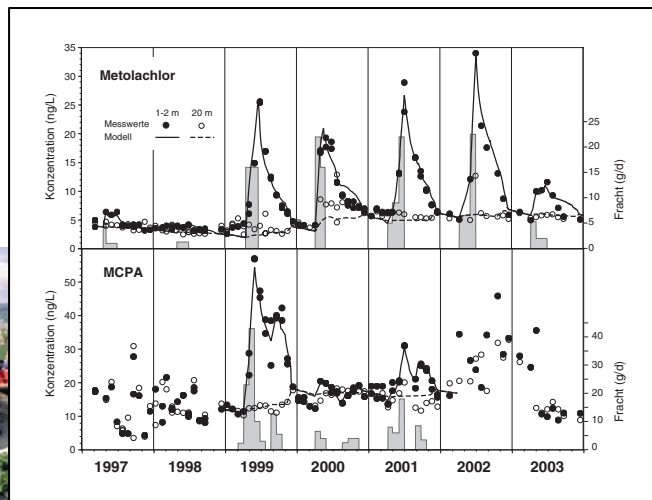


EVALUATION DER ÖKOMASSNAHMEN UND TIERHALTUNGSPROGRAMME

Schlussbericht

Bereich Pflanzenschutzmittel



Impressum

Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme,
Schlussbericht 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

Mitarbeit: A. Hauser, V. Buser, M.E. Balmer, I.J. Buerge

Copyright Agroscope FAW Wädenswil, 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Einleitung	6
2.1. Kulturlandschaft und Landwirtschaft im Wandel	6
2.2. Von der Mehr-Produktion zur Integrierten Produktion	7
2.3. Pflanzenschutzmittel als wichtiger Produktionsfaktor in einer nachhaltigen Landwirtschaft	9
2.4. IP und ökologischer Leistungsnachweis	10
2.5. Generelle Überlegungen bei der Umsetzung des Zielbereichs Pflanzenschutzmittel	11
2.6. Mögliche Zielkonflikte in der Ökologisierung des Pflanzenbaus	13
2.7. Referenzwerte und zeitliche Abläufe in der Evaluation	14
2.8. Erwartete Ursache-Wirkungsbeziehungen im PSM-Verbrauch und Umweltbelastung bei einer Zunahme von IP- und Bio-Betrieben	15
3. Entwicklung des PSM-Verbrauches in der Schweiz	18
3.1. PSM-Verkaufsstatistik der SGCI	18
3.2. Regionale Erhebungen: Baldeggersee, Greifensee, Murtensee	21
4. Einträge von PSM in Oberflächengewässer	22
4.1. Rückstände von PSM in Seen	22
4.1.1. Untersuchungsmethodik	22
4.1.1.1. Untersuchte Seen	22
4.1.1.2. Probenahme	26
4.1.1.3. Auswahl der PSM Zielverbindungen	27
4.1.1.4. Analysenmethoden - Probenaufarbeitung und Analyse	29

4.1.2. PSM-Konzentrationen im Baldegger- und Zürichsee	30
4.1.2.1. Konzentrationsbereiche, Vergleiche mit anderen Seen	30
4.1.2.2. Räumlicher und saisonaler Verlauf	31
4.1.2.3. Unterschiede von Jahr zu Jahr	35
4.1.2.4. Vergleich mit Daten aus früheren Jahren	42
4.2. PSM-Frachten im Baldegger- und Zürichsee	44
4.2.1. Berechnung der PSM Einträge (Frachten) in Gewässer	44
4.2.2. Bestimmung der Abbauraten von PSM in Seen	44
4.2.3. PSM-Frachten im Baldeggersee	46
4.2.4. PSM-Frachten im Zürichsee	53
4.3. Spezielle Aspekte, die für eine nachhaltige Landwirtschaft von Bedeutung sind	55
4.3.1. Chiral Switch - Ersatz von Isomerengemischen durch enantiomerenreine Wirkstoffe am Beispiel von Metolachlor	55
4.3.2. Nicht-landwirtschaftliche Quellen für Einträge von PSM in Gewässer	57
4.3.3. Strukturell zu PSM ähnliche Stoffe in Gewässern	60
5. Diskussion und Schlussfolgerungen	61
6. Referenzen	67
7. Glossar	70
8. Verzeichnis der Anhänge	73

1. Zusammenfassung

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 verabschiedet¹. 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 SGCI² 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

¹ Bundesgesetz vom 29. April 1998 über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz, LwG), SR 910.1. sowie Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV), SR-910.13. (1998).

² SGCI: Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie

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.

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 EAWAG³ und 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, der 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

³ Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Stoffen handelte es sich um Herbizide oder Metaboliten von Herbiziden, die 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 wenigen 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.

2. Einleitung

2.1. Kulturlandschaft und Landwirtschaft im Wandel

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 [1, 2].

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. [3])
- verbesserte Anbautechnik und weitgehende Mechanisierung im Feldbau
- neue Methoden zum Schutz der Kulturpflanzen gegen tierische und pilzliche Schad-erreger 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

Ertragszuwachs allein kann heute in den Industrieländern nicht mehr als wichtigste Zielvorstellung angesehen werden, obschon eine gesicherte Nahrungsmittelversorgung auch in Zukunft hohe Priorität haben muss [4].

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 [5, 6]. In diesem Anbausys-

tem sind alle einflussnehmenden Einzelmassnahmen darauf ausgerichtet, die pflanzliche Erzeugung unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Erfordernisse vorzunehmen.

Hierbei sind folgende Elemente massgebend:

- der **Standort** (Boden und Klima, aber z. B. auch die Entfernung zum Markt)
- die **Fruchtfolge** (Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Eindämmung von Schaderregern)
- die **Sortenwahl**
- die **Anbautechnik**
- eine ausgewogene **Pflanzenernährung**
- der **Pflanzenschutz**

Die Integrierte Produktion betrachtet das Agrarökosystem als Ganzes. 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 Landwirt 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

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 [7-10].

Eine Nutzen-Risiko-Abwägung mit definierten Schutzziele bildet die Grundlage für die staatliche Zulassung von Pflanzenschutzmitteln [11]. 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 Schadeffekte 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 [12] :

- 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. 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 quellenspezifisch, 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 quellenspezifisch (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 [13]):

- 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 [14].

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 Über-

winterungsform 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 [15]. 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 [6].

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 Schadschwelle 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 [5] 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 [15], 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 wurden 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.

Diese Hypothesen werden durch die Aussagen von 1995 in einem Fachartikel in der „Agrarforschung“ gestützt, indem die Autoren festhalten [5]:

„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. Entwicklung des PSM-Verbrauches in der Schweiz

3.1. PSM-Verkaufsstatistik der SGCI

Die Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie (SGCI) stellt die von ihren Mitgliederfirmen verkauften Mengen an PSM in einer jährlichen PSM-Marktstatistik zusammen [16]. 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.

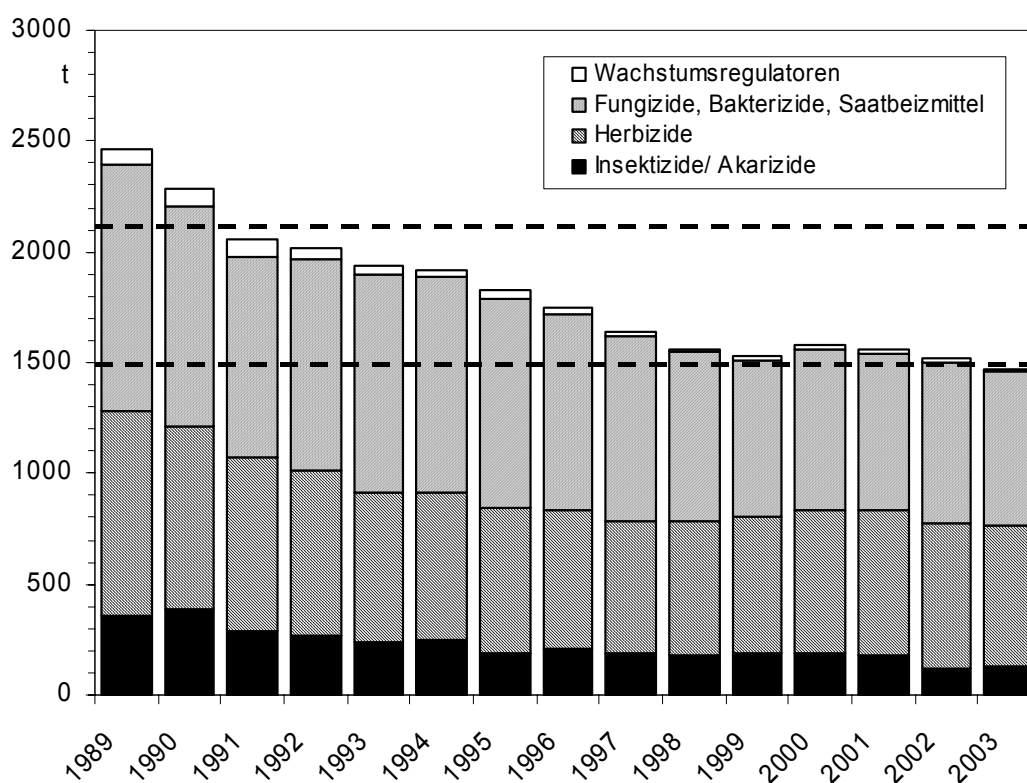


Abbildung 1: Entwicklung des PSM-Absatzes in der Schweiz (in Tonnen Wirkstoff) von 1989 - 2003, gemäss Marktstatistik der SGCI, aufgeschlüsselt nach Hauptgruppen. Die gestrichelten Linien bezeichnen den Referenzwert (1990-1992) resp. das Umsetzungsziel (30% Reduktion bis 2005).

In Abbildung 1 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 Wirk-

stoff abgenommen. Diese Abnahme ist in allen Bereichen zu verzeichnen (Tabelle 1) wobei anteilmässig vor allem die Wachstumsregulatoren (Abnahme um 72%) und Insektizide (Abnahme um 58%) stark zurückgingen.

Tabelle 1 Marktstatistik der Pflanzenschutzmittel in t Wirkstoffe¹⁾

	1990-92	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Insektizide/Akarizide	316	238	245	184	207	185	182	188	184	179	120	133
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	1	3	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	1
Organophosphate	56	53	48	45	44	41	36	31	32	29	26	25
Carbamate	17	15	14	10	10	8	9	8	9	8	8	7
Pyrethroide	1	2	<1	<1	<1	1	1	1	1	1	1	0
Produkte pflanzl./biol. Ursprungs	5	9	9	2	22	19	24	42	42	41	43	42
Andere	78	41	38	36	33	28	24	13	13	16	12	13
Mineralöl-Produkte	158	115	135	91	98	88	88	93	87	84	30	44
Herbizide	785	675	669	657	625	598	599	612	653	656	651	631
Synthetische Phytohormone	108	104	109	97	87	83	81	81	78	74	64	57
Triazine	98	89	75	70	62	65	67	53	52	51	49	53
Acetamide	43	34	25	25	22	31	41	49	46	55	47	48
Carbamate	54	33	52	55	57	42	29	37	33	33	32	33
Dinitroaniline	64	42	24	35	25	22	22	21	17	22	22	24
Sulfonylharnstoffe/Uracile	122	97	109	118	113	99	98	97	91	92	80	81
Andere	295	276	275	257	259	256	262	271	336	323	346	336
Fungizide, Bakterizide, Saatbeizmittel	951	982	974	949	890	840	764	708	720	706	732	692
Anorganische Produkte	305	414	382	347	355	351	311	267	269	250	250	234
Dithiocarbamate	211	166	171	170	145	109	101	88	89	90	88	83
Benzimidazole	17	7	7	8	4	3	3	3	3	3	3	3
Diazole, Triazole	63	58	61	56	53	43	37	34	38	34	33	32
Diazine, Morpholine	30	23	30	31	33	13	14	8	6	9	9	9
Andere	324	314	323	337	300	321	300	308	314	320	349	331
Wachstumsregulatoren	67	39	33	34	22	20	18	18	19	21	20	19
Rodentizide	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	3	2
Total	2120	1935	1921	1827	1748	1644	1563	1527	1577	1562	1526	1477
in %	100	91	91	86	82	78	74	72	74	74	72	70

1) Quelle: SGCI [16]

Gegenüber dem für die Evaluation definierten Referenzzeitraum (1990-1992) betrug der Rückgang bis 2003 rund 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, zum Teil mit weniger grosser Auswirkung auf die Aufwandmengen, liessen sich aufzählen. Um solche Substitutionen belegen zu können, sind die Daten der Marktstatistiken jedoch zu stark aggregiert. 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 Wirkstoffe durch andere praktisch unmöglich. Weiter erschwert wird er durch die fehlende Verknüpfung von Wirkstoffen und landwirtschaftlichem Einsatz, insbesondere 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 2 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 Extensio-Programmes im Getreide und Raps auch eine Reduktion des PSM-Einsatzes auf einem Teil dieser Flächen stattgefunden, die die Reduktion des PSM-Verbrauches wenigstens zum Teil erklären kann.

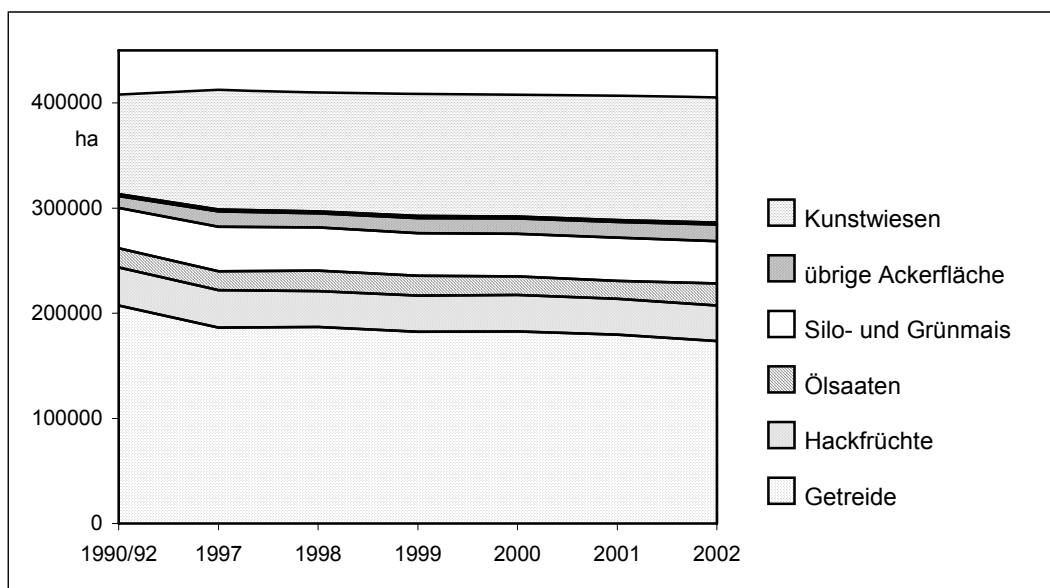


Abbildung 2: Entwicklung der offenen Ackerfläche in der Schweiz seit 1990/92 [17].

3.2. Regionale Erhebungen: Baldeggersee, Greifensee, Murtensee

In den Einzugsgebieten des Baldegger-, Greifen- und Murtensee wurden im Zeitraum 1997 bis 2003 Erhebungen zum Einsatz von PSM gemacht. Diese Erhebungen basierten auf der Auswertung der Feldkalender (aus einer repräsentativen Stichprobe der Betriebe im jeweiligen Einzugsgebiet), in denen neben anderen Dingen, jede Pflanzenschutzmassnahme verzeichnet werden sollte. Damit stehen aus dieser Erhebung Verbrauchsdaten zur Verfügung, bei denen eine Verknüpfung zwischen Wirkstoffmenge, Kultur und Einsatzzeitpunkt möglich ist. Auf diese Daten wird in den folgenden Abschnitten verschiedentlich zurückgegriffen. Die Daten selbst, sowie Angaben zur Untersuchungsmethodik und eine Interpretation der Ergebnisse sind in einem separaten Bericht aus den beiden ausführenden Institutionen, der Landwirtschaftlichen Beratungszentrale Lindau (LBL) und dem Service Romand de Vulgarisation Agricole (SRVA) zusammengestellt [18].

4. Einträge von PSM in Oberflächengewässer

4.1. Rückstände von PSM in Seen

4.1.1. Untersuchungsmethodik

4.1.1.1. Untersuchte Seen

Überall dort, wo PSM eingesetzt werden, werden Rückstände der verschiedenen PSM-Wirkstoffe auch in Gewässern nachgewiesen. Die Konzentrationen in Gewässern hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, unter anderem der Aufwandmenge, der Applikationsart, dem Zeitpunkt, der Kultur, den Stoffeigenschaften (Persistenz, Mobilität), den Eigenschaften des Untergrundes (Lehmboden, Karst), der Witterung (Starkregen), sowie der Sorgfalt in der Anwendung. Die Gewässer sind damit quasi ein Spiegel ihres Einzugsgebietes, respektive des Gesamtsystems Landwirtschaft in einer Region, aber auch der Sorgfalt im Umgang mit PSM in nicht-landwirtschaftlichen Bereichen (z.B. Hausgarten, Unterhalt von Strassen, Materialschutz, etc.).

Wie verschiedene Studien gezeigt haben, sind die Konzentrationen von PSM in Fließgewässern (Bäche, Flüsse) starken Schwankungen unterworfen, wodurch die Berechnung von Frachten, die als Beurteilungskriterium herangezogen werden, sehr ungenau wird oder mit grossem Aufwand verbunden ist (kontinuierliche, eventuell flussproportionale Probenahme; grosse Zahl von Proben, siehe z.B. Referenzen [19-22]). Seen sind besser geeignet, da sie integrierend wirken und sich Änderungen der PSM-Konzentrationen in den Zuläufen nur langsam auf die Konzentrationen im See auswirken. Die in einen See eingetragenen Mengen an PSM können deshalb mit einer relativ geringen Anzahl von Proben recht gut erfasst werden [23, 24].

Um die unterschiedliche zeitliche Variabilität von PSM-Konzentrationen in kleinen Fließgewässern und Seen zu illustrieren, zeigen wir in Abbildung 3 die in der Ron, dem wichtigsten Zufluss des Baldeggersees, bestimmten Frachten des Herbizides Atrazin für den Zeitraum Februar bis August 2002 und im Vergleich dazu die im Baldeggersee gemessenen Konzentrationen. In der Ron wurden in diesem Zeitraum sehr unterschiedliche Atrazin-Konzentrationen gefunden, wobei die höchsten Konzentrationen kurz nach einem intensiven Regenereignis Anfang Juni auftraten. Die daraus resultierenden Frachten zeigen nochmals grössere zeitliche Unterschiede, da die höchsten Konzentrationen bei gleichzeitig grossen Wassermengen in der Ron auftraten. Im See hingegen waren viel geringere Änderungen zu verzeichnen, die zeitlich mit den in der Ron beobachteten grossen Frachten übereinstimmten. Während die Genauigkeit der Frachtberechnung mit den Daten aus der Ron eher be-

scheiden ist (die Proben wurden in relativ grossen Zeitintervallen genommen und bei Hochwasserereignissen stand keine flussproportionale Probenahme zur Verfügung), konnte aus den monatlich im See bestimmten Konzentrationen eine genügend genaue Abschätzung der in den See eingetragenen Fracht vorgenommen werden. Es zeigte sich, dass die Einträge durch die Ron in diesem kurzen Zeitintervall Anfang Juni über 50% der Gesamteinträge für den See ausmachten [25].

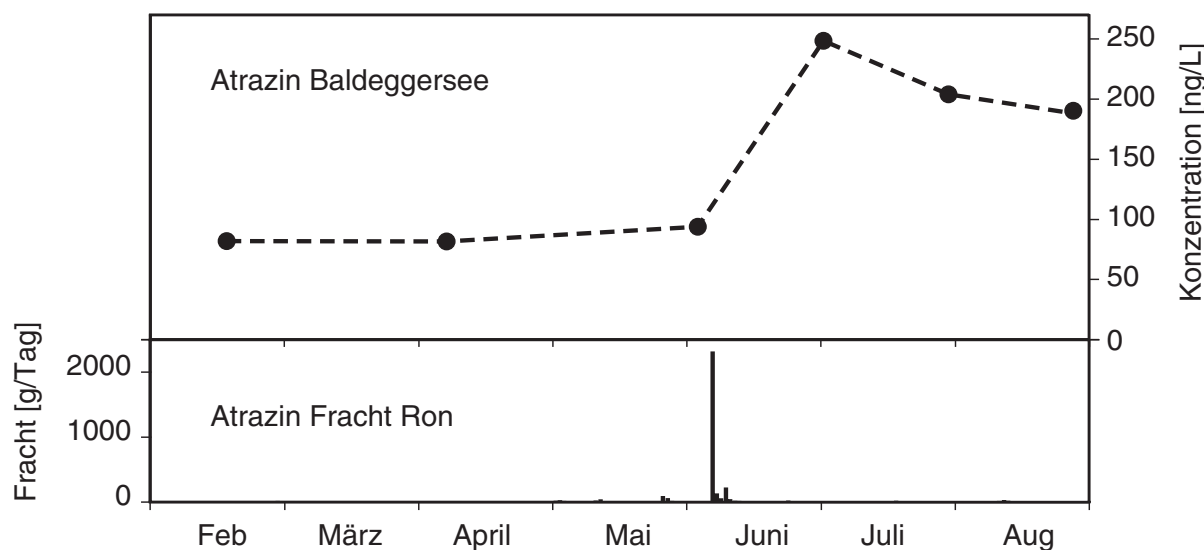


Abbildung 3: Konzentrationen von Atrazin im Baldeggersee (oben) und Atrazinfrachten im Hauptzufluss Ron (unten). Ein einzelnes Regenereignis Anfang Juni führte zum Haupteintrag (für die ganze Saison 2002) in den See.

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 die Seen zusammen mit ihren Einzugsgebieten auf einer Karte der Schweiz markiert. Eine solche Auswahl kann natürlich nicht repräsentativ sein für die "Situation Schweiz", da zu viele Faktoren, die das Auftreten von PSM in Gewässern beeinflussen, variieren. Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl war die Einbettung in bestehende Untersuchungsprogramme, die einerseits die Probenahme erleichtert und andererseits sicherstellt, 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 im Einzugsgebiet. In Tabelle 2 sind einige hydrologische und andere Daten zu diesen Seen aufgeführt. An der FAW wurde der Baldeggersee und der Zü-

richsee detailliert untersucht, an der EAWAG vor allem der Greifensee und etwas weniger detailliert auch der Murtensee und der Sempachersee. Im folgenden werden nur noch die beiden Seen, die an der FAW untersucht wurden, näher besprochen. Die Untersuchungsergebnisse zu den anderen Seen werden in separaten Berichten vorgestellt [26].



Abbildung 4: Karte mit den Einzugsgebieten der untersuchten Seen

Der Baldeggersee ist charakterisiert durch ein recht kleines, ländliches Einzugsgebiet (69 km²) mit relativ geringer Siedlungsdichte und (im Verhältnis zum Seevolumen) relativ geringem Wasseraustausch. Die daraus resultierende mittlere Wasseraufenthaltsdauer von rund 4 Jahren führt dazu, dass der See ein relativ langes „Gedächtnis“ hat, 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 (siehe Abschnitt 4.1.2.2). Die v.a. in der Vergangenheit recht hohe Belastung mit Nährstoffen hat zu einer starken Eutrophierung (Überdüngung) geführt. Der Baldeggersee wird daher seit 1982 künstlich belüftet, weist aber im Sommer im Tiefenwasser (Hypolimnion) immer noch

zeitweise sehr tiefe Sauerstoffkonzentrationen auf. Obwohl die Zufuhr an Phosphor in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden konnte, überstieg die jährliche Zufuhr die für einen gesunden See tolerierbare Menge im Jahr 2004 immer noch bei weitem. Das Seenforschungslaboratorium in Kastanienbaum (EAWAG) untersucht den Baldeggersee regelmässig und hat sämtliche Wasserproben für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Der Zürichsee ist in mehrfacher Hinsicht verschieden vom Baldeggersee. Sein Einzugsgebiet ist wesentlich grösser (1760 km²) und reicht bis in die Glarner Alpen. Das Gebiet rund um den Zürichsee ist dicht besiedelt, der See erhält aber auch signifikante Einträge aus der Landwirtschaft. Trotzdem ist das Wasser des Zürichsees vergleichsweise sehr sauber, da er sehr rasch durchflossen ist (grosse Verdünnung durch sauberes Wasser aus alpinen Regionen). Die mittlere Wasseraufenthaltszeit liegt bei 1.1 Jahren, ist im Sommer im Oberflächenwasser (Epilimnion) aber deutlich geringer (ca. 3 Monate). Änderungen im PSM Eintrag wirken sich daher recht schnell auf die Konzentrationen im See aus. Die Wasserversorgung Zürich untersucht den Zürichsee regelmässig, da das Seewasser für die Trinkwasserbereitung verwendet wird. Sämtliche Wasserproben vom Zürichsee für diese Untersuchung wurden durch die Wasserversorgung Zürich zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2: Charakteristische Daten zu den untersuchten Seen^{1,2)}

		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

1) Daten aus Referenz [27]

2) Greifensee, Murtensee und Sempachersee wurden von MitarbeiterInnen der EAWAG untersucht

3) 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.

Greifensee und Murtensee sind in Bezug auf die Wasseraufenthaltszeit dem Zürichsee recht ähnlich. Hingegen sind die beobachteten PSM-Konzentrationen höher. Der Greifensee ist zudem im Vergleich zu den anderen Seen recht stark mit Siedlungsabwässern belastet. Der Sempachersee schliesslich zeichnet sich durch sehr langsamen Wasseraustausch aus, mit einer mittleren Wasseraufenthaltszeit von ca. 15 Jahren. Dieser See wurde ausgewählt, um langfristige Trends in der Belastung mit PSM untersuchen zu können.

Neben den oben erwähnten Seen wurden an der FAW für Hintergrundmessungen ausserdem einige ausgewählte Bergseen untersucht, wie z.B. der Jörisee (2540 m ü.M.), etc. In diese Bergseen können PSM nur durch atmosphärischen und damit überregionalen Transport gelangen. Sie dienen einerseits dazu, atmosphärische Einträge von PSM abzuschätzen und andererseits, um zu verifizieren, dass die verwendete analytische Methode bei Abwesenheit der Zielverbindungen auch tatsächlich keine falsch-positiven Ergebnisse liefert. Die in diesen Seen gemessenen Konzentrationen waren denn auch praktisch durchwegs unter der Nachweisgrenze, was zeigt, dass atmosphärischer Transport für die untersuchten PSM, im Gegensatz zu früher verwendeten persistenten Verbindungen, keine wesentliche Rolle spielt.

4.1.1.2. Probenahme

Seewasser aus verschiedenen Wassertiefen wurde monatlich mittels Niskin-Probenahmeflaschen beprobt und in 1-L Mineralwasserflaschen abgefüllt. Die Proben wurden bei 4°C gelagert und in der Regel wenige Tage nach der Probenahme an der FAW aufgearbeitet. Rückstellproben wurden ca. 1 Jahr aufbewahrt, bevor sie verworfen wurden. Die Proben wurden in der Seemitte kurz unter der Wasseroberfläche (1-2.5 m, Beprobung der Oberflächenschicht, Epilimnion), sowie für Tiefenprofilmessungen in mehreren Tiefen (5, 10, 20 m) bis nahe an den Seegrund entnommen (62 m im Baldeggersee, 135 m im Zürichsee). Durch die Messung der Konzentrationen in verschiedenen Wassertiefen kann die Dynamik von Eintrag und Verteilung der Stoffe im See erfasst werden. Für Vergleichsuntersuchungen wurden in einigen Fällen auch zusätzliche Proben vom Abfluss, oder von wichtigen Zuflüssen entnommen.

4.1.1.3. Auswahl der PSM Zielverbindungen

Angesichts der Vielzahl von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen, die in der Schweiz zugelassen sind (ca. 400 Verbindungen in a. 1800 Produkten), sowie einer noch grösseren Zahl von möglichen Metaboliten, 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 erlaubt. Die Wahl fiel auf die in Tabelle 3 aufgelisteten Wirkstoffe und Metaboliten aus verschiedenen Stoffgruppen. Diese Auswahl erfasst ca. 45% der im Einzugsgebiet des Baldeggersees eingesetzten Menge an Wirkstoffen.

Unter den erfassten Verbindungen befinden sich vor allem Herbizide, sowie einige Fungizide und Metaboliten. Von den Herbiziden gehören Atrazin, 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. Weitere Verbindungen wurden ins Untersuchungsprogramm aufgenommen, weil sie entweder auch schon in anderen Untersuchungen nachgewiesen wurden, oder weil sie sich zumindest recht einfach mit den gleichen analytischen Methoden nachweisen liessen.

Die untersuchten Verbindungen lassen sich vor allem in die folgenden wichtigen PSM-Wirkstoffgruppen einteilen: s-Triazine, Acetamide und, Phenoxy/Benzoesäuren. Drei Substanzen aus der Gruppe der Triazine sind Sonderfälle. Bei Propazin handelt es sich um ein Nebenprodukt in Atrazin-Formulierungen, das in der Schweiz selbst nicht als PSM eingesetzt wird. Irgarol wird nicht als PSM eingesetzt, sondern als Anti-Foulingmittel in Bootsanstrichen. Irgarol wurde trotzdem in die Liste der Zielverbindungen aufgenommen, da es strukturell sehr ähnlich mit Prometryn ist (Cyclopropyl- statt Isopropyl-Seitenkette). Der Vergleich des Irgarol/Atrazin-Verhältnisses zwischen Zürichsee und Baldeggersee ist interessant, da die beiden Seen sich in Bezug auf den Bootsverkehr stark unterscheiden. Auf dem Baldeggersee (Naturschutzgebiet) ist kein Bootsverkehr zulässig, während auf dem Zürichsee intensiver Bootsverkehr (kommerziell und privat) herrscht. Tatsächlich findet man im Baldeggersee nur Spuren von Irgarol (Verhältnis zu Atrazin < 0.1), während im Zürichsee die Konzentration von Irgarol beinahe diejenige von Atrazin erreicht (Verhältnis > 0.5). Desethylatrazin ist der wichtigste Metabolit aus dem biologischen Abbau von Atrazin im *Boden*. In frisch abgeschwemmten Böden, kurz nach Applikation, wird nur wenig Desethylatrazin erwartet (d.h. das Verhältnis der Konzentrationen von Desethylatrazin zu Atrazin, $[DES]/[ATR]$, ist klein), während nach einiger Zeit bereits mehr am Metabolit erwartet wird ($[DES]/[ATR]$ grösser).

Aus dem Verhältnis [DES]/[ATR] können deshalb Rückschlüsse auf das Alter der Rückstände zum Zeitpunkt der Abschwemmung gezogen werden.

Tabelle 3: Analysierte PSM-Wirkstoffe

Wirkstoffgruppe	Name	Eingesetzt als	Extraktion aus Wasserproben
s-Triazine/Triazinone	Atrazin	Herbizid	neutral
	Cyanazin	Herbizid	neutral
	Desethylatrazin	Metabolit	neutral
	Irgarol	Antifouling	neutral
	Metamitron	Herbizid	neutral
	Propazin	Herbizid	neutral
	Prometryn	Herbizid	neutral
	Simazin	Herbizid	neutral
	Terbuthylazin	Herbizid	neutral
	Terbutryn	Herbizid	neutral
Acylanilide	Acetochlor	Herbizid	neutral
	Alachlor	Herbizid	neutral
	Benalaxyl	Fungizid	neutral
	Dimethenamid	Herbizid	neutral
	Furalaxyl	Fungizid	neutral
	Metalaxyl	Fungizid	neutral
	Metazachlor	Herbizid	neutral
	Metolachlor	Herbizid	neutral
	Oxadixyl	Fungizid	neutral
	Propachlor	Herbizid	neutral
Phenoxy/Benzoessäuren	2,4-D	Herbizid	sauer
	Dicamba	Herbizid	sauer
	Dichlorprop	Herbizid	sauer
	Haloxypop	Herbizid	sauer
	MCPA	Herbizid	sauer
	MCPB	Herbizid	sauer
	Mecoprop	Herbizid	sauer
	Triclopyr	Herbizid	sauer
	Bifenox (als Säure)	Herbizid	sauer

4.1.1.4. Analysenmethoden - Probenaufarbeitung und Analyse

Wegen der sehr tiefen Konzentrationen (1-100 ng/L) von PSM in Seewasser, und der für eine Trenderkennung erforderlichen Genauigkeit der Resultate, waren empfindliche, präzise Nachweismethoden notwendig. Zur Extraktion der Wasserproben wurden die zu analysierenden Verbindungen mittels einer Festphasen-Extraktion angereichert (Anreicherung um Faktor 5000) und anschliessend mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) untersucht. Dazu wurden jeweils zwei Teilproben von je 1 Liter separat aufgearbeitet, einmal unter neutralen Bedingungen um PSM wie z.B. die s-Triazine und Acetamide zu erfassen, und einmal unter sauren Bedingungen (pH 2) um PSM wie Phenoxy- und Benzoesäuren zu erfassen. Für die GC-MS Analyse der sauren Verbindungen mussten diese in die einer Analyse besser zugänglichen Ester überführt werden (Methylierung).

Um möglichst präzise Analysenresultate zu erhalten, wurden Isotopen-markierte interne Standards (D_5 -Atrazin, $^{13}C_6$ -Metolachlor, $^{13}C_6$ -Dichlorprop), verwendet, die den Wasserproben vor der Aufarbeitung zugesetzt wurden. Die mit stabilen Isotopen (D, ^{13}C) markierten Verbindungen (z.B. D_5 -Atrazin) kommen in der Umwelt nicht vor, können aber massenspektrometrisch von den Rückständen mit natürlicher Isotopenzusammensetzung unterschieden werden. Chemisch verhalten sie sich aber identisch. Sie dienen einer Qualitätskontrolle und erlauben es, genaue quantitative Analysen durchzuführen (relative Analysenfehler in der Regel wenige Prozente). Die Nachweisgrenzen der Methode lagen je nach Verbindung bei 1-10 ng/L (siehe Tabelle 4). Damit die Analysenergebnisse über den Untersuchungszeitraum möglichst vergleichbar blieben, wurde während der gesamten Zeit das gleiche Verfahren, mit wenigen Anpassungen im Detail, verwendet. In Bezug auf die erzielten Nachweisgrenzen, Präzision und Richtigkeit ist die verwendete Methode auch jetzt noch Stand der Technik [28, 29].

In Abbildung 5 zeigen wir beispielhaft einige GC-MS Chromatogramme. Diese Analysen sind recht anspruchsvoll, da in diesen tiefen Konzentrationsbereichen eine Vielzahl weiterer Verbindungen aufgefunden werden, die u.U. das Vorhandensein von einem PSM vortäuschen können. Zur Bestätigung wurden deshalb meist mehrere Ionen registriert und die Signalverhältnisse überprüft. In einigen Fällen wurden gesamte Massenspektren registriert um sicherzustellen, dass die beobachteten Signale wirklich von PSM stammen.

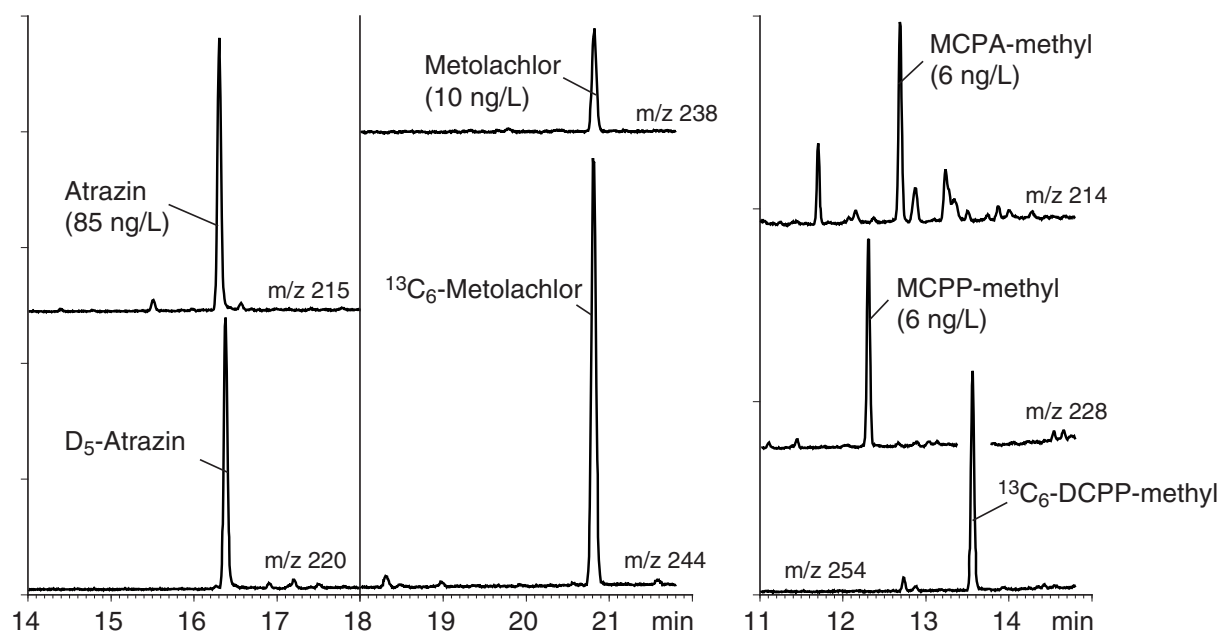


Abbildung 5: GC-MS SIM Chromatogramm einer Wasserprobe aus dem Baldeggersee mit den Massenspuren für Atrazin, Metolachlor, MCPA und Mecoprop (MCPP), sowie die Isotopen-markierten internen Standards.

4.1.2. PSM-Konzentrationen im Baldegger- und Zürichsee

4.1.2.1. Konzentrationsbereiche, Vergleiche mit anderen Seen

In Tabelle 4 sind die im Baldeggersee und im Zürichsee im Zeitraum 1997-2003 bestimmten PSM-Konzentrationen zusammengefasst. Die ausführlichen Resultate (Datensätze) sind in Tabellen im Anhang aufgeführt. In beiden Seen wurden PSM regelmässig nachgewiesen, wobei die Konzentrationen im tiefen ng/L Bereich lagen, und nur im Fall von Atrazin und sporadisch auch von Desethylatrazin im Baldeggersee den Trinkwassertoleranzwert von 100 ng/L überschritten, was auf eine sehr gute Wasserqualität dieser Seen (zumindest in Bezug auf PSM) hinweist. In den Bergseen konnten mit ganz wenigen Ausnahmen keine PSM nachgewiesen werden.

Im Zürichsee (Epilimnion) wurden im Zeitraum 1997-2003 nur geringe Konzentrationen von Triazinen (total max. ca. 30 ng/L) sowie geringe Mengen an Phenoxyalkansäuren und Acylaniliden (max. 10 ng/L) festgestellt. Viele Stoffe waren nicht nachweisbar. Im Baldeggersee waren die Konzentrationen im gleichen Zeitraum wesentlich (2-10x) höher. Da dieser See einen hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen im Einzugsgebiet aufweist, sind diese Einträge mit grosser Wahrscheinlichkeit auf landwirtschaftlichen Einsatz zurückzuführen. Die PSM-Konzentrationen im Baldeggersee sind vergleichbar mit denjenigen im Greifensee,

Murtensee und Sempachersee, wo beispielsweise für Atrazin ebenfalls Konzentrationen im Bereich von 100 - 200 ng/L nachgewiesen wurden [30].

Im Falle des Zürichsees zeigen die Resultate im Vergleich zu anderen PSM auffällig hohe Konzentrationen für Mecoprop für die wohl hauptsächlich nicht-landwirtschaftliche Quellen verantwortlich sind. Ähnlich ist die Situation im Greifensee, wo ebenfalls ein hoher Anteil an Siedlungswasser in den See gelangt (siehe Abschnitt 4.3.2).

Tabelle 4: PSM-Konzentrationen¹⁾ im Zürichsee und Baldeggersee 1997-2003 (ng/L)

		Zürichsee	Baldeggersee
<i>Triazine</i>	Atrazin	3 - 18	62 - 250
	Desethylatrazin ²⁾	< 1 - 10	26 - 130
	Simazin	< 1 - 7	11 - 84
	Propazin	< 1 - 4	< 1 - 6
	Terbutylazin	< 1 - 10	5 - 34
	Irgarol ³⁾	< 1 - 8	< 1 - 2
<i>Acetanilide</i>	Metolachlor	< 1 - 2	3 - 34
	Dimethenamid	< 2	< 2 - 2
<i>Säuren</i>	Mecoprop	3 - 27	6 - 55
	MCPA	< 1 - 9	4 - 57
	Dicamba	< 1 - 3	< 1 - 51
	2,4-D	< 1 - 4	< 1 - 10

1) Nachweisgrenzen (ng/L) für die übrigen Verbindungen, die in keiner der untersuchten Proben nachgewiesen wurden: Prometryn, Terbutryn, 0.5; Cyanazin, 10; Metamitron, 10; Alachlor, 3; Acetochlor, 2; Propachlor, 2; Metalaxyl, 5; Benalaxyl, 5; Furalaxyl, 3; Oxadixyl, 3; Metazachlor, 2; Dichlorprop, 0.5; MCPB, 5; Haloxyfop, 1; Bifenox, 5

2) Metabolit aus dem biologischen Abbau von Atrazin im Boden

3) kein PSM, als Antifouling in Bootsanstrichen verwendet, strukturell verwandt mit Prometryn

4.1.2.2. Räumlicher und saisonaler Verlauf

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

alle heute eingesetzten PSM mässig rasch bis rasch im Boden abgebaut werden und somit nur während einer gewissen Zeit nach der Applikation im Boden in nennenswerter Konzentration vorliegen resp. aus dem Boden ausgewaschen werden können. Zudem werden Rückstände im Boden mit der Zeit meist stärker zurückgehalten, einerseits durch Verlagerung von der Oberfläche in tiefere Schichten und andererseits durch eine häufig beobachtete mit dem Alter der Rückstände zunehmenden Adsorption an die Bodenmatrix. Insgesamt ist also das Potential für Auswaschung aus dem Boden und Eintrag in Gewässer bei frischen Rückständen, kurz nach der Applikation am höchsten und verringert sich je nach Stoff mehr oder weniger rasch. Bei vielen PSM ist deshalb ein Eintrag in Gewässer in einem beschränkten Zeitraum zu erwarten. Dies gilt natürlich nicht oder nur sehr eingeschränkt für Stoffe, die in vielen verschiedenen Kulturen oder mehrmals pro Jahr eingesetzt werden.

Die räumliche Verteilung von PSM (und anderen Stoffen) im See ist in hohem Mass abhängig von der Durchmischung des Sees. Während die horizontale Mischung in kleinen 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 (Stagnation) als Folge der Erwärmung und der damit verknüpften geringeren Dichte des Oberflächenwassers. Es bildet sich eine gut durchmischte Oberflächenschicht (Epilimnion) aus, die sich nur sehr geringfügig mit dem kalten Tiefenwasser (Hypolimnion) mischt (siehe Abbildung 6). In diesem Zeitraum gelangen Substanzen, die mit Bächen in den See eingetragen werden zum grössten Teil ins Epilimnion. Ebenso geschieht der Abfluss aus dem See nur aus dem Epilimnion. Im Vergleich zum Seevolumen ist das Volumen des Epilimnions deutlich kleiner. Bei gleichen Abflussmengen ist somit der Wasseraustausch im Epilimnion deutlich rascher als der mittlere Wasseraustausch im ganzen See. Erst im Spätherbst, wenn sich das Oberflächenwasser stark abgekühlt hat und kräftige Winde die Zirkulation begünstigen, wird der See auch vertikal vollständig durchmischt. In kalten Wintern mit schwachen Winden ist ebenfalls eine Dichteschichtung des Sees möglich, die letztlich bis zur Eisbildung an der Oberfläche führen kann. Wie im Herbst wird auch im Frühjahr die Zirkulation begünstigt. Von den beiden untersuchten Seen, zeigt der Baldeggersee das eben beschriebene "typische" Verhalten, das im Winter durch die künstliche Zirkulationsunterstützung durch Lufteinblasung noch zusätzlich gefördert wird, während der Zürichsee mit seiner grösseren Wassertiefe nicht in jedem Jahr vollständig bis auf den Seegrund durchmischt wird.
