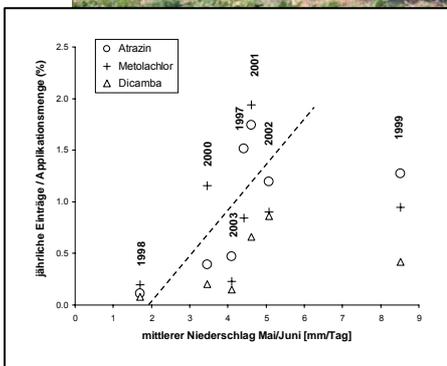
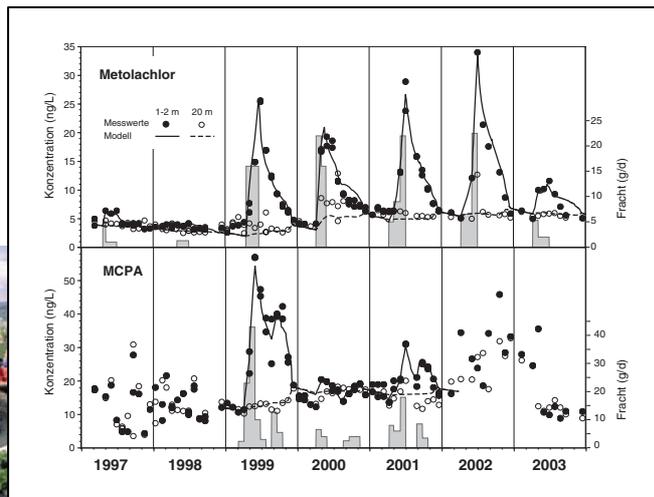


EVALUATION DER ÖKOMASSNAHMEN UND TIERHALTUNGSPROGRAMME

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.

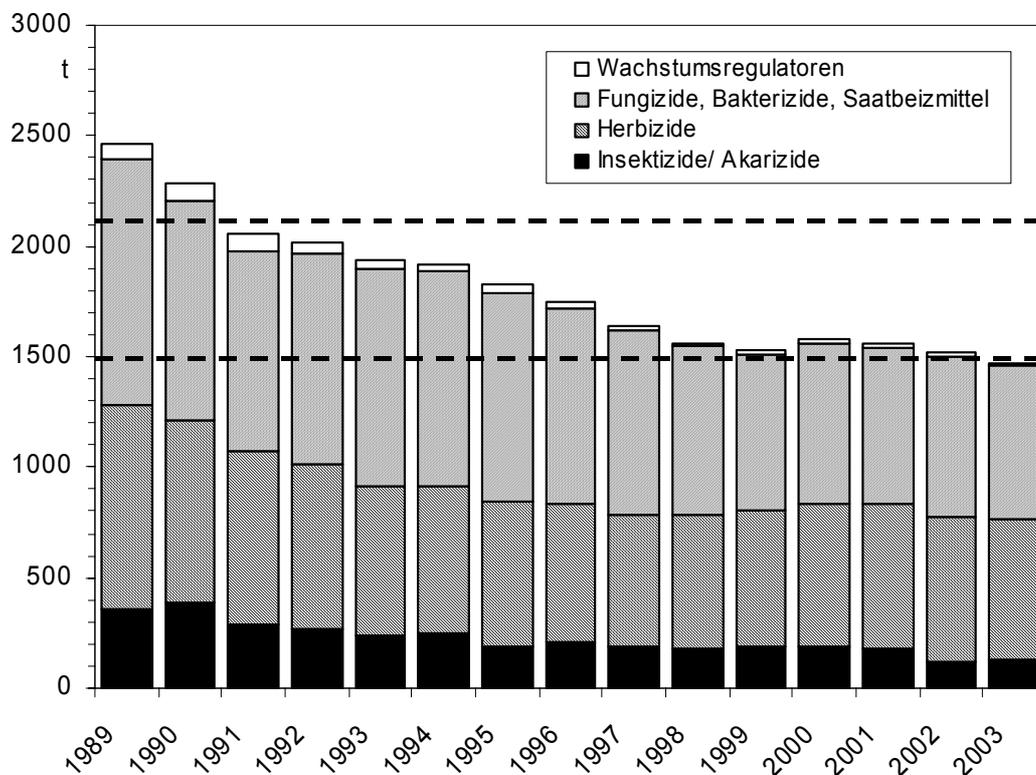


Abbildung 1: Entwicklung des PSM-Absatzes in der Schweiz (in Tonnen Wirkstoff) von 1989 - 2003, gemäss Marktstatistik der SGCI, aufgeschlüsselt nach Hauptgruppen. Die gestrichelten Linien bezeichnen den Referenzwert (1990-1992) resp. das Umsetzungsziel (30% Reduktion bis 2005).

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	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 Extensiv-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.

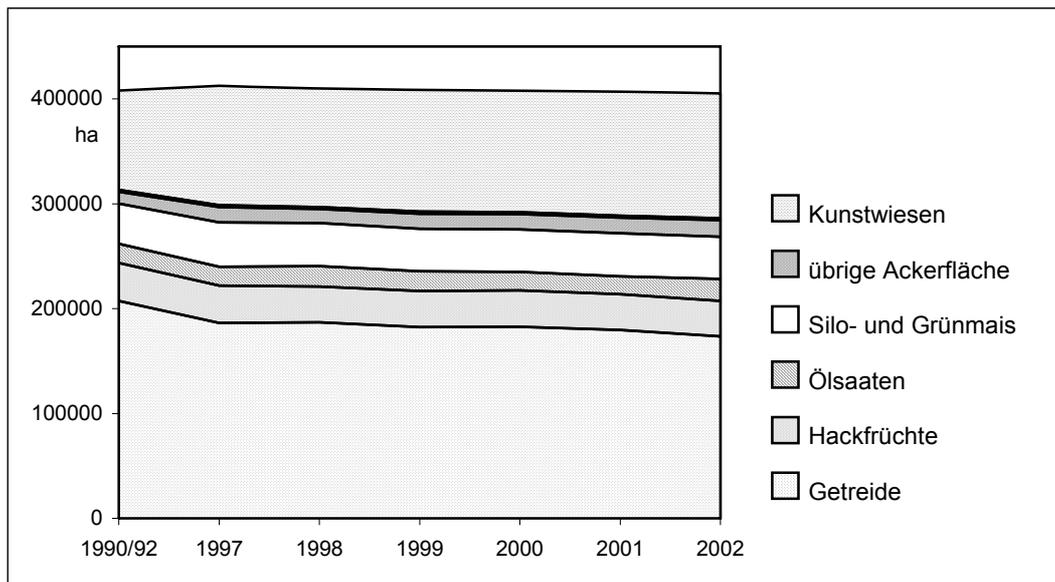


Abbildung 2: Entwicklung der offenen Ackerfläche in der Schweiz seit 1990/92 [17].

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].

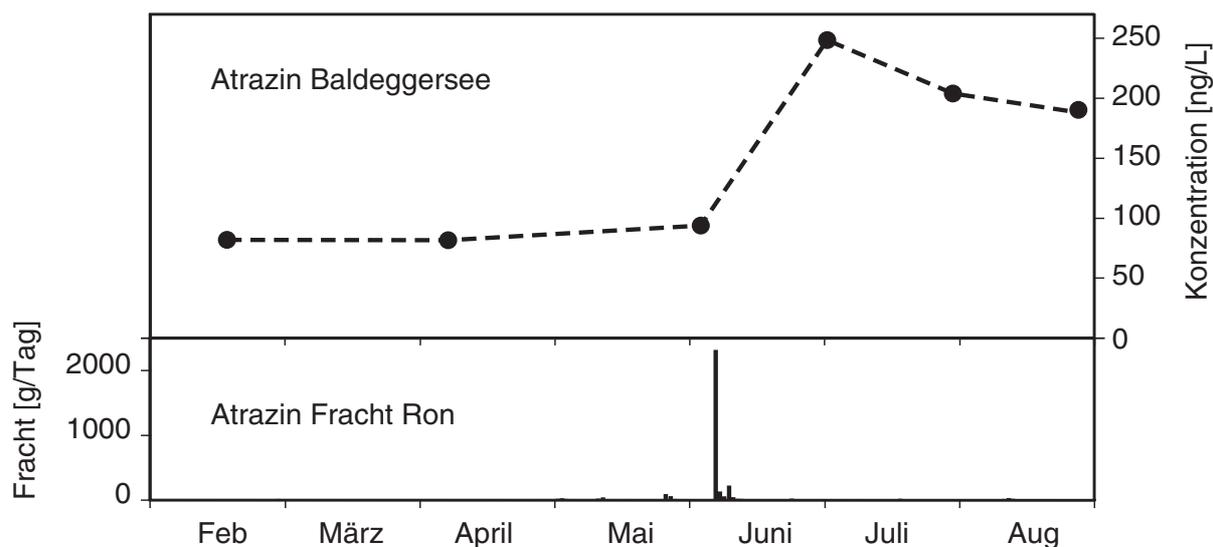


Abbildung 3: Konzentrationen von Atrazin im Baldeggersee (oben) und Atrazinfrachten im Hauptzufluss Ron (unten). Ein einzelnes Regenereignis Anfang Juni führte zum Haupteintrag (für die ganze Saison 2002) in den See.

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].

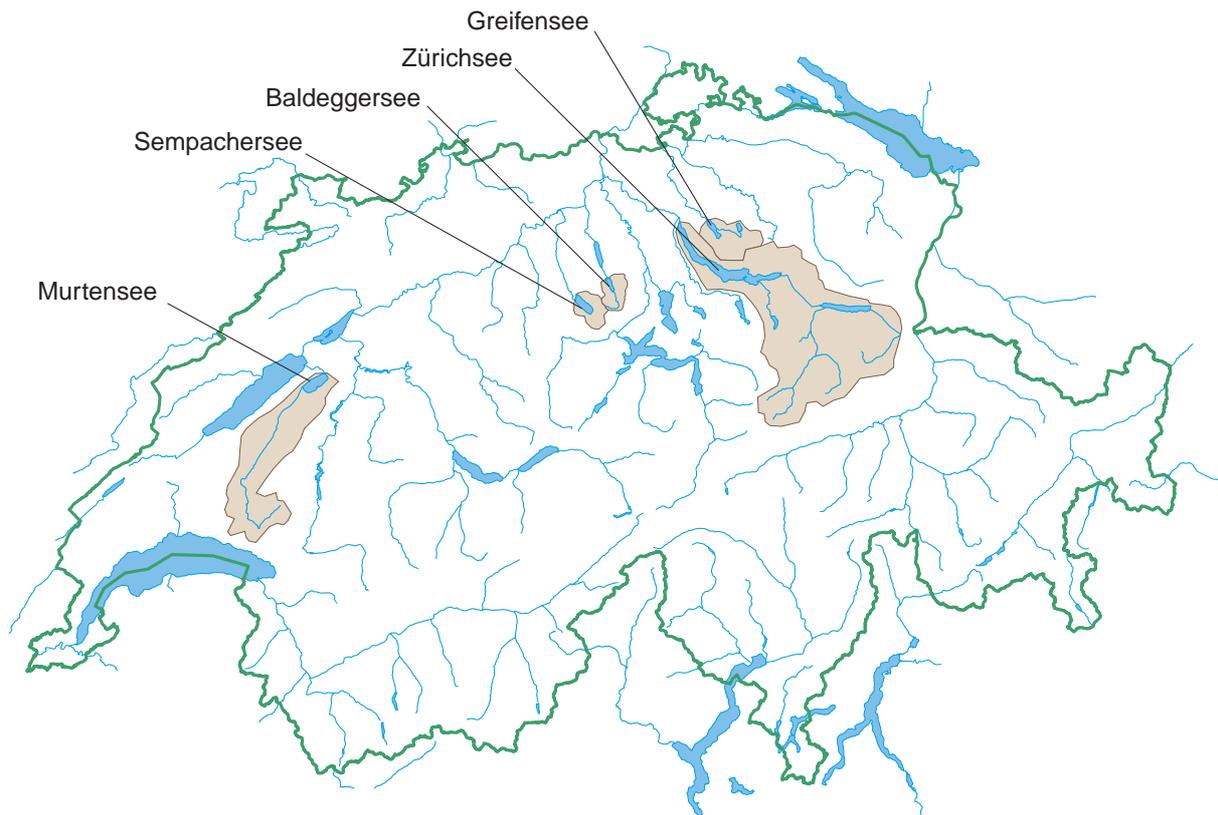


Abbildung 4: Karte mit den Einzugsgebieten der untersuchten Seen

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 Analyseergebnisse 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.

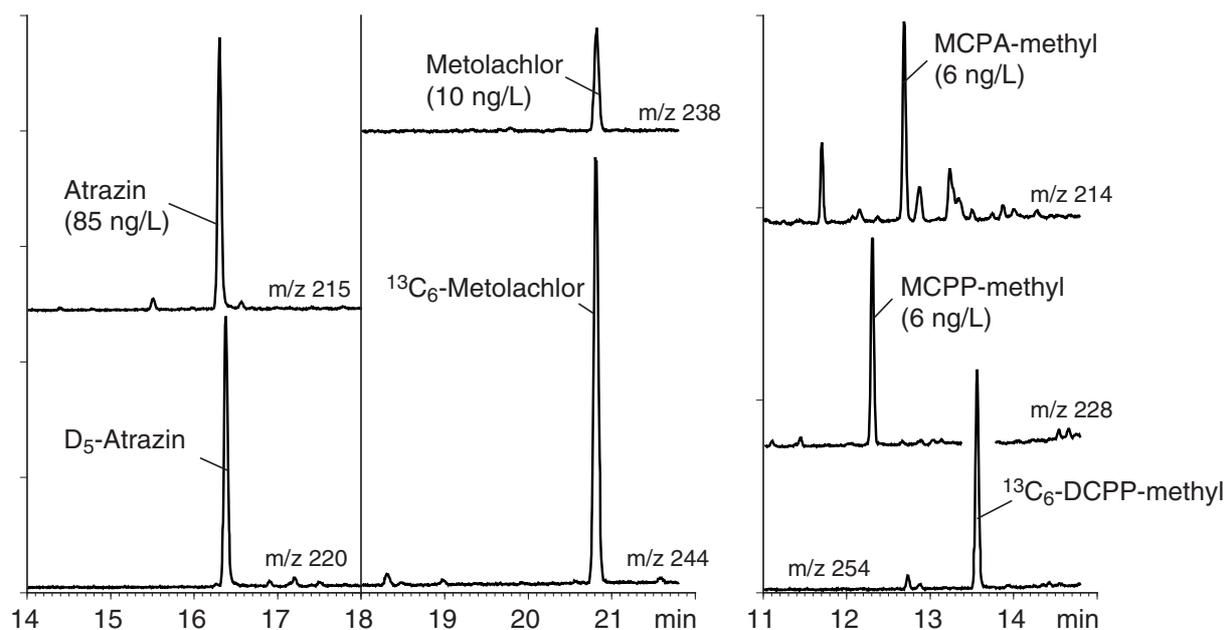


Abbildung 5: GC-MS SIM Chromatogramm einer Wasserprobe aus dem Baldeggersee mit den Massenspuren für Atrazin, Metolachlor, MCPA und Mecoprop (MCPP), sowie die Isotopen-markierten internen Standards.

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 Triazin (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.

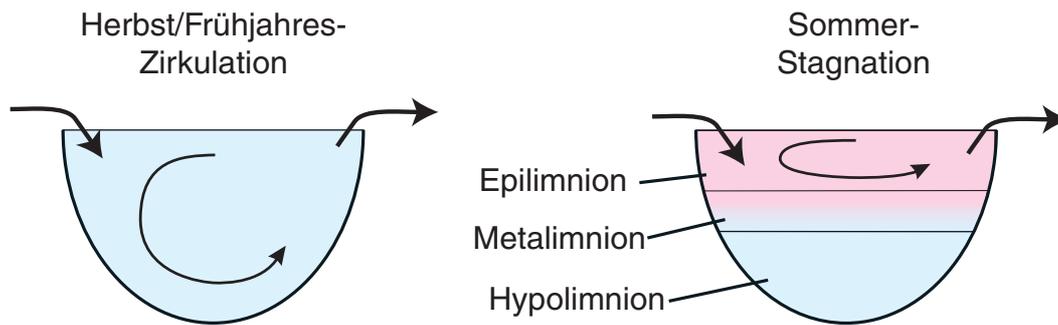


Abbildung 6 Schematische Darstellung der vertikalen Durchmischung in einem typischen Mittelmeersee.

In Abbildung 7 ist als typisches Beispiel der Konzentrationsverlauf von Atrazin im Baldeggersee in unterschiedlichen Wassertiefen im Jahr 1999 dargestellt. Da Atrazin ausschliesslich in Mais zugelassen ist, kann der Zeitraum, in dem dieser Stoff im Feld angewendet wird sehr (dunkel hinterlegte Fläche) genau eingegrenzt werden, wobei der letztmögliche Anwendungstermin laut Bewilligung jeweils der 30. Juni ist. Die Atrazinkonzentrationen im See im Zeitraum Februar bis Ende Mai 1999 waren relativ konstant mit leicht abnehmender Tendenz. Diese leichte Konzentrationsabnahme ist auf Wasseraustausch, d.h. Austrag aus dem See und Verdünnung mit weniger atrazinhaltigem Wasser zurückzuführen. Ende Juni/Anfang Juli steigt die Atrazinkonzentration in der Nähe der Wasseroberfläche rasch an und erreicht ein Maximum Ende Juli, bedingt durch Austrag von Atrazin aus behandelten Flächen. In grösserer Wassertiefe bleibt hingegen die Konzentration wegen der Schichtung des Sees in etwa konstant. Aufgrund des relativ raschen Wasseraustausches im Epilimnion wird der rasche Konzentrationsanstieg von Atrazin gefolgt von einer ebenfalls raschen Abnahme von August bis November. Erst im Dezember wird der See vollständig durchmischt und die Konzentrationsunterschiede ausgeglichen.

Im Gegensatz zu Atrazin zeigt Desethylatrazin, das durch Metabolisierung im Boden aus Atrazin gebildet wird, erwartungsgemäss keine so deutlich ausgeprägte Saisonalität (Abbildung 7). Die Bildung von Desethylatrazin aus Atrazin verläuft langsam und über einen längeren Zeitraum. Deshalb gelangt Desethylatrazin später in Gewässer, mit weniger ausgeprägten Konzentrationsspitzen, dafür über eine längere Zeit. Bei genauer Betrachtung der in Abbildung 7 dargestellten Desethylatrazinkonzentrationen erkennt man zwar im August einen leichten Anstieg im Epilimnion relativ zu denjenigen im Hypolimnion, insgesamt liegt dieser Anstieg jedoch im Bereich der Messungengenauigkeit für diesen Stoff.

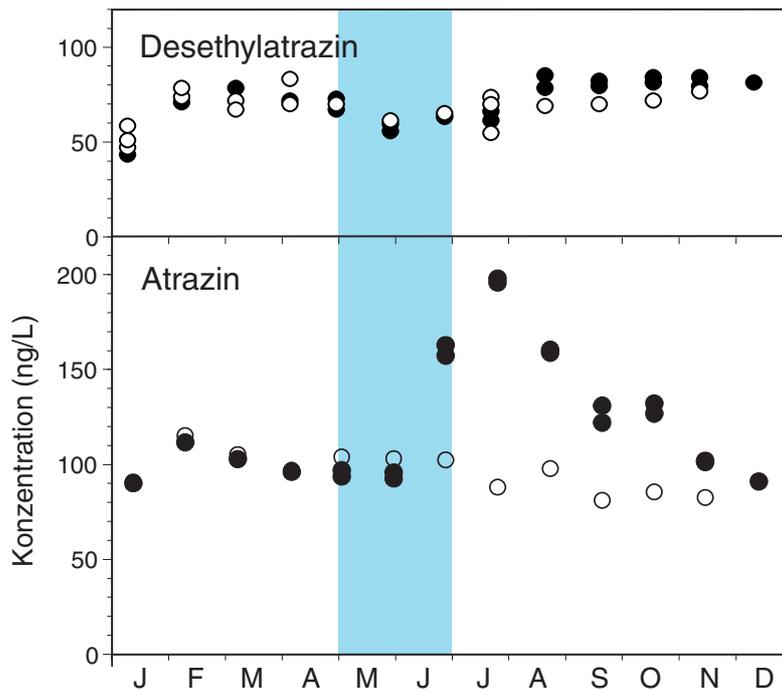


Abbildung 7: Konzentrationen von Atrazin und Desethylatrazin im Baldeggensee im Jahr 1999 in 1-2.5 m Tiefe (volle Kreise) und 20 m Tiefe (leere Kreise).

In Abbildung 8 sind die Konzentrationen von Atrazin im Baldeggensee in Abhängigkeit der Wassertiefe an vier Zeitpunkten im Jahr 1997 dargestellt. Neben den Messwerten sind auch die mittels Modellrechnung bestimmten Konzentrationen dargestellt (siehe nächsten Abschnitt). Der Konzentrationsanstieg von Atrazin im Epilimnion (0 bis 5m Tiefe) ist in dieser Darstellung deutlich zu erkennen. Der durch die Schichtung des Sees bedingte Konzentrationsunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser bleibt bis Ende September erhalten. Erst Mitte November wird die einsetzende Durchmischung von Oberflächen- und Tiefenwasser deutlich, die schliesslich die Konzentrationsunterschiede ganz ausgleicht.

Von den untersuchten Stoffen zeigten neben Atrazin noch andere PSM ausgeprägte saisonale Konzentrationsschwankungen, insbesondere Metolachlor, MCPA und Dicamba, sowie in geringerem Mass auch Simazin und MCPP, während bei Desethylatrazin, Terbutylazin, Propazin und 2,4-D keine, resp. keine die Messunsicherheit übersteigenden Schwankungen beobachtet wurden.

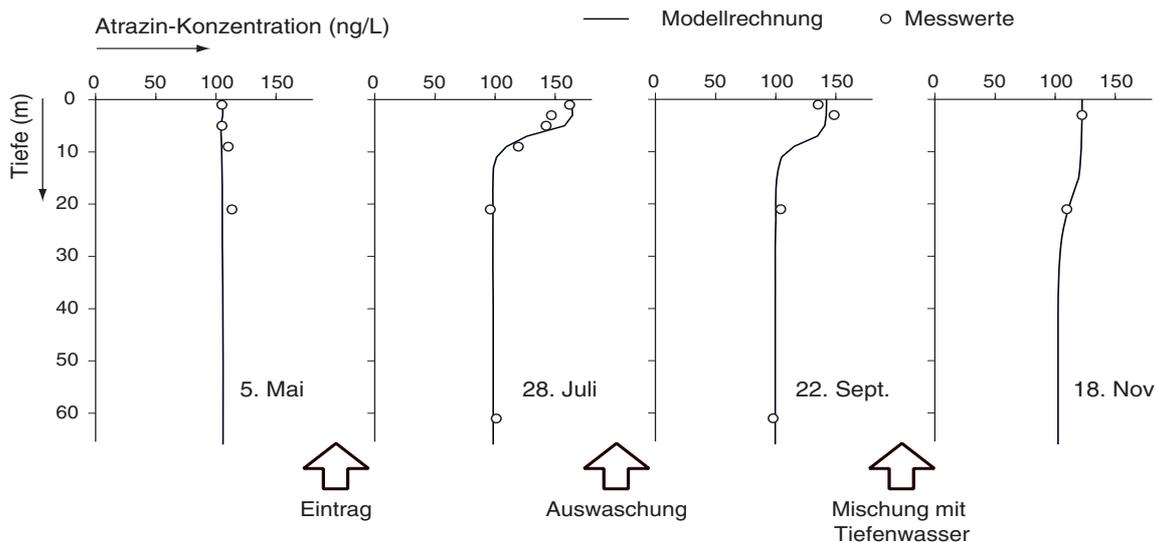


Abbildung 8: Vertikale Konzentrationsprofile von Atrazin im Baldeggersee, 1997, Darstellung der massgebenden Prozesse.

4.1.2.3. Unterschiede von Jahr zu Jahr

Da viele der im Baldegger- und Zürichsee bestimmten PSM ausgeprägten saisonalen Konzentrationsschwankungen unterliegen, sind für eine Betrachtung der langfristigen Konzentrations-Trends nicht alle Zeitpunkte gleich gut geeignet. Am besten eignen sich Messwerte, die im Frühjahr während der Zirkulation bestimmt wurden, oder solche aus dem Hypolimnion während der Sommerstagnation, da dort die geringsten Schwankungen auftreten. Betrachtet man ausschliesslich diese Werte, so stellt man fest, dass im Untersuchungszeitraum 1997 bis 2003 die Konzentrationen mehr oder weniger konstant blieben (Atrazin, Desethylatrazin, Simazin, MCPP, MCPA und 2,4-D) oder abnahmen (Propazin und Terbutylazin). Geringfügige Zunahmen konnten bei Dicamba und Metolachlor festgestellt werden. In Abbildung 9 sind beispielhaft die Konzentrationen von Atrazin, Terbutylazin und Metolachlor im Tiefenwasser (10 - 62 m) des Baldeggersees im Zeitraum von 1997 bis 2003 dargestellt. Die vollständigen Daten und Abbildungen befinden sich im Anhang.

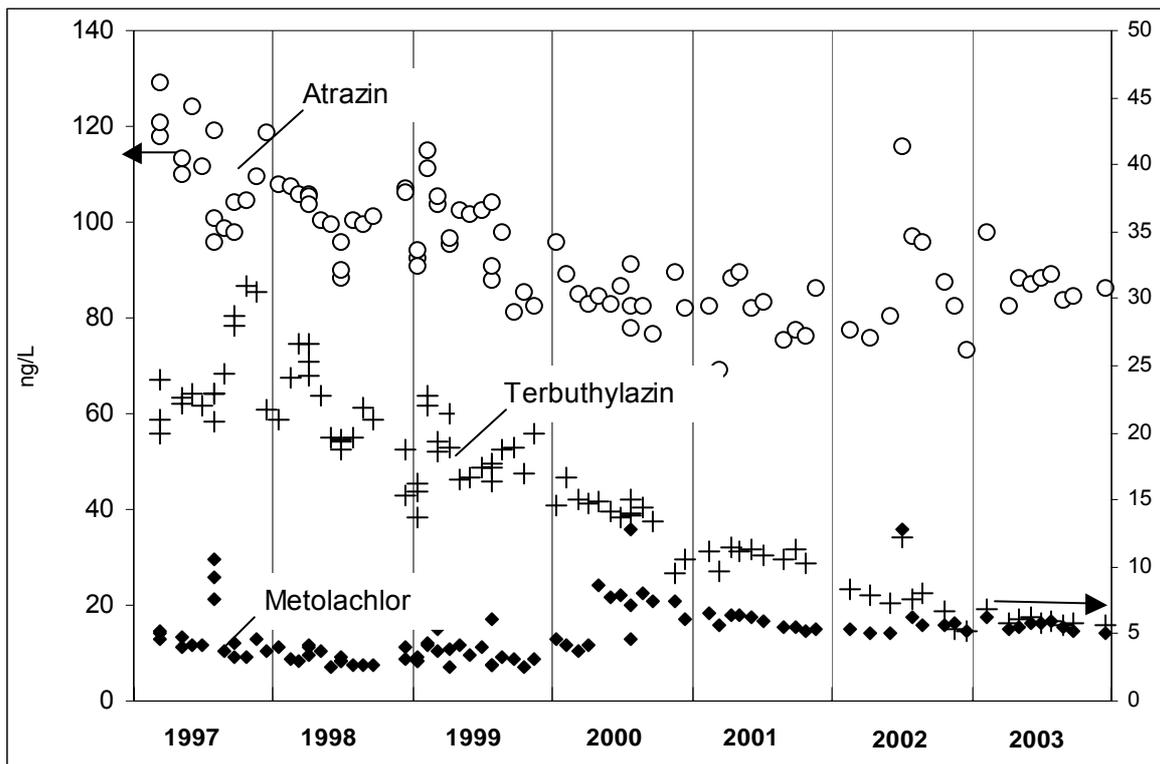


Abbildung 9: Konzentrationen von Atrazin, Terbutylazin und Metolachlor im Tiefenwasser (10 - 62 m) des Baldeggersees im Zeitraum von 1997 bis 2003.

Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn man statt der Konzentrationen die Gesamtmengen im See ("Seeinhalte") betrachtet (siehe Abbildung 10 für Atrazin, Terbutylazin und Metolachlor und Anhang für alle weiteren Verbindungen). Da die grössten Konzentrationsschwankungen im Epilimnion im Sommer auftreten (geringes Volumen, geringe PSM-Mengen), ist der Einfluss dieser Schwankungen auf die Seeinhalte gering und langfristige Trends sind deutlicher erkennbar. Interessanterweise ist z.B. bei Atrazin trotz bedeutender PSM-Einträge, insbesondere in den Jahren 1999, 2001 und 2002, tendenziell eher eine Abnahme des Seeinhaltes zu beobachten. Dies sicherlich einerseits weil Atrazin aus früheren Jahren, als noch höhere Einträge stattgefunden haben mussten, weiterhin langsam aus dem See ausgetragen wird, andererseits jedoch scheinen saisonale Einträge ins Epilimnion nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtmenge im See zu haben. Diese Einträge führen zwar kurzzeitig zu erhöhten Konzentrationen im Epilimnion, doch wird der grösste Teil der im Frühsommer eingetragenen Menge durch Wasseraustausch wieder aus dem See ausgespült, bevor diese im Spätherbst ins Tiefenwasser eingemischt werden können.

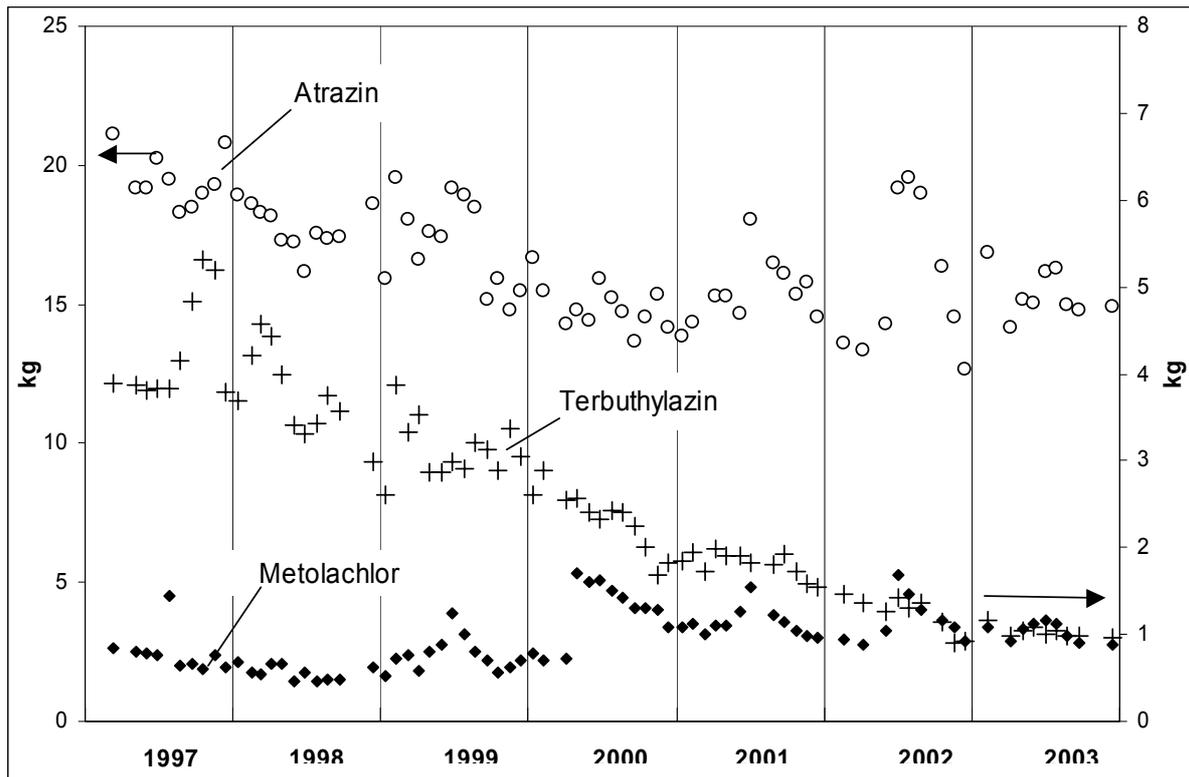


Abbildung 10: Gesamte Mengen ("Seeinhalte") an Atrazin, Terbutylazin und Metolachlor im Baldeggersee (kg). Die Ähnlichkeit zu Abbildung 9 rührt daher, dass im Tiefenwasser des Sees der grösste Teil der PSM-Menge "gespeichert" ist.

Am Beispiel von Atrazin im Baldeggersee lässt sich überschlagsmässig abschätzen, wie hoch der durchschnittliche jährliche Eintrag in den See sein müsste, um die Gesamtmenge im See konstant zu halten. Diese lag zu Anfang des Untersuchungszeitraumes im Jahr 1997 bei ca. 20 kg. Bei einer durchschnittlichen Wasseraustauschzeit im See von ca. 4 Jahren müssten jährlich mindestens 5 kg Atrazin in den See eingetragen werden, oder mehr, falls Atrazin im See abgebaut würde. Tatsächlich wurden von 1997 bis 2003 im Durchschnitt 4 kg Atrazin in den See eingetragen (siehe Abschnitt 4.2.3), also etwas weniger als für einen konstanten Seeinhalt nötig wären. Umgekehrt ist die Situation bei Metolachlor, wo der Seeinhalt anfänglich bei etwa 0.8 kg lag, zwischenzeitlich auf 1.5 kg anstieg und bis zum Ende wieder auf 0.9 kg abnahm. Um den Seeinhalt bei 0.8 kg zu halten wären jährliche Einträge von ca. 0.2 kg nötig. Tatsächlich wurden im Durchschnitt 0.6 kg in den See eingetragen. Da der grösste Teil der Einträge jedoch im Sommer rasch aus dem Epilimnion wieder ausgewaschen wurde, war die Zunahme des Seeinhaltes langfristig eher gering.

Am ausgeprägtesten ist die Abnahme der Seeinhalte von Terbutylazin, sowohl im Baldegger- als auch im Zürichsee. Um den anfänglichen Seeinhalt im Baldeggersee von 4 kg zu halten, wären durchschnittliche Einträge von ca. 1 kg pro Jahr nötig, resp. mehr, falls Ter-

buthylazin im See abgebaut würde. Dies entspricht etwa einem Drittel der Menge, die laut Verbrauchserhebungen im Durchschnitt im Untersuchungszeitraum im Einzugsgebiet des Sees eingesetzt wurde. Die tatsächlichen Einträge waren deutlich geringer im Bereich von 0 bis 0.3 kg (siehe Abschnitt 4.2.3), also im Bereich von wenigen Prozent der ausgebrachten Mengen, wie bei Atrazin oder Metolachlor. Es ist deshalb anzunehmen, dass Terbuthylazin in den Jahren vor dieser Untersuchung in wesentlich grösseren Mengen eingesetzt und in den See eingetragen wurde und jetzt, bei gesunkenem Einsatz, langsam aus dem See ausgewaschen wird.

Während die PSM-Konzentrationen sowohl im Baldegger-, als auch im Zürichsee tendenziell eher rückläufig waren wurden im Untersuchungszeitraum grosse Unterschiede bei den saisonalen Schwankungen der PSM-Konzentrationen beobachtet. Am Beispiel von Atrazin, Metolachlor und Dicamba sollen diese Unterschiede zunächst erläutert und anschliessend die Ursachen für diese Unterschiede diskutiert werden.

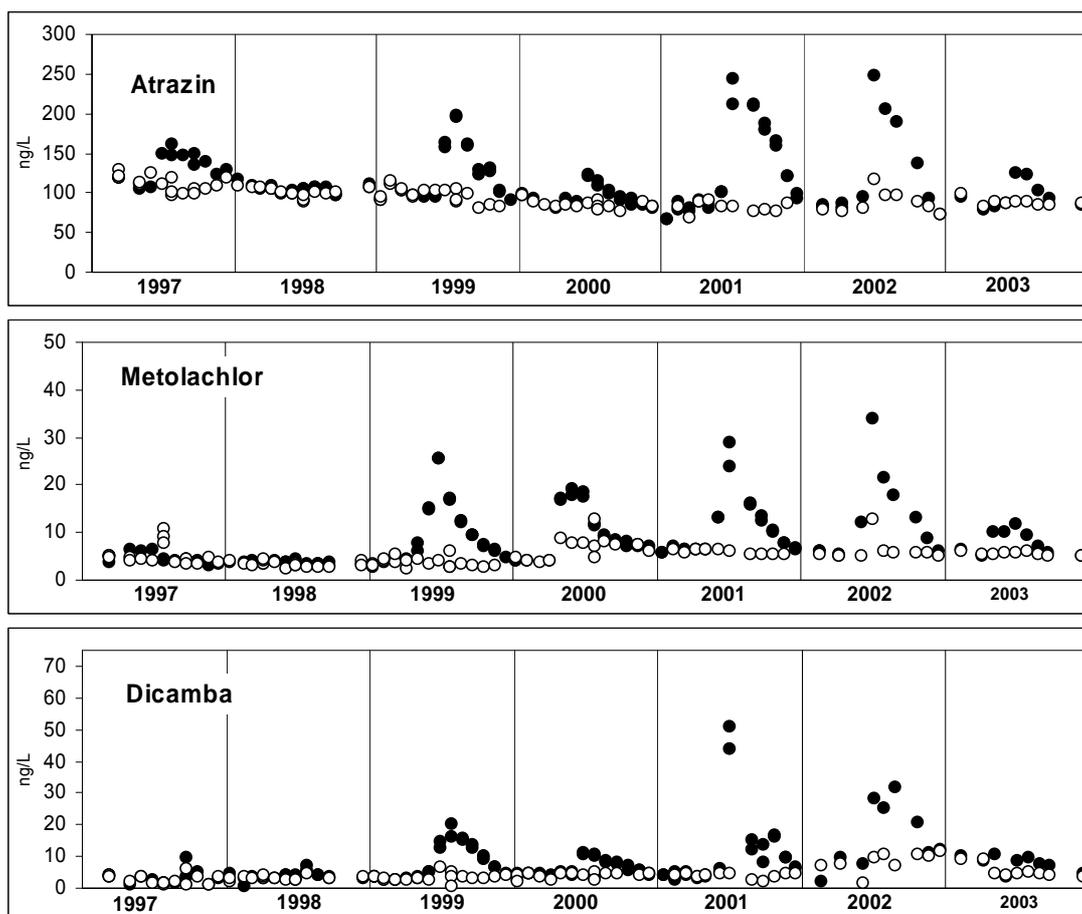


Abbildung 11: Konzentrationen von Atrazin, Metolachlor und Dicamba im Baldeggersee in den Jahren 1997 – 2003 in 1-2.5 m Tiefe (volle Kreise) und 20 m Tiefe (leere Kreise).

Die saisonalen Konzentrationsschwankungen von Atrazin im Baldegger- (Abbildung 11) und Zürichsee (Abbildung 12) verlaufen annähernd parallel, allerdings mit deutlich tieferen Konzentrationen im Zürichsee. Während im Jahr 1998 praktisch keine Zunahme im Frühsommer zu verzeichnen war, wurden 1999, 2001 und 2002 jeweils für kurze Zeit doppelt bis dreimal so hohe Konzentrationen Epilimnion beobachtet als im Frühjahr, resp. im Hypolimnion, was auf substantielle Einträge während kurzer Zeit hindeutet. Die Einträge in den Jahren 1997, 2000 und 2003 lagen "irgendwo dazwischen". Sehr ähnlich ist die Situation bei Dicamba, wenn man vom Exkurs der Maximalen Konzentration im Frühsommer 2001 absieht, welche vermutlich auf einen Eintrag von Dicamba unmittelbar vor der Probenahme und eine noch nicht vollständige horizontale Durchmischung des Sees zurückzuführen ist. Bei Metolachlor fiel auch die Zunahme der Konzentration im Jahr 2000 im Vergleich zu denjenigen von Atrazin und Dicamba relativ hoch aus, ansonsten ist auch der Verlauf bei Metolachlor recht ähnlich denjenigen von Atrazin und Dicamba.

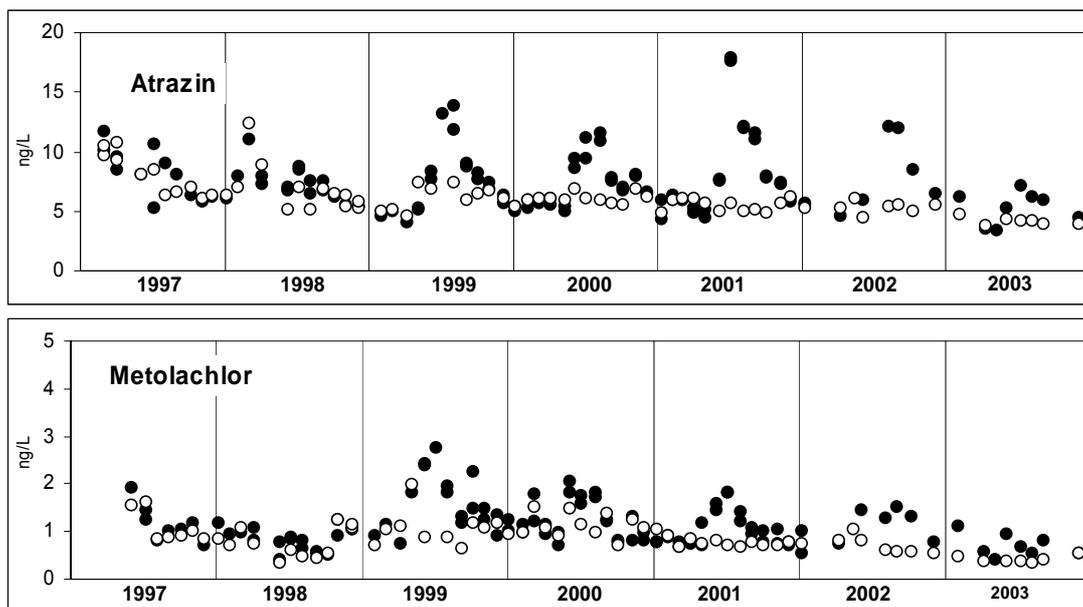


Abbildung 12: Konzentrationen von Atrazin und Metolachlor im Zürichsee in den Jahren 1997 – 2003 in 1-2.5 m (volle Kreise) und in 20 m Tiefe (leere Kreise). Qualitativ sind die Konzentrationsverläufe ähnlich wie im Baldeggersee (Abbildung 11), aber die Konzentrationen sind deutlich tiefer und die Präzision der Messwerte deshalb etwas geringer.

Gewisse Parallelen im Auftreten dieser Stoffe sind zu erwarten, da sie zum Teil in den gleichen Kulturen und im gleichen oder annähernd gleichen Stadium eingesetzt werden, ja zum Teil sogar zusammen in den gleichen Produkten formuliert sind (z.B. Atrazin und Dicamba in den Produkten Dicazin und Maizim plus, oder S-Metolachlor und Atrazin im Produkt Primagram-S-Gold, alle im Einzugsgebiet des Baldeggersees im Mais eingesetzt). Daneben gibt es allerdings auch Unterschiede, die mit leicht verschiedenen Anwendungszeitpunkten für die verschiedenen Produkte verknüpft sind. So wird Dicamba ausserdem noch im Getreide und in Wiesen und Weiden (zum Teil mit anderen Mischpartnern) eingesetzt und ein wichtiges Einsatzgebiet für Metolachlor (im Einzugsgebiet des Baldeggersees) waren neben Mais Futter- und Zuckerrüben.

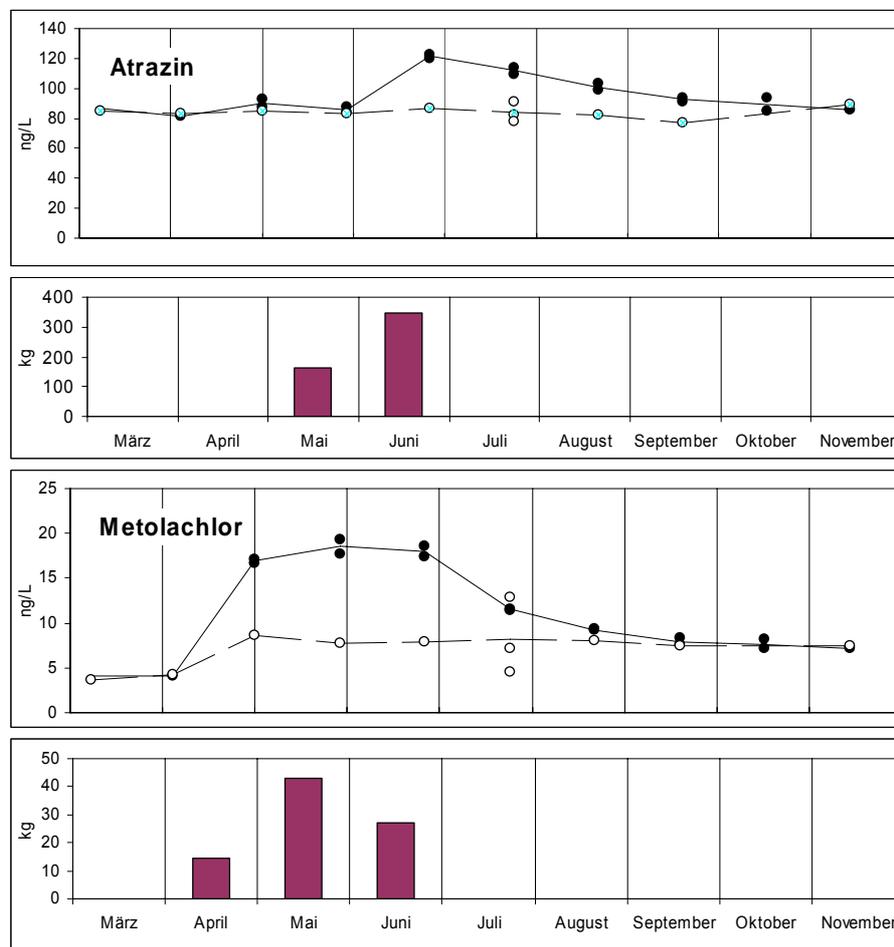


Abbildung 13: Konzentrationen von Atrazin und Metolachlor im Baldeggersee im Jahr 2000. Die vollen Kreise entsprechen den Konzentrationen im Epilimnion (Tiefe 1-2.5 m), die leeren den im Hypolimnion (10 - 62 m). Die Balkendiagramme zeigen den monatlichen Einsatz dieser Stoffe im Einzugsgebiet.

In Abbildung 13 sind vergleichend die Konzentrationen von Atrazin und Metolachlor im Baldeggensee dargestellt für das Jahr 2000. Man sieht deutlich, dass Metolachlor früher in den See eingetragen wurde als Atrazin. Aus den Daten der Verbrauchserhebung geht aber auch hervor, dass Metolachlor teilweise schon früher eingesetzt wurde als Atrazin, sodass die Voraussetzungen für einen früheren Eintrag durchaus gegeben waren. Der erste Eintrag von Metolachlor erfolgte vermutlich bereits zu einem Zeitpunkt, als die Stratifizierung des Sees noch nicht sehr stabil war, sodass auch noch eine gewisse Einmischung in tiefere Wasserschichten wahrscheinlich war (siehe Zunahme der Metolachlor-Konzentration im Hypolimnion Ende April).

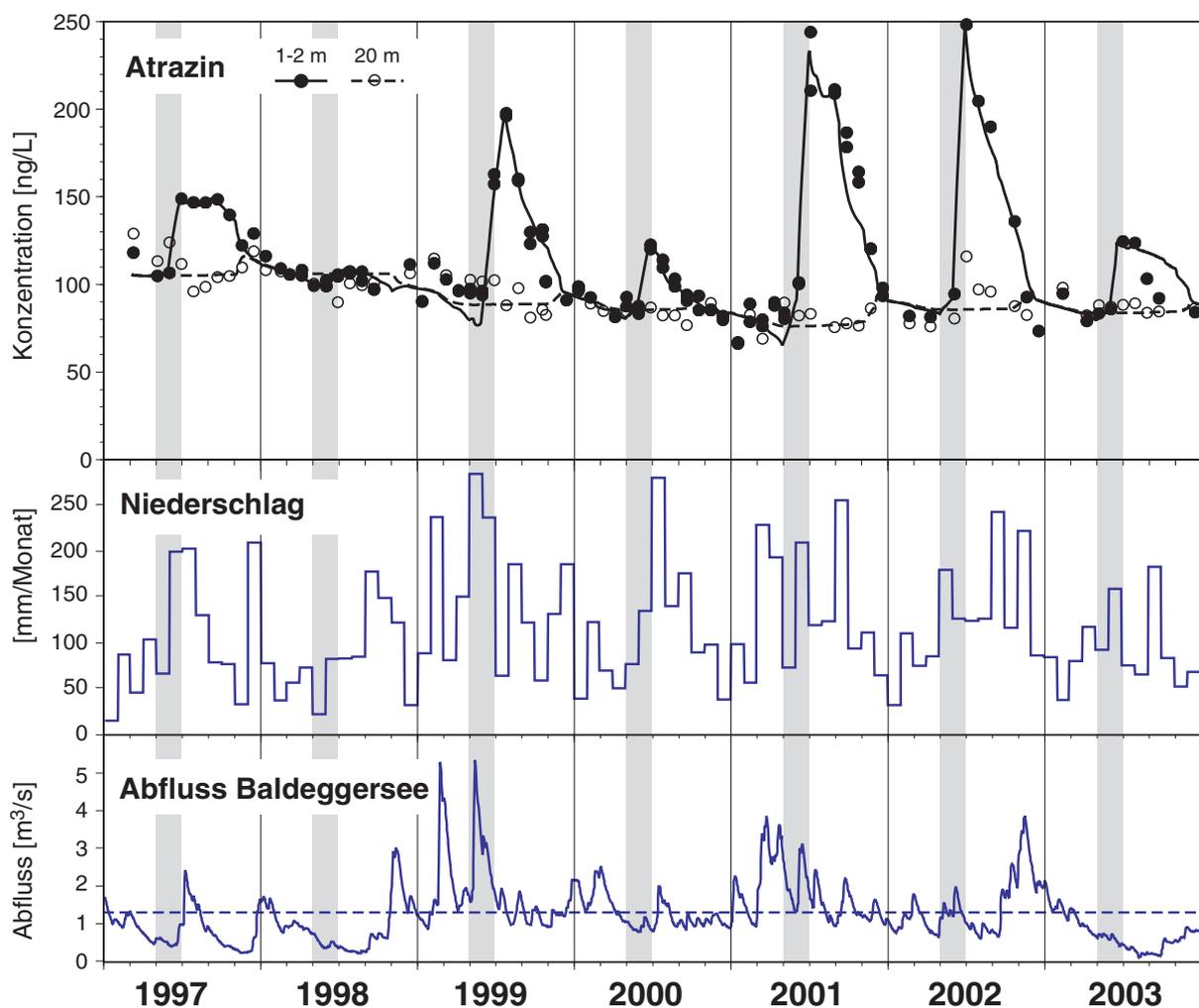


Abbildung 14: Konzentrationen von Atrazin in verschiedenen Wassertiefen im Baldeggensee (oben), sowie die monatlichen Niederschläge (Mitte) und Abfluss des Baldeggensees (unten). Die Zeiträume, in denen Atrazin jeweils im Feld appliziert wird, ist grau schattiert. Die gestrichelte Linie unten entspricht dem durchschnittlichen Abfluss.

Der diffuse Eintrag von Herbiziden in Gewässer kann prinzipiell über Abtrift bei der Applikation, sowie durch oberflächliche Abschwemmung oder über Drainagen erfolgen. Daneben sind natürlich auch Einträge aus Punktquellen möglich. Oberflächliche Abschwemmung und Einträge aus Drainagen sind prinzipiell gekoppelt an Niederschläge. Für beide Eintragswege ist eine minimale Regenmenge erforderlich, bevor diese eine Rolle spielen können. Es ist deshalb wenig verwunderlich, dass der Anteil an applizierter Menge an PSM, welcher in die Gewässer gelangt, abhängig ist von den Niederschlagsmengen in einem bestimmten Zeitraum anschliessend an die Applikation [20, 31, 32]. 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 14 anhand von Atrazin im Baldeggersee dargestellt. In "trockenen" Jahren (1998, 2000 und 2003) mit eher geringeren Niederschlägen, resp. geringen Abflüssen während und kurz nach der Applikation von Atrazin im See, sind auch die saisonalen Konzentrationsanstiege im Epilimnion geringer als in "nassen" Jahren.

4.1.2.4. Vergleich mit Daten aus früheren Jahren

Frühere Messungen zeigten bereits, dass PSM in allen Seen des Mittellandes nachgewiesen werden konnten. So wurden die wichtigen Herbizide Atrazin, Simazin und Terbutylazin von uns bereits im in den 1980er Jahren im Zürichsee, Greifensee, Baldeggersee, Sempachersee, Vierwaldstättersee, Sarnersee, Lungernsee, Murtensee, Neuenburgersee, Bielersee, und Genfersee nachgewiesen [24]. Dies wurde auch in anderen Studien bestätigt [23, 33]. Die dazumal gemessenen Konzentrationen waren in Seen mit intensiver Landwirtschaft deutlich höher als in Seen mit weniger Landwirtschaft im Einzugsgebiet, und in gut durchflossenen Seen tiefer als in weniger durchflossenen. Diese Analysen wurden mit einer sehr ähnlichen Analytik ausgeführt, sodass die Messresultate direkt vergleichbar mit den jetzigen sind. In Tabelle 5 sind diese Daten zusammengefasst und mit den neuen Daten verglichen. Nach diesen Daten haben die Triazin-Konzentrationen im Zürichsee seit 1988 um das 2-5 fache abgenommen, wobei die Reihenfolge der Konzentrationen gleich blieb (Atrazin > Terbutylazin > Simazin). Im Baldeggersee war die Abnahme etwas weniger ausgeprägt als im Zürichsee.

Tabelle 5: Konzentrationen (ng/L) verschiedener Triazine im Zürich- und Baldeggensee

	Zürichsee			Baldeggensee		
	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
Terbuthylazin	7-24	3-9	1-2	20-40	20-34	4-7

Für Atrazin im Baldeggensee sind zudem Konzentrationsdaten für den ganzen Zeitraum von 1986 bis 2003 vorhanden, die in Abbildung 15 zusammenfassend dargestellt sind. In der Abbildung sind die maximal beobachteten Konzentrationen im Epilimnion, kurz nach dem Haupteintrag, sowie die minimalen Konzentrationen kurz vor diesem Eintrag dargestellt. Der Abstand zwischen Minima und Maxima ist ein grobes Mass für saisonalen Einträge im betreffenden Jahr. Die Abbildung zeigt deutlich einen wesentlichen Rückgang der Gewässerbelastung von Konzentrationen von über 400 ng/L in den 80er Jahren auf generell um die 100 ng/l heute. Dieser eindeutige Rückgang ist auf wiederholte Aufwandmengenreduktionen von Atrazin, auf ein Verbot von Herbestanwendungen, sowie auf ein Verbot der Anwendung auf Eisenbahntrasses zurückzuführen. Abgesehen vom generellen Rückgang der Konzentrationen im See ist aber deutlich die grosse Schwankung der jährlichen Einträge ablesbar.

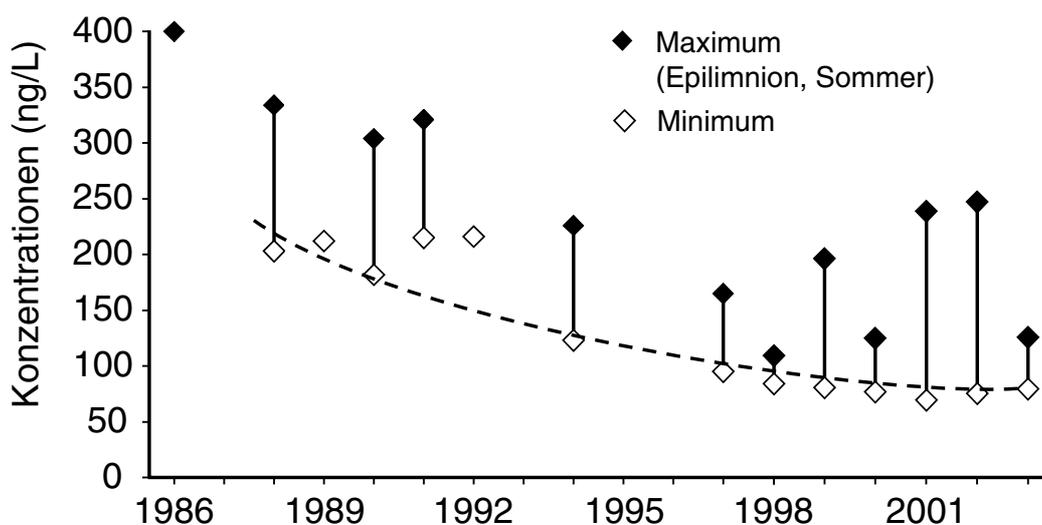


Abbildung 15: Konzentration von Atrazin im Baldeggensee kurz vor dem Eintrag (Minimum) und nach dem Eintrag (Maximum) im Mai/Juni in den Jahren 1986-2003

4.2. PSM-Frachten im Baldegger- und Zürichsee

4.2.1. Berechnung der PSM Einträge (Frachten) in Gewässer

Die Konzentrationen von Stoffen in Seen werden bestimmt durch Einträge, durch Verteilung in der Wassersäule, Sorptions- und Abauprozesse, sowie durch Export (siehe Abbildung 16). Dieses Zusammenspiel lässt sich durch eine Massenbilanzgleichung wie folgt ausdrücken:

$$\Delta \text{ Seeinhalt} = \Delta \text{ Konzentration} \times \text{Volumen} = \text{Eintrag} - \text{Elimination}$$

Δ Seeinhalt drückt dabei die Änderung des Seeinhaltes (der PSM-Menge im See) über einen bestimmten Zeitraum aus, der über das Seevolumen verknüpft ist mit der Änderung der Konzentration. Mit "Elimination" sind alle Prozesse zusammengefasst, die den Stoff aus dem Seewasser entfernen (also Sorption, Verdampfung, Abbau und Export).

Die Berechnung der jährlichen PSM-Frachten im Baldeggersee wurde mit Hilfe der Modellierungs-Software AQUASIM [34] durchgeführt. In diesem Modell wird der See als eindimensionales System beschrieben (Annahme, dass der See horizontal gut gemischt ist). Die vertikale Durchmischung wird mit Hilfe von Diffusionskoeffizienten beschrieben, die in einem ersten Schritt durch iterative Anpassung der "Modell-Temperatur" an im See gemessene Temperaturprofile bestimmt werden müssen. Dieser Schritt ist sehr aufwendig, weshalb Modellrechnungen nur beim Baldeggersee durchgeführt wurden. Details zur Modellrechnungen können bereits veröffentlichten Arbeiten entnommen werden [28, 35, 36].

4.2.2. Bestimmung der Abbauraten von PSM in Seen

Um die jährlichen Einträge in die untersuchten Seen zu berechnen, müssen in der obigen Massenbilanz alle anderen Parameter bekannt sein. Dies trifft natürlich zu auf die Veränderungen der Konzentrationen im See, die im Untersuchungszeitraum sehr detailliert untersucht wurden. Bei den Eliminationsprozessen ist der Export sehr einfach zu berechnen (Produkt von Konzentration und Abfluss). Sorption und Verdampfung (resp. Gasaustausch) spielen bei den untersuchten PSM keine Rolle, da es sich um wenig flüchtige, gut wasserlösliche Verbindungen handelt. Zu den Abbauprozessen im See stand jedoch zu Beginn der Untersuchungen recht wenig auswertbare Information zur Verfügung, weshalb eigene Untersuchungen durchgeführt wurden.

Seewasser aus dem Greifensee wurde mit PSM-Wirkstoffen versetzt und in Glasflaschen unter verschiedenen Bedingungen (hell/dunkel, steril/nicht steril) gelagert. Der Vergleich zwischen sterilen und nicht sterilen Proben ermöglicht die Unterscheidung von biologischen und nicht-biologischen Prozessen, während aus dem Vergleich zwischen dunkel gelagerten und dem Sonnenlicht ausgesetzten Proben Rückschlüsse auf photochemische Prozesse gezogen werden können.

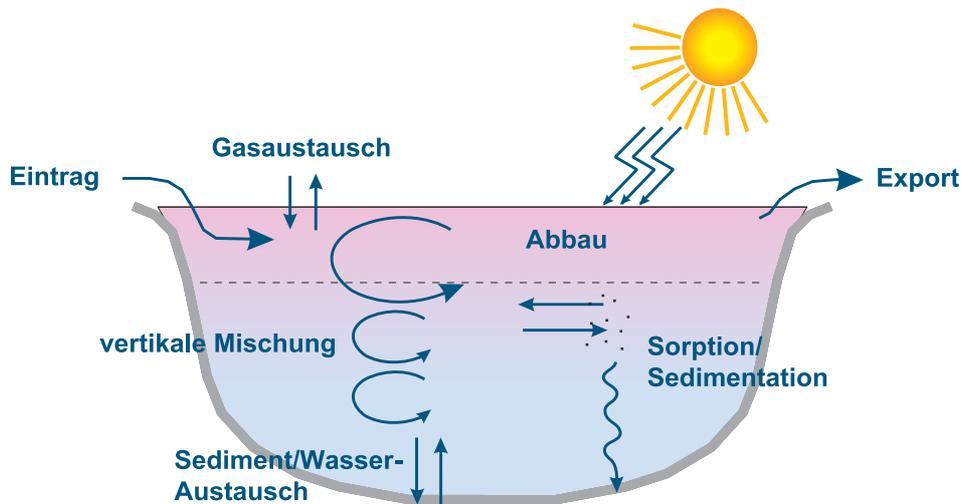


Abbildung 16: Prozesse, die die Verteilung und Schicksal von PSM-Wirkstoffen in Seen beeinflussen können.

Abbildung 17 zeigt die Resultate der Abbaubersuche in nicht sterilisiertem Seewasser unter Tageslicht im Vergleich zu denjenigen im Dunklen am Beispiel von Atrazin, Metolachlor und Dimethenamid. Unter Sonnenlichteinfluss wurden alle drei Verbindungen abgebaut, wobei Dimethenamid am schnellsten und Atrazin am langsamsten abgebaut wurde. Ohne Licht fand hingegen kein messbarer Abbau statt. Abbau fand ebenso in sterilisiertem Seewasser statt, sofern dieses dem Sonnenlicht ausgesetzt wurde (Daten nicht gezeigt). Daraus lässt sich schließen, dass es sich nicht um biologischen Abbau handelt, sondern dass die Verbindungen vor allem photolytisch abgebaut werden. Keiner der Stoffe absorbiert Licht im Wellenlängenbereich des Sonnenlichts welches auf die Erdoberfläche gelangt (Wellenlängen $\lambda > 290\text{nm}$). Deshalb handelt es sich bei dem Abbau vermutlich um indirekte Photolyse, d.h. um Abbau durch reaktive Stoffe (z.B. OH-Radikale), die unter Sonnenlicht im Seewasser gebildet werden.

Die Abbauraten von $0.008-0.07 \text{ d}^{-1}$ (Halbwertszeiten τ von 10-80 Tagen) aus den Laborversuchen sind höher als diejenigen unter natürlichen Bedingungen, da Photolyse nur in den obersten Schichten auftritt. Integriert über eine Wassertiefe von 5m (Epilimnion) reduzieren sich diese Raten um mindestens einen Faktor von 10. Neben der Lichtintensität sind bei der indirekten Photolyse verschiedene Parameter wichtig, z.B. Karbonat- und Nitratgehalt, Konzentration von gelösten organischen Verbindungen, ausgedrückt als Kohlenstoff (DOC) etc. Diese Parameter variieren saisonal und von See zu See und müssen für eine Übertragung der Labordaten in reale Systeme berücksichtigt werden. Die detaillierte Auswertung der Resultate zeigte allerdings, dass Photolyse im See für diese Stoffe nur eine untergeordnete Rolle spielt, da der Abbau viel langsamer als der Wasseraustausch im See ist. Lediglich im Hochsommer im Epilimnion ist ein gewisser Einfluss durch indirekte Photolyse möglich.

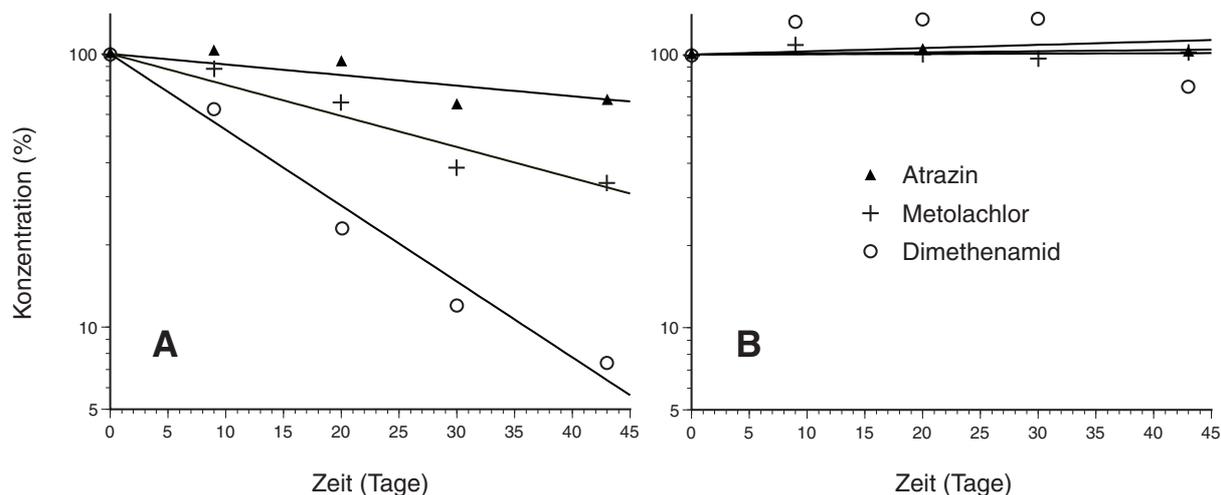


Abbildung 17: Abbau von Atrazin, Metolachlor und Dimethenamid in Seewasser bei Tageslicht (A) und Kontrollversuch bei gleichen Bedingungen im Dunkeln (B).

4.2.3. PSM-Frachten im Baldeggersee

Die jährlichen Frachten im Baldeggersee wurden für Atrazin, Metolachlor, Dicamba und (etwas eingeschränkt) für Terbutylazin, Mecoprop und MCPA, mit Hilfe des Seemodells berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgeführt. Für die übrigen Verbindungen (Desethylatrazin, Propazin und 2,4-D) reichte die Präzision der Messdaten nicht für eine Frachtberechnung aus. Besonders schwierig ist eine Frachtberechnung mit dem Modell in Fällen, wo ein eindeutiger Eintragszeitpunkt nicht bestimmt werden kann (z.B. Desethylatrazin), oder wenn die Konzentrationen eher rückläufig sind (z.B. Terbutylazin), da in diesen Fällen relativ kleine Messungenauigkeiten bei der Konzentrationsbestimmung ähnlich grosse Schwan-

kungen vortäuschen wie "echte", durch PSM-Einträge bedingte Konzentrationsänderungen. Bei Seen mit grosser Wasseraufenthaltszeit, d.h. im Verhältnis zum Seeinhalt relativ geringen Einträgen, sind die jährlichen Frachten weniger genau bestimmbar als in Seen mit kurzer Aufenthaltszeit (z.B. Greifensee, vergl. Abschlussbericht EAWAG).

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse der Modellrechnungen für Metolachlor und MCPA im Baldeggersee dargestellt (die übrigen Ergebnisse, siehe Anhang). Die im See bestimmten Konzentrationen sind als Kreise dargestellt, die mit dem Modell berechneten Konzentrationen als Linien. Die Frachten (in Abbildung 18 als graue Flächen) wurden im Modell so lange angepasst, bis eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen Messwerten und berechneten Konzentrationen erhalten wurde. Für Metolachlor war dies in allen Jahren von 1997-2003 möglich, bei MCPA nur in den Jahren 1999 – 2001. Vorher und nachher reichte die Präzision der Messwerte aus verschiedenen Gründen (siehe Abschnitt 4.1.2.1) nicht für eine genaue Frachtberechnung aus.

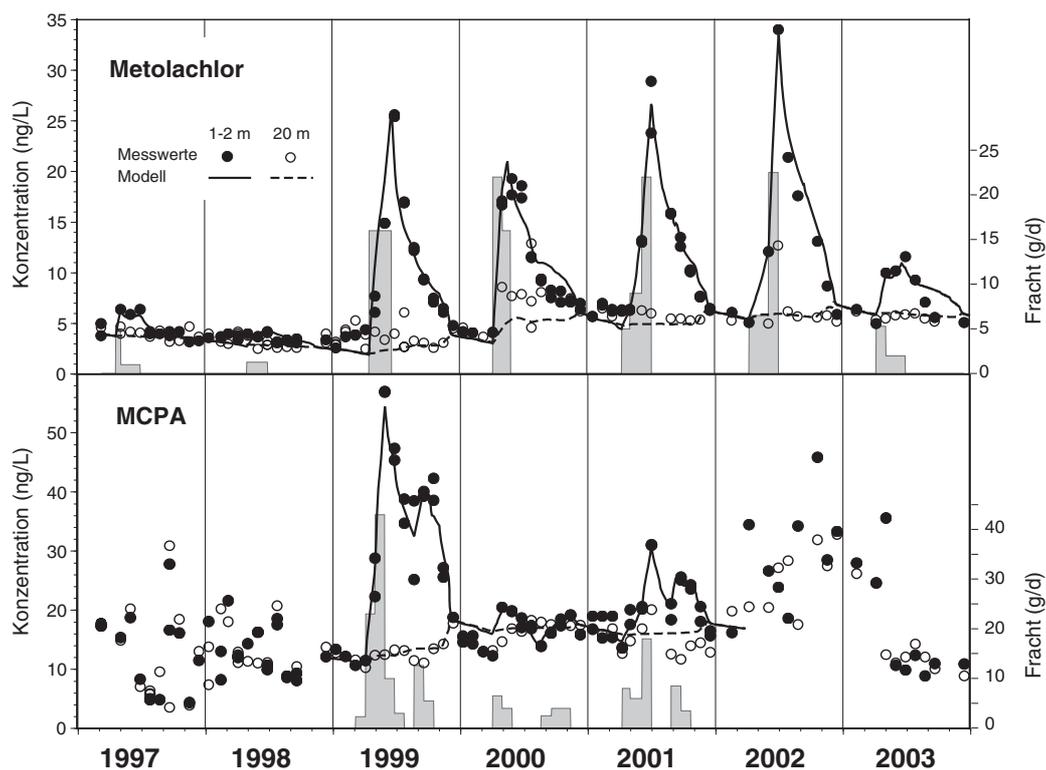


Abbildung 18: Konzentrationen (Kreise, Linien) und Einträge (Flächen) von Metolachlor und MCPA im Baldeggersee

Interessant ist, dass aus der Modellrechnung für Metolachlor pro Jahr lediglich eine Periode für den Eintrag resultiert, übereinstimmend mit den Daten der Verbrauchserhebung, während für MCPA deutlich zwei Perioden mit Einträgen erkennbar sind. Laut Verbrauchserhebungen wird MCPA selbst in der Landwirtschaft primär im Frühjahr angewendet. Deshalb ist der zweite Eintrag mit der Anwendung von MCPA, zumindest derjenigen in der Landwirtschaft, nicht zu erklären. MCPA wird aber auch aus der strukturell verwandten Verbindung MCPB durch Abbau im Boden gebildet. MCPB selbst konnte im Baldeggersee zu keinem Zeitpunkt nachgewiesen werden, obwohl MCPB in ähnlichen Mengen angewendet wurde wie MCPA. Es ist deshalb naheliegend, dass MCPB wenigstens teilweise als „Metabolit“ MCPA in den See eingetragen wurde. Diese Vermutung wird noch dadurch unterstützt, dass MCPB im Gegensatz zu MCPA vorwiegend im Spätsommer angewendet wurde (siehe Abbildung 19) und so zu den beobachteten spätsommerlichen Einträgen geführt haben könnte.

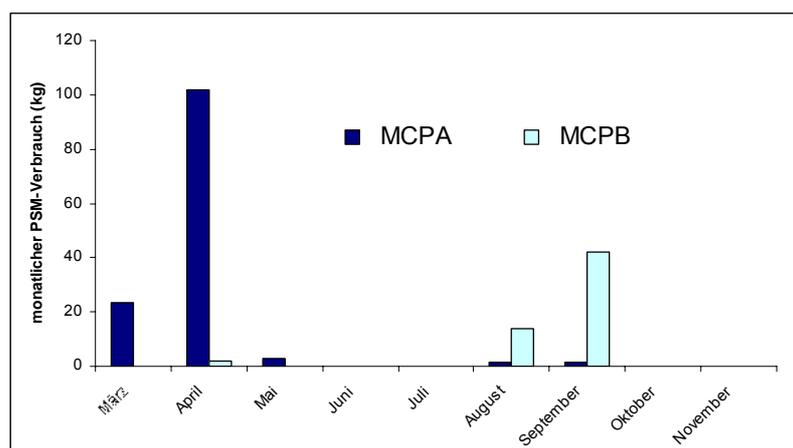


Abbildung 19: Monatlicher Einsatz von MCPA und MCPB (kg) in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet des Baldeggersees im Jahr 2000 [18]. Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen Applikationszeitpunkte für die beiden Wirkstoffe.

Die PSM-Frachten im Baldeggersee variierten je nach Verbindung zwischen einigen Gramm und max. 8 kg (Tabelle 6). Je nach Stoff schwanken die Einträge von Jahr zu Jahr bis zu einem Faktor 10. Gemessen am PSM-Einsatz im Einzugsgebiet (bis zu 500 kg pro Verbindung, siehe Tabelle 7), sind diese Einträge eher gering und entsprechen den Mengen die typischerweise in einem oder einigen wenigen Gebinden enthalten sind. Eine kleine Unachtsamkeit bei der Befüllung eines Spritzgerätes, ein versehentliches Verschütten von PSM oder gar eine (illegale) Entsorgung von geringen Mengen könnten somit potentiell bereits

Einträge in dieser Grössenordnung hervorrufen. Bei den beobachteten Einträgen dürfte es sich jedoch primär um ganz normalen Austrag aus dem Feld nach der Applikation handeln und die geringen Mengen im See deuten auf einen sorgfältigen Umgang mit PSM hin.

Tabelle 6: Jährliche PSM-Einträge(Frachten in kg) in den Baldeggersee

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Atrazin	4.4	0.57	5.6	2.0	8.1	5.3	2.0
Simazin	- ¹⁾	2.9	3.1	0.97	1.2	0.48	0.45
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
Mecoprop	-	-	1.5	0.39	1.1	-	-
MCPA	-	-	2.8	0.58	1.2	-	-
Dicamba	< 0.05	0.08	0.64	0.28	0.86	0.94	0.25

1) wenn mit "-" markiert, wurde keine Frachtberechnung durchgeführt, da in diesen Jahren die Präzision der Konzentrationsmessungen für eine Frachtberechnung nicht ausreichte.

Tabelle 7: Jährlicher Einsatz (in kg) ausgewählter PSM im Einzugsgebiet des Baldeggersees [18].

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Atrazin	291	521	440	508	465	443	424
Simazin ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-
Terbuthylazin	7.4	3.7	0.88	7.0	0.0	0.0	0.0
Metolachlor ²⁾	15	40	105	85	52	110	112
Mecoprop	215	187	264	191	230	165	53
MCPA	112	160	267	131	202	112	75
Dicamba	96	101	153	143	131	109	165

1) Simazin tauchte in der Stichprobe für die Verbrauchserhebungen 1997-2003 nicht auf, da es hauptsächlich in Spezialkulturen (Obst- und Weinbau) verwendet wird, die statistisch schlecht erfasst wurden. Deshalb kann der Verbrauch nicht angegeben werden.

2) Summe Metolachlor und S-Metolachlor. Es wurde angenommen, dass ab dem Jahr 2000 nur noch S-Metolachlor verwendet wurde (siehe Abschnitt 4.3.1).

Ein Trend (Zu- oder Abnahme) bei den jährlichen PSM-Einträgen in den See ist nicht zu erkennen. Wenn man PSM-Einträge mit dem PSM-Verbrauch im Einzugsgebiet vergleicht, wie in Abbildung 20 am Beispiel von Atrazin, Metolachlor und Dicamba gezeigt, dann ist auf den ersten Blick kein direkter Zusammenhang erkennbar. Lediglich bei Metolachlor ist sowohl eine deutliche Zunahme des Verbrauchs zwischen 1997 und 1999, als auch parallel dazu eine Zunahme der Einträge zu sehen. Generell sind die jährlichen Schwankungen bei den Einträgen in den See deutlich grösser als die Schwankungen im Verbrauch. Es ist deshalb anzunehmen, dass der Einsatz nur einer der Faktoren ist, die die Einträge in den See bestimmen.

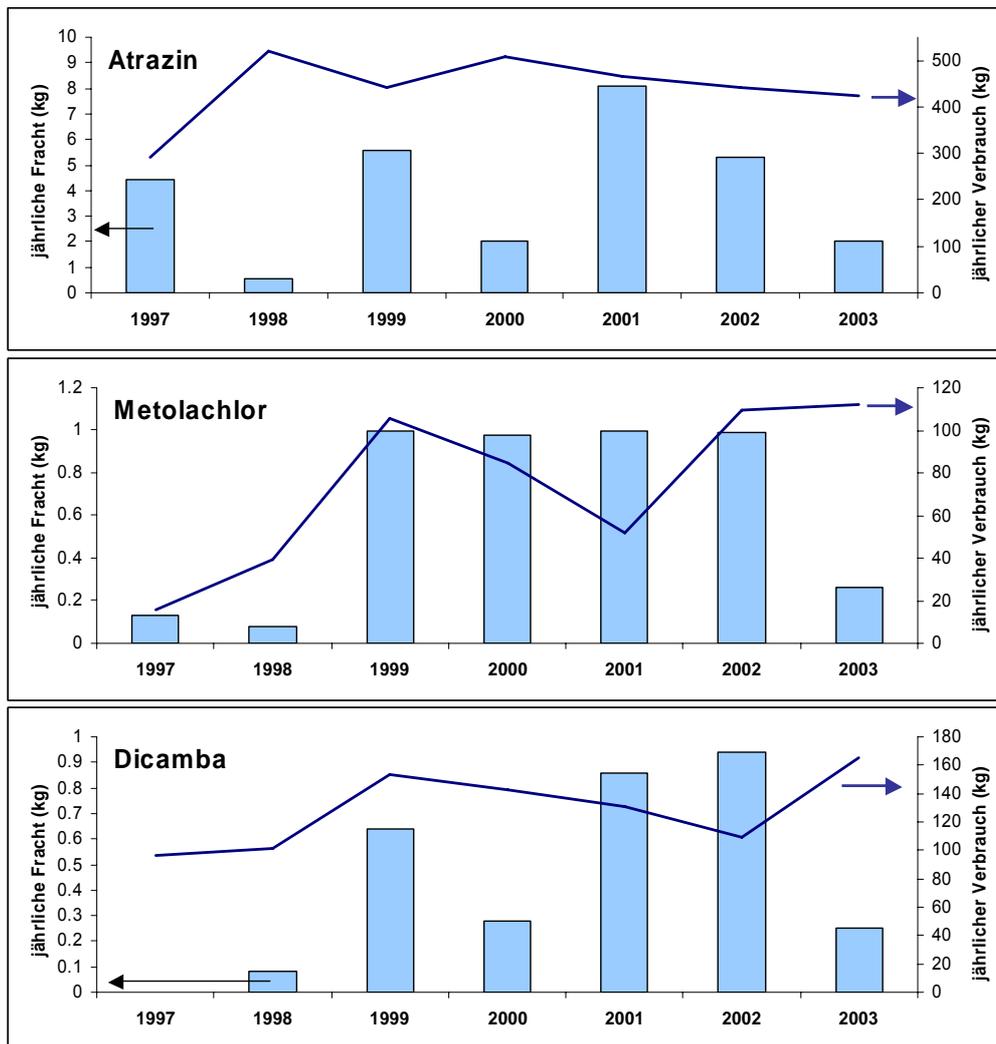


Abbildung 20: Vergleich zwischen jährlichen PSM-Einträgen (Frachten) in den Baldeggersee und dem PSM-Verbrauch im Einzugsgebiet.

Die jährlichen PSM-Frachten entsprechen wenigen Prozent (Bereich 0.1 - 1.9 %) der im jeweiligen Jahr im Einzugsgebiet eingesetzten Mengen (Tabelle 8). Unter der Annahme, dass diese Frachten zum überwiegenden Teil durch Austrag aus behandelten Flächen stammen, werden diese im folgenden unter dem Begriff „prozentuale Verluste“ geführt. Die Frachten von Simazin und Terbutylazin werden in der nachfolgenden Diskussion ausgeklammert. Simazin wird primär im Obst- und Weinbau eingesetzt. Da bei den Verbrauchserhebungen für diese Kulturen nur wenige Parzellen in der Stichprobe erfasst wurden, tauchen Stoffe, die in diesen Kulturen nur sporadisch angewendet werden, in der Verbrauchsstatistik höchstens zufällig auf. Da Simazin in keiner der erfassten Parzellen angewendet wurde, kann der Verbrauch nicht geschätzt werden. Terbutylazin wurde zwar im Mais, also in einer Kultur mit guter Vertretung in der Stichprobe angewendet, aber in so geringen Mengen, dass auch für diesen Wirkstoff die Erhebung vermutlich sehr ungenau ist [18].

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

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
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
Mecoprop			0.57	0.20	0.48		
MCPA			1.0	0.44	0.59		
Dicamba	< 0.05	0.08	0.42	0.20	0.66	0.86	0.15

Die prozentualen Verluste der verschiedenen PSM-Wirkstoffe von behandelten Flächen im Einzugsgebiet des Baldeggensees (Tabelle 8) variieren weniger stark von Verbindung zu Verbindung, als von Jahr zu Jahr. Dies ist eine erstaunliche Feststellung, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Wirkstoffe recht unterschiedliche Eigenschaften (v.a. Abbauraten im Boden und Adsorption an Bodenmatrix) haben. Wie bereits im vorherigen Abschnitt diskutiert, sind PSM-Einträge in Gewässer, wenn sie durch oberflächliche Abschwemmung oder Verluste über Drainagen hervorgerufen werden, eng verknüpft mit dem Niederschlag innerhalb eines begrenzten Zeitraumes nach der Applikation im Feld. Je mehr und intensive-

re Niederschläge, desto grössere Einträge werden erwartet. Um diesen Zusammenhang graphisch darzustellen, sind in Abbildung 21 die prozentualen Verluste von Atrazin, Dicamba und Metolachlor in Abhängigkeit der mittleren Niederschlagsmenge im Applikationszeitraum aufgetragen. Eine analoge Darstellung für Atrazin im Einzugsgebiet des Greifensees findet sich in [26]. Tatsächlich findet man für beide Verbindungen die erwartete Zunahme der prozentualen Verluste mit den Niederschlagsmengen, allerdings wurden im Jahr 1999, dem Jahr mit den meisten Niederschlägen im Untersuchungszeitraum und vermutlich weit darüber hinaus („Jahrhunderthochwasser“), nicht die höchsten Einträge gefunden.

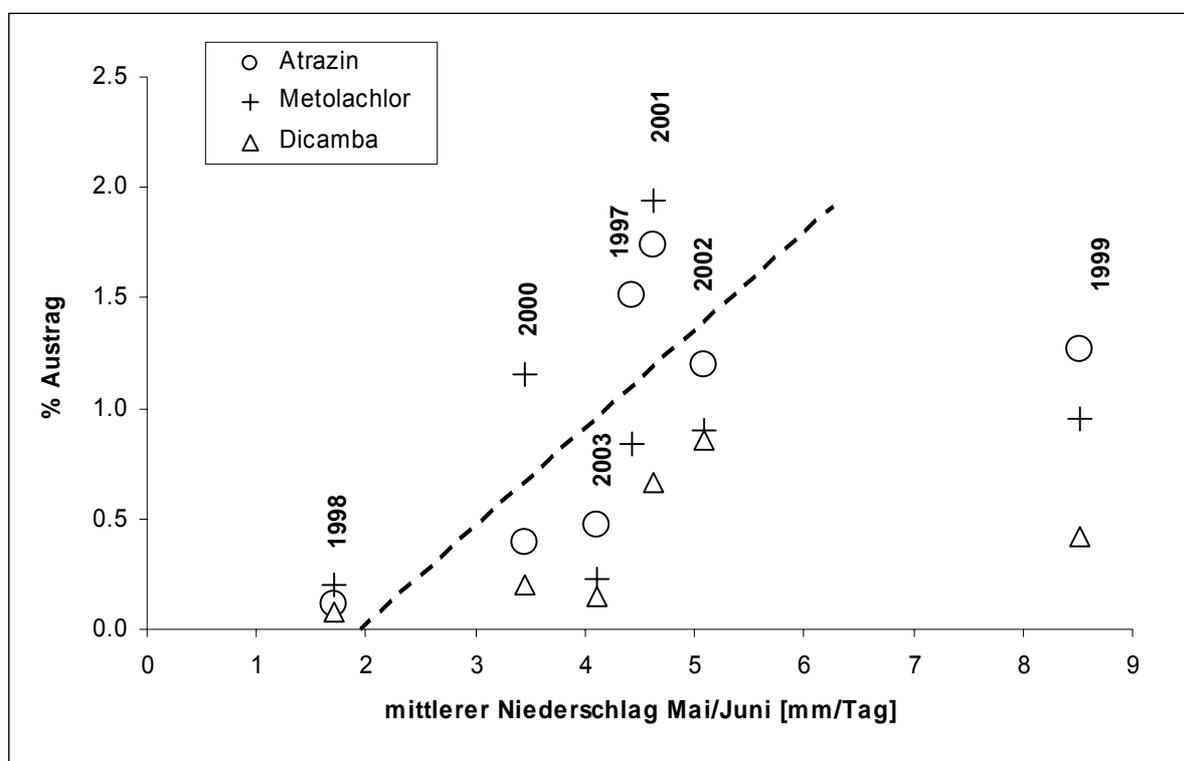


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Niederschlag und PSM-Eintrag (in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Menge) in den Baldeggersee.

Die Erwartung einer guten Korrelation zwischen Niederschlägen und prozentualen Verlusten basiert auf der Annahme, dass das Einzugsgebiet des Sees bezüglich PSM-Applikation, resp. Wahrscheinlichkeit eines PSM-Austrages von behandelten Flächen homogen ist, oder dass sich zumindest kleinräumige Unterschiede insgesamt ausmitteln. Dies trifft aber sicherlich nur auf grosse Einzugsgebiete zu, zu welchen das Einzugsgebiet des Baldeggersees eher nicht zu zählen ist. Tatsächlich können auch in Gebieten mit relativ ähnlichen Flächen

(z.B. in Bezug auf Bodeneigenschaften, Hangneigung, Nähe zu Fliessgewässern) lokal sehr unterschiedliche PSM-Verluste auftreten [19]. Darüber hinaus sind PSM-Verluste von behandelten Flächen nicht unbedingt abhängig von mittleren Niederschlägen, wie in Abbildung 21 suggeriert, sondern treten eher bei Starkregenereignissen mit ausgeprägter oberflächlicher Abschwemmung, resp. Versickerung von lokal angestautem Wasser über präferentielle Fliesswege auf.

4.2.4. PSM-Frachten im Zürichsee

Frachtberechnungen mittels Seemodell wurden im Zürichsee nicht durchgeführt. Eine grobe Schätzung der jährlichen Einträge ist jedoch mit Hilfe der folgenden einfachen Massenbilanz dennoch möglich:

$$\text{Eintrag} = \text{Fracht im Auslauf} + \Delta \text{ Seeinhalt} - \text{Abbau im See}$$

Die Fracht im Auslauf kann aus der Konzentration im Oberflächenwasser und dem Abfluss berechnet werden. Da die Streuung der gemessenen Konzentrationen im tiefen Konzentrationsbereich, in dem die Verbindungen im Zürichsee auftreten, relativ gross ist, ist eine jährliche Frachtberechnung bei den meisten Verbindungen sehr unpräzise und deshalb wenig sinnvoll. Für Atrazin und Metolachlor stehen jedoch ausreichend präzise Messwerte zur Verfügung. Um die Fracht im Auslauf noch etwas besser berechnen zu können, wurde in die gemessenen Konzentrationen eine interpolierte Konzentration eingepasst (vergl. Abbildung 22). Der Abbau im See wird in der Folge für die beiden betrachteten Wirkstoffe Atrazin und Metolachlor vernachlässigt, da er im Verhältnis zum Wasseraustausch relativ langsam ist. Wenn unter dieser Voraussetzung der jährliche Eintrag höher ist als die Fracht im Auslauf, dann nimmt der Seeinhalt entsprechend zu (d.h. Δ Seeinhalt, die Differenz zwischen den Seeinhalten am Ende und am Anfang des Jahres, ist positiv).

Die auf diese Weise berechneten jährlichen Einträge sind in Tabelle 9 aufgeführt. Interessanterweise sind diese Einträge deutlich grösser als diejenigen im Baldeggersee, obwohl die Konzentrationen im Zürichsee deutlich tiefer sind, was natürlich auf das grössere Volumen und den rascheren Wasseraustausch im Zürichsee zurückzuführen ist. Gemessen an der vergleichsweise grossen Fläche des Einzugsgebietes sind die Einträge sogar eher bescheiden, wenn man sie mit den Einträgen in den Baldeggersee oder den Greifensee vergleicht.

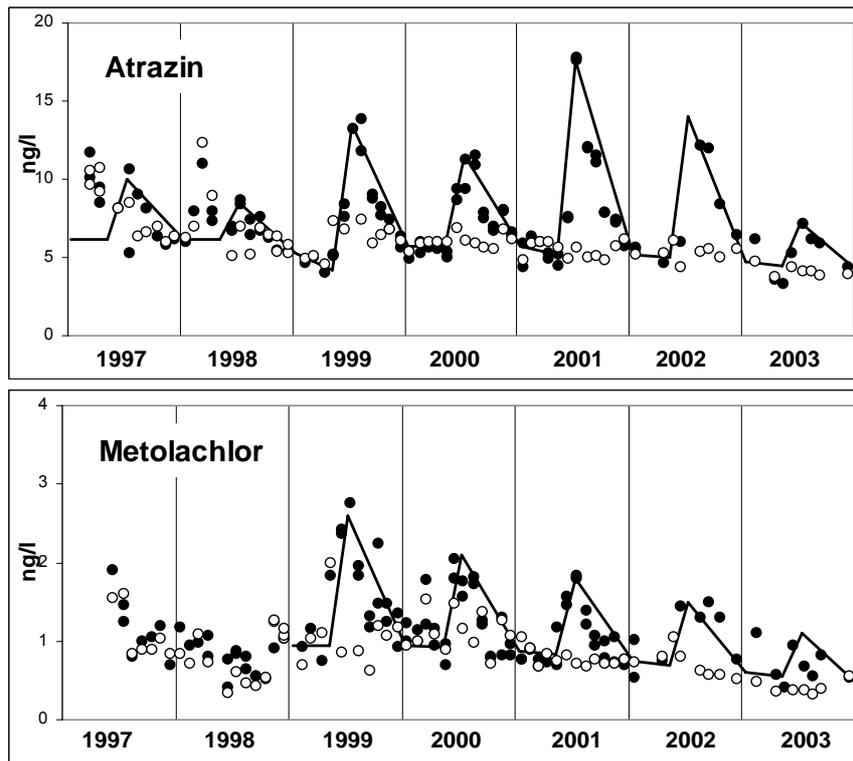


Abbildung 22: Konzentrationen von Atrazin und Metolachlor im Zürichsee. Volle Kreise, Messwerte im Oberflächenwasser (1 - 2,5 m); leere Kreise, Messwerte im Tiefenwasser (10 – 60 m). Die für die Frachtberechnung verwendeten Konzentrationen sind als Linien eingezeichnet.

Tabelle 9: Jährliche Einträge (Frachten in kg) von Atrazin und Metolachlor in den Zürichsee

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Atrazin	20	14	32	26	31	25	8.9
Metolachlor	¹⁾	-	6.0	4.2	3.5	2.6	0.91

1) Für Metolachlor sind 1997 und 1998 keine Einträge erkennbar

4.3. Spezielle Aspekte, die für eine nachhaltige Landwirtschaft von Bedeutung sind

4.3.1. Chiral Switch - Ersatz von Isomerengemischen durch enantiomerenreine Wirkstoffe am Beispiel von Metolachlor

Zahlreiche PSM besitzen mindestens ein Element der Asymmetrie und bestehen somit aus zwei oder mehr Stereoisomeren, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten (Chiralität) und die oft sehr unterschiedliche biologische Aktivität (Toxizität, PSM-Wirksamkeit auf Ziel- und Nicht-Ziel Organismen) aufweisen. Eine steigende Zahl von PSM, die ursprünglich als Gemische von Stereoisomeren registriert und eingesetzt wurden, sind in letzter Zeit durch enantio- oder isomerenreine Stoffe ersetzt worden ("*chiral switch*"). Durch den Ersatz "alter", z.B. racemischer Wirkstoffe mit solchen "neuen" Produkten können Nebeneffekte und Umweltrisiken reduziert werden, wobei die gewünschte biologische Wirksamkeit auf die Zielorganismen erhalten bleibt. Dies ist ganz im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft, wo nur die notwendigen Mengen an PSM für eine benötigte Wirkung ausgebracht werden dürfen, und nur soviel wie innerhalb einer Vegetationsperiode abgebaut werden kann. Die Vorteile eines solchen "chiral switch" sind in der folgenden Tabelle nochmals resümiert.

Tabelle 10: *Chiral Switch - Vorteile des Ersatzes alter durch neue enantio/isomerenreine PSM-Wirkstoffe*

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- reduzierte Aufwandmengen an PSM- kein Ausbringen "unwirksamer" Isomeren in die Umwelt (Wegfall von Isomeren-Ballast)- Reduktion von Nebeneffekten auf Nicht-Zielorganismen- kleinere Produktions- und Transportmengen |
|--|

Der "*chiral switch*" ist also auch ganz im Sinne von IP-Massnahmen. Die FAW und das BLW haben sich deshalb schon seit langem für eine Bewilligungspraxis eingesetzt, die solche Stoffe fördert, und auch die US Environmental Protection Agency (EPA) ist nun diesem Konzept gefolgt (EPA's Reduced Risk Initiative eingeführt, 1997).

Eine Unterscheidung enantiomerer Stoffe ist nicht trivial und benötigt spezielle analytische Methoden (chirale oder enantioselektive Analytik) und Kenntnisse. Im Rahmen unseres Projektes wurden deshalb nicht nur Konzentrationen in Wasserproben, sondern auch die Isome-

renzusammensetzung von Rückständen chiraler PSM bestimmt. Anhand von zwei Beispielen soll dies dokumentiert werden.

Metolachlor ist ein wichtiges selektives Herbizid, das im Feldbau z.B. für .Mais eingesetzt wird. Der technische Wirkstoff bestand bis vor kurzem aus nicht weniger als 4 Stereoisomeren, von denen aber nur zwei die gewünschte herbizide Wirkung zeigen. Ursprünglich wurde das Gemisch eingeführt und in der Landwirtschaft eingesetzt. Seit wenigen Jahren ist in der Schweiz nur mehr der "neue", mit den herbizidwirksamen S-Isomeren angereicherte Wirkstoff zugelassen [37], und der Rückzug des "alten", razemischen Wirkstoffes (gleiche Anteile von S- und R-Isomeren) wurde veranlasst. Im Rahmen unseres Projektes wurde nun untersucht, ob diese Ablösung des "alten" durch den "neuen" Wirkstoff auch tatsächlich erfolgte, und ob dies anhand der Zusammensetzung der Rückstände in Gewässern nachgewiesen werden kann [28, 38].

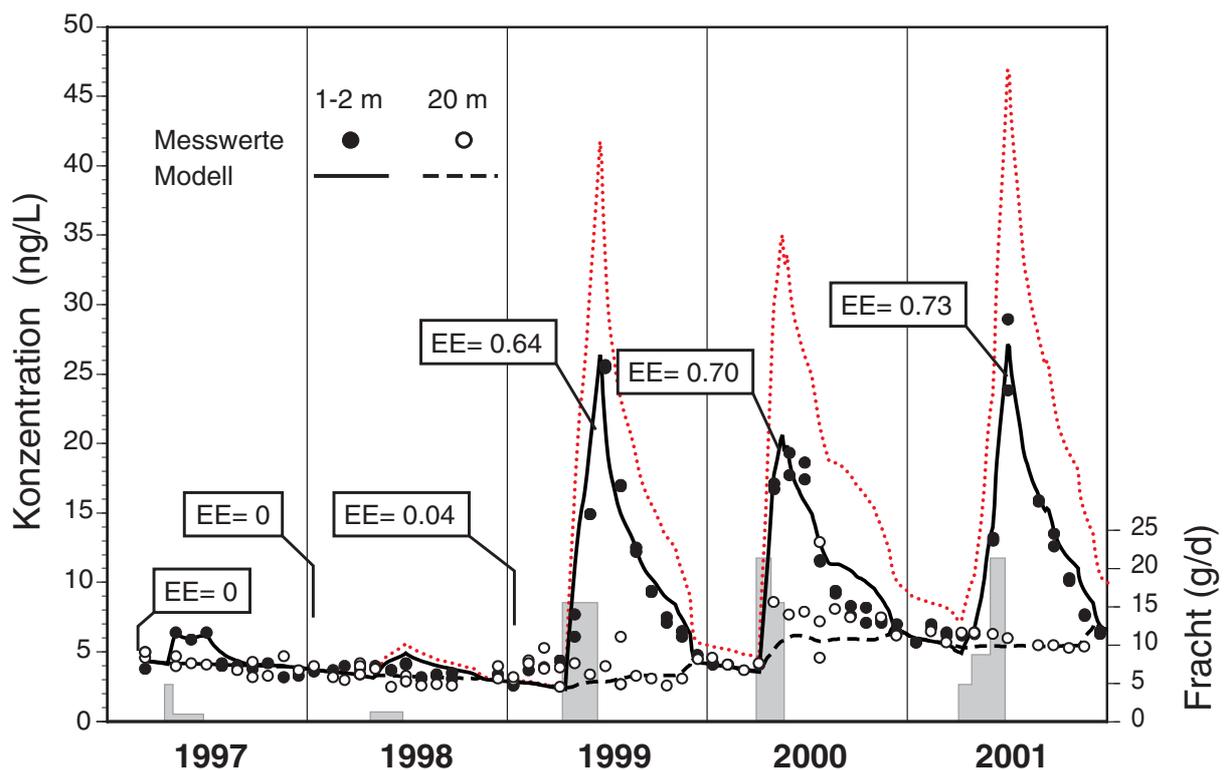
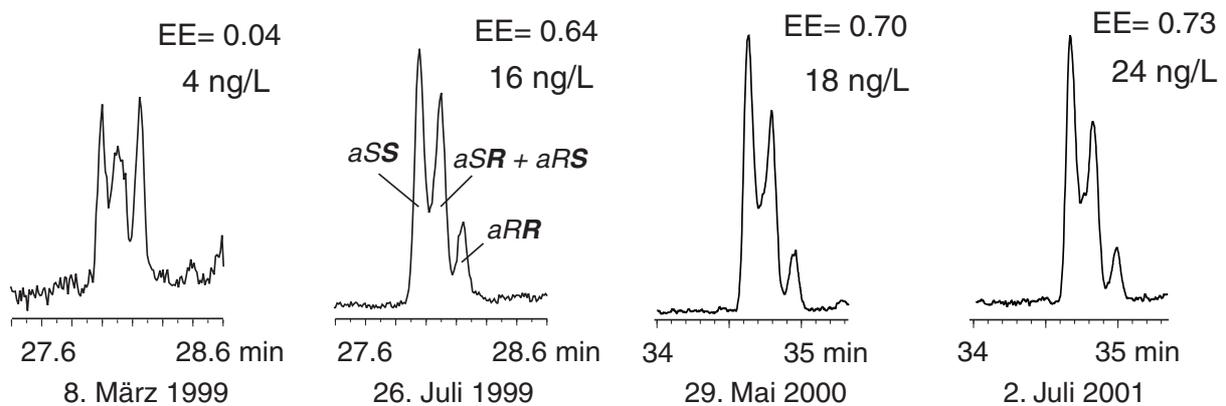


Abbildung 23: Konzentrationen und daraus berechnete Frachten für den Eintrag in den Baldeggersee 1997-2001. Man beachte dass, die Einträge in den Jahren 1999-2001 grösser als vorher waren, durch starke Regenfälle kurz vor oder während der Applikationsperiode. Anhand der Stereoisomerenzusammensetzung kann gezeigt werden, dass diese Einträge noch weit grösser ausgefallen wären, wenn razemisches Metolachlor eingesetzt worden wäre.



Fingerprint "alter" Wirkstoff \longrightarrow Fingerprint "neuer Wirkstoff"

Abbildung 24: GC-MS Chromatogramme der Rückstände von Metolachlor in Oberflächenwasser (1-2 m Tiefe) des Baldeggersees. Man beachte die geänderte Stereoisomerenzusammensetzung, die eine racemische Zusammensetzung vor 1999 zeigen, und steigende Anteile vom enantioreinem Metolachlor (S-Metolachlor) nach den Haupteinträgen von 1999, 2000, und 2001 in den Baldeggersee.

Die Resultate dieser Untersuchungen dokumentierten an Hand der Rückstände im Baldegger- und Murtensee, dass der alte Wirkstoff relativ rasch durch den neuen, nunmehr ausschliesslich bewilligten Wirkstoff ersetzt wurde, und zeigten eine relative rasche Anpassung der Umwelt (See) an die neue Situation. Obwohl die Metolachlor-Konzentrationen im See in diesem Zeitraum nicht kleiner wurden (vermehrter Gebrauch von Metolachlor im Einzugsgebiet; unterschiedliche klimatische Bedingungen, wie Jahrhundert Hochwasse; anderes) konnte auf Grund dieser Untersuchungen gezeigt werden, dass die Rückstände noch weit grösser gewesen wären, wenn der "alte" Wirkstoff eingesetzt worden wäre (siehe Abbildung 23).

4.3.2. Nicht-landwirtschaftliche Quellen für Einträge von PSM in Gewässer

Ein andersartig gelagerter Fall liegt bei Mecoprop vor, das als Herbizid im Feldbau eingesetzt wird. Diese Verbindung ist ebenfalls chiral und besteht aus zwei Enantiomeren, von denen nur das R-Enantiomere Herbizid wirksam ist, nicht aber das S-Enantiomere. In der Schweiz sind seit Ende der 1980er Jahre nur mehr Produkte zugelassen, die ausschliesslich das R-Enantiomere enthalten. Mit Einträgen aus landwirtschaftlichen Anwendungen des

Wirkstoffes würde man deshalb Rückstände in Gewässern erwarten, die nur dieses eine Enantiomere enthalten. In Laborexperimenten zeigten wir aber zudem, dass im Boden eine gewisse Umwandlung (Enantiomerisierung, R zu S) der Mecoprop-Enantiomeren durch Mikroorganismen stattfindet. Auch wenn das in der Schweiz handelsübliche, reine R-Enantiomere eingesetzt wird, entsteht im Boden mit der Zeit auch etwas vom S-Enantiomeren und umgekehrt.

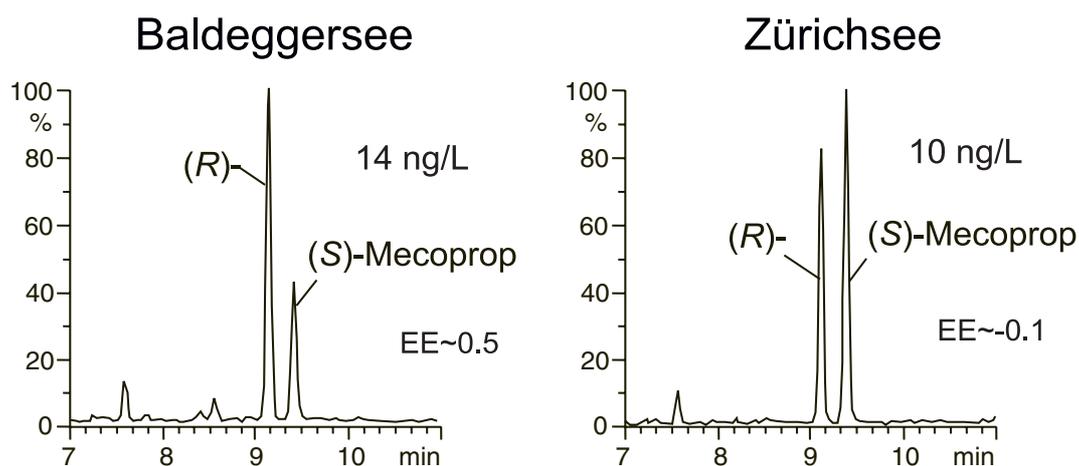


Abbildung 25: GC-MS Chromatogramme zeigen unterschiedliche Mecoprop Enantiomerenverhältnisse im Baldegger- (Einträge vor allem aus landwirtschaftlicher Quelle) und Zürichsee (Einträge vor allem aus nicht-landwirtschaftlicher Quelle).

Unsere Untersuchungen der Rückstände von Mecoprop in Seen zeigten nun klar Abweichungen der gemessenen von der erwarteten Zusammensetzung. In Abbildung 25 zeigen wir Chromatogramme von Mecoprop im Baldeggersee und im Zürichsee. Im Baldeggersee, wie auch im Sempacher- oder Murtensee, entsprach das Verhältnis der beiden Enantiomere in etwa den Erwartungen (Zusammensetzung, $R > S$). Im Zürichsee hingegen, wie auch im Greifensee, fand sich ein umgekehrtes Verhältnis (Zusammensetzung, $S > R$), wie es nicht durch landwirtschaftliche Einträge erklärt werden konnte. Diese beiden Seen haben einen geringeren Anteil an Landwirtschaft im Einzugsgebiet, dafür aber eine weit grössere Belastung durch häusliche/industrielle Einträge. Es wurde deshalb vermutet, dass bei diesen beiden Seen, Einträge von racemischen Mecoprop aus einer noch unbekannt, nicht-landwirtschaftlichen Quelle stammen könnten. Wie Untersuchungen von anderer Seite dann zeigten [39], trägt hier eine weitere Quelle zu den Rückständen bei, nämlich racemisches Mecoprop aus Flachdach- und anderen Isolationsfolien im Bauwesen (Material-

schutz/Wurzelschutz). Eine detaillierte Untersuchung an einigen Bächen im Einzugsgebiet des Greifensees zeigte klar, dass Mecoprop nur aufgefunden wurde, wenn oberhalb des Probenahmeortes eine Kläranlage vorhanden war (Probenahmezeitpunkte ausserhalb der Applikationsperiode), und dass Kläranlagen tatsächlich eine Quelle für racemisches Mecoprop darstellen. Anhand der Enantiomerenzusammensetzung der Rückstände im See konnten so also landwirtschaftliche von nicht-landwirtschaftlichen Einträgen des gleichen Wirkstoffes unterschieden werden. Genauere Berechnungen zeigten, dass im Falle des Baldeggersees wohl 75% des Mecoprops aus landwirtschaftlicher Quelle stammen müssen, im Falle des Greifensees aber nur 10-20%.

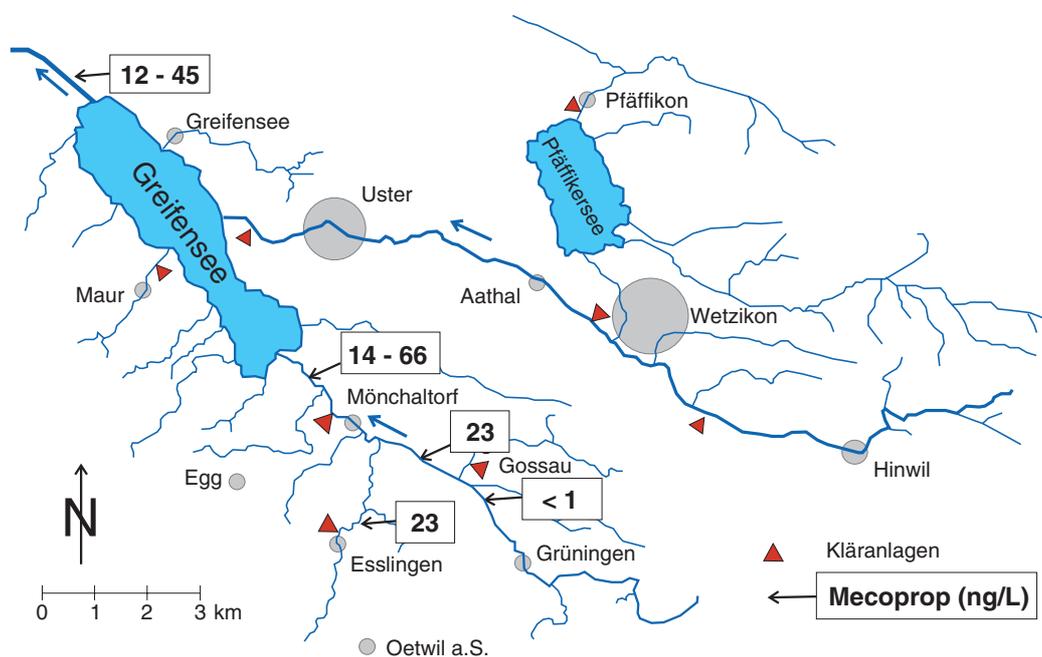


Abbildung 26: Das Einzugsgebiet des Greifensees mit gemessenen Mecoprop-Konzentrationen. Einträge von Mecoprop sind vor allem durch Kläranlagen verursacht (Dachabläufe).

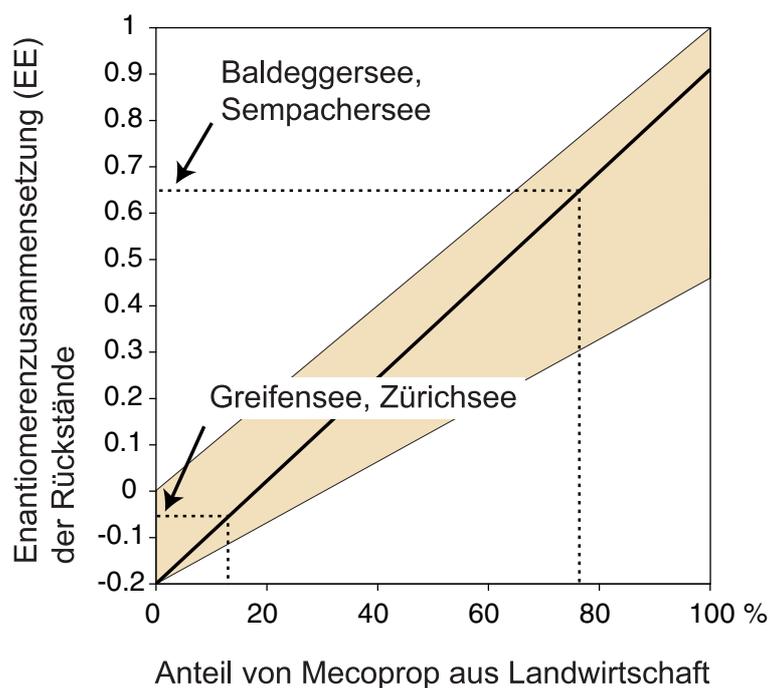


Abbildung 27: Abschätzung der relativen Anteile der Einträge für Mecoprop aus landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Quellen aufgrund der Enantiomerenzusammensetzung der Rückstände im Seewasser.

4.3.3. Strukturell zu PSM ähnliche Stoffe in Gewässern

In den analysierten Proben fanden sich neben den eigentlichen PSM-Zielverbindungen (Tabelle 4) immer auch andere Verbindungen, die unter Umständen das Vorhandensein von PSM vortäuschen können. Ein Beispiel dazu ist eine Verbindung, die bereits fälschlicherweise als Mecoprop Isomeres identifiziert wurde [40], die wir aber als Clofibrat identifiziert haben, einen pharmazeutischen Wirkstoff, der über Kläranlagen in unsere Gewässer gelangt. Wir konnten zeigen, dass Clofibrat in der Umwelt weit persistenter ist als Mecoprop, und deshalb in ähnlichen oder sogar grösserer Konzentration in Gewässern auftreten kann, obwohl die Verbrauchsmengen des pharmazeutischen Wirkstoffes weit geringer sind als die des Herbizides [29].

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

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 Daten der SGCI 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.

Ein Teil die Rückganges beim PSM-Einsatz ist vermutlich auf den Ersatz von älteren, weniger wirksamen Wirkstoffen durch neuere Wirkstoffe mit tieferen Aufwandmengen zurückzuführen sein. Prominente Beispiele dafür wurden in Abschnitt 3.1 diskutiert. Aufgrund der uns vorliegenden Daten ist es jedoch nicht möglich, den Anteil der Einsatzmengenreduktion, welcher durch solche Substitution bedingt ist, abzuschätzen. Der übrige Teil der Einsatzmengenreduktion dürfte auf "echten" Minderverbrauch zurückzuführen sein. Da im gleichen Zeitraum die offene Ackerfläche und die Fläche mit Dauerkulturen nur sehr geringfügig zurückgegangen ist und auch die relativen Anteile der verschiedenen Kulturen sich kaum verändert haben, dürfte es sich dabei eine Reduktion der Pflanzenschutzintensität handeln (gezieltere und/oder Verzicht auf Behandlungen, Reduktion der Aufwandmengen, etc.).

Inwieweit die Veränderungen des PSM-Einsatzes auf ÖLN, resp. auf andere Entwicklungen zurückzuführen sind, ist mit den vorhandenen Daten kaum 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
- 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)

Im Gegensatz zum Rückgang des PSM-Einsatz in der ganzen Schweiz war im Einzugsgebiet des Baldeggersees im Zeitraum 1997 bis 2003 kein abnehmender Trend beim PSM-Einsatz festzustellen (Daten für den Zeitraum vor 1997 stehen nicht zur Verfügung), wohl aber gewisse Variationen resp. Verschiebungen bei der Auswahl der Wirkstoffe. Da gesamtschweizerisch der grösste Rückgang des PSM-Einsatzes bereits vor 1997 zu verzeichnen war, dürften die Verbrauchsdaten für das Einzugsgebiet des Baldeggersees lediglich diese Situation zu spiegeln.

Die Untersuchungen im Baldegger- und Zürichsee haben gezeigt, dass eine Reihe von PSM, die in grossen Mengen in den Einzugsgebieten eingesetzt werden, nach wie vor in Spuren in diesen Seen nachgewiesen werden können. Tendenziell waren die Konzentrationen der Stoffe, welche über den gesamten Untersuchungszeitraum bestimmt werden konnten (d.h. deren Konzentrationen über der jeweiligen Nachweisgrenze lagen), eher rückläufig. Wenn man die Konzentrationen der Triazine Atrazin, Simazin und Terbutylazin im Baldegger- und Zürichsee im Untersuchungszeitraum 1997-2003 mit denjenigen in den Jahren 1988 und 1989 vergleicht, so stellt man einen deutlichen Rückgang um den Faktor 2 bis 5 fest, der vermutlich primär auf eine Senkung des Verbrauches dieser Stoffe in den Einzugsgebieten zurückzuführen ist. Atrazin ist insofern ein Sonderfall, als für diesen Wirkstoff mehrmals Anwendungseinschränkungen verfügt wurden:

- 1988 Reduktion der maximalen Aufwandmengen für Atrazin im Maisanbau von 3 auf max. 1.5 kg/ha
- 1989 Anwendungsverbot entlang von Bahnanlagen
- 1989 Anwendungsverbot nach dem 30. Juni jeden Jahres (Verzicht auf Herbstanwendung)
- 1994 weitere Reduktion der Aufwandmengen auf max. 1.0 kg/ha

Detaillierte Verbrauchserhebungen für das Einzugsgebiet des Baldeggersees stehen jedoch nur für die Jahre 1997 bis 2003 zur Verfügung, sodass erst für diesen Zeitraum Vergleiche von PSM-Einsatzmengen und -Einträgen in den See angestellt werden und nicht für den Zeitraum vor 1997.

Die PSM-Einträge in den Baldeggersee (wenige Kilogramm pro Stoff und Jahr) sind im Vergleich zu den im Einzugsgebiet in der Landwirtschaft eingesetzten Mengen derselben Wirkstoffe (im Bereich von mehreren hundert Kilogramm) relativ gering ($\leq 2\%$). Als mögliche Quel-

len für diese Stoffe in Gewässern kommen neben der landwirtschaftlichen Anwendung auch weitere Eintragsquellen in Frage (siehe Abbildung 28). Bei den landwirtschaftlichen Quellen sind es einerseits die diffusen Quellen wie Abtrift bei der Applikation, oberflächliche Abschwemmung und Austrag über Drainagen und andererseits Punktquellen wie Verluste beim Befüllen oder bei der Reinigung der Spritzgeräte, sowie versehentliches Verschütten von PSM, die zu einem direkten Eintrag in Gewässer führen können. Neben der landwirtschaftlichen Anwendung werden PSM aber auch beim Unterhalt von Strassen oder Bahnanlagen, im Hausgarten und im Materialschutz eingesetzt. Da es sich häufig um dieselben Stoffe handelt, ist die Unterscheidung von landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Quellen nur in wenigen Fällen möglich (siehe z.B. Abschnitt 4.3.2).

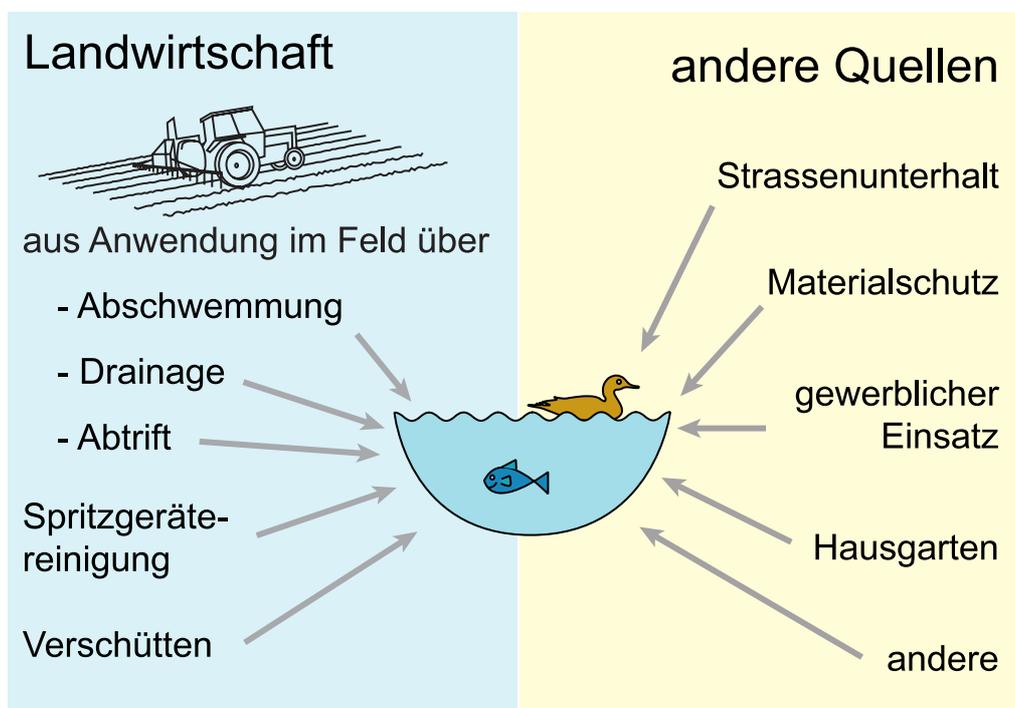


Abbildung 28: Mögliche Quellen für PSM in Oberflächengewässern aus landwirtschaftlicher oder nicht-landwirtschaftlicher Anwendung.

Immerhin haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass ein erheblicher Teil der in Gewässern nachgewiesenen PSM über Kläranlagen eingetragen werden kann [41-43]. Insbesondere bei Gewässern, die einen hohen Anteil an Siedlungsabwässern führen (Greifensee, Zürichsee), ist deshalb bei der Interpretation der Frachten Vorsicht geboten. Beim Baldeggersee, mit seinem eher ländlichen Einzugsgebiet, dürften hingegen die Einträge zum grössten Teil aus der landwirtschaftlichen Anwendung der Stoffe stammen.

Die beobachteten PSM-Frachten variierten von Jahr zu Jahr sehr stark, wie in den Abschnitten 4.2.3 und 4.2.4 dargelegt. Diese Variationen waren deutlich grösser als die entsprechenden Unterschiede im PSM-Einsatz im Einzugsgebiet des Baldeggersees. Die zeitliche Übereinstimmung der Einträge (in den Baldeggersee) und der Applikation einiger PSM (Atrazin, Metolachlor Dicamba und MCPA resp. MCPB) im Feld legen nahe, dass die Einträge dieser Stoffe primär aus landwirtschaftlichen Quellen stammen.

Qualitativ sind die jährlichen Schwankungen der saisonalen Einträge von Atrazin und Metolachlor im Zürich- und Baldeggersee ähnlich. In „nassen“ Jahren sind sie eher hoch, in „trockenen“ eher tiefer. Trägt man die Einträge in die beiden Seen gegeneinander auf, wie in Abbildung 29 so findet man eine Korrelation, allerdings mit einer relativ grossen Streuung. Diese Korrelation ist ein Hinweis darauf, dass in beiden Einzugsgebieten ähnliche Faktoren das Ausmass an PSM-Verlusten von behandelten Flächen beeinflussen, allen voran vermutlich die Niederschläge.

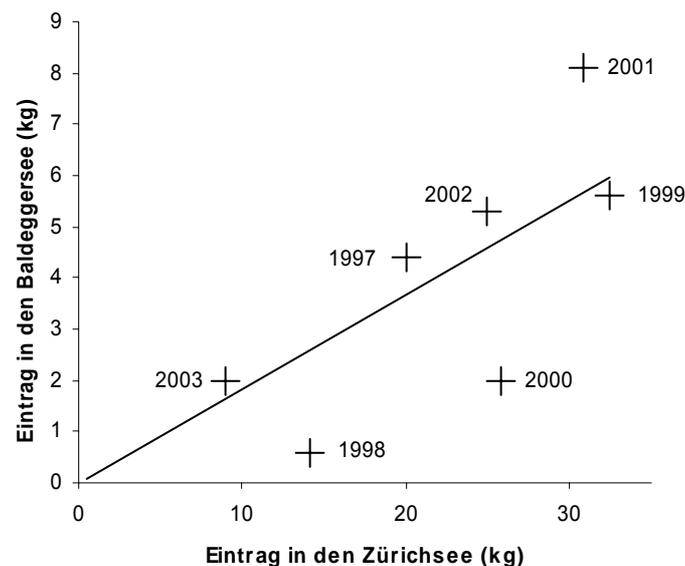


Abbildung 29: Vergleich der jährlichen Einträge von Atrazin in den Baldegger- und Zürichsee.

Beim Baldeggersee, analog wie beim Greifensee [26] konnte gezeigt werden, dass die PSM-Einträge in den See (in Prozent der im Einzugsgebiet applizierten Menge) mit der Niederschlagsmenge während der Applikationsperiode zunehmen, was ebenfalls auf Niederschläge

als wichtige Einflussgrösse bestätigt [20, 21, 44, 45]. Gleichzeitig wird dadurch die Annahme gestützt, dass der Austrag dieser PSM aus behandelten Flächen über oberflächliche Abschwemmung und/oder Drainagen erfolgt, da bei diesen Prozessen die Niederschlagsmenge eine entscheidende Rolle spielt. Im Vergleich zum Greifensee ist die Zunahme des PSM-Austrages aus behandelten Flächen jedoch nicht über den ganzen Wertebereich der Niederschläge linear. Im Jahr 1999, wo besonders hohe Niederschläge und, als Folge davon, in der ganzen Schweiz grosse Hochwasserereignisse stattfanden ("Jahrhundert-Hochwasser"), waren die PSM-Einträge in den Baldeggersee nicht so hoch, wie dies aufgrund einer stetigen Zunahme der Einträge mit Zunahme der Niederschlagsmengen erwartet würde (Abbildung 21, Seite 52). Neben den (mittleren) Niederschlägen dürften demnach auch noch andere Faktoren, z.B. Standortfaktoren und damit verknüpft die Verteilung der behandelten Flächen im Einzugsgebiet, einen wesentlichen Einfluss auf die Einträge gehabt haben.

Bei den PSM-Frachten im Baldegger- und Zürichsee konnten eindeutige Trends weder in zu- noch in abnehmender Richtung festgestellt werden. Bei denjenigen Stoffen, für die Frachten über den ganzen Untersuchungszeitraum 1997 bis 2003 aus den gemessenen Konzentrationen berechnet werden konnten (Atrazin, Dicamba, Metolachlor, Simazin und Terbutylazin) waren die jährlichen Schwankungen der Frachten deutlich grösser (60-120%, relativ zum Mittelwert), als eine erwartete, resp. angestrebte Reduktion des Eintrages in die Gewässer (50%). Wenn man die jährlich Einträge normiert bezüglich des Verbrauches im Einzugsgebiet sind die Schwankungen sogar noch etwas grösser (80-150%, relativ zum Mittelwert). Um bei solchen Schwankungen Trends feststellen zu können, wäre ein deutlich grösserer Beobachtungszeitraum nötig als für die Untersuchung vorgesehen war.

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 Projektstarts ist dies möglicherweise auch auf die notwendige Auswahl der Verbindungen, die in die Untersuchung einbezogen werden konnten, zurückzuführen. 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, da diese im Boden eine gewisse Residualwirkung haben müssen

- diese Verbindungen eine doch merklich höhere Mobilität aufweisen im Vergleich zu vielen Insektiziden und Fungiziden
- 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 können. 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 tendenziell 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. Ganz abgesehen vom enormen Aufwand, der für Probenahme und Analysen betrieben werden müsste. 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 Monitoringansatz 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 dazu nach wie vor die Basis fehlt.

6. Referenzen

1. Gunst P., *Agrarian development and social change in eastern Europe, 14th - 19th centuries*. 1996, Aldershot, Hampshire: Variorum.
2. VCI, *Textheft 10, "Pflanzenschutz", Informationsserie für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II*. 1992, Fonds der Chemischen Industrie: Frankfurt. (<http://www.vci.de/fonds/>).
3. Bakemeier H., Gössling H., und Krabetz R., *Ammoniak*, in *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*. 1974, Verlag Chemie: Weinheim. 444-513.
4. Dixon J., Gulliver A., und Gibbon D., *Global Farming Systems Study: Challenges and Priorities to 2030, Synthesis and Global Overview*. 2001, FAO: Rom.
5. 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**: 504-507.
6. Boller E.F., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands F.G., und Esbjerg P., eds. *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/>.
7. Müller M.D., Poiger T., und Buser H.R., *Pflanzenschutzchemie - im Dienst von allen*. *Agrarforschung*, 2000. **7**(9): 430-435.
8. Müller M.D., Barben H., und Buser H.R., *Sichere Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln*. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau*, 1996: 420-424.
9. Müller M.D. und Buser H.R., *Enantioselective analyses of persistent and modern pesticides. A step toward sustainable agriculture*. *Chimia*, 1997. **51**(10): 694-700.
10. Müller M.D., Patrian B., und Poiger T., *Qualitätsbeurteilung von Pflanzenschutzmitteln*. *Agrarforschung*, 2005. **12**(1): 16-21.
11. *Verordnung über die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung)*, in SR 916.161. 2004.
12. *Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV)*, in SR-910.13. 1998.
13. Gantner U., Forni D., und Gujer H.U., *Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme - überarbeiteter Konzeptbericht*. 1999, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern.
14. Streit B., *Langzeitvergleich Direktsaat - Pflug auf ÖLN-Betrieb*.
15. Zürcher M., Siegfried W., und Sacchelli M., *Systemvergleichsversuch: Integrierte und biologische Apfelproduktion*. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau*, 2003. **140**(21): 9-13.
16. SGCI, *Pflanzenschutzmittel-Statistik Schweiz*. 1995-2003, Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie: Zürich.
17. BLW, *Agrarberichte*. 2000-2003, Bundesamt für Landwirtschaft: Bern.

18. 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.
19. 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): 3835-3841.
20. 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.
21. Capel P.D. und Larson S.J., *Effect of scale on the behavior of atrazine in surface waters*. *Environmental Science & Technology*, 2001. **35**(4): 648-657.
22. 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.
23. 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): 2104-2113.
24. Buser H.R., *Atrazine and Other S-Triazine Herbicides in Lakes and in Rain in Switzerland*. *Environmental Science & Technology*, 1990. **24**(7): 1049-1058.
25. Hauser A., Poiger T., und Buser H.R., *Rückstände von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen im Baldeggersee und im Zufluss Ron, 2002*. 2004, Agroscope FAW: Wädenswil.
26. Anfang H.G., Lück A., Peter A., Müller S.R., und Singer H., *Pestizidbelastung von Oberflächengewässern - Auswirkungen der ökologischen Massnahmen in der Landwirtschaft*. *GWA Gas Wasser Abwasser*, 2005(11): 879-886.
27. Liechti P., *Der Zustand der Seen in der Schweiz*. 1994, Bern: BUWAL.
28. Buser H.R., Poiger T., und Müller M.D., *Changed enantiomer composition of metolachlor in surface water following the introduction of the enantiomerically enriched product to the market*. *Environmental Science & Technology*, 2000. **34**(13): 2690-2696.
29. Buser H.R., Müller M.D., und Theobald N., *Occurrence of the pharmaceutical drug clofibric acid and the herbicide mecoprop in various Swiss lakes and in the North Sea*. *Environmental Science & Technology*, 1998. **32**(1): 188-192.
30. 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.
31. 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): 1953-1959.
32. 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): 3842-3852.
33. 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): 1674-1685.
 34. Reichert P., *Aquasim - a Tool for Simulation and Data-Analysis of Aquatic Systems. Water Science and Technology*, 1994. **30**(2): 21-30.
 35. Poiger T., Buser H.R., und Muller M.D., *Photodegradation of the pharmaceutical drug diclofenac in a lake: Pathway, field measurements, and mathematical modeling. Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001. **20**(2): 256-263.
 36. Buser H.R., Poiger T., und Muller M.D., *Occurrence and environmental behavior of the chiral pharmaceutical drug ibuprofen in surface waters and in wastewater. Environmental Science & Technology*, 1999. **33**(15): 2529-2535.
 37. Blaser H.U., Buser H.P., Coers K., Hanreich R., Jalett H.P., Jelsch E., Pugin B., Schneider H.D., Spindler F., und Wegmann A., *The chiral switch of metolachlor: The development of a large-scale enantioselective catalytic process. Chimia*, 1999. **53**(6): 275-280.
 38. Poiger T., Müller M.D., und Buser H.R., *Verifying the chiral switch of the pesticide metolachlor on the basis of the enantiomer composition of environmental residues. Chimia*, 2002. **56**(6): 300-303.
 39. 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): 3465-3471.
 40. Ludwig P., Gunkel W., und Huhnerfuss H., *Chromatographic-Separation of the Enantiomers of Marine Pollutants .5. Enantioselective Degradation of Phenoxy-carboxylic Acid Herbicides by Marine Microorganisms. Chemosphere*, 1992. **24**(10): 1423-1429.
 41. 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): 261-264.
 42. 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): 307-315.
 43. Müller K., Bach M., Hartmann H., Spiteller M., und Frede H.G., *Point- and nonpoint-source pesticide contamination in the Zwester Ohm catchment, Germany. Journal of Environmental Quality*, 2002. **31**(1): 309-318.
 44. 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): 1251-1269.
 45. 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): 982-991.

7. Glossar

BLW: Abkürzung für Bundesamt für Landwirtschaft

Chiralität: siehe Stereoisomere.

Chromatogramm: Grafische Darstellung einer analytischen Trennung von Substanzen. Eine Substanz wird als sog. Peak im Chromatogramm dargestellt.

DOC: Abkürzung von Dissolved Organic Carbon. In der Wasserchemie ein Maß für die im Wasser gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen.

EAWAG: Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

Epilimnion: Das Epilimnion ist die obere erwärmte Wasserschicht in einem geschichteten stehenden Gewässer. Zur Entstehung von Wasserschichten kommt es aufgrund der Dichteanomalie des Wassers (Wasser weist die grösste Dichte bei 4 °C auf). Das Epilimnion ist durch die Sprungschicht, das Metalimnion von der unteren Wasserschicht, dem Hypolimnion getrennt.

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.

Halbwertszeit: bezeichnet die Zeitspanne $t_{1/2}$, in welcher die Hälfte eines Stoffes in einem System (z.B. See) abgebaut oder ausgetragen wird.

Hypolimnion: siehe Epilimnion.

IP: Integrierte Produktion.

Isotopen: Isotope (griech. ἴσο (iso) τόπος (topos): gleicher Ort (gemeint ist im Periodensystem) sind Atome mit gleicher Ordnungszahl aber unterschiedlicher Massenzahl. In der Analytik werden Referenzsubstanzen eingesetzt, die mit bestimmten Isotopen (z.B. Kohlenstoff der Atommasse 13 statt 12) versehen sind und die mit Hilfe der Massenspektrometrie von unmarkierten unterschieden werden können. Diese Isotope sind nicht radioaktiv, d.h. sie zerfallen nicht, und werden deshalb stabile Isotope genannt.

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.

Niskin-Flasche: Gefäß für die Probenahme von Wasserproben in verschiedenen Tiefen in Seen. Das Gefäß wird in geöffnetem Zustand abgesenkt, und durch Fernauslösung in der gewünschten Tiefe geschlossen.

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.

razemisches Gemisch: ein 1:1 Mischung von Enantiomeren (siehe auch Stereoisomere).

SGCI: Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie.

Stereoisomere: Stereoisomere Moleküle 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.

Stratifizierung: Wasserschichtung in einem See, vgl. Epilimnion.

WS: Abkürzung für Wirkstoff.

8. Verzeichnis der Anhänge

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee	A
PSM-Konzentrationen im Zürichsee	B
PSM-Mengen ("Seeinhalte") im Baldeggersee	C
PSM-Mengen ("Seeinhalte") im Zürichsee	D
Modellierung der PSM-Konzentrationen und der jährlichen PSM-Frachten im Baldeggersee	E

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 1997 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.03.1997	1	119.0	20.0	4.5	20.0	47.0	5.0	16.8	17.3	4.2	4.1
10.03.1997	2.5	118.1	33.1	4.7	34.4	82.2	3.8	16.9	17.5	3.7	4.2
10.03.1997	5	126.0	18.0	4.5	21.0	48.6	5.1				
10.03.1997	10	118.0	21.2	4.3	24.0	51.6	5.2				
10.03.1997	20	129.0	19.0	3.8	21.0	56.8	5.0	16.8	17.8	4.1	3.7
10.03.1997	62	121.0	18.0	4.8	20.0	50.1	4.6	16.1	17.8	3.7	3.8
05.05.1997	1	104.9	22.1	2.3	22.4	62.6	6.4	9.8	15.4	<2	4.2
05.05.1997	5	105.0	21.4	3.7	22.8	55.0	6.1	8.4	18.0	<1	5.1
05.05.1997	10	110.2	20.1	3.6	22.6	46.0	4.7				
05.05.1997	20	113.3	19.9	3.7	22.1	46.6	4.0	6.5	14.9	<2	4.5
02.06.1997	2.5	106.6	22.2	2.6	21.3	53.4	5.9	18.9	18.8	3.7	4.5
02.06.1997	5	108.8	38.2	4.1	34.1	82.3	5.1				
02.06.1997	20	124.0	19.3	2.2	22.9	59.2	4.2	16.2	20.2	3.4	4.6
30.06.1997	2.5	148.9	23.9	2.7	22.8	54.2	6.4	12.5	8.3	2.6	1.7
30.06.1997	20	111.6	17.8	2.2	22.1	47.5	4.1	6.5	7.1	1.4	1.5
28.07.1997	1	161.9	34.6	2.9	22.7	81.5	4.2	7.5	4.9	1.6	1.0
28.07.1997	2.5	146.8	30.6	2.7	20.8	69.2	4.0	8.0	5.0	1.7	1.2
28.07.1997	5	142.4	25.9	7.0	21.5	69.6	11.5	11.4	6.5	1.8	1.1
28.07.1997	10	119.3	31.8	10.1	22.9	66.4	10.6	6.6	5.9	1.3	1.4
28.07.1997	20	96.0	24.5	10.3	22.9	58.2	9.2	5.9	5.8	1.2	1.3
28.07.1997	62	101.0	22.7	10.1	20.8	59.7	7.6	6.1	6.4	1.6	1.6
25.08.1997	2.5	146.7	29.6	4.2	21.0	108.2	4.0	8.7	4.9	1.7	1.1
25.08.1997	20	98.5	23.7	3.6	24.4	62.2	3.7	9.0	9.6	2.0	2.4
22.09.1997	1	135.2	43.3	3.5	24.3	77.0	3.8	27.2	16.7	3.5	4.2
22.09.1997	2.5	148.5	43.6	3.7	26.3	73.7	4.2	55.5	27.8	9.3	7.2
22.09.1997	20	104.1	25.0	2.3	28.8	60.1	4.3	27.3	30.9	6.2	8.2
22.09.1997	62	97.8	25.6	3.3	27.9	62.2	3.2	3.0	3.6	<1	0.9
20.10.1997	2.5	139.7	44.7	3.6	29.4	75.3	4.2	30.6	16.1	4.9	6.6
20.10.1997	20	104.8	35.8	4.1	30.9	72.7	3.3	14.5	18.5	3.5	4.1
18.11.1997	2.5	122.3	39.2	3.6	27.3	75.5	3.2	8.1	4.4	1.0	0.8
18.11.1997	20	109.7	41.7	5.0	30.5	70.8	4.7	4.6	3.9	<1	0.9
15.12.1997	2.5	129.0	35.8	4.3	23.2	106.5	3.3	15.4	11.5	3.1	2.7
15.12.1997	20	118.9	29.4	4.7	21.7	80.5	3.7	17.9	13.0	3.4	2.7

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 1998 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
12.01.1998	2.5	116.2	27.6	5.9	23.3	86.8	3.6	22.4	18.1	4.5	3.6
12.01.1998	10							14.6	7.4	2.2	1.2
12.01.1998	20	108.1	32.0	5.4	21.0	95.2	4.0	15.0	13.8	3.1	2.6
16.02.1998	1							17.1	13.0	3.0	3.0
16.02.1998	2.5	109.0	32.1	5.7	25.5	78.0	3.7	7.5	8.2	0.7	1.7
16.02.1998	5							15.4	10.0	2.5	1.2
16.02.1998	20	107.5	31.1	3.9	24.1	91.1	3.2	22.1	20.2	3.7	5.4
09.03.1998	2.5	105.6	34.3	5.2	25.4	94.7	4.0	24.6	21.6	3.7	5.5
09.03.1998	20	105.8	32.5	4.4	26.6	78.1	3.0	19.9	18.1	2.8	4.3
06.04.1998	1	105.1	30.6	4.4	23.9	86.2	3.4	16.8	12.3	3.3	2.9
06.04.1998	2.5	108.2	32.6	5.8	29.8	75.8	3.8	16.7	12.0	3.0	2.8
06.04.1998	5	110.7	25.5	3.5	25.9	64.2	3.5	17.4	12.0	3.3	3.0
06.04.1998	10	105.8	31.6	3.6	24.2	84.1	3.4	16.3	12.5	3.2	2.4
06.04.1998	20	105.2	27.9	2.9	25.3	81.9	4.0	16.1	12.9	3.5	2.8
06.04.1998	62	103.8	27.0	6.3	26.7	78.6	4.2	17.1	11.1	4.2	2.9
04.05.1998	2.5	99.3	33.3	3.1	24.2	78.1	4.0	16.7	14.3	3.1	1.6
04.05.1998	20	100.3	32.7	4.3	22.8	83.7	3.8	16.0	11.4	2.9	2.4
02.06.1998	1	102.5	82.1	2.3	20.5	81.5	3.7	19.8	16.3	4.2	3.9
02.06.1998	2.5	98.9	57.9	2.0	19.8	73.5	3.7	20.4	16.3	4.0	3.0
02.06.1998	20	99.5	22.0	2.5	19.6	70.7	2.5	14.7	11.1	2.3	2.3
29.06.1998	1	104.5	62.8	2.3	18.9	93.9	4.2	16.2	10.7	4.2	2.2
29.06.1998	2.5	105.6	61.7	2.2	18.6	91.4	4.1	14.6	10.0	3.2	2.4
29.06.1998	5	102.6	63.2	2.2	18.3	82.4	4.4				
29.06.1998	10	88.5	31.5	2.3	19.3	65.5	2.9				
29.06.1998	20	89.8	22.4	2.5	19.4	65.2	3.3	14.1	10.6	2.5	1.9
29.06.1998	60	95.7	20.1	2.1	18.7	63.7	2.9	15.6	11.2	2.5	0.4
27.07.1998	1	106.3	60.0	5.2	21.2	69.4	3.1	41.2	18.6	7.1	5.5
27.07.1998	2.5	107.4	65.3	3.6	19.8	89.8	3.2	37.0	17.6	5.6	6.6
27.07.1998	20	100.6	21.5	3.9	19.7	64.1	2.6	34.3	20.8	4.6	4.5
24.08.1998	1	102.1	62.1	2.3	19.5	71.5	3.3	21.0	8.6	3.8	2.0
24.08.1998	2.5	107.2	63.2	2.3	21.2	70.9	3.4	21.4	8.9	4.0	2.2
24.08.1998	20	99.5	18.2	5.1	21.9	47.8	2.7				
21.09.1998	1	97.0	84.3	2.2	20.0	68.7	3.1	18.7	8.1	3.2	1.8
21.09.1998	2.5	97.5	83.3	2.5	18.2	72.3	3.5	20.8	9.4	3.6	1.7
21.09.1998	20	101.1	22.1	4.6	20.9	74.0	2.6	17.1	10.5	3.1	1.8
14.12.1998	2.5	111.4	40.4	4.1	18.4	60.9	3.4	18.9	12.1	3.0	2.8
14.12.1998	5	104.0	33.9	3.4	20.9	75.5	3.0				
14.12.1998	10	107.1	40.8	5.2	18.8	67.1	4.0	31.6	13.8	3.4	3.8
14.12.1998	20	106.3	35.7	4.3	15.3	67.7	3.1				

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 1999 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
11.01.1999	2.5	90.1	30.7	2.7	14.3	44.1	2.6	21.9	13.4	3.5	2.6
11.01.1999	10	92.4	36.1	3.0	13.7	47.4	3.2	20.6	12.7	3.4	3.7
11.01.1999	20	90.7	34.6	2.9	15.7	51.6	3.0	21.3	12.8	3.6	3.1
11.01.1999	62	94.1	38.2	3.7	16.3	58.7	2.9	21.3	13.0	3.7	3.7
08.02.1999	2.5	112.1	41.0	4.3	21.6	71.4	3.7	18.9	12.2	2.8	3.0
08.02.1999	10	111.2	42.3	4.3	22.1	73.8	4.2	18.3	11.6	2.7	2.8
08.02.1999	20	114.8	43.8	4.1	22.8	79.1	4.4	19.4	12.2	2.9	3.2
08.03.1999	2.5	102.8	40.0	5.1	21.3	78.9	3.9	16.0	10.7	2.4	3.3
08.03.1999	10	103.6	29.7	1.5	18.6	72.4	3.8	18.4	11.1	2.5	2.5
08.03.1999	20	105.3	33.8	3.2	19.3	67.5	5.3	18.6	11.6	2.5	2.7
06.04.1999	2.5	96.2	40.8	4.4	21.7	72.5	4.4	17.6	11.5	2.9	2.8
06.04.1999	10	95.4	27.8	3.0	18.9	70.2	2.5				
06.04.1999	20	96.8	44.6	4.6	21.5	83.5	3.9	16.7	10.3	2.7	2.6
03.05.1999	1	95.0	29.2	3.2	17.1	73.0	7.7	25.1	28.8	3.7	4.1
03.05.1999	2.5	97.4	26.4	2.8	16.8	67.4	6.1	22.6	22.3	2.9	4.9
03.05.1999	20	102.6	28.9	3.3	16.6	69.7	4.2	19.6	12.4	3.1	4.7
31.05.1999	1	96.3	52.1	2.4	16.0	59.5	14.9	29.5	56.9	5.3	10.0
31.05.1999	2.5	93.9	64.1	3.2	15.9	55.6	14.9	29.6	57.0	4.8	9.2
31.05.1999	20	101.7	28.9	3.5	16.6	62.0	3.4	18.7	12.5	2.5	6.4
28.06.1999	1	157.3	67.0	2.9	17.0	63.1	25.4	28.8	45.4	12.4	6.0
28.06.1999	2.5	162.9	69.5	2.8	16.6	63.1	25.6	30.2	47.4	14.4	6.6
28.06.1999	20	102.4	34.5	4.1	17.3	65.3	4.0	19.5	13.3	6.4	2.9
26.07.1999	1	196.1	73.7	4.3	14.9	66.5	17.0	30.9	38.8	20.0	5.6
26.07.1999	2.5	197.7	67.7	2.5	13.9	61.2	16.9	27.2	34.7	16.3	5.4
26.07.1999	5	178.6	63.1	3.1	15.0	87.0	13.3	30.2	39.9	15.8	6.5
26.07.1999	10	104.2	35.8	3.0	17.7	73.5	6.1	23.2	21.5	5.0	4.6
26.07.1999	20	88.0	24.0	3.3	16.3	55.2	2.7	19.7	13.2	3.5	2.7
26.07.1999	62	91.0	26.3	3.6	17.5	70.2	2.7	4.5	3.0	0.6	0.7
23.08.1999	1	159.1	64.3	3.0	16.9	78.9	12.5	28.6	25.2	14.9	8.5
23.08.1999	2.5	160.2	62.3	3.2	17.4	84.8	12.2	30.4	38.5	15.8	6.9
23.08.1999	20	97.8	29.5	4.9	18.8	69.3	3.3	18.2	11.5	3.4	5.4
20.09.1999	1	129.8	58.4	1.8	13.1	79.4	9.4	25.3	39.3	12.6	5.8
20.09.1999	2.5	123.2	46.0	1.7	12.4	82.9	9.3	27.5	40.1	13.5	5.3
20.09.1999	20	81.1	28.4	3.2	19.0	70.4	3.1	17.4	11.1	3.0	2.5
18.10.1999	1	131.4	57.1	2.8	15.4	81.8	7.1	28.2	42.3	10.0	5.1
18.10.1999	2.5	127.5	55.5	3.1	14.4	84.0	7.5	26.2	38.6	9.3	4.4
18.10.1999	20	85.5	26.3	2.8	17.0	72.3	2.6	19.4	13.5	2.9	3.5
15.11.1999	1	101.3	50.6	4.5	17.7	84.7	6.5	23.3	25.6	6.3	5.5
15.11.1999	2.5	101.9	49.2	3.5	16.3	79.7	6.1	22.5	27.2	6.6	6.8
15.11.1999	20	82.6	35.7	3.6	19.9	76.9	3.1	19.8	14.3	3.4	4.1
13.12.1999	2.5	91.0	39.9	3.1	19.4	81.2	4.8	22.6	18.8	4.7	3.8
13.12.1999	20							20.5	17.8	4.0	3.3

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 2000 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.01.2000	1	98.8	39.0	4.6	17.8	84.6	4.2	11.9	15.5	2.5	3.7
10.01.2000	2.5	97.1	29.7	3.3	16.8	76.2	4.1	17.4	14.6	4.3	2.3
10.01.2000	10	96.0	29.1	3.5	14.6	75.1	4.6	16.8	14.9	3.8	2.6
10.01.2000	20							12.6	15.7	1.9	2.9
07.02.2000	1	92.6	38.4	3.9	17.2	70.9	4.1	18.2	15.7	4.4	3.4
07.02.2000	2.5							17.9	14.3	4.3	2.5
07.02.2000	20	89.0	35.5	3.4	16.7	64.0	4.1	17.2	15.6	4.4	2.4
08.03.2000	0.5							20.3	15.6	4.8	2.6
08.03.2000	0.5							19.0	12.8	4.2	2.8
08.03.2000	1							15.6	13.0	3.9	2.3
08.03.2000	20	84.8	27.3	3.6	15.0	57.5	3.7	17.7	13.0	3.6	2.6
04.04.2000	2.5	81.4	28.5	2.8	14.4	62.5	4.1	15.6	12.3	3.8	2.1
04.04.2000	5							17.0	17.4	4.3	3.8
04.04.2000	20	82.7	30.8	3.7	14.8	67.2	4.2	13.6	13.2	2.8	2.1
01.05.2000	1	92.7	29.6	1.8	14.7	61.0	17.1				
01.05.2000	2.5	87.4	29.1	2.1	14.3	64.5	16.7	21.6	20.5	4.9	3.1
01.05.2000	20	84.5	29.8	2.2	14.9	58.4	8.6	17.3	14.7	4.3	2.4
29.05.2000	1	87.6	26.4	1.5	13.5	67.2	19.3	17.6	19.8	3.8	3.5
29.05.2000	2.5	83.7	22.9	1.5	11.9	53.7	17.7	19.0	19.9	4.9	3.6
29.05.2000	20	83.0	24.8	2.1	14.1	58.7	7.7	17.2	16.9	4.4	3.8
26.06.2000	1	122.6	38.4	2.0	12.7	74.5	18.6	16.7	18.7	11.3	3.3
26.06.2000	2.5	120.2	35.0	1.7	11.9	65.7	17.4	16.6	17.1	10.5	3.4
26.06.2000	20	86.8	26.5	1.8	13.7	65.2	7.9	17.9	16.4	4.2	3.5
24.07.2000	1	114.0	35.5	1.8	12.3	80.6	11.6	15.6	16.9	10.3	3.0
24.07.2000	2.5	109.5	34.5	1.6	12.4	71.4	11.5	16.3	17.4	10.0	3.2
24.07.2000	5	111.2	40.1	1.7	13.8	74.6	12.3	16.1	16.9	10.8	3.4
24.07.2000	10	91.2	34.1	1.9	15.0	68.6	12.9	12.4	14.5	3.1	3.1
24.07.2000	20	82.3	25.5	1.8	13.9	60.2	7.2	19.0	18.3	4.9	3.4
24.07.2000	62	78.1	28.0	1.7	14.0	68.6	4.6	12.6	10.8	2.6	2.7
21.08.2000	1	103.2	41.6	1.9	10.8	91.1	9.2	12.9	14.0	8.7	2.3
21.08.2000	2.5	98.8	40.3	1.9	11.7	92.2	9.4	13.6	13.9	8.1	2.7
21.08.2000	20	82.3	33.2	1.3	14.4	84.6	8.1	18.5	18.0	4.5	3.7
18.09.2000	1	94.0	38.2	1.6	10.5	82.8	7.6	14.9	16.2	7.6	2.8
18.09.2000	2.5	90.7	38.6	1.9	10.9	84.3	8.3	16.8	16.1	8.2	3.0
18.09.2000	20	76.7	28.5	1.4	13.3	79.3	7.5	17.7	17.6	4.5	3.6
16.10.2000	1	85.3	25.2	1.4	16.3	49.9	7.1	16.9	17.4	6.8	2.8
16.10.2000	2.5	93.5	29.0	1.4	9.2	56.9	8.2	15.9	18.5	5.8	2.8
13.11.2000	1	85.3	27.4	1.7	12.9	54.8	7.1	16.1	19.2	5.7	4.1
13.11.2000	2.5	85.6	27.3	1.6	9.1	58.7	7.3	16.6	19.2	5.8	4.0
13.11.2000	20	89.4	28.7	2.2	9.5	57.8	7.5	17.5	17.4	3.9	1.9
11.12.2000	1	79.8	24.6	1.8	10.4	49.8	7.0	15.2	15.9	4.5	2.4
11.12.2000	2.5	81.7	25.3	1.9	10.5	57.9	6.4	14.3	15.9	4.2	2.2
11.12.2000	20	82.2	26.3	1.9	10.6	53.1	6.2	16.5	17.5	4.3	2.2

PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 2001 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
15.01.2001	1	66.9	28.3	1.8	8.7	62.7	5.7	16.8	19.0	4.0	2.8
15.01.2001	2.5	66.2	28.2	1.9	9.8	60.2	5.7	16.1	16.8	4.0	2.0
15.01.2001	20										
12.02.2001	1	78.6	35.5	2.4	11.2	83.0	7.0	17.3	19.0	5.0	4.2
12.02.2001	2.5	88.9	43.0	2.7	12.1	102.5	6.8	12.3	15.3	2.5	4.4
12.02.2001	20	82.7	36.8	2.3	11.2	88.0	6.5	16.2	15.9	3.8	2.8
12.03.2001	1	79.9	38.4	2.4	11.9	85.4	6.4	17.3	19.0	5.0	4.2
12.03.2001	2.5	76.1	36.4	2.5	11.7	81.7	6.2	17.2	15.4	4.0	3.0
12.03.2001	20	69.0	33.5	1.9	9.6	72.9	5.7	18.1	16.9	4.5	3.3
09.04.2001	1	88.0	24.9	1.5	12.0	67.4	6.2	16.9	13.7	3.7	2.5
09.04.2001	2.5	89.7	25.0	1.4	11.5	66.8	6.3	15.7	13.6	3.2	2.6
09.04.2001	20	88.2	23.7	1.4	11.5	60.7	6.4	13.2	12.7	3.8	2.1
02.05.2001	1	80.4	21.2	1.3	9.8	60.3	6.3	20.8	20.1	3.8	3.0
02.05.2001	2.5	83.7	22.5	1.3	10.7	64.9	6.4	19.1	17.6	4.2	3.1
02.05.2001	20	89.6	24.9	1.4	11.2	68.5	6.4	16.4	14.8	4.1	2.6
05.06.2001	1	101.1	20.6	1.5	9.4	57.9	13.2	29.7	20.2	6.2	3.2
05.06.2001	2.5	100.3	21.3	1.4	9.8	61.8	13.0	23.6	20.6	5.0	3.6
05.06.2001	20	82.2	22.7	1.4	11.3	62.2	6.3	17.2	16.9	4.5	3.5
02.07.2001	1	244.0	37.7	2.7	10.1	76.1	28.9	32.5	31.1	43.8	4.0
02.07.2001	2.5	210.6	31.0	2.6	8.2	48.5	23.8	37.4	31.0	51.0	3.7
02.07.2001	20	83.2	22.2	1.2	10.8	59.2	6.0	19.0	20.1	4.4	3.2
27.08.2001	1	211.3	37.3	2.70	9.9	124.6	15.9	21.8	18.4	15.0	3.6
27.08.2001	2.5	208.9	36.0	2.73	9.9	119.7	15.8	19.9	21.1	12.3	3.5
27.08.2001	20	75.6	23.9	1.47	10.5	80.3	5.5	11.1	12.6	2.3	3.0
24.09.2001	1	178.4	32.1	2.51	9.8	108.0	12.6	22.9	25.6	13.7	6.6
24.09.2001	2.5	186.7	33.8	2.36	10.0	129.6	13.5	15.4	25.1	8.0	6.2
24.09.2001	20	77.7	23.8	1.30	11.3	81.0	5.5	10.1	11.7	2.0	2.9
22.10.2001	1	158.3	30.3	1.9	7.9	71.1	10.1	23.8	24.3	16.4	6.2
22.10.2001	2.5	164.2	30.7	2.0	8.0	75.3	10.3	23.7	23.6	16.2	3.9
22.10.2001	20	76.4	24.9	1.9	10.3	60.8	5.3	14.9	14.0	3.8	3.0
19.11.2001	1	120.3	25.8	2.0	7.5	65.5	7.6	17.6	18.1	9.5	3.5
19.11.2001	2.5	120.3	22.6	1.8	7.9	60.8	7.7	19.0	20.6	9.6	3.5
19.11.2001	20	86.3					5.4	15.6	14.5	4.7	2.7
17.12.2001	1	93.4	25.6	2.2	9.0	68.9	6.5	16.4	16.5	6.7	3.7
17.12.2001	2.5	98.0	24.9	2.4	9.9	64.8	6.3	15.6	15.7	5.9	4.2
17.12.2001	20							12.8	12.9	4.7	2.5

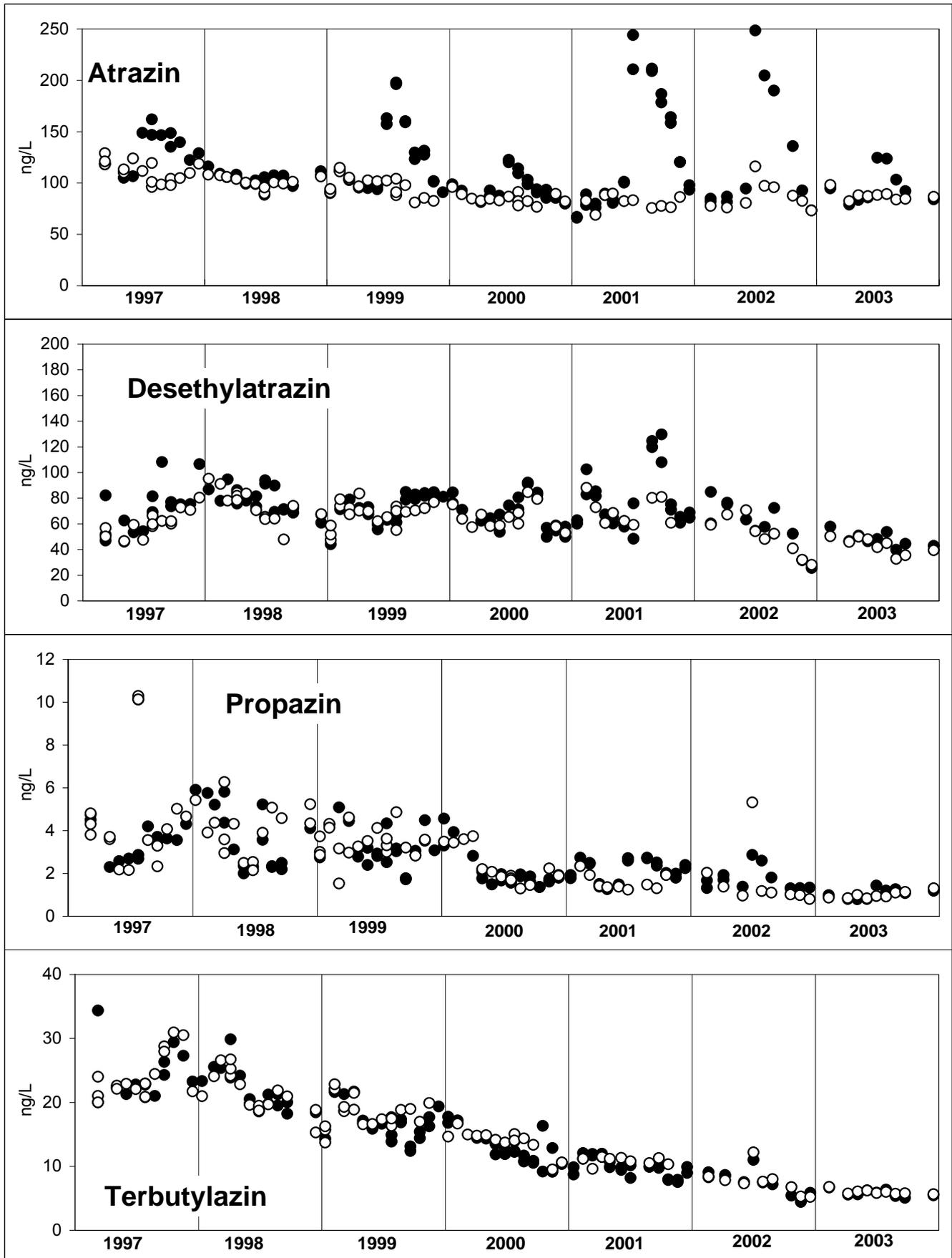
PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 2002 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
18.02.2002	1	84.6	20.3	1.3	8.3	60.4	6.2				
18.02.2002	2.5	82.0	22.1	1.7	9.1	84.9	6.1	17.2	16.2	2.1	3.1
18.02.2002	20	77.7	21.5	2.0	8.4	59.3	5.3	23.5	19.8	6.9	4.1
08.04.2002	1	86.8	23.2	1.9	8.7	76.6	5.3				
08.04.2002	2.5	81.4	24.1	1.7	8.5	75.5	5.1	23.9	34.5	9.4	5.1
08.04.2002	20	76.0	21.0	1.4	7.8	67.2	5.1	18.9	20.6	7.7	4.3
03.06.2002	2.5	94.5	22.9	1.4	7.6	63.4	12.1	18.7	26.7	7.7	4.3
03.06.2002	20	80.5	20.9	1.0	7.3	70.7	5.0	8.1	20.5	1.6	5.9
01.07.2002	2.5	248.3	30.0	2.9	11.0	54.7	34.0	26.9	23.9	28.1	3.5
01.07.2002	20	116.0	24.9	5.3	12.2	54.2	12.7	24.8	27.2	9.6	3.9
29.07.2002	2.5	204.6	24.1	2.6	7.5	57.7	21.4	19.1	18.6	25.1	2.5
29.07.2002	20	97.1	19.6	1.2	7.6	48.3	6.2	26.0	28.4	10.4	4.7
26.08.2002	2.5	190.0	25.0	1.8	7.2	72.4	17.6	26.5	34.3	31.9	3.5
26.08.2002	20	95.9	20.0	1.1	8.0	52.4	5.7	16.1	17.6	6.9	3.0
21.10.2002	2.5	136.0	18.9	1.3	5.4	52.2	13.1	26.1	45.9	20.4	4.4
21.10.2002	20	87.6	17.8	1.0	6.7	40.9	5.6	27.9	31.9	10.5	5.1
18.11.2002	2.5	92.7	14.4	1.3	4.4	31.6	8.7	16.6	28.5	11.1	3.5
18.11.2002	20	82.5	16.1	0.98	5.3	32.1	5.8	20.9	27.5	9.9	4.5
16.12.2002	2.5	73.4	11.7	1.3	5.8	25.6	5.9	24.7	33.3	11.9	4.9
16.12.2002	20	73.3	11.5	0.8	5.2	28.2	5.2	25.0	32.8	11.6	4.7

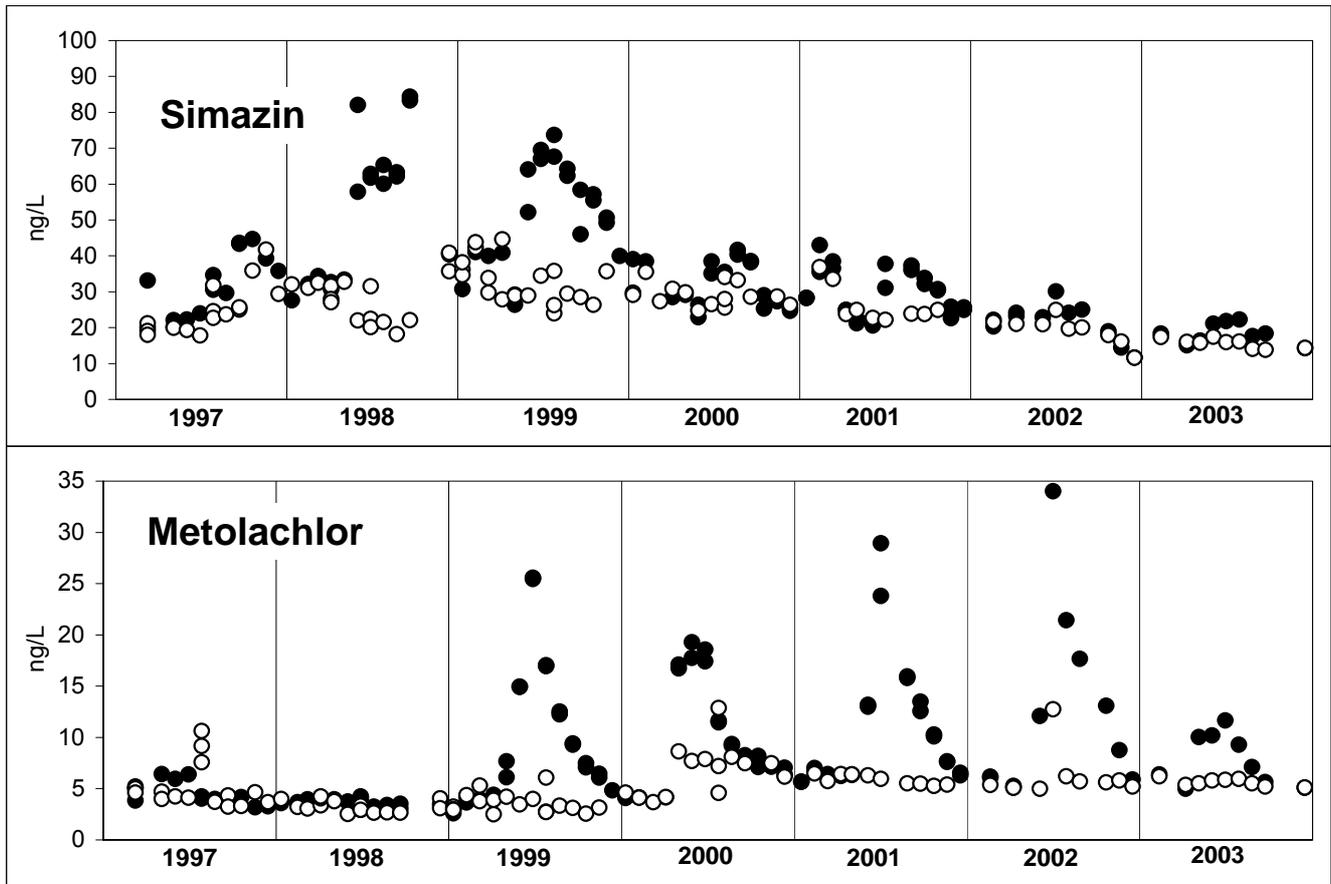
PSM-Konzentrationen im Baldeggersee, 2003 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.02.2003	2.5	94.8	18.3	1.0	6.7	57.9	6.4	20.7	28.0	10.0	3.5
10.02.2003	20	98.1	17.3	0.9	6.8	50.4	6.2	19.3	26.2	8.9	3.3
07.04.2003	2.5	79.1	15.0	0.8	5.6	46.7	5.0	20.0	24.6	8.4	3.2
07.04.2003	20	82.3	16.1	0.8	5.8	46.0	5.4	19.6	24.7	9.0	3.4
05.05.2003	2.5	83.5	16.4	0.8	5.6	50.8	10.0	25.8	35.6	10.6	5.8
05.05.2003	20	88.2	15.8	1.0	6.1	50.0	5.5	9.9	12.5	4.7	1.5
02.06.2003	2.5	85.9	21.1	0.8	6.3	46.5	10.2	11.0	10.7	3.7	2.5
02.06.2003	20	87.2	17.4	0.8	6.2	48.0	5.8	9.0	11.1	4.1	1.5
30.06.2003	2.5	124.5	21.8	1.4	5.9	48.1	11.6	11.2	9.9	8.3	2.3
30.06.2003	20	88.3	16.0	0.9	5.8	41.9	5.9	9.9	12.1	4.5	1.4
28.07.2003	2.5	123.7	22.2	1.2	6.4	53.7	9.3	20.1	12.4	9.5	2.8
28.07.2003	20	89.2	16.1	0.9	6.0	45.0	6.0	11.0	14.3	5.0	1.8
25.08.2003	2.5	103.2	17.6	1.3	5.4	39.8	7.1	15.2	8.9	7.6	2.6
25.08.2003	20	83.8	14.0	1.1	5.7	32.7	5.5	9.7	12.1	4.6	1.5
22.09.2003	2.5	92.1	18.3	1.1	5.1	44.4	5.6	14.9	11.0	6.9	2.4
22.09.2003	20	84.5	13.8	1.1	5.8	35.5	5.2	8.3	10.1	3.9	1.2
15.12.2003	2.5	84.1	14.2	1.2	5.5	42.8	5.1	9.8	10.9	4.4	1.6
15.12.2003	20	86.4	14.3	1.30	5.6	39.5	5.1	7.7	8.9	3.7	1.2

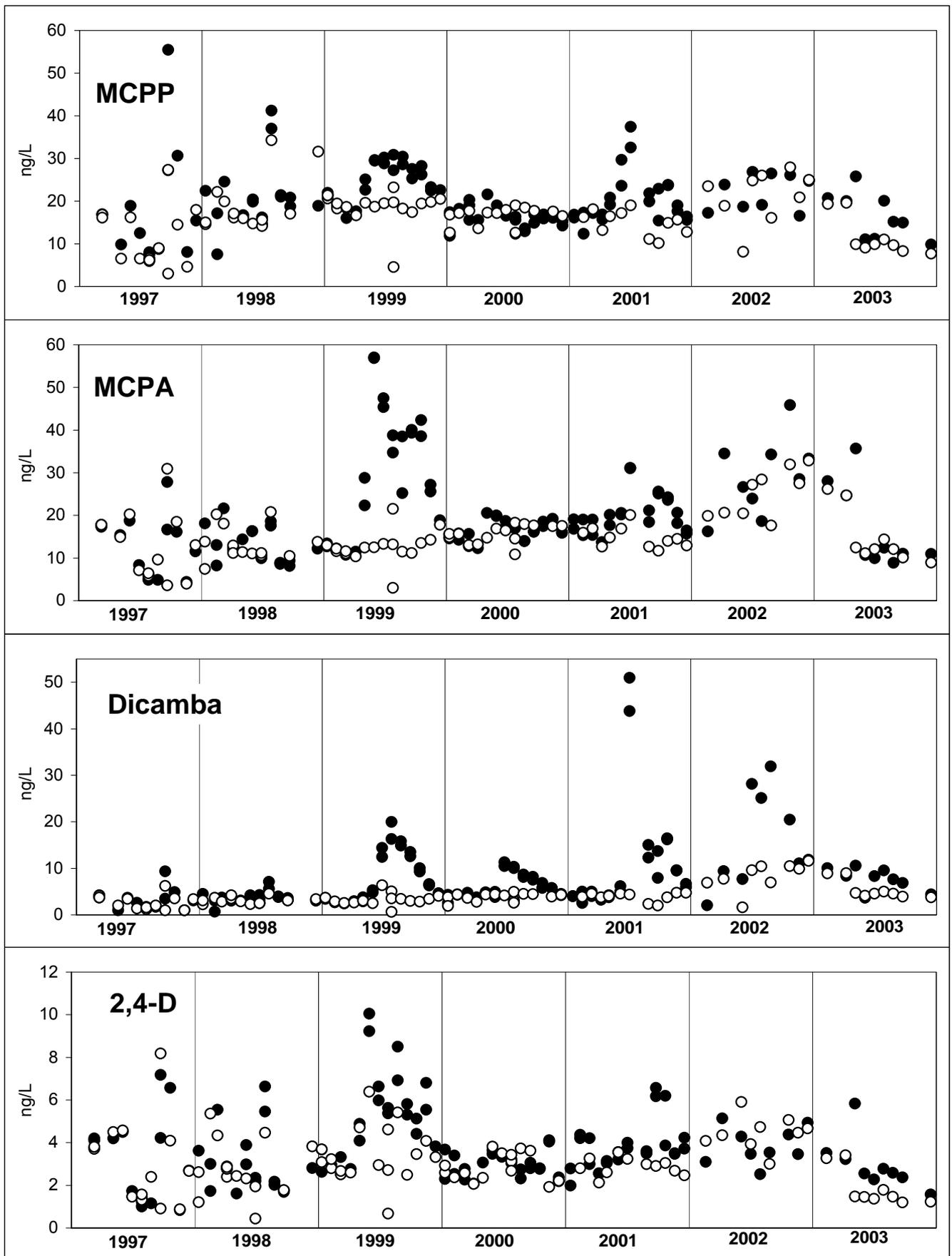
PSM-Konzentrationen (ng/L) im Baldeggersee im Zeitraum von 1997 - 2003



PSM-Konzentrationen (ng/L) im Baldeggersee im Zeitraum von 1997 - 2003



PSM-Konzentrationen (ng/L) im Baldeggersee im Zeitraum von 1997 - 2003



PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 1997 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
05.03.1997	1	10.1	4.3	3.6	9.3		(4.2)	5.1	7.3	1.8	0.5	1.4
05.03.1997	2.5	11.7	4.1	3.4	7			3	6.4	1.7	0.4	1.4
05.03.1997	20	9.6	4.1	2	7.2		(5.5)	2.4	6.7	1.8	0.4	1.2
05.03.1997	40	10.5	5.9	4.9	8		(7.2)	7	7.6	2.1	0.5	1.5
03.04.1997	1	9.5	2.5	2.5	5.5		(4.2)	3.8	6.8	1.6	0.3	1.4
03.04.1997	5	8.5	4	3.3	6.8		(4.7)	7.6	6.9	0.6	0.4	0.9
03.04.1997	10	10.7	6.3	4.6	7.6		(14.8)	6	7	1.6	0.5	1.1
03.04.1997	20	9.2	3.6	4.5	7.4		(3.4)	6.9	7.1	1.7	0.4	1
04.06.1997	1	8.1	4.0	1.5	5.9	4.2	1.9	8.0	7.7	3.0	0.7	1.6
04.06.1997	20	8.1	3.4	1.7	7.6	5.2	1.5	4.2	6.8	2.3	0.4	1.7
09.07.1997	1	10.6	3.7	0.7	5.9	5.6	1.2	4.8	3.8	1.1	0.4	0.6
09.07.1997	2.5	5.3	1.7	0.5	3.0	2.2	1.5	2.6	5.5	1.7	0.5	0.8
09.07.1997	20	8.5	3.3	1.9	7.1	5.5	1.6	3.4	6.0	1.7	0.4	1.0
06.08.1997	2.5	9.0	3.0	0.78	5.1	5.3	0.8	5.1	3.6	1.1	0.3	1.4
06.08.1997	20	6.3	3.3	1.00	6.1	5.2	0.8	3.3	3.7	0.4	0.2	1.2
03.09.1997	2.5	8.1	3.4	1.87	4.7	6.8	1.0	6.1	4.8	1.2	0.3	0.9
03.09.1997	20	6.6	3.6	1.48	6.0	5.5	0.9	3.1	3.9	1.1	0.2	0.8
08.10.1997	2.5	6.3	5.7	3.5	5.4	10.5	1.0	7.2	8.8	3.6	0.7	1.7
08.10.1997	20	6.9	5.3	2.2	7.2	10.9	0.9	4.9	7.4	2.4	0.4	1.7
05.11.1997	2.5	5.8	5.9	1.5	5.2	7.3	1.2	5.0	8.1	2.5	0.6	1.9
05.11.1997	20	6.0	3.7	1.5	6.2	6.1	1.0	2.9	5.9	1.8	0.4	1.2
03.12.1997	2.5	6.2	5.8	1.5	5.0	6.8	0.7	4.2	3.0	1.2	0.1	0.7
03.12.1997	20	6.3	4.9	2.2	6.6	8.0	0.8	3.5	2.3	0.8	0.1	0.6
03.12.1997	60	6.6	4.8	2.5	6.4	6.1	1.2	3.3				
03.12.1997	130	5.9	3.7	2.5	7.4	5.8	0.7	2.8				

PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 1998 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
07.01.1998	2.5	6.0	5.3	2.4	6.2	8.9	1.2	4.2	8.5	2.6	0.4	2.0
07.01.1998	20	6.3	5.6	2.5	6.6	6.5	0.8	6.7	7.6	2.6	0.4	1.4
04.02.1998	2.5	7.9	5.2	1.7	5.2	6.4	0.9	6.7	13.3	4.4	0.8	3.0
04.02.1998	20	7.0	3.5	1.3	5.8	5.8	0.7	5.1	8.5	2.6	0.7	1.8
04.03.1998	2.5	11.0	6.6	3.4	10.3	12.8	1.0	6.4	8.9	3.8	0.4	1.9
04.03.1998	20	12.4	7.1	3.5	8.5	13.2	1.1	5.3	9.2	2.6	0.5	2.1
08.04.1998	1	7.3	4.7	1.1	7.1	4.6	0.8	5.3	6.8	2.1	(6.3)	1.5
08.04.1998	2.5	7.9	7.3	1.8	6.6	7.1	1.1	7.1	7.3	2.3	(5.7)	1.1
08.04.1998	20	8.9	6.2	1.58	8.3	6.3	0.7	8.1	5.9	1.6	(5.6)	0.9
04.05.1998	2.5								6.8	1.7	0.5	0.9
04.05.1998	20								5.8	1.5	0.3	1.0
10.06.1998	1	7.0	3.7	0.8	4.7	3.4	0.8	10.0	5.0	1.5	0.2	0.6
10.06.1998	2.5	6.7	3.0	1.8	4.7	3.8	0.4	7.8				
10.06.1998	20	5.1	3.0	1.8	3.6	2.1	0.3	2.1	4.3	1.5	0.2	0.7
08.07.1998	1	8.4	5.5	0.8	4.6	7.9	0.9	6.8	7.3	1.5	0.4	0.8
08.07.1998	2.5	8.7	6.2	0.8	4.3	7.4	0.8		7.8	1.8	0.5	1.0
08.07.1998	20	6.9	4.5	0.9	5.9	6.3	0.6	4.5	4.2	1.1	0.2	1.2
05.08.1998	1	7.5	3.7	1.02	3.6	4.9	0.8	6.0	11.7	2.8	0.7	1.1
05.08.1998	2.5	6.4	3.2	0.47	3.8	4.3	0.6	7.0	11.2	2.5	0.6	0.9
05.08.1998	20	5.1	3.1	0.89	4.3	4.5	0.5	3.2	5.2	1.6	0.2	0.9
09.09.1998	1	7.5	4.3	2.27	4.0	3.6	0.6	7.5	21.2	3.7	0.8	1.7
09.09.1998	2.5	6.7	4.2	0.93	4.0	3.4	0.5	7.8	20.5	3.8	0.8	1.6
09.09.1998	20	6.9	4.2	2.66	5.7	4.3	0.4	4.3	12.0	2.5	0.5	1.8
07.10.1998	2.5	6.2	4.8	1.1	3.5	2.9	0.5	5.2	16.9	3.7	0.8	1.6
07.10.1998	20	6.5	4.9	1.3	4.3	3.8	0.5	5.5	12.2	2.5	0.5	1.6
04.11.1998	2.5	5.5	3.6	7.0	4.5	3.6	0.9	9.0	7.2	2.2	0.5	1.2
04.11.1998	10	5.3	4.8	1.0	3.6	3.8	1.2	3.8	7.7	2.4	0.5	1.1
04.11.1998	60	6.3	4.0	2.9	5.9	6.3	1.3	4.2	4.5	1.5	0.2	1.5
09.12.1998	10	5.3	3.2	0.6	4.2	4.8	1.0	3.8	6.5	2.1	0.4	1.0
09.12.1998	20	5.3	3.0	0.8	4.4	4.2	1.1	3.6	5.6	1.5	0.2	0.9
09.12.1998	60	5.8	4.2	2.5	5.5	6.5	1.1	4.1	6.3	1.5	0.3	1.0

PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 1999 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCP	MCPA	Dicamba	2,4-D
03.02.1999	2.5	4.6	3.7	2.1	3.9	4.2	0.9	2.7	5.6	1.5	0.2	1.0
03.02.1999	20	4.9	3.6	1.6	4.4	4.5	0.7	3.2	6.3	1.7	0.2	1.0
03.03.1999	2.5	5.0	3.7	1.9	4.0	3.4	1.1	2.9	8.0	1.4	0.6	1.2
03.03.1999	10	5.1	2.9	0.9	4.2	3.6	1.0	2.9	6.4	1.6	0.7	1.4
08.04.1999	2.5	4.0	3.1	1.4	3.3	3.6	0.7	2.7	5.2	1.4	0.6	1.1
08.04.1999	20	4.5	3.6	2.2	3.8	4.3	1.1	3.3	6.8	1.6	0.7	1.0
05.05.1999	1	5.2	3.9	3.6	4.1	5.3	(6.3)	6.5	5.6	2.1	0.6	3.3
05.05.1999	2.5	5.1	3.4	1.9	4.8	6.0	1.8	6.0	5.7	2.2	0.6	3.8
05.05.1999	20	7.3	5.9	4.2	6.2	7.0	2.0	4.1	6.7	1.6	0.4	3.1
09.06.1999	1	7.6	4.3	2.1	4.6	5.8	2.4	5.1	7.2	3.5	0.8	2.5
09.06.1999	2.5	8.4	3.1	2.0	4.2	5.4	2.4	5.8	9.0	3.8	0.7	4.7
09.06.1999	20	6.8	4.1	3.3	5.7	5.7	0.9	3.4	7.6	2.0	0.3	3.1
07.07.1999	1	13.2	4.4	1.5	4.0	5.6	2.8	5.9	7.7	4.8	1.5	1.4
07.07.1999	2.5								7.7	4.3	2.1	1.3
07.07.1999	20								5.7	1.8	0.7	1.1
04.08.1999	1	11.8	4.1	0.25	3.5	7.0	1.8	7.8	6.3	3.1	0.9	1.3
04.08.1999	2.5	13.8	4.1	0.75	4.1	7.1	2.0	9.6	7.1	3.5	1.0	1.2
04.08.1999	20	7.4	5.4	2.78	5.2	5.8	0.9	4.4	7.5	2.8	0.8	1.3
08.09.1999	1	8.8	3.0	0.27	3.1	4.9	1.2	5.0	7.6	3.8	0.9	2.7
08.09.1999	2.5	9.0	3.1	0.50	3.7	5.2	1.3	5.5	7.2	3.6	1.0	1.5
08.09.1999	20	5.9	4.2	2.70	4.9	4.9	0.6	5.9	7.1	2.7	0.4	1.4
06.10.1999	1	8.3	4.0	1.1	3.1		1.5	4.4	8.6	3.5	0.7	1.5
06.10.1999	2.5	7.7	4.6	1.5	3.0	3.6	2.2	4.6	7.2	3.3	0.4	1.5
06.10.1999	20	6.4	4.0	2.3	3.8	3.7	1.2	2.9	7.2	2.7	0.5	1.3
03.11.1999	1	6.8	4.0	2.5	2.8	5.0	1.2	3.3	5.8	3.2	0.5	1.7
03.11.1999	2.5	7.4	4.4	1.7	3.0	3.0	1.5	5.8				
03.11.1999	20	6.8	4.8	2.2	4.3	3.3	1.1	3.0	7.1	2.5	0.5	1.5
08.12.1999	1	6.3	3.5	1.7	2.8	3.9	1.4	2.7	7.0	2.8	0.6	1.4
08.12.1999	2.5	5.6	3.3	1.3	2.8	2.1	0.9	2.5	7.3	2.7	0.7	1.6
08.12.1999	20	6.0	5.3				1.2	3.5	6.9	2.7	0.6	1.4

PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 2000 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
05.01.2000	1	4.9	4.9	2.3	4.0	4.2	1.2	2.3	4.4	1.5	0.6	1.0
05.01.2000	2.5	5.3	4.6	1.9	4.0	4.4	1.0	2.5	5.4	1.9	0.7	0.9
05.01.2000	20	5.4	4.9	2.1	4.1	4.3	0.9	2.9	5.1	1.8	0.5	0.9
09.02.2000	1	5.3	6.0	2.7	4.5	4.5	1.0	2.9	5.6	1.7	0.5	1.1
09.02.2000	2.5	5.9	5.6	2.6	4.7	5.6	1.1	2.5	5.5	1.7	0.6	0.8
09.02.2000	20	5.9	6.1	2.7	4.3	3.9	1.0	2.5	5.2	1.7	0.4	1.0
08.03.2000	1	5.9	5.0	2.0	4.7	5.4	1.8	3.0	6.2	1.7	0.4	1.1
08.03.2000	2.5	5.7	4.9	2.9		4.9	1.2	3.3	5.9	1.9	0.5	1.1
08.03.2000	20	6.0	5.4	2.6	4.6	6.1	1.5	3.0	4.9	1.8	0.3	1.1
05.04.2000	1	6.0	2.3	1.5	3.6	3.1	0.9	2.9	5.3	2.9	0.4	0.9
05.04.2000	2.5	5.5	2.6	1.9	2.9	4.7	1.2	2.0	3.4	1.4	0.1	0.9
05.04.2000	20	6.0	3.4	4.0	3.7	4.2	1.1	3.1	4.7	1.8	0.4	1.0
10.05.2000	1	5.0	2.3	0.8	2.2	2.4	0.7	4.5	4.1	2.1	0.5	1.4
10.05.2000	2.5	5.4	2.4	0.5	2.1	2.6	1.0	4.8	4.8	2.3	0.3	1.0
10.05.2000	20	5.9	2.2	1.1	2.9	2.6	0.9	3.6	5.1	2.6	0.4	0.9
07.06.2000	1	9.4	2.5	1.0	2.4	3.8	2.0	1.1	10.5	2.0	1.1	1.0
07.06.2000	2.5	8.6	2.1	1.0	2.1	1.9	1.8	0.7	10.3	1.7	1.3	1.1
07.06.2000	20	6.9	2.1	1.8	2.7	2.0	1.5	0.7	5.5	1.9	1.0	1.2
05.07.2000	1	9.4	1.4	0.2	1.8	2.7	1.8	0.7	8.6	2.4	1.3	1.0
05.07.2000	2.5	11.2	2.0	0.6	2.0	4.7	1.6	2.6	6.8	2.2	1.0	0.9
05.07.2000	20	6.1	1.8	1.0	3.0	2.3	1.2	0.8	5.9	1.7	0.9	1.4
09.08.2000	0	10.9	2.5	0.65	2.4	4.9	1.8	1.1	7.1	2.9	1.1	0.9
09.08.2000	2.5	11.5	2.6	0.55	2.6	4.6	1.7	1.9	7.3	2.9	0.9	1.2
09.08.2000	20	5.9	2.2	1.14	2.6	2.8	1.0	1.5	4.8	1.7	0.5	1.0
06.09.2000	1	7.9	2.0	0.68	1.9	3.9	1.2	2.0	5.8	3.4	0.4	1.4
06.09.2000	2.5	7.5	2.1	0.33	1.9	3.2	1.3	2.6	8.4	3.2	0.9	1.0
06.09.2000	20	5.7	1.7	0.26	2.5	3.2	1.4	0.4	5.5	1.7	0.5	1.1
04.10.2000	1	6.9	1.6	0.6	1.4	2.7	0.8	4.2	7.4	4.3	0.8	1.2
04.10.2000	2.5	6.7	1.7	0.6	1.5	2.3	0.8	3.2	8.2	4.8	1.0	1.5
04.10.2000	20	5.5	2.0	1.6	2.3	2.5	0.7	3.4	4.4	1.7	0.5	1.1
08.11.2000	1	8.1	2.2	0.9	2.1	4.9	0.8	3.1	8.2	3.8	0.8	1.0
08.11.2000	2.5	8.0	4.1	0.9	3.3	4.8	1.3	3.5	7.8	3.7	0.8	1.0
08.11.2000	20	6.8	2.6	2.2	2.9	6.3	1.3	2.8	5.4	2.0	0.5	0.6
06.12.2000	1	6.6	1.7	1.2	2.0	3.7	1.0	2.1	3.4	3.4	0.6	2.3
06.12.2000	2.5	6.5	1.7	0.5	2.3	3.9	0.8	3.0	6.6	3.6	0.4	3.2
06.12.2000	20	6.1	2.5	0.4	3.0	5.0	1.1	2.4	6.0	2.3	0.6	1.3

PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 2001 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.01.2001	1	5.9	3.6	1.7	2.9	6.9	0.8	3.2	5.5	2.6	0.6	1.7
10.01.2001	2.5	4.3	3.0	1.8	2.0	4.1	0.8	3.1	5.4	3.1	0.7	3.0
10.01.2001	20	4.8	3.5	2.2	2.2	4.8	1.0	3.8	5.5	2.9	0.8	2.4
07.02.2001	1	6.3	3.5	2.4	4.1	7.3	0.9	2.7	3.8	2.5	0.2	1.5
07.02.2001	2.5	5.9	3.3	1.9	3.2	8.1	0.9	3.1	6.5	2.6	0.9	1.8
07.02.2001	20	5.9	4.1	1.6	3.2	7.2	0.9	6.7	5.9	2.4	0.8	1.2
05.03.2001	1	5.9	2.2	0.1	3.1	6.0	0.7	2.7	2.6	2.6	0.2	1.9
05.03.2001	2.5	6.0	2.2	0.3	3.2	6.1	0.8	2.8	3.7	2.5	0.2	1.5
05.03.2001	20	6.0	2.1	0.1	3.0	5.9	0.7	2.3	4.9	2.3	0.5	1.5
04.04.2001	1	4.9	1.7	0.1	2.6	4.2	0.7	1.7	4.4	1.6	0.4	1.3
04.04.2001	2.5	5.2	1.8	0.1	2.9	4.0	0.7	1.9	5.0	1.5	0.4	0.4
04.04.2001	20	6.0	2.1	0.18	3.2	5.3	0.8	2.5	5.3	1.7	0.3	0.9
02.05.2001	1	4.5	1.9	0.2	3.1	5.7	0.7	2.3	5.4	3.4	0.4	0.9
02.05.2001	2.5	5.2	2.9	0.3	3.0	10.3	1.2	2.6	6.1	3.1	0.5	0.9
02.05.2001	20	5.7	2.2	0.2	2.9	6.6	0.8	2.2	5.7	2.5	0.4	1.0
06.06.2001	1	7.5	1.8	0.2	2.4	3.8	1.5	4.3	6.7	3.4	0.9	0.9
06.06.2001	2.5	7.6	1.9	0.2	2.6	3.9	1.6	4.4	6.2	3.1	0.7	1.5
06.06.2001	20	4.9	1.8	0.3	2.9	4.1	0.8	1.8	5.9	3.2	0.6	0.9
04.07.2001	1	17.8	2.8	0.2	3.1	8.6	1.8	5.5	11.4	4.3	2.4	1.7
04.07.2001	2.5	17.6	2.7	0.3	2.7	8.2	1.8	5.3	10.5	3.9	1.9	2.1
04.07.2001	20	5.6	2.0	0.1	3.2	5.3	0.7	2.2	5.5	3.3	0.5	0.9
08.08.2001	1	12.0	2.0	0.30	1.9	4.8	1.2	7.2	12.8	4.4	0.9	1.8
08.08.2001	2.5	12.0	2.1	0.35	1.9	4.8	1.4	7.3	13.6	4.4	1.2	2.4
08.08.2001	20	5.0	1.6	0.83	2.3	3.3	0.7	3.2	6.9	4.0	0.8	1.7
05.09.2001	1	11.5	2.0	1.10	2.3	4.6	0.9	8.3	7.2	2.4	0.4	1.7
05.09.2001	2.5	11.1	2.0	0.43	2.1	4.7	1.1	7.6	9.5	3.1	0.9	1.2
05.09.2001	20	5.1	1.6	0.09	3.0	4.3	0.8	3.1	3.0	2.0	0.1	1.1
03.10.2001	1	7.9	2.1	0.9	2.1	4.1	1.0	2.9	4.8	3.9	0.4	1.5
03.10.2001	2.5	7.8	1.6	0.9	2.0	6.1	0.8	3.2	3.9	3.9	0.1	1.8
03.10.2001	20	4.8	1.9	0.7	2.2	4.6	0.7	2.4	0.9	2.6	0.8	1.0
07.11.2001	1	7.4	2.9	1.0	2.0	5.2	0.7	3.6	7.2	3.2	0.6	1.2
07.11.2001	2.5	7.3	2.1	1.0	2.7	5.7	1.1	2.9	6.7	3.4	0.3	1.1
07.11.2001	20	5.7	2.0	1.8	2.4	5.4	0.7	2.6	6.2	2.6	0.3	1.0
05.12.2001	1	5.7	4.0	1.4	2.3	5.4	0.7	2.8	5.7	2.7	0.4	1.1
05.12.2001	2.5	6.1	2.8	1.3	1.9	3.6	0.8	2.9	6.1	3.0	0.5	1.0
05.12.2001	20	6.1	2.3	1.5	2.0	3.5	0.8	3.0	5.5	2.5	0.4	0.9

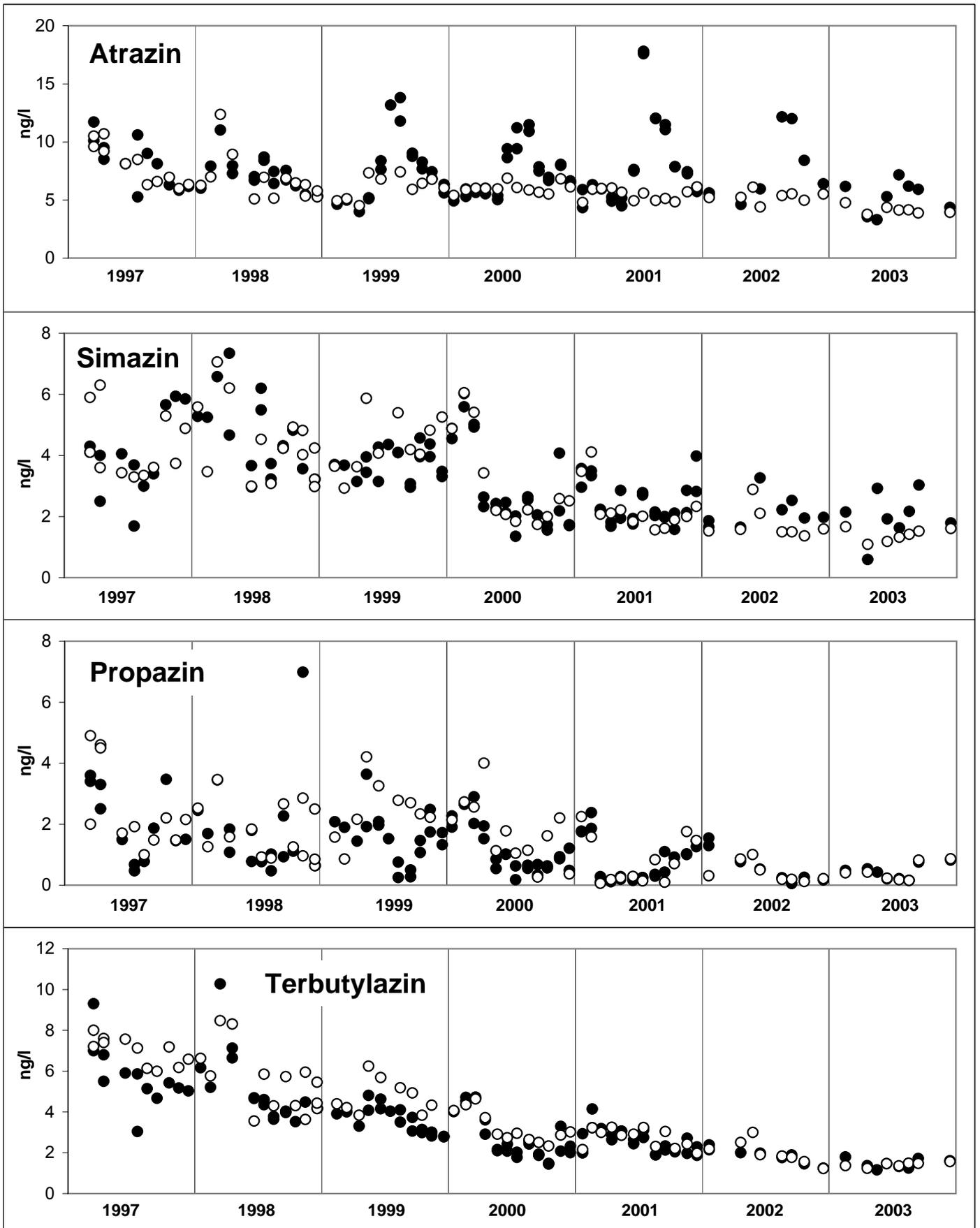
PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 2002 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
09.01.2002	1	5.5	1.9	1.3	2.1	6.5	0.5	2.5				
09.01.2002	2.5	5.6	1.6	1.5	2.4	4.6	1.0	2.4				
09.01.2002	20	5.2	1.5	0.3	2.2	3.8	0.7	2.5				
10.04.2002	2.5	4.6	1.7	0.8	2.0	6.6	0.7	3.1	5.6	2.2	0.4	1.2
10.04.2002	20	5.2	1.6	0.9	2.5	5.1	0.8	3.0	5.6	1.9	0.9	0.9
15.05.2002	2.5								8.8	4.8	1.0	1.7
15.05.2002	20	6.1	2.9	1.0	3.0	12.8	1.1	4.1	3.4	3.1	0.4	2.7
05.06.2002	2.5	5.9	3.3	0.5	2.0	6.7	1.4	4.8	4.1	2.4	2.3	1.7
05.06.2002	20	4.4	2.1	0.5	1.9	11.7	0.8	1.4	8.9	3.4	0.6	1.4
07.08.2002	1	10.2	2.2	0.2	1.3	2.6	1.1	2.9				
07.08.2002	2.5	12.1	2.2	0.2	1.8	4.5	1.3	5.1	27.0	9.4	2.6	2.9
07.08.2002	20	5.4	1.5	0.2	1.8	3.3	0.6	3.0	11.9	4.2	1.1	1.9
07.08.2002	60	4.9	1.6	0.2	1.3	2.8	0.5	1.4	6.7	2.7	0.8	1.3
07.08.2002	130	5.9	1.9	0.2	1.9	1.9	0.6	2.2	7.0	2.6	1.9	1.1
04.09.2002	2.5	12.0	2.5	0.0	1.9	5.6	1.5	5.8	16.1	7.2	2.6	2.8
04.09.2002	20	5.5	1.5	0.2	1.8	5.2	0.6	3.9	7.6	2.9	1.4	1.4
10.10.2002	2.5	8.4	1.9	0.3	1.5	3.5	1.3	2.8	14.3	6.7	1.2	2.6
10.10.2002	20	5.0	1.4	0.1	1.6	2.6	0.6	2.0	8.8	3.7	1.0	1.8
04.12.2002	2.5	6.4	2.0	0.2	1.2	3.5	0.8	2.0	9.6	4.2	0.7	1.6
04.12.2002	20	5.5	1.6	0.2	1.2	2.2	0.5	1.7	8.1	3.5	0.6	1.5

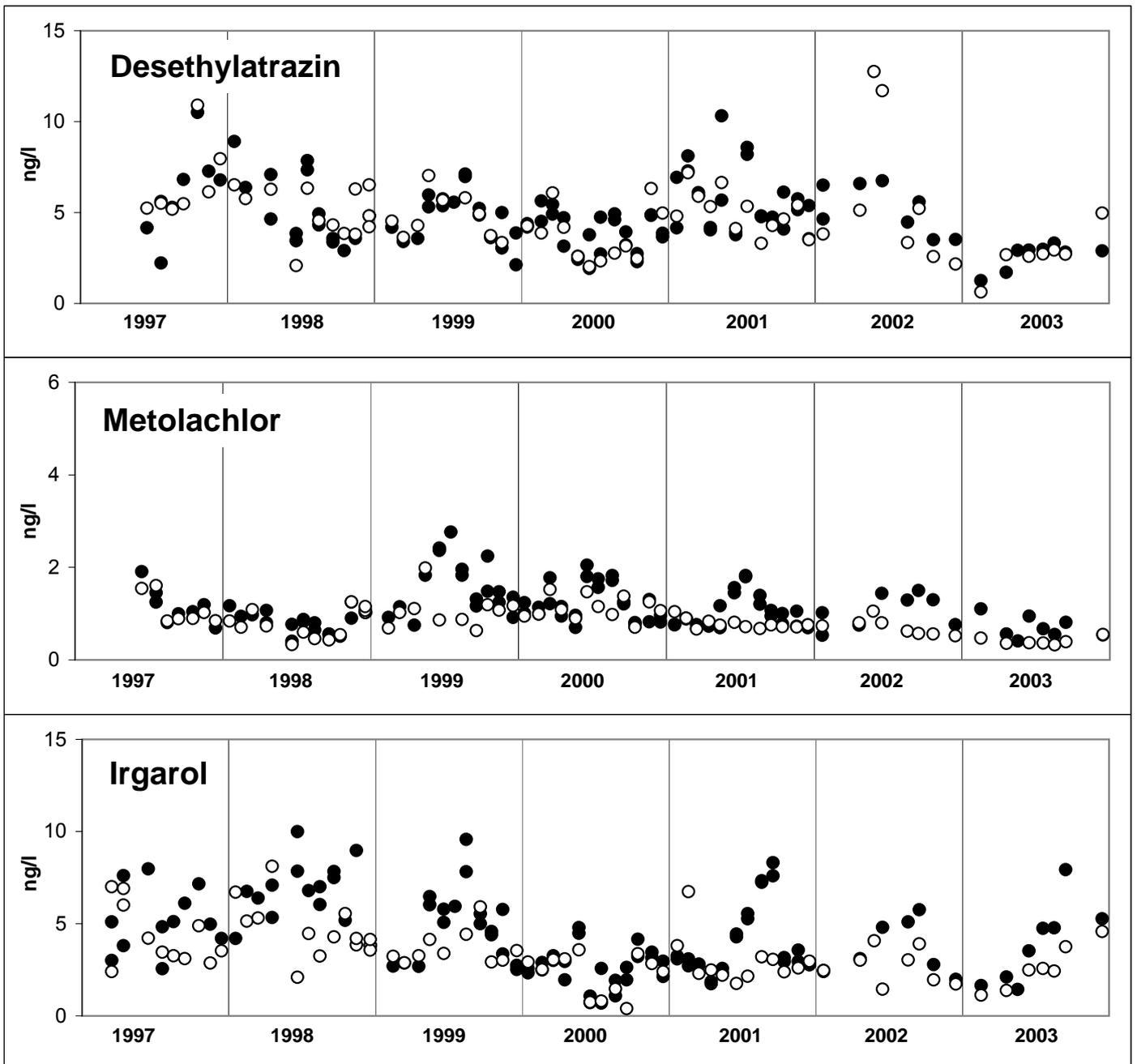
PSM-Konzentrationen im Zürichsee, 2003 (ng/L):

Datum	Tiefe (m)	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
05.02.2003	2.5	6.2	2.1	0.5	1.8	1.3	1.1	1.6	7.5	3.7	1.0	1.0
05.02.2003	20	4.8	1.7	0.4	1.4	0.6	0.5	1.1	7.6	3.8	0.8	1.1
09.04.2003	2.5	3.5	0.6	0.5	1.4	1.7	0.6	2.1	7.6	3.9	0.5	0.9
09.04.2003	20	3.8	1.1	0.4	1.2	2.7	0.4	1.4	7.3	3.6	0.5	1.3
07.05.2003	2.5	3.3	2.9	0.4	1.2	2.9	0.4	1.4	8.7	4.0	0.6	1.1
07.05.2003	20	4.1	1.1	0.7	1.2	1.4	0.5	1.4	14.2	12.1	4.2	2.3
04.06.2003	2.5	5.3	1.9	0.2	1.5	2.9	0.9	3.5	5.2	2.0	0.3	0.6
04.06.2003	20	4.4	1.2	0.2	1.5	2.6	0.4	2.5	4.1	4.7	0.2	0.4
09.07.2003	2.5	7.2	1.6	0.2	1.3	3.0	0.7	4.7	11.7	2.0	0.4	0.7
09.07.2003	20	4.1	1.3	0.2	1.4	2.7	0.4	2.6	4.7	1.8	0.3	0.6
06.08.2003	2.5	6.2	2.2	0.2	1.2	3.3	0.6	4.8	12.4	1.6	0.4	0.6
06.08.2003	20	4.1	1.4	0.2	1.5	2.9	0.3	2.4	5.2	1.9	0.3	0.7
03.09.2003	2.5	5.9	3.0	0.7	1.7	2.8	0.8	7.9	19.7	2.1	0.3	0.9
03.09.2003	20	3.9	1.5	0.8	1.5	2.7	0.4	3.7	4.0	1.3	0.2	0.5
03.12.2003	2.5	4.4	1.8	0.8	1.6	2.9	0.5	5.3	8.6	2.8	0.4	0.8
03.12.2003	20	3.9	1.6	0.9	1.6	5.0	0.5	4.6	4.6	1.7	0.2	0.7

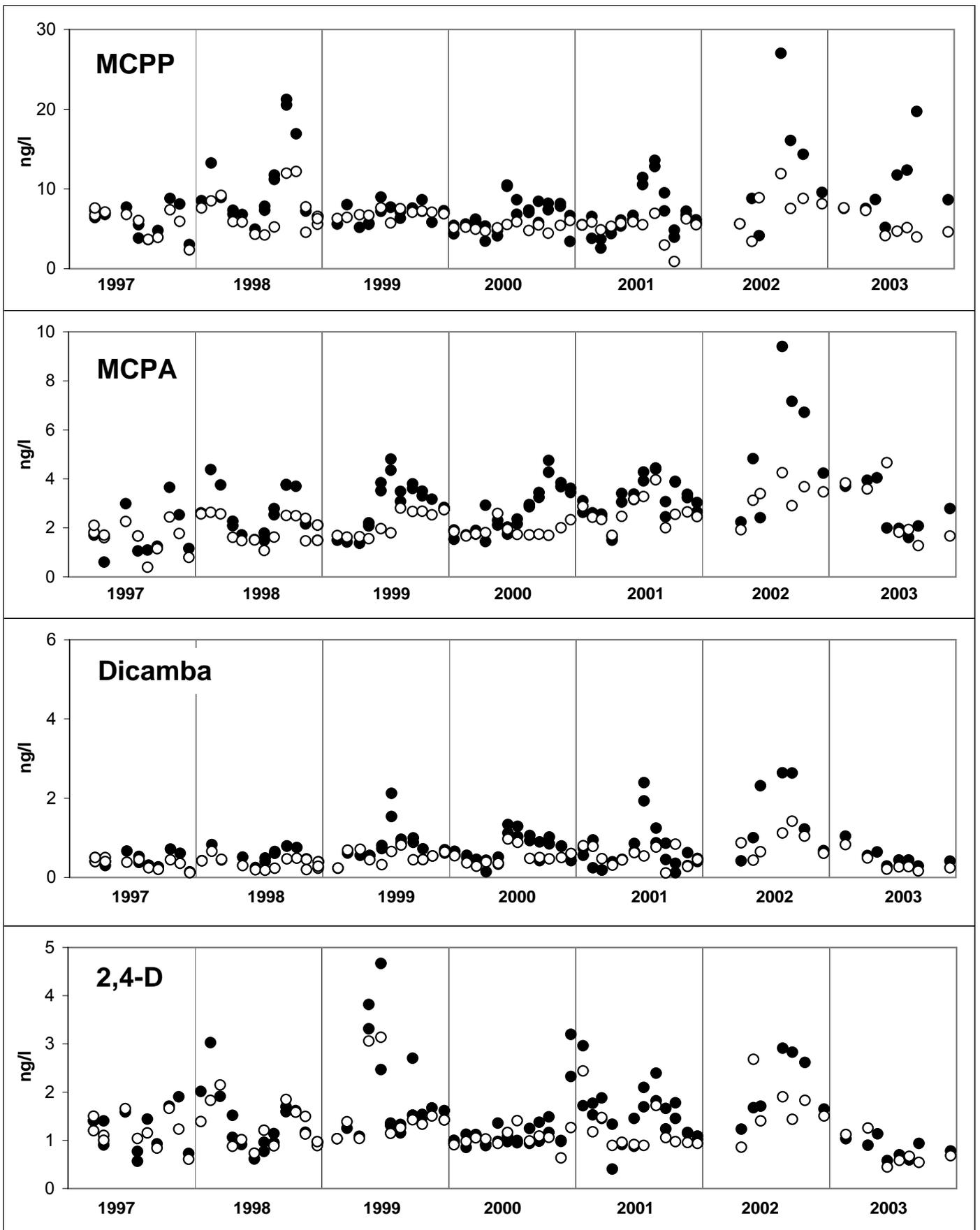
PSM-Konzentrationen im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



PSM-Konzentrationen im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



PSM-Konzentrationen im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



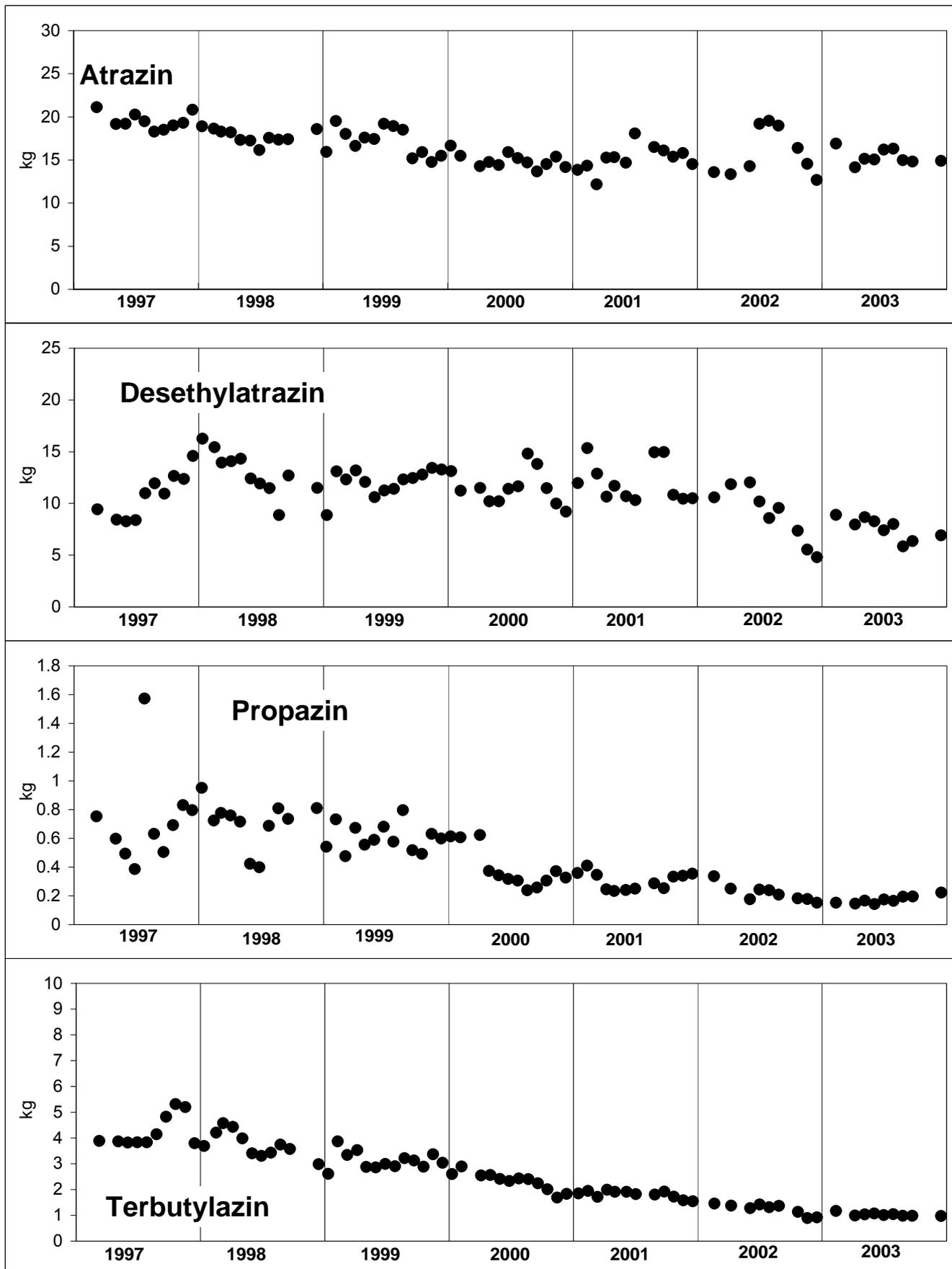
PSM-Seeinhalt (kg) im Baldeggensee im Zeitraum von 1997 - 2003

Datum	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.03.1997	21.12	3.54	0.75	3.89	9.44	0.84	2.86	3.07	0.68	0.66
05.05.1997	19.16	3.51	0.60	3.87	8.42	0.80	1.21	2.59	0.32	0.77
02.06.1997	19.19	3.35	0.49	3.82	8.28	0.77	1.44	2.10	0.34	0.55
30.06.1997	20.26	3.23	0.39	3.83	8.39	0.77	1.28	1.26	0.27	0.26
28.07.1997	19.48	4.71	1.57	3.83	10.98	1.45	1.12	1.02	0.24	0.24
25.08.1997	18.27	4.25	0.63	4.14	11.93	0.65	1.54	1.54	0.34	0.38
22.09.1997	18.50	4.84	0.51	4.83	10.94	0.66	3.29	3.11	0.70	0.82
20.10.1997	19.01	6.42	0.69	5.31	12.65	0.59	2.91	3.14	0.65	0.77
18.11.1997	19.30	7.15	0.83	5.20	12.37	0.77	0.88	0.69	0.17	0.15
15.12.1997	20.82	5.24	0.80	3.79	14.58	0.63	3.04	2.22	0.58	0.46
12.01.1998	18.90	5.43	0.95	3.69	16.26	0.68	2.75	2.03	0.51	0.37
16.02.1998	18.64	5.40	0.72	4.20	15.43	0.56	3.58	3.26	0.59	0.85
09.03.1998	18.30	5.66	0.78	4.57	13.94	0.55	3.57	3.22	0.51	0.78
06.04.1998	18.20	5.06	0.76	4.43	14.09	0.66	2.86	2.11	0.62	0.47
04.05.1998	17.32	5.68	0.72	3.98	14.33	0.66	2.78	2.04	0.50	0.40
02.06.1998	17.24	5.03	0.42	3.41	12.41	0.47	2.69	2.05	0.44	0.43
29.06.1998	16.15	5.22	0.40	3.30	11.92	0.56	2.58	1.87	0.46	0.23
27.07.1998	17.56	4.76	0.69	3.43	11.48	0.47	6.05	3.52	0.84	0.81
24.08.1998	17.34	4.27	0.81	3.74	8.86	0.48	4.33	2.53	0.66	0.51
21.09.1998	17.40	5.39	0.74	3.57	12.71	0.47	3.02	1.77	0.54	0.31
14.12.1998	18.59	6.67	0.81	2.98	11.50	0.61	5.15	2.34	0.58	0.64
11.01.1999	15.93	6.14	0.54	2.61	8.88	0.52	3.67	2.23	0.62	0.58
08.02.1999	19.52	7.39	0.73	3.86	13.10	0.72	3.26	2.06	0.48	0.52
08.03.1999	18.03	5.70	0.48	3.34	12.32	0.77	3.14	1.94	0.43	0.47
06.04.1999	16.62	6.38	0.67	3.53	13.19	0.58	2.91	1.82	0.47	0.45
03.05.1999	17.59	4.97	0.56	2.88	12.08	0.80	3.50	2.48	0.54	0.81
31.05.1999	17.43	5.75	0.59	2.86	10.62	0.89	3.51	3.29	0.49	1.19
28.06.1999	19.18	6.82	0.68	2.99	11.25	1.24	3.63	3.14	1.28	0.59
26.07.1999	18.94	6.03	0.58	2.90	11.40	1.00	3.07	2.79	0.91	0.53
23.08.1999	18.49	5.96	0.80	3.21	12.31	0.81	3.44	2.51	0.89	1.00
20.09.1999	15.18	5.52	0.52	3.12	12.45	0.70	3.24	2.65	0.77	0.51
18.10.1999	15.91	5.31	0.49	2.88	12.78	0.56	3.56	3.02	0.67	0.63
15.11.1999	14.77	6.54	0.63	3.37	13.44	0.62	3.50	2.77	0.67	0.76
13.12.1999	15.49	5.80	0.60	3.04	13.28	0.69	3.60	3.10	0.72	0.59
10.01.2000	16.66	5.17	0.61	2.60	13.13	0.78	2.54	2.64	0.51	0.48
07.02.2000	15.49	6.22	0.61	2.90	11.24	0.71	3.00	2.69	0.76	0.43
04.04.2000	14.28	5.27	0.62	2.55	11.51	0.72	2.41	2.26	0.50	0.36
01.05.2000	14.76	5.15	0.37	2.56	10.21	1.70	3.10	2.70	0.76	0.43
29.05.2000	14.42	4.28	0.34	2.41	10.20	1.60	3.00	3.00	0.76	0.65
26.06.2000	15.90	4.84	0.32	2.33	11.41	1.62	3.07	2.88	0.89	0.60
24.07.2000	15.22	5.20	0.31	2.43	11.64	1.51	2.57	2.58	0.78	0.53
21.08.2000	14.71	5.94	0.24	2.41	14.82	1.43	3.06	3.01	0.88	0.61
18.09.2000	13.66	5.19	0.26	2.24	13.82	1.30	3.02	3.01	0.86	0.61
16.10.2000	14.53	4.91	0.31	2.01	11.47	1.30	3.02	3.05	0.78	0.48
13.11.2000	15.37	4.93	0.37	1.68	9.98	1.29	3.00	3.06	0.73	0.39
11.12.2000	14.18	4.52	0.33	1.83	9.20	1.08	2.81	2.99	0.74	0.38

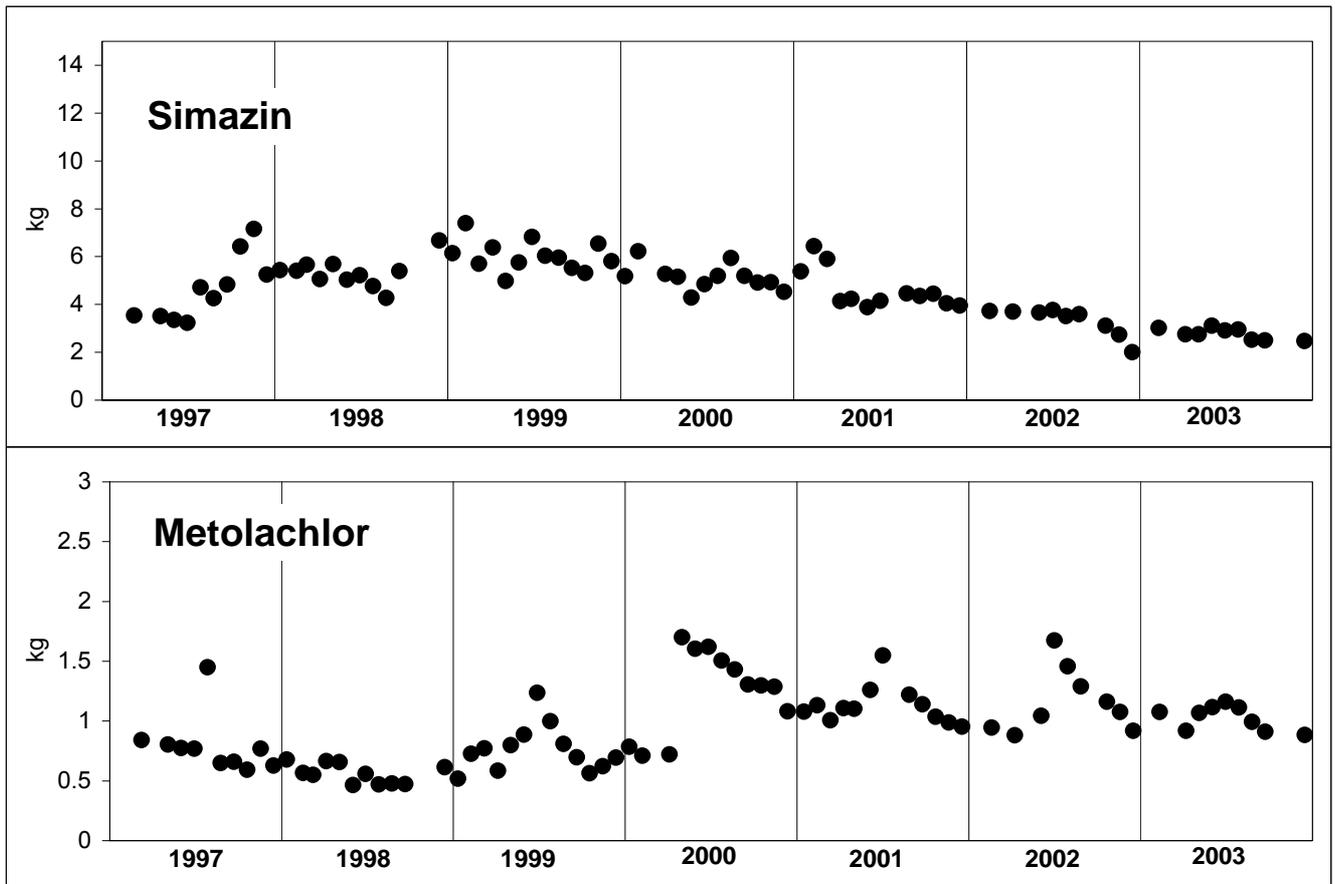
PSM-Seeinhalt (kg) im Baldeggensee im Zeitraum von 1997 - 2003

Datum	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
15.01.2001	13.86	5.38	0.36	1.84	11.97	1.08	2.83	2.92	0.70	0.43
12.02.2001	14.33	6.43	0.41	1.94	15.35	1.13	2.77	2.79	0.66	0.52
12.03.2001	12.17	5.90	0.35	1.72	12.89	1.01	3.11	2.93	0.78	0.57
09.04.2001	15.27	4.13	0.25	1.99	10.66	1.11	2.36	2.21	0.65	0.38
02.05.2001	15.32	4.23	0.23	1.91	11.70	1.10	2.93	2.66	0.70	0.46
05.06.2001	14.69	3.88	0.24	1.91	10.70	1.26	3.22	3.01	0.81	0.61
02.07.2001	18.06	4.15	0.25	1.83	10.33	1.55	3.69	3.75	1.85	0.58
27.08.2001	16.49	4.45	0.29	1.80	14.95	1.22	2.17	2.37	0.69	0.53
24.09.2001	16.10	4.35	0.25	1.92	14.97	1.14	1.98	2.37	0.57	0.59
22.10.2001	15.37	4.45	0.33	1.72	10.83	1.04	2.80	2.67	0.97	0.58
19.11.2001	15.79	4.04	0.34	1.58	10.46	0.99	2.77	2.63	0.94	0.48
17.12.2001	14.53	3.95	0.35	1.55	10.50	0.95	2.29	2.31	0.86	0.46
18.02.2002	13.58	3.72	0.34	1.46	10.59	0.94	3.90	3.34	1.07	0.68
08.04.2002	13.35	3.70	0.25	1.37	11.85	0.88	3.40	3.91	1.38	0.77
03.06.2002	14.28	3.66	0.18	1.27	12.04	1.04	1.67	3.70	0.44	0.98
01.07.2002	19.20	3.77	0.24	1.42	10.19	1.67	3.23	3.82	1.70	0.75
29.07.2002	19.53	3.51	0.24	1.31	8.59	1.46	4.32	4.66	2.18	0.76
26.08.2002	18.98	3.58	0.21	1.37	9.57	1.29	3.05	3.47	1.83	0.53
21.10.2002	16.38	3.12	0.18	1.13	7.36	1.16	4.78	5.88	2.07	0.86
18.11.2002	14.53	2.74	0.18	0.89	5.54	1.07	3.50	4.78	1.74	0.75
16.12.2002	12.68	2.00	0.15	0.92	4.81	0.92	4.31	5.69	2.01	0.81
10.02.2003	16.88	3.02	0.15	1.17	8.91	1.08	3.38	4.58	1.57	0.57
07.04.2003	14.16	2.75	0.14	0.99	7.97	0.92	3.40	4.27	1.53	0.58
05.05.2003	15.13	2.75	0.17	1.04	8.67	1.07	2.11	2.74	0.96	0.37
02.06.2003	15.06	3.11	0.14	1.08	8.27	1.12	1.62	1.91	0.70	0.28
30.06.2003	16.20	2.91	0.17	1.01	7.40	1.16	1.74	2.04	0.88	0.26
28.07.2003	16.31	2.95	0.17	1.05	8.00	1.11	2.13	2.43	0.98	0.33
25.08.2003	14.99	2.52	0.19	0.98	5.84	0.99	1.81	2.01	0.87	0.28
22.09.2003	14.82	2.50	0.19	0.98	6.37	0.91	1.60	1.77	0.75	0.24
15.12.2003	14.89	2.47	0.22	0.97	6.91	0.88	1.39	1.60	0.66	0.22

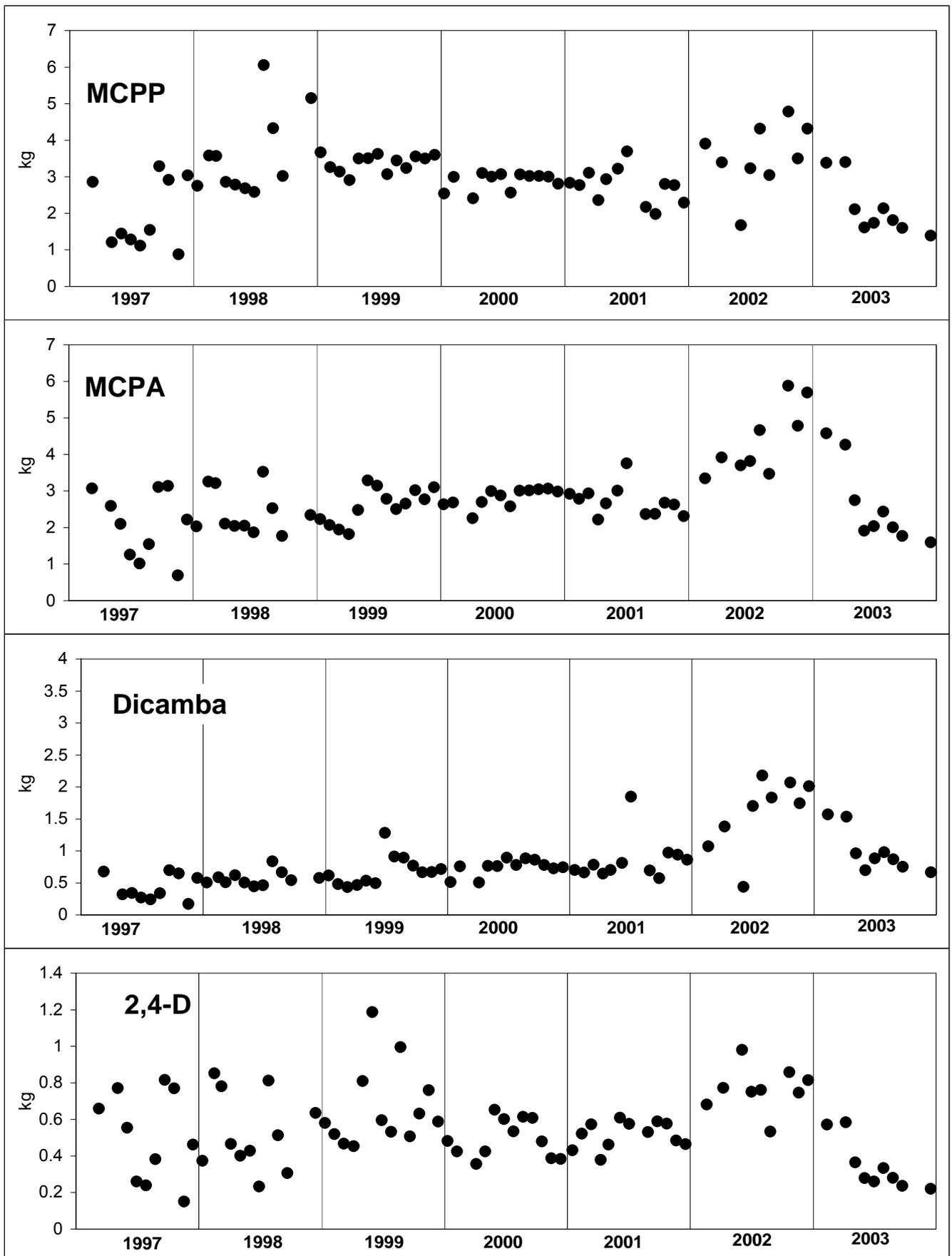
PSM-Seeinhalt (kg) im Baldeggersee im Zeitraum von 1997 - 2003



PSM-Seeinhalt (kg) im Baldeggensee im Zeitraum von 1997 - 2003



PSM-Seeinhalt (kg) im Baldeggersee im Zeitraum von 1997 - 2003



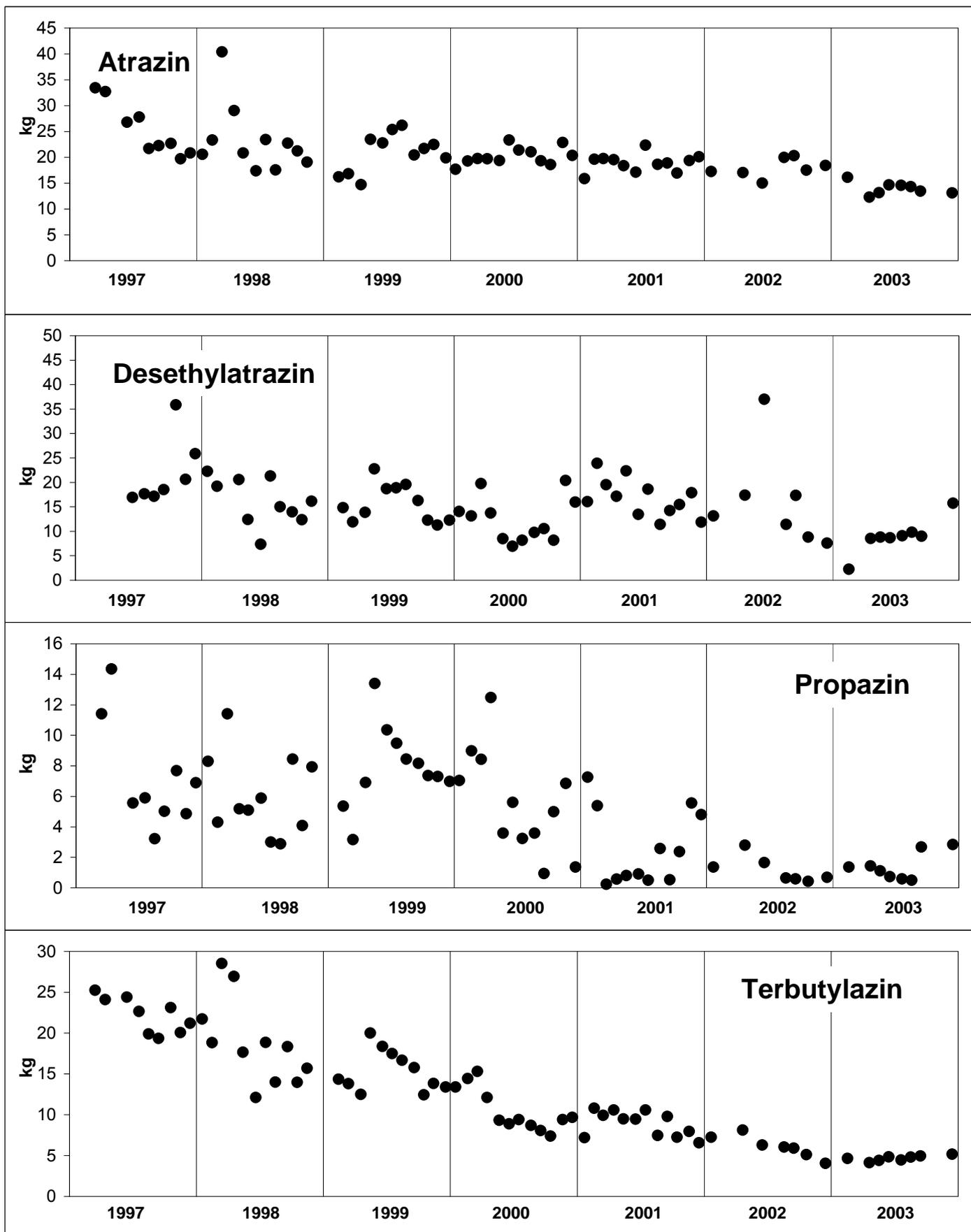
PSM-Seeinhalt (kg) im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003

Datum	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
05.03.1997	33.4	16.2	11.4	25.3	-	-	15.3	23.5	6.4	1.5	4.5
03.04.1997	32.7	15.5	14.4	24.1	-	-	20.4	23.2	5.4	1.4	3.6
04.06.1997	26.8	11.5	5.6	24.4	16.9	5.2	15.1	22.7	7.7	1.4	5.4
09.07.1997	27.8	10.7	5.9	22.6	17.7	5.2	11.5	19.5	5.4	1.5	3.3
06.08.1997	21.7	10.9	3.2	19.9	17.1	2.8	11.3	12.0	1.5	0.8	3.9
03.09.1997	22.2	11.8	5.0	19.3	18.5	3.0	11.2	13.2	3.8	0.7	2.8
08.10.1997	22.7	17.6	7.7	23.1	35.8	3.0	16.9	24.9	8.4	1.6	5.5
05.11.1997	19.7	13.0	4.9	20.0	20.6	3.4	10.1	20.3	6.1	1.3	4.3
03.12.1997	20.8	16.4	6.9	21.2	25.9	2.7	11.8	8.0	2.7	0.4	2.0
07.01.1998	20.6	18.3	8.3	21.7	22.3	2.9	21.3	25.4	8.5	1.4	4.8
04.02.1998	23.3	12.0	4.3	18.8	19.2	2.4	17.5	29.6	9.2	2.2	6.4
04.03.1998	40.4	23.1	11.4	28.5	43.4	3.5	17.9	30.3	8.9	1.5	7.0
08.04.1998	29.0	20.4	5.2	26.9	20.6	2.5	26.1	19.8	5.5	0.2	3.0
04.05.1998	20.9	13.7	5.1	17.7	12.4	1.6	15.2	19.6	5.0	1.1	3.3
10.06.1998	17.4	10.0	5.9	12.1	7.4	1.2	9.1	14.5	5.0	0.6	2.4
08.07.1998	23.4	15.4	3.0	18.9	21.3	2.1	15.5	15.0	3.7	0.7	3.9
05.08.1998	17.6	10.3	2.9	14.0	15.0	1.6	11.7	19.2	5.7	0.9	3.0
09.09.1998	22.8	14.0	8.4	18.3	14.0	1.5	15.2	42.4	8.7	1.6	6.0
07.10.1998	21.2	16.2	4.1	14.0	12.4	1.8	18.2	41.7	8.6	1.7	5.2
04.11.1998	19.1	14.3	7.9	15.7	16.2	4.0	14.9	20.6	6.4	1.1	4.3
03.02.1999	16.2	12.0	5.4	14.3	14.8	2.4	10.5	20.5	5.5	0.8	3.4
03.03.1999	16.8	9.9	3.2	13.8	11.9	3.4	9.5	21.7	5.3	2.2	4.5
08.04.1999	14.7	11.8	6.9	12.5	13.9	3.5	10.6	21.8	5.3	2.3	3.4
05.05.1999	23.5	18.7	13.4	20.0	22.8	6.5	14.3	21.7	5.3	1.5	10.2
09.06.1999	22.8	13.3	10.4	18.4	18.7	3.3	11.8	25.3	7.0	1.2	10.5
07.07.1999	25.4	15.5	9.5	17.5	18.9	3.5	13.5	19.5	6.8	2.5	3.8
04.08.1999	26.2	17.4	8.4	16.7	19.6	3.2	16.0	24.6	9.4	2.7	4.1
08.09.1999	20.5	13.4	8.2	15.8	16.3	2.3	19.3	23.5	9.1	1.6	4.9
06.10.1999	21.7	13.4	7.4	12.4	12.3	4.1	10.1	24.1	9.1	1.5	4.5
03.11.1999	22.5	15.7	7.3	13.8	11.2	3.6	10.5	23.0	8.5	1.8	5.0
08.12.1999	19.9	16.7	7.0	13.4	12.3	3.4	9.7	22.8	9.1	2.1	4.7
05.01.2000	17.7	16.0	7.0	13.4	14.1	3.2	9.5	16.8	6.1	1.8	3.0
09.02.2000	19.3	19.9	9.0	14.4	13.2	3.3	8.3	17.3	5.5	1.3	3.2
08.03.2000	19.8	17.7	8.4	15.3	19.8	5.0	10.1	16.7	5.8	1.0	3.5
05.04.2000	19.7	11.0	12.5	12.1	13.7	3.6	10.0	15.5	6.1	1.2	3.3
10.05.2000	19.4	7.3	3.6	9.3	8.5	2.9	12.1	16.7	8.4	1.2	3.2
07.06.2000	23.4	6.9	5.6	8.9	6.9	5.0	2.5	19.9	6.4	3.3	3.8
05.07.2000	21.4	6.0	3.2	9.4	8.2	4.0	2.9	19.9	5.9	3.0	4.5
09.08.2000	21.0	7.5	3.6	8.7	9.8	3.5	4.8	16.6	6.0	1.8	3.3
06.09.2000	19.3	5.8	0.9	8.1	10.6	4.5	1.9	18.6	6.2	1.7	3.6
04.10.2000	18.6	6.5	5.0	7.4	8.2	2.3	11.2	15.7	6.5	1.7	3.6
08.11.2000	22.9	8.7	6.8	9.4	20.4	4.1	9.5	18.7	7.2	1.8	2.2
06.12.2000	20.4	8.0	1.4	9.7	16.0	3.4	8.0	19.6	8.1	2.0	4.6

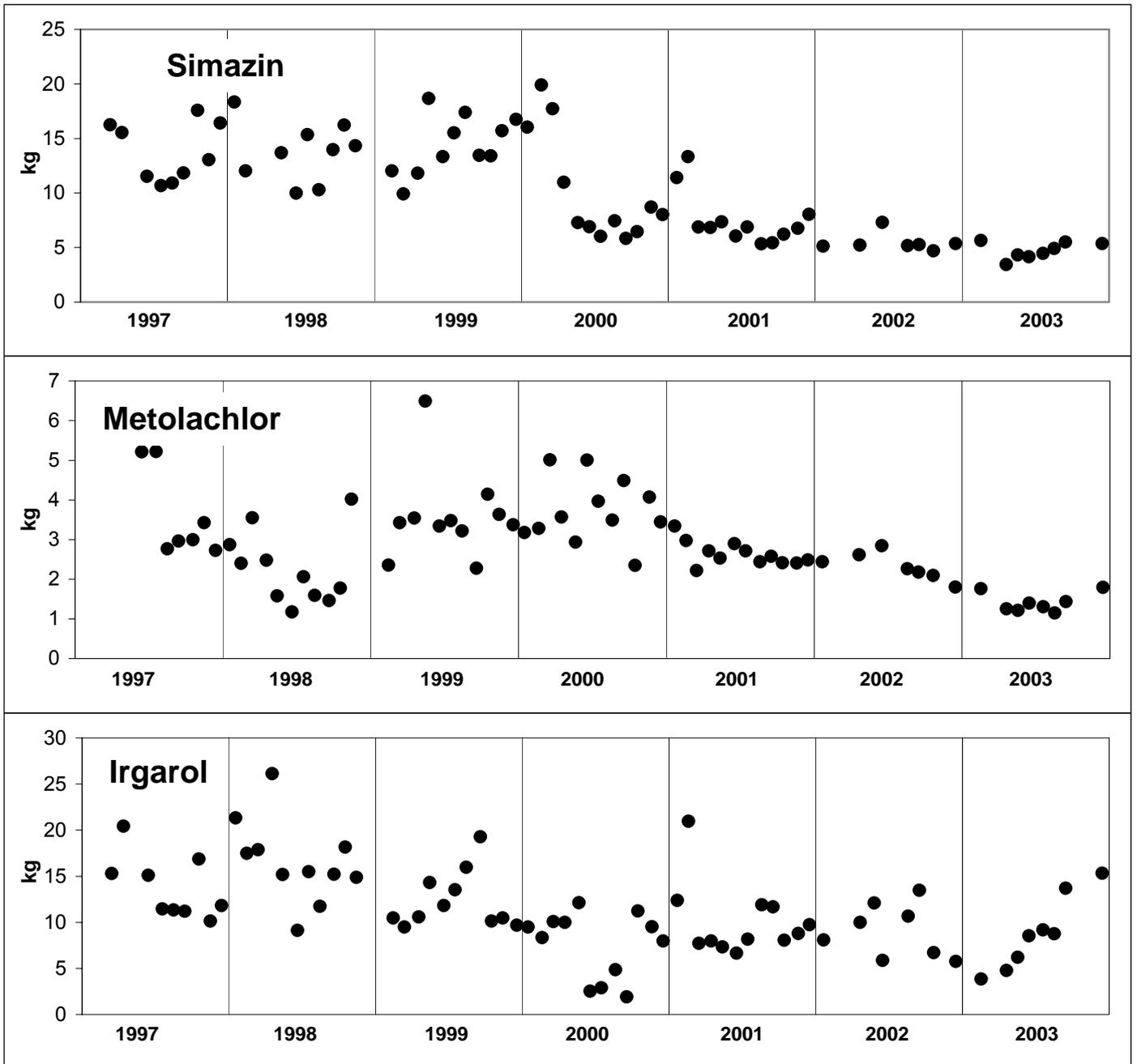
PSM-Seeinhalt (kg) im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003

Datum	Atrazin	Simazin	Propazin	Terbutylazin	Desethylatrazin	Metolachlor	Irgarol	MCPP	MCPA	Dicamba	2,4-D
10.01.2001	15.9	11.4	7.2	7.2	16.1	3.3	12.4	18.1	9.5	2.6	8.0
07.02.2001	19.6	13.3	5.4	10.8	23.9	3.0	21.0	19.1	8.1	2.5	4.0
05.03.2001	19.8	6.9	0.2	9.9	19.5	2.2	7.7	15.5	7.8	1.5	4.9
04.04.2001	19.6	6.8	0.6	10.6	17.2	2.7	8.0	17.3	5.5	1.0	2.9
02.05.2001	18.4	7.4	0.8	9.5	22.4	2.5	7.3	18.8	8.4	1.4	3.1
06.06.2001	17.1	6.1	0.9	9.5	13.5	2.9	6.7	19.6	10.5	2.1	3.1
04.07.2001	22.3	6.9	0.5	10.6	18.6	2.7	8.2	20.0	11.1	2.3	3.3
08.08.2001	18.7	5.3	2.6	7.5	11.4	2.4	11.9	24.9	13.2	2.6	5.8
05.09.2001	18.9	5.4	0.5	9.8	14.2	2.6	11.7	11.6	6.8	0.6	3.6
03.10.2001	16.9	6.2	2.4	7.3	15.5	2.4	8.1	4.1	8.8	2.6	3.4
07.11.2001	19.4	6.8	5.6	8.0	17.9	2.4	8.8	20.8	8.9	1.0	3.2
05.12.2001	20.1	8.0	4.8	6.6	11.9	2.5	9.7	18.3	8.2	1.5	3.1
09.01.2002	17.3	5.1	1.4	7.2	13.1	2.4	8.1	-	-	-	-
10.04.2002	17.0	5.2	2.8	8.1	17.4	2.6	10.0	18.6	6.4	2.7	2.9
15.05.2002	-	-	-	-	-	-	12.1	13.0	10.8	1.6	8.5
05.06.2002	15.0	7.3	1.7	6.3	37.0	2.8	5.9	27.8	10.9	2.7	4.7
07.08.2002	20.0	5.2	0.6	6.0	11.4	2.3	10.7	44.1	15.7	4.2	6.6
04.09.2002	20.3	5.3	0.6	5.9	17.3	2.2	13.5	27.7	11.0	5.1	5.2
10.10.2002	17.5	4.7	0.4	5.1	8.8	2.1	6.7	30.9	13.1	3.5	6.3
04.12.2002	18.4	5.4	0.7	4.0	7.6	1.8	5.8	27.3	11.7	2.0	5.0
05.02.2003	16.1	5.7	1.4	4.7	2.3	1.8	3.9	25.2	12.6	2.8	3.7
09.04.2003	12.3	3.4	1.4	4.1	8.5	1.3	4.8	24.1	11.9	1.6	4.0
07.05.2003	13.1	4.3	1.1	4.4	8.8	1.2	6.2	19.8	13.6	1.2	2.9
04.06.2003	14.7	4.1	0.7	4.8	8.6	1.4	8.5	14.0	14.5	0.7	1.5
09.07.2003	14.6	4.5	0.6	4.4	9.1	1.3	9.2	17.8	6.0	0.9	2.0
06.08.2003	14.3	4.9	0.5	4.8	9.8	1.1	8.8	19.4	6.2	0.9	2.2
03.09.2003	13.4	5.5	2.7	4.9	9.0	1.4	13.7	18.2	4.5	0.6	1.9
03.12.2003	13.1	5.4	2.8	5.2	15.7	1.8	15.3	16.5	5.8	0.9	2.3

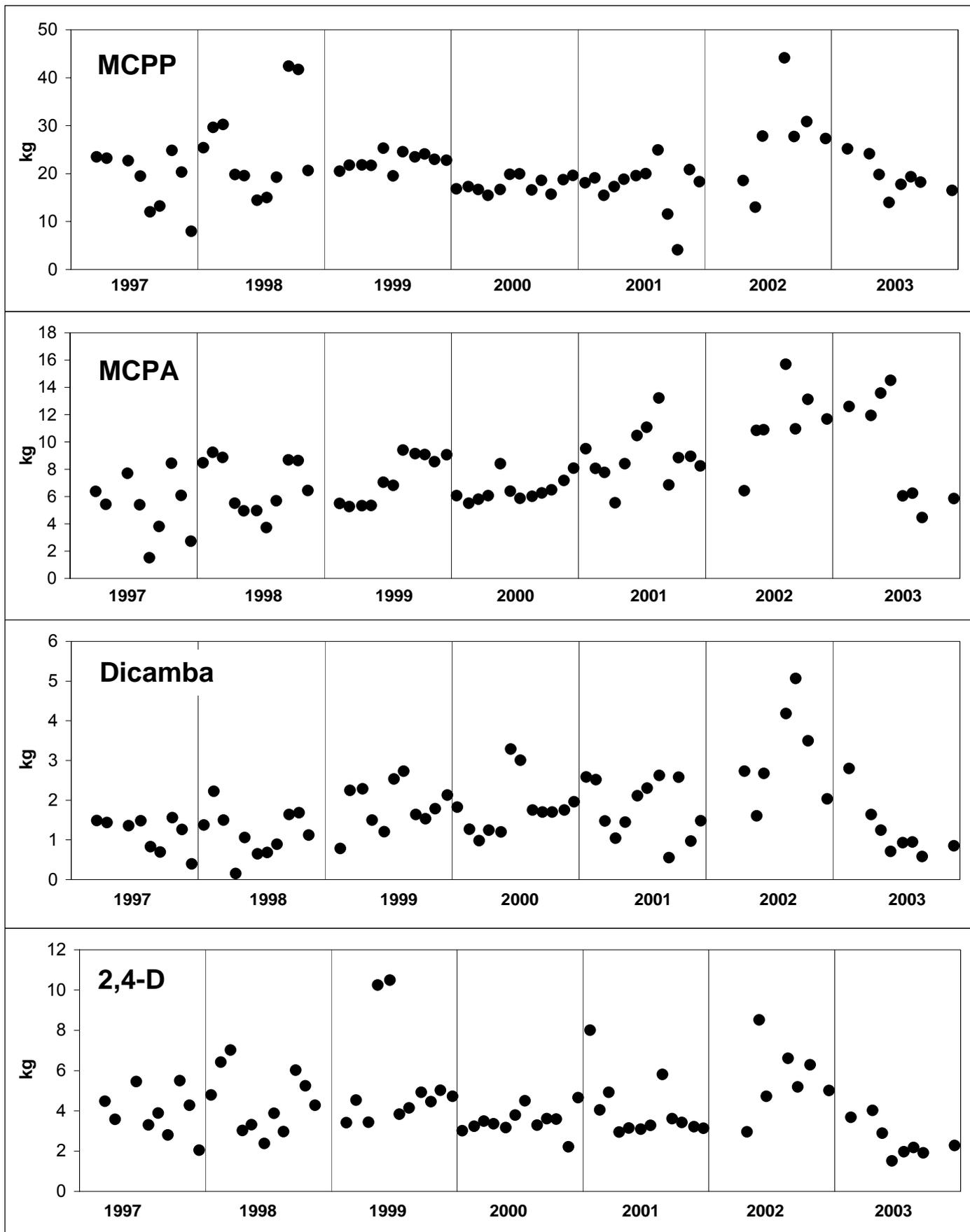
PSM-Seeinhalt (kg) im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



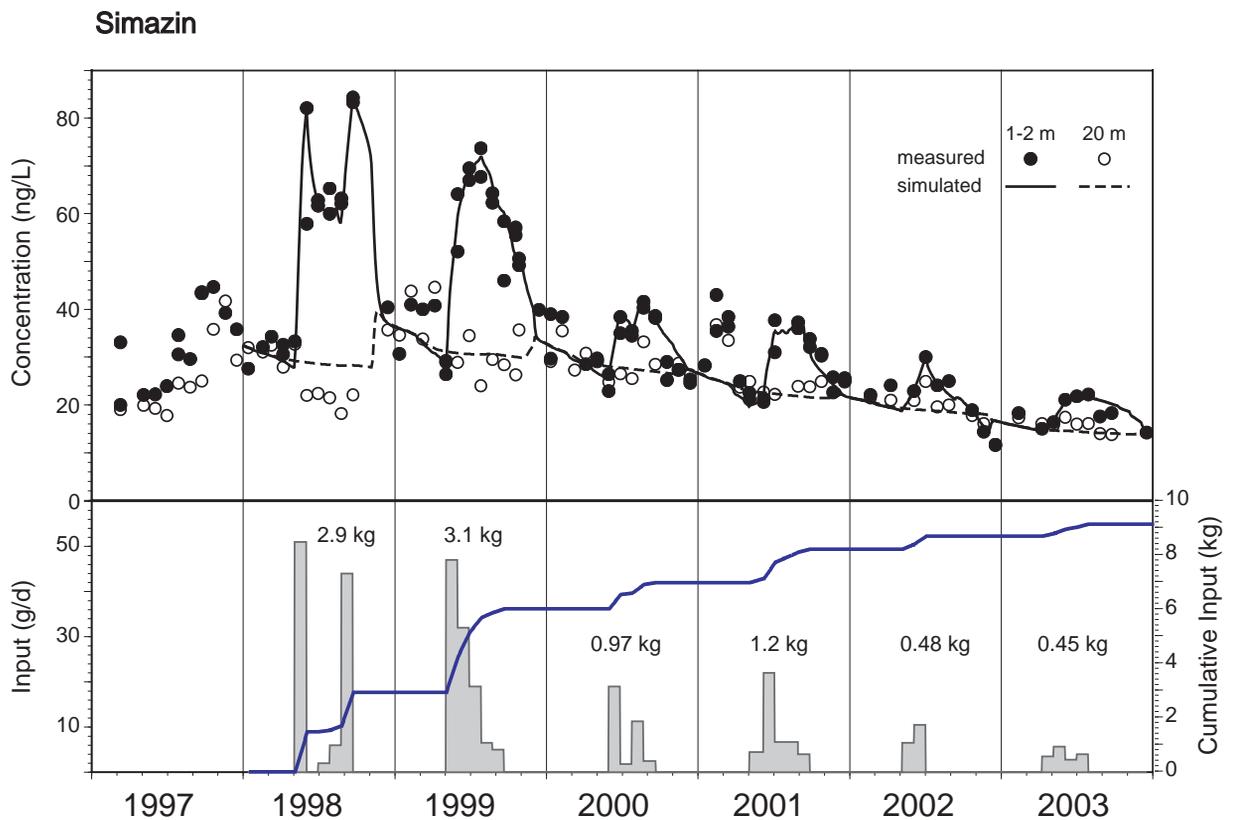
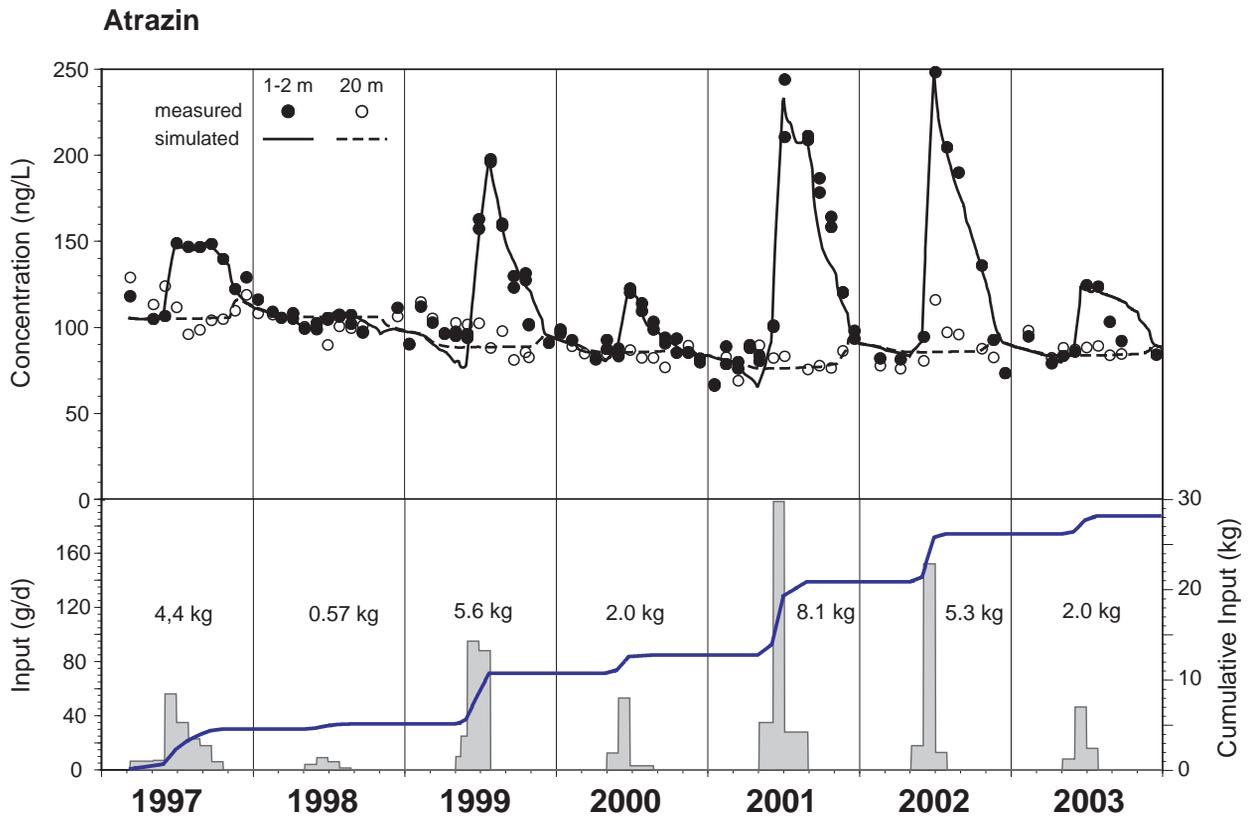
PSM-Seeinhalt (kg) im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



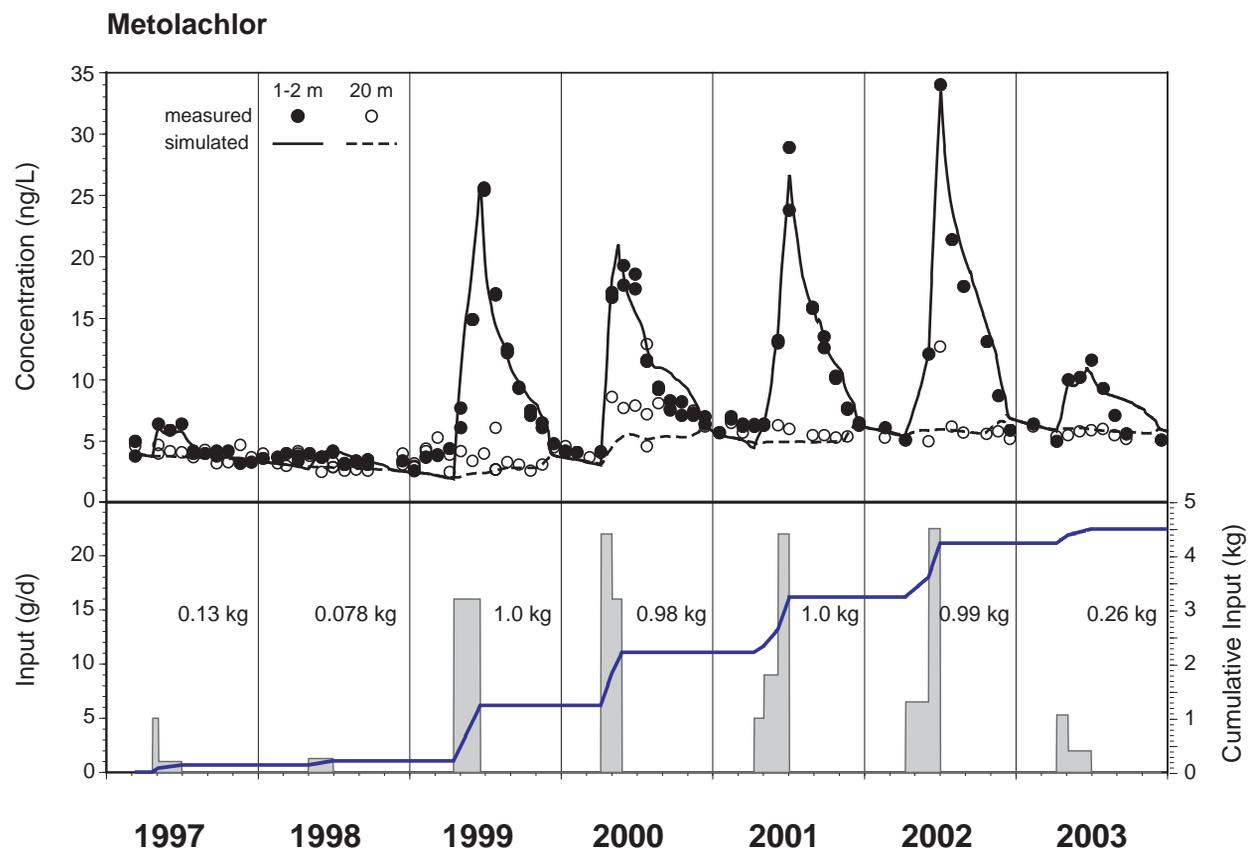
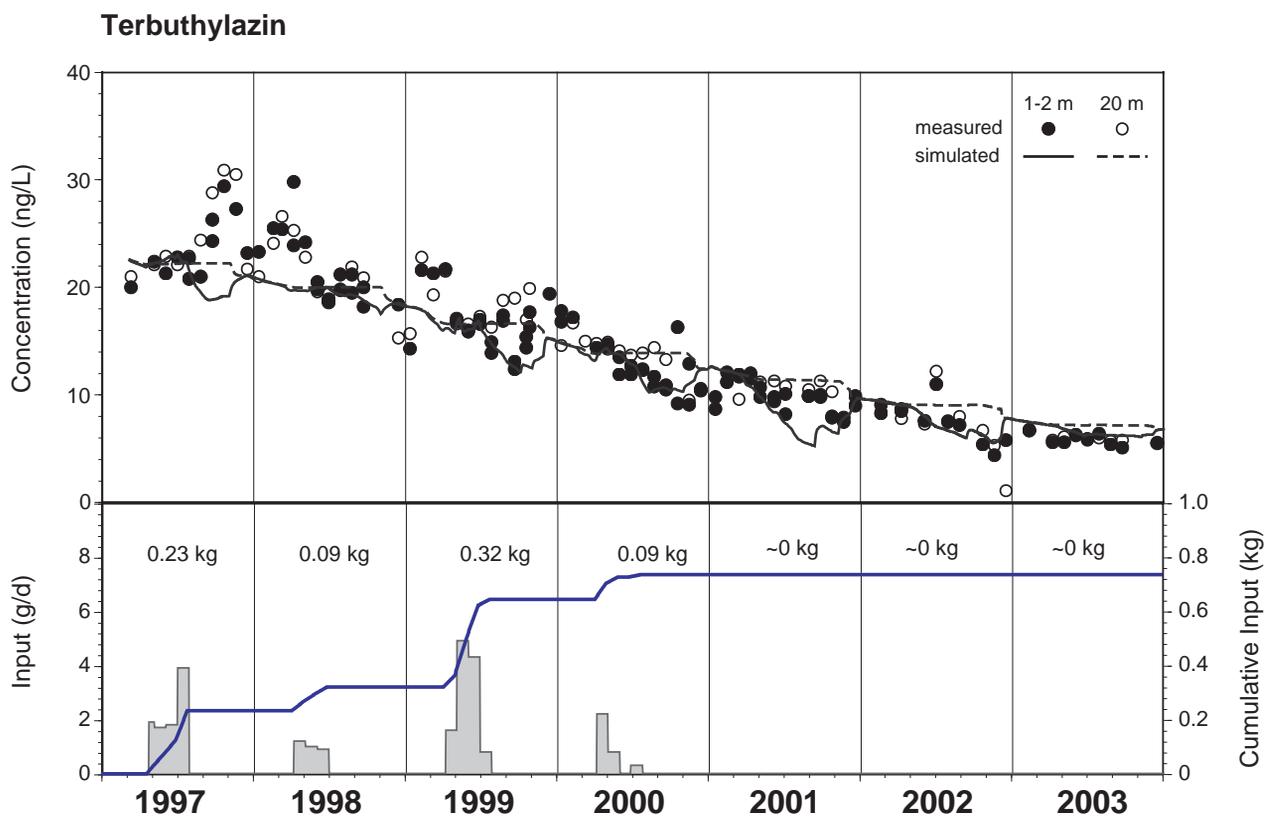
PSM-Seeinhalt (kg) im Zürichsee im Zeitraum von 1997 – 2003



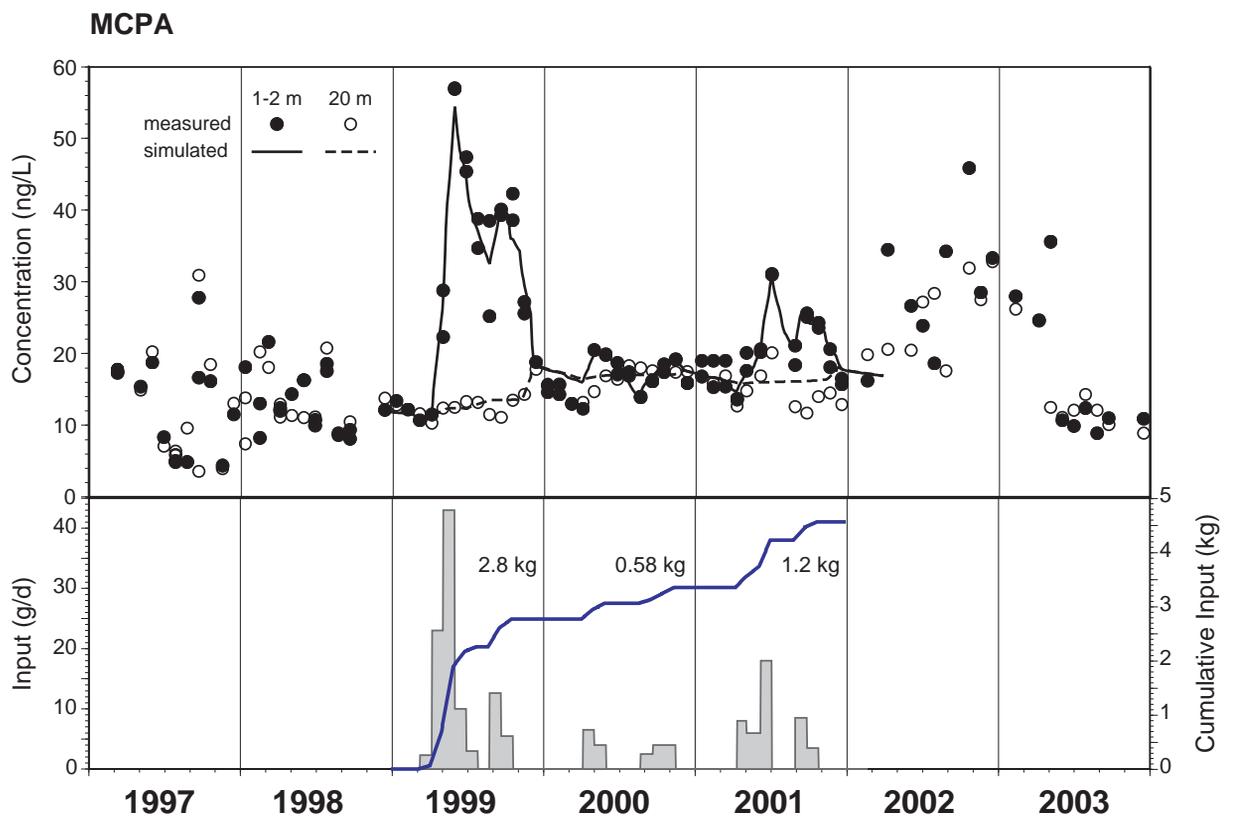
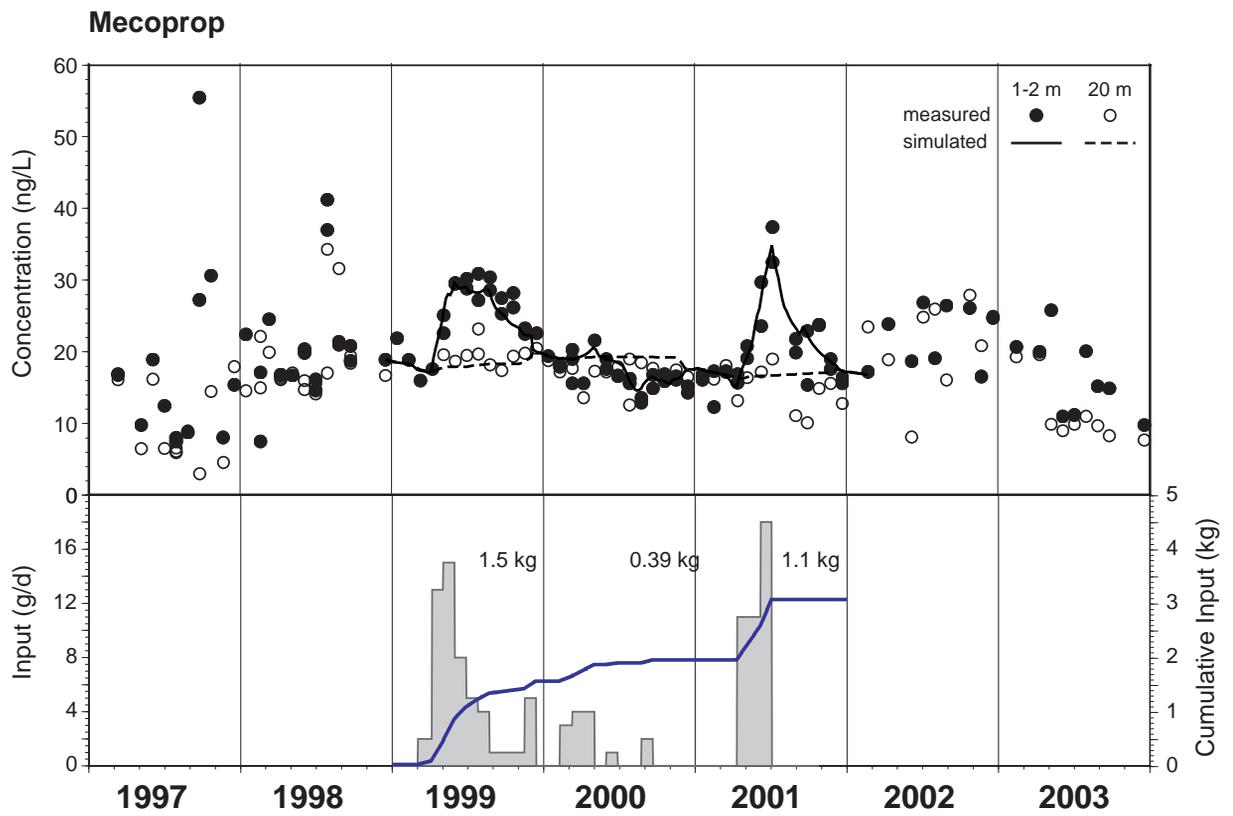
Modellierung der Einträge von Atrazin und Simazin im Baldeggersee, 1997 - 2003



Modellierung der Einträge von Terbutylazin und Metolachlor im Baldeggersee, 1997 -2003



Modellierung der Einträge von Mecoprop und MCPA im Baldeggersee, 1997 - 2003



Modellierung der Einträge von Dicamba im Baldeggensee, 1997 - 2003

