



FiBL

Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Institut de recherche de l'agriculture biologique
Research Institute of Organic Agriculture
Istituto di ricerche dell'agricoltura biologica
Instituto de investigaciones para la agricultura orgánica

Beurteilung des Risikos von Pflanzenschutzmittelanwendungen in der Schweiz an Hand von Indikatoren



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

**Andreas Fließbach
Bernhard Speiser**

Frick, 26.07.2010

EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich
FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria
FiBL est basé en Suisse, Allemagne et Autriche

FiBL Schweiz / Suisse
Ackerstrasse, CH-5070 Frick
Tel. +41 (0)62 865 72 72
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Boden, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, Frick

Autor/Autorin: Andreas Fließbach, Bernhard Speiser

Begleitung BAFU: Roland von Arx

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst.
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Freigabe BAFU: 20.5.2010 PO

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung - Summary - Résumé	7
2.	Einleitung	13
3.	Pflanzenschutzmittel Datenerhebungen in der Schweiz	15
3.1	Erhebungen zum PSM-Verkauf	15
3.2	Erhebungen zu Pflanzenschutzmassnahmen (Anwenderdaten)	19
4.	Berechnungen des terrestrischen Risikos anhand des Indikators „frequency of application“ für die Schweiz	25
5.	Diskussion und Schlussfolgerungen für das terrestrische Risiko in der Schweiz	31
6.	Übersicht über die Anwendung von terrestrischen Risikoindikatoren in Europa	35
6.1	Deutschland	35
6.2	Belgien	35
6.3	Norwegen	36
6.4	Frankreich (Ecophyto 2018)	36
6.5	OECD	36
7.	Literatur	37
8.	Übersicht über bestehende terrestrische Risikoindikatoren	39
8.1	Indikator «Frequency of Application» (FA) (Dänemark)	39
8.2	Pesticide Occupational Environmental Risk (POCER; Belgien)	40
8.3	Pesticide Environmental Assessment System (PEAS; Canada)	43
8.4	Load of Index (DLI; Dänemark)	45
8.5	ESCORT_2	46
8.6	Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel (Synops; Deutschland)	48
8.7	Bees Risk Indicator (based on TERs; Italien)	50
8.8	Environmental Potential Risk Indicator for Pesticides (EPRIP; Italien)	52
8.9	Pflanzenschutzmittel Risiko Index für hypogäische und epigäische terrestrische Systeme (PRIHS, PRIES; Italien)	55
8.10	Regenwurm oder «Dutch Indicator» (DI; Niederlande)	60
8.11	Umweltmassstab für Pflanzenschutzmittel (EYP; Niederlande)	61
8.12	Norwegian Indicator (NI; Norwegen)	63
8.13	Pflanzenschutzmittel Umwelt Risiko Indikator (PERI; Schweden)	67
8.14	Environmental Management Agriculture Software Package (p-EMA; United Kingdom)	69
8.15	Environmental Impact Quotient (EIQ; USA)	74
8.16	Multi-Attribute Toxicity Factor (MAT; USA)	76
8.17	Harmonized environmental Indicators for pesticide Risk (HAIR; EU)	78
9.	Anhang	79
9.1	Anbauflächen einzelner Kulturen	79
9.2	Aufteilung der Wirkstoffe auf die Kulturen	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verlauf des Umsatzes, der jährlich verkauften Gesamtmenge an Pflanzenschutzmitteln und der 20 meistverkauften (Top20) gemäss Daten der SGCI und des BLW.....	16
Abbildung 2: Verlauf des Pflanzenschutzmittelabsatzes in der Schweiz nach Wirkstoffgruppen auf Basis der Daten der SGCI.....	16
Abbildung 3: Menge a) und Anzahl b) der Wirkstoffe, die nach BLW Statistik in den Jahren 2000 – 2006 in der Schweiz verkauft worden sind	17
Abbildung 4: Korrelation der 20 jährlich meistverkauften Wirkstoffe nach SGCI und BLW Daten für die Jahre 2000, 2001, 2003, 2004, 2005 und 2006. Die gestrichelte Linie zeigt 100 %ige Übereinstimmung.....	18
Abbildung 5: Messnetz und Verteilung der NABO-Standorte nach Nutzung (Quelle: www.bafu.admin.ch).....	21
Abbildung 6: Anzahl und Menge der auf den NABO „flux“ Parzellen ausgebrachten Pflanzenschutzmittel je Kulturgruppe für die Zeit von 1996 – 2006. Der „frequency of application“ Indikator gibt die über die Normanwendung korrigierte Anzahl Behandlungen je Kulturgruppe an. Die Grafiken a – d geben Absolutwerte, die Grafiken e – h Relativwerte im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres an.	27
Abbildung 7: Verlauf der jährlich applizierten Wirkstoffmenge der Anzahl Wirkstoffbehandlungen und des Indikators „frequency of application“ (FA-Basis) in einer ausgewählten Ackerfruchtfolge aus dem NABO Datenset.	27
Abbildung 8: Verlauf der jährlich applizierten Wirkstoffmenge der Anzahl Wirkstoffbehandlungen und des Indikators „frequency of application“ (FA-Basis) in einer Apfelplantage aus dem NABO Datenset.	28
Abbildung 9: Verlauf des Indikators „frequency of application“ (FA) für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche und die offene Ackerfläche (LN ohne Naturwiese) der Schweiz auf Basis der Daten der SGCI (1995-2006). a) in absoluten und b) in relativen Werten mit der Ausgangsbasis 1995 im Vergleich zum Gesamtverkauf und der Menge der Top20 Wirkstoffe.	29
Abbildung 10: Verlauf des Indikators „frequency of application“ (FA) in definierten Kulturgruppen auf Basis der Daten der SGCI (1995-2006). a) mit allen PSM aus den Top20 PSM b) ohne Einzelnennungen (Azoxystrobin und Trifloxystrobin)	30
Abbildung 11: Vergleich der Anzahl Wirkstoffe und des Indikators „frequency of application“ auf Basis der NABO-Daten.....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: PSM-Verbrauch (1997 bis 2003) und Anteil der verschiedenen Pflanzenschutzmittelgruppen in den Seeneinzugsgebieten (Poiger et al., 2005)	19
Tabelle 2: Vergleich von Wirkstoffeinsatz, Anzahl Behandlungen und Anteil ausgewählter Kulturen am Gesamtverbrauch an PSM im Einzugsgebiet des Murtensees. Durchschnittliche Werte für den Zeitraum 1997 bis 2003 (Poiger et al., 2005).....	20
Tabelle 3: Aufteilung der NABO-flux Standorte auf die Regionen der Schweiz.	22
Tabelle 4: Anzahl Kultur-Jahre der wichtigsten Kulturen im Datenbestand der NABO-flux Standorte nach Häufigkeit geordnet. Einmalige Nennungen wurden nicht berücksichtigt bzw. anderen Kulturen zugeordnet (Futterbau: Kunstwiese, Sommergerste: Wintergerste, Bohne: Gemüse, usw.).....	22
Tabelle 5: Anzahl Jahre für eine Kulturgruppe im Datenbestand der NABO-flux Standorte	23
Tabelle 6: Prozentualer Anteil der einzelnen Kulturgruppen an der Anbaufläche in der Schweiz (BLW, 2006) und Anteil an den Anbau-Jahren auf den NABO-Standorten. In der letzten Spalte ist die Abweichung der beiden Verteilungen (in %) angegeben.	23
Tabelle 7: Gesamtmenge der Wirkstoffe je Wirkstoffgruppe nach den Angaben der SGCI, den nationalen Verkaufszahlen des BLW für das Jahr 2006, sowie den jeweils auf die gesamte Ackerfläche hochgerechneten Angaben aus den Anwenderdaten der NABO Standorte. Die kursiven Werte in Klammern zeigen die prozentuale Abweichung der jeweiligen Menge von den SGCI Angaben.....	24
Tabelle 8: Menge und Anzahl der je Kulturgruppe eingesetzten Wirkstoffe, sowie der Indikator „frequency of application“ von den NABO-Flächen	28
Tabelle 9: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Jahreswerte (1995-2006; n=12) des Indikators „frequency of application“ für einzelne Kulturgruppen aus dem SGCI Datensatz.....	30
Tabelle 10: Zeitlicher Trend (lineare Anpassung) des Pflanzenschutzmittelverkaufs zwischen 1995 und 2006 (n=12), der Menge der Top20 PSM und des Indikators „frequency of application“ berechnet für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche und die offene Ackerfläche der Schweiz auf Basis der SGCI Daten.....	31
Tabelle 11: Zeitlicher Trend (lineare Anpassung) der applizierten Wirkstoffmengen, der Anzahl Wirkstoffe und des Indikators „frequency of application“ für einzelne Kulturgruppen aus dem NABO Datensatz (1996-2006; n=11).	32
Tabelle 12: Menge und Anzahl der je Kulturgruppe eingesetzten Wirkstoffe, sowie der Indikator „frequency of application“ von den NABO-Flächen	33
Tabelle 13: Anbauflächen [1000 ha] einzelner Kulturgruppen in der Schweiz von 1990 bis 2007. Angaben vor 1997 sind nicht für jedes Jahr Daten verfügbar. Quelle: Agrarbericht BLW.	79
Tabelle 14: Abschätzung der Verteilung des Einsatzes pestizider Wirkstoffe auf definierte Kulturgruppen. Diese Aufteilung beruht auf den Angaben aus dem Datensatz der drei Seengebiete (PTP Datenbank) und der Einschätzung von Experten.....	80

1. Zusammenfassung

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Landwirtschaft ist mit Risiken für die Anwender, die Umwelt und die Konsumenten verbunden. Das Risiko hängt von der Menge, der Toxizität und dem Umweltverhalten der Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln und ihrer Formulierungen ab. In vielen Ländern werden daher die Pflanzenschutzmittelaufwendungen aufgezeichnet, und mittels mehr oder weniger komplexer Modelle die dadurch bedingten Risiken abgeschätzt. In der Europäischen Gemeinschaft soll dieses Vorgehen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik harmonisiert werden. In der Schweiz wird der Verkauf und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft seit einigen Jahrzehnten aufgezeichnet. Die Schweizerische Gesellschaft der Chemischen Industrie (SGCI) hat die in der Schweiz durch ihre Mitgliedsfirmen verkauften Mengen langjährig erfasst und zwischen 1988 und 2006 einen Rückgang der verkauften Gesamtmenge an Wirkstoffen um 45 % dokumentiert. Ausserdem wurde in regionalen Studien und Monitoringprogrammen der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis ermittelt. Seit dem Jahr 2000 hat das Bundesamt für Landwirtschaft die Aufgabe, den Verkauf von Pflanzenschutzmitteln und ihren Wirkstoffen zu erfassen und damit hoheitlich die bisherige Rolle der SGCI zu übernehmen.

In dieser Studie werden die vier verschiedenen, mehrjährigen Datensammlungen (SGCI, Nationale Bodenbeobachtung (NABO), Evaluation der Ökomassnahmen (3 Seen), BLW Verkaufstatistik der Pflanzenschutzmittel) gegenübergestellt und im Hinblick auf die Gesamtmenge, die betroffenen Kulturen und den terrestrischen Risikoindikator „frequency of application“ ausgewertet. Die langjährigen Daten der SGCI waren bereits Gegenstand eines früheren Projektes, sind aber in diesem Bericht noch um einige Jahre komplettiert worden, um Vergleiche ziehen zu können. Die Anwendungsdaten der Pflanzenschutzmittel auf den NABO Dauerbeobachtungsflächen wurden uns freundlicherweise von Armin Keller (ART) zur Verfügung gestellt und erlaubten eine detaillierte Bewertung der applizierten Mengen für Kultur- und Pflanzenschutzmittelgruppen. Der Datensatz des BLW umfasste lediglich sechs Jahre, von denen nur die bisher letzte Erhebung mit dem passenden Datensatz der SGCI übereinstimmte, und wurde deshalb nur am Rande mit betrachtet. Die Daten aus dem Projekt „Evaluation der Ökomassnahmen“ in den Seengebieten Baldeggersee, Greifensee, Murtensee wurden im Rahmen des EU-Projekts HAIR zur Verifizierung der dort entwickelten Algorithmen verwendet, da hier auch tatsächlich gemessene Umweltbelastungen mit den berechneten Risiken verglichen werden konnten. Dieser Datensatz war die Grundlage für die Aufteilung von jährlichen Wirkstoffsummen auf definierte Kulturgruppen und auch bei der Ermittlung einer Standarddosis. Dieser Datensatz wurde daher zur Berechnung der Risikoindizes pro Kulturgruppe aus den nationalen Verkaufszahlen (SGCI und BLW) verwendet.

Um eine Bewertung des terrestrischen Risikos durch Pflanzenschutzmittel auf der Basis von verschiedenen Datenquellen zu ermöglichen, mussten nationale Verkaufsmengen und Anwenderdaten auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden. In dieser Arbeit wurden dafür Kulturgruppen aus verschiedenen Kulturpflanzen definiert, deren Pflanzenschutzaufwand vergleichbar ist. Die Verkaufszahlen mussten über einen Verteilschlüssel – auf Basis der 3 Seen Daten und Experteneinschätzung – auf dieses Niveau heruntergebrochen werden, während die Anwenderdaten über den Anteil an der Gesamtfläche einer Kulturgruppe hochgerechnet wurden. Das Pflanzenschutzmittelrisiko kann also in diesem Bericht anhand des zeitlichen Trends und anhand der unterschiedlichen Kulturgruppen betrachtet werden.

Die Wirkstoffgruppe der Fungizide wurde in der Schweiz am häufigsten und mengenmässig am meisten eingesetzt, gefolgt von Herbiziden, die vor allem im Ackerbau verwendet wurden und anderen Wirkstoffgruppen, deren Mengen deutlich geringer waren. Fungizide und auch Insekti-

zide wurden vor allem im Obst- und Rebbau sowie im Kartoffel- und Gemüsebau, auf relativ kleinen Flächen, aber in hoher Konzentration ausgebracht. Demgegenüber wurden Herbizide in relativ geringer flächenbezogener Menge aber grossflächig im Ackerbau eingesetzt.

Das terrestrische Risiko wurde in dieser Arbeit anhand des Indikators „frequency of application“ kalkuliert und für die verschiedenen Datensätze soweit möglich dargestellt. Reben, Obst und Kartoffeln waren die Kulturen, die mit weitaus den grössten Mengen aber auch der grössten Anzahl verschiedener Wirkstoffe behandelt wurden. Der Indikator zeigte in diesen drei Kulturgruppen 13 bis 30 Wirkstoffapplikationen an, die teilweise in Kombination appliziert werden. Aus der grossen Menge und Häufigkeit der Anwendung, aber auch aus der Kombination der Wirkstoffe erwuchs in diesen Kulturen ein vergleichsweise grosses Risiko auf kleiner Fläche. Auf Basis der SGCI-Daten lässt sich feststellen, dass mit einer Verringerung der Menge der 20 meistverkauften Wirkstoffe um 14 % auch der Risikoindikator „frequency of application“ um 18 % abnahm.

Die aktuellen Entwicklungen im Europäischen Raum wurden dokumentiert nach Konsultation der jeweils zuständigen Personen in Deutschland, Belgien und Norwegen. Durch die Mitarbeit in der OECD Risikoindikatoren Gruppe ist die Information über die Aktivitäten auf dieser Ebene aktuell. Die Informationen zu den jüngsten Entwicklungen im Rahmen des französischen Aktionsplans Ecophyto 2018 stammen aus Internetrecherchen. Der Anhang enthält zudem eine Aufstellung der bisher gebräuchlichen Risikoindikatoren für Pflanzenschutzmittel und ihrer Algorithmen.

Summary

The agricultural use of pesticides is imposing a risk to farmers, farm workers, the environment and the consumers. The risk is depending on the amount, the toxicity and the environmental fate and pathways of pesticide active ingredients and formulations. Hence, pesticide sales and use statistics are collected in many countries. Emanating risks are then calculated based on more or less complex algorithms. In the European Community this course of action shall be harmonized in the frame of the common agricultural policy. Sales and use of pesticides in Switzerland are registered for several decades. The Swiss Society of Chemical Industries (SGCI) has collected total sales data of their member companies in Switzerland for the period 1988 to 2006. Over this time period a decrease of 45 % in the amount of sold pesticides was stated. In addition several regional studies and monitoring programmes delivered pesticide use data from farm level operations. Since the year 2000 the Federal Office for Agriculture (BLW) is in charge of monitoring the annual sales of pesticides and active ingredients und thus taking over on a mandatory basis the hitherto voluntary role of the SGCI in data collection.

In this study we compare the four existing data collections (SGCI, Swiss soil monitoring network (NABO), evaluation of ecological measures (3 lake regions), BLW sales statistics of pesticides) and evaluate the risk as indicated by the total sales, by the affected crops, and the terrestrial risk indicator frequency of application. The long term data of SGCI, already shown in an earlier report, were completed in order to compare them with other data. The use data of pesticides from the Swiss soil monitoring network on farmers' fields were provided by courtesy of Armin Keller (ART). These data allowed for a detailed evaluation of applied amounts to crops and of the use of pesticide groups. The dataset of the BLW was only briefly touched as it covered only six years, out of which only the last was judged to be in line with the SGCI dataset. The database of the project „evaluation of ecological measures“ in the three lake regions Baldeggersee, Greifensee, and Murtensee has been used already to verify the indication of risks by the newly developed algorithms in the frame of the EC's HAIR project. Here actual environmental loads (e.g. in the lake water) were compared to the calculated risks. This dataset served as the base to partition the annual sums of active ingredients to defined crop-groups and was also very helpful to define standard application doses for crops and was therefore an important tool to calculate risk indices from sales data (SGCI and BLW).

National sales and use data had to be reduced to a common denominator in order to allow for a comparison of terrestrial risks based on the different data sources for pesticide use. To achieve this goal we had to define groups of crops with similar plant protection schemes. Sales data were broken down to this level – based on the use data of the three lake regions and expert judgement – whereas use data were projected by their relative proportion in the total area of a crop group. Pesticide risk in this report may be looked at by the long-term trend as well as by comparing crop groups.

Fungicides were most often used in Swiss agriculture and also the amount sold was highest, followed by herbicides that are most often used in arable crops. Sales of the other pesticides groups were much lower. Fungicides and insecticides were predominantly used in fruit and wine plantations and also in potatoes and vegetables on relatively small areas but at high annual rates. On the contrary herbicides were used at relatively low rate per field, but on a large area.

In this study the terrestrial risk was calculated from the different datasets by means of the indicator „frequency of application, if possible. Vine, fruit and potato were the crops that received by far the highest amount but also the highest number of active ingredients. In these three crop groups 13 to 30 applications, partly applied in combination, were calculated based on the indi-

cator frequency of application. From the high amount and abundance of actives in farming practice, in addition to the combination, these crops may be considered relatively risky, however on a relatively small area. Based on the SGCI data it was found that a 14 % reduction in the Top20 actives also reduced the frequency of application by 18 %.

The current development in the application of risk indicators on the European level was documented after consulting the persons in charge in Germany, Belgium and Norway. As collaborator in the OECD risk indicator group we can provide up-to-date information on their activities. The information to the latest development in the frame of the French action plan Ecophyto 2018 is from internet consultation. In addition, chapter 8 lists and describes the algorithms for terrestrial risk indicators for pesticides that are in use at the national level in different countries.

Résumé

L'utilisation de pesticides dans l'agriculture est liée à des risques pour l'utilisateur, l'environnement et pour les consommateurs. Le risque dépend de la quantité, de la toxicité et du comportement environnemental de la substance active du pesticide et de sa formulation. Dans plusieurs pays, la consommation de pesticides est enregistrée et par le biais de modèles plus ou moins complexes le risque encouru est évalué. Ce procédé sera harmonisé dans le cadre de la politique agricole de la Communauté Européenne. La vente et l'utilisation des pesticides sont enregistrées en Suisse depuis plusieurs décennies. La société Suisse de l'industrie Chimique (SGCI) enregistre depuis de longues années la quantité des pesticides vendues par ces membres et a constaté une réduction globale de 45% des substances actives vendues entre 1886 et 2006. De plus des études régionales et des programmes de monitoring enregistrent l'utilisation de pesticides dans la pratique. Depuis l'an 2000, l'Office Fédéral de l'Agriculture (OFAG) est responsable de l'enregistrement des ventes des pesticides et de leurs substances actives, il a ainsi repris la responsabilité de la SGCI.

Cette étude compare les résultats de 4 groupes de données différentes relevées sur plusieurs années (SGCI), observation nationale des sols (NABO), évaluation des mesures écologiques (3 Lacs), Statistiques de vente des pesticides (OFAG) et en déduit les quantités totales utilisées, les cultures concernées et les indicateurs de risques pour le sol « frequency of application ». Les données de la SGCI relevées sur plusieurs années ont déjà été utilisées dans un projet antérieur, ces données ont été complétées par des valeurs récentes afin de pouvoir faire des comparaisons. Les données d'application des pesticides sur les surfaces exploitées par NABO nous ont aimablement été mises à disposition par Armin Keller (ART) et nous ont permis une analyse détaillée des quantités appliquées par groupe des pesticides et de cultures. Les données mesurées par l'OFAG ne portent que sur une période de 6 ans et seule la dernière série est directement comparable avec celle de la SGCI, elles n'ont donc été considérées qu'en marge de cette étude. Les résultats du projet "Evaluation des mesures écologiques" dans les régions lacustres du Baldeggersee, du Greifensee et du Lac de Morat (3 Lacs) ont servi à vérifier les algorithmes développés dans le cadre du projet Européen HAIR, ceci est possible car cette étude compare les charges environnementales mesurées avec les valeurs calculées. La répartition de l'utilisation annuelle de pesticides sur les groupes de culture et la définition d'une dose standard se base sur ces données. La répartition des ventes nationales (SGCI et OFAG) sur les groupes de plantes se base pour cette raison sur les mêmes résultats.

Afin de permettre une évaluation des risques des pesticides sur les sols en se basant sur des études et de mesures différentes, celles-ci ont du être rendu compatibles. Pour cela des groupes de cultures comportant des plantes différentes mais ayant des besoins en pesticides comparables ont été définis. Une clef de répartition – se basant sur les résultats des "3 Lacs" et sur des estimations expérimentales – a permis de redistribuer les chiffres de vente et les valeurs pour la totalité des surfaces cultivées ont été déduites de valeurs d'utilisateurs. Ce rapport permet l'observation du risque lié aux pesticides en fonction de trends dans le temps, ainsi qu'en fonction les différents groupes de cultures.

Le groupe des substances utilisé le plus fréquemment et en plus forte quantité en Suisse est celui des fongicides suivis des herbicides, les autres substances actives ne sont utilisées qu'en quantités beaucoup plus réduites. Les fongicides sont utilisés principalement dans les cultures de fruits et légumes, dans la vigne ainsi que dans la culture des pommes de terre sur des surfaces réduites mais en forte concentration. Les herbicides par contre sont principalement utilisés dans l'agriculture sur de grandes surfaces mais en faible concentration.

Dans ce rapport, l'indicateur "frequency of application" est utilisé pour calculer le risque pour le sol, il est représenté autant que possible pour les différents groupes de valeurs. Les plus grandes quantités mais aussi la plus grande variété de substances actives sont utilisées sur les vignes, les fruits et les pommes de terre. Dans ces trois groupes de cultures, les indicateurs montrent qu'entre 13 et 30 substances actives sont utilisées soit seules soit combinées. Ce groupe présente un risque relativement élevé pour les sols sur de petites surfaces, non seulement à cause de la fréquence d'application et des quantités utilisées, mais aussi à cause de la combinaison des substances actives. Les chiffres de la SGCI montrent qu'une réduction de 14% des 20 produits les plus vendus mène à une réduction de 20% du facteur de risque "frequency of application".

Après consultations avec la personne responsable en Allemagne, en Belgique et en Norvège, ce rapport présente également les développements actuels dans l'espace économique Européen. Grâce à une coopération avec le groupe d'analyse de risque de l'OCDE, des informations actuelles sur leurs activités sont aussi présentées. Les informations sur les développements récents du plan d'action français Ecophyto 2018 sont issues d'une recherche Internet. Un résumé des indicateurs de risque habituellement utilisés jusqu'ici et de leurs algorithmes se trouve en annexe.

2. Einleitung

Für die Abschätzung der durch die Landwirtschaft verursachten Umweltrisiken existiert heute eine grosse Anzahl verschiedener Indikatoren (Goodlass et al., 2001; Halberg et al., 2004; van Bol et al., 2002; Wyss, 2002), die neben den Risiken durch Düngung und andere landwirtschaftliche Massnahmen vor allem das Risiko und die Gefährdungspotentiale durch Pflanzenschutzmittel (PSM) zum Gegenstand haben. In den letzten Jahrzehnten sind eine grosse Anzahl solcher Agrar-Umwelt-Indikatoren entwickelt worden. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der benötigten Daten (Verkaufszahlen, Anwendungsdaten, etc), der Komplexität der Berechnung (lindernde Faktoren, Driftreduktion, Toxizität, etc) und hinsichtlich der betrachteten Ökosysteme oder Kompartimente. Prinzipiell lassen sich drei Indikatortypen für PSM unterscheiden (EC, 2008):

Pesticide use indicators (PUI):	Verkaufte oder applizierte PSM-Mengen oder ihre Anwendungshäufigkeit
Pesticide risk indicators (PRI)	Risiko für ein bestimmtes Zielkompartiment. Dieses ist definiert durch eine Kombination von Gefährdungspotential und Exposition.
Pesticide impact assessment systems (PIAS)	Die Bewertung der Risikoindikation für verschiedene Zielbereiche im Hinblick auf eine umfassende Begutachtung, die auch nicht-quantitative Wertungen beinhalten kann.

In der vorliegenden Studie wird ausschliesslich das Risiko durch PSM für terrestrische Systeme in der Schweiz (terrestrial risk indicators; TERI) betrachtet. Dazu wird in einem ersten Ansatz der Indikator «Frequency of Application» (FA) verwendet. Für dessen Berechnung werden die Nationalen Verkaufszahlen, die betroffene Ackerfläche und eine Standarddosis für jedes Produkt oder jeden Wirkstoff benötigt. Dieser Indikator ist also relativ einfach zu berechnen mit relativ wenigen Daten. Eine komplexe Unterscheidung und Gewichtung der Risiken für verschiedene Nicht-Zielorganismen findet dabei nicht statt, doch ist die Aussagekraft des Indikators erheblich höher als reine Verkaufszahlen, da die biologische Wirksamkeit über die empfohlene Dosis (Standarddosis) gewichtet wird. Dieser Indikator ist zudem in der EU etabliert und relativ leicht kommunizierbar. Er lässt sich einerseits aus Anwenderdaten berechnen und andererseits mit nationalen Verkaufszahlen abschätzen. Dabei stellen sich die folgenden Fragenkomplexe:

- Welche Daten zum Verkauf und zur Anwendung von PSM stehen in der Schweiz zur Verfügung? Wie verlässlich sind die bestehenden Datensätze? Wie weit reichen die Daten zurück?
- Welche Probleme stellen sich bei der Sammlung von Informationen zum PSM-Verbrauch und zur Ermittlung des Umweltrisikos in der Schweiz?
- Wie unterscheidet sich der mengenmässige Verlauf der PSM von dem Verlauf des Risikos?
- Wie hat sich das Risiko in der Schweiz in den letzten Jahren entwickelt?
- Welche Indikatoren werden in der EU, insbesondere im benachbarten Ausland verwendet?
- Wie hoch ist das Risiko in der Schweiz im Vergleich zu den benachbarten EU-Ländern?

Der Indikator «**Frequency of Application**» (FA) wurde in Dänemark entwickelt, um den Erfolg der politisch vorgeschlagenen Anreize zur PSM-Reduktion (Steuern auf PSM) im Getreideanbau zu überwachen. Im Gegensatz zu den meisten anderen Risikoindikatoren für PSM beinhaltet der Algorithmus keine Toxizität für einzelne Wirkstoffe. Der Indikator integriert aber die Informationen über PSM-Anwendung und Wirksamkeit auf Zielorganismen über die sogenannte Standarddosis, die als biologisch aktive Applikationsdosis angesehen wird, und soll auch die indirekte Wirkung auf Ökosysteme beinhalten. Die Annahme, dass die Dosis eines PSMs, und somit seine Wirksamkeit gegenüber Zielorganismen, auch für die Bewertung der Effekte auf Nicht-Ziel Organismen geeignet ist, ist allerdings nicht immer zutreffend. Die Standarddosis ist die Grösse, über die sich bei einer Reduktion der tatsächlichen Aufwandmenge eines PSMs oder bei Teilflächenbehandlung die Anzahl der Flächenbehandlungen verringern würde.

Daneben kommen in verschiedenen Ländern verschiedene **andere Indikatoren** zum Einsatz. Eine Übersicht über bestehende Risikoindikatoren wurde in Anlehnung an Wyss (2002) im Rahmen des EU-Projekts HAIR zusammengestellt (Flari et al., 2004). Sie berücksichtigt alle bisher angewendeten Risikoindikatoren, die einen Bezug zu terrestrischen Risiken haben. In Kapitel 8 sind die einzelnen Indikatoren für das terrestrische Pflanzenschutzmittelrisiko näher beschrieben.

3. Pflanzenschutzmittel Datenerhebungen in der Schweiz

Pflanzenschutzmittel (PSM) werden hauptsächlich zu dem Zweck eingesetzt um Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter in landwirtschaftlichen Kulturen zu reduzieren oder zu eliminieren. Neben den insektiziden, fungiziden, herbiziden und bakteriziden Wirkstoffen enthalten Pflanzenbehandlungsmittel noch weitere Hilfsstoffe, die die Wirkung oder Verteilung des Wirkstoffs verbessern sollen. Ausserdem werden Wirkstoffe eingesetzt, die eine Veränderung des pflanzlichen Wachstums zum Ziel haben (Wachstumsregulatoren). Viele dieser in die Umwelt ausgebrachten Stoffe haben auch Nebenwirkungen auf andere Organismen im Feld, und auch auf die Anwender. Diese Wirkungen sind nicht erwünscht, ebenso wie das Auftreten kritischer Konzentrationen der Wirkstoffe in Nahrungsmitteln, im Boden, in der Luft, oder in angrenzenden Gewässern.

Der Gebrauch von PSM in der Landwirtschaft hilft, die Erträge der Kulturen zu sichern. Der grossflächige Einsatz auf landwirtschaftlichen Flächen wird jedoch auch als Gefahrenpotential angesehen, weshalb viele Länder sich zu PSM-Reduktionsprogrammen entschlossen haben. Zur Bewertung der gängigen Anwendung der PSM in der Praxis wurden Risikoindikatoren entwickelt, die Gefährdungspotentiale für bestimmte Umweltkompartimente anzeigen sollen.

Um Risiken aus der Anwendung von PSM zu ermitteln, ist es wichtig zu wissen, wie viel von welcher Substanz tatsächlich ausgebracht wurde. Die häufigste Datengrundlage dafür sind nationale Verkaufszahlen, die jährlich erhoben werden und die gesamte Menge der in einem Jahr verkauften PSM widerspiegeln. Ob diese tatsächlich im gleichen Jahr eingesetzt worden sind oder im gleichen Land ist dabei allerdings unklar. Aus diesem Grunde werden Landwirte zum Teil aufgefordert, die tatsächlich eingesetzten Mengen zu notieren und für statistische Erhebungen zur Verfügung zu stellen. Diese Verbrauchszahlen lassen sich dann mit den Verkaufszahlen vergleichen und ebenso für die Berechnung von Risikoindikatoren verwenden. Im Folgenden sind die vorhandenen Daten zum Pflanzenschutzmittelverkauf und –verbrauch in der Schweiz dargestellt.

3.1 Erhebungen zum PSM-Verkauf

3.1.1 Verkaufszahlen der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI)

Die Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI) veröffentlichte von 1988 bis 2006 eine Verkaufsstatistik der in PSM enthaltenen Wirkstoffe für die Schweiz und Liechtenstein. Diese Statistik basierte auf einer Selbstdeklaration durch die Mitglieder der Fachgruppe Agrar, in der allerdings nicht alle Verkäufer von PSM in der Schweiz vertreten sind (Beat Schmitter, BLW, pers. Mitteilung). Mengenmässig sind die PSM-Verkäufe seit Beginn der Datenerfassung um 45% gefallen. Die Menge der 20 meistverkauften Wirkstoffe (Top20) hielt sich hingegen seit Beginn ihrer Erfassung auf dem gleichen Niveau. Ihr Anteil an der Gesamtmenge variierte zwischen 56 und 73 %. Der von den Unternehmen erzielte Umsatz blieb aber über die gesamte Zeit relativ konstant.

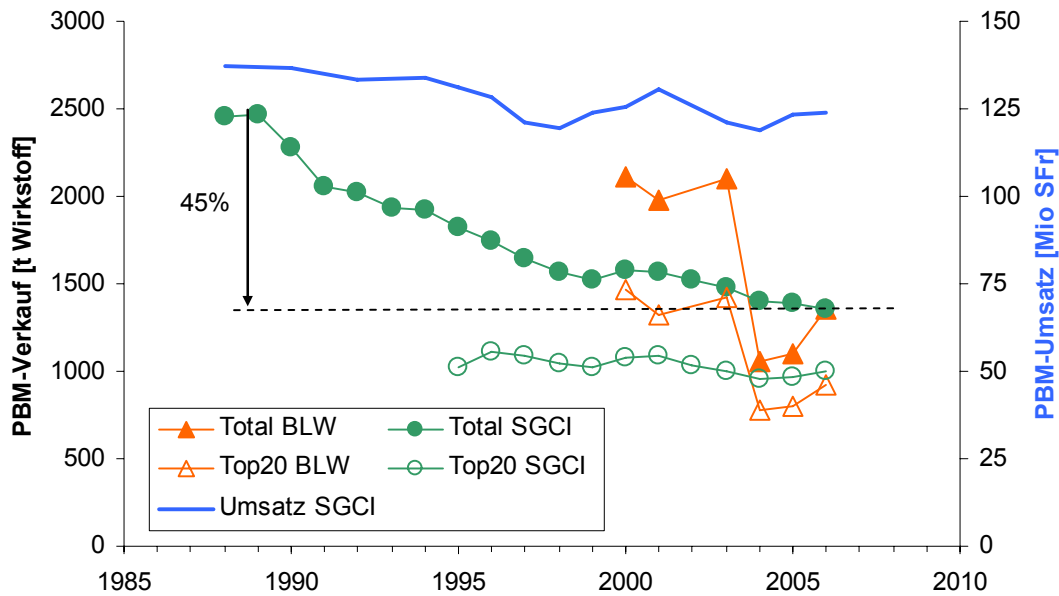


Abbildung 1: Verlauf des Umsatzes, der jährlich verkauften Gesamtmenge an Pflanzenschutzmitteln und der 20 meistverkauften (Top20) gemäss Daten der SGCI und des BLW.

Um die Vertraulichkeit zu gewährleisten, wurden nur die Gesamtmenge aller verkauften Wirkstoffe, die 20 meistverkauften Substanzen (Top20), sowie ihre Aufteilung in Wirkstoffgruppen veröffentlicht. Die langjährige Erfassung dieser Daten durch die SGCI macht diesen Datensatz sehr wertvoll für die Bewertung der Dynamik der Mengen aber auch für die Bewertung des daraus entstandenen Risikos (Abbildung 1). Allerdings sind für Wirkstoffe, welche neu in die Top20 aufstiegen oder nicht mehr dazu zählten, keine durchgehenden Zeitreihen verfügbar. Die von der SGCI erhobenen Daten entsprechen rund 90-95% des gesamten Marktvolumens in diesem Segment. Die SGCI-Statistik ist keine vollständige Darstellung der verkauften Mengen, aber aufgrund ihrer Kontinuität die bisher einzige Sammlung, die einen zeitlichen Trend der gehandelten PSM-Mengen aufzeigt.

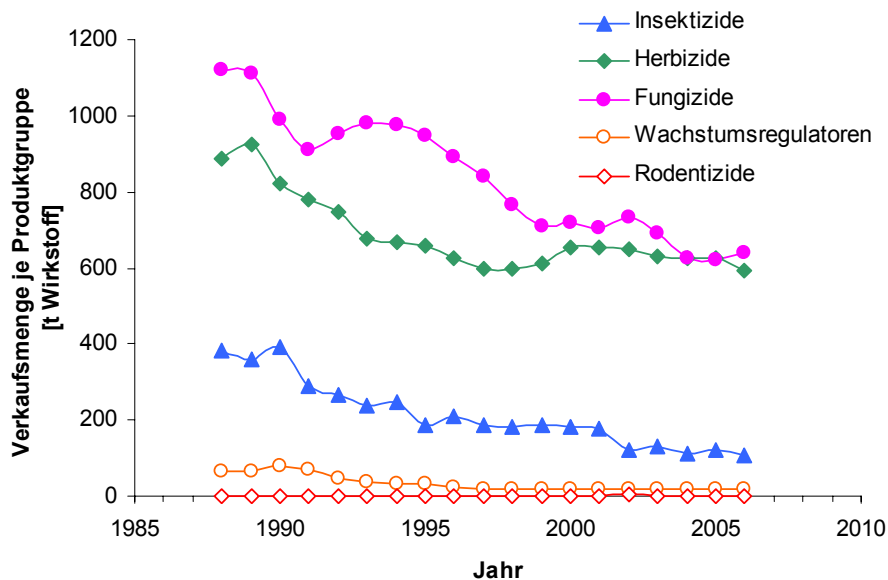


Abbildung 2: Verlauf des Pflanzenschutzmittelabsatzes in der Schweiz nach Wirkstoffgruppen auf Basis der Daten der SGCI.

Während das Gesamtvolumen an PSM in der Zeit von 1988 bis 2006 um 45% abgenommen hat, war eine besonders starke Abnahme bei den Insektiziden (73 %) und Wachstumsregulatoren (69 %) zu verzeichnen. Die Mengen an Fungiziden und Herbiziden nahmen lediglich um 43 % bzw. 33 % ab (Abbildung 2). Diese deutliche Abnahme bei Insektiziden und Wachstumsregulatoren ist auf die verbesserte Wirksamkeit der neu entwickelten Wirkstoffe zurückzuführen, deren Applikationsdosis deutlich geringer ist als die der älteren Wirkstoffe.

3.1.2 Nationale Verkaufszahlen (BLW-Verkaufsstatistik)

Seit dem Jahr 2000 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) den Auftrag, den PSM-Verkauf in der Schweiz zu dokumentieren. Während in den ersten Jahren die Gesamtmenge der vom BLW erhobenen Daten um 30 % bis 40 % höher lag als die der parallel erhobenen SGCI Daten, war sie 2004 und 2005 deutlich tiefer und im Jahr 2006 zum ersten Mal gleich hoch wie die SGCI Daten (Abbildung 1 und Abbildung 3a). Die Ursachen für die starken Abweichungen der Verkaufsmengen sind noch unklar, können jedoch sowohl mit der Datenerfassung der SGCI als auch mit derjenigen des BLW zusammenhängen. Laut Beat Schmitter (BLW, pers. Mitteilung) hat die SGCI nur ihre Mitgliedsfirmen um die Verkaufsdaten gebeten, während kleinere Firmen, die vor allem PSM mit abgelaufenen Patenten aber grossen Mengen vertreiben, nicht vertreten sind. Die Schwankungen bei den einzelnen Wirkstoffgruppen nehmen einen ähnlichen Verlauf wie die Gesamtmenge (Abbildung 3a). Die BLW Daten umfassen alle verkauften Wirkstoffe, während die SGCI nur die 20 meistverkauften Wirkstoffe erhoben hat. Eine Trendberechnung für den Datensatz des BLW erscheint momentan aufgrund der starken Schwankungen nicht sinnvoll.

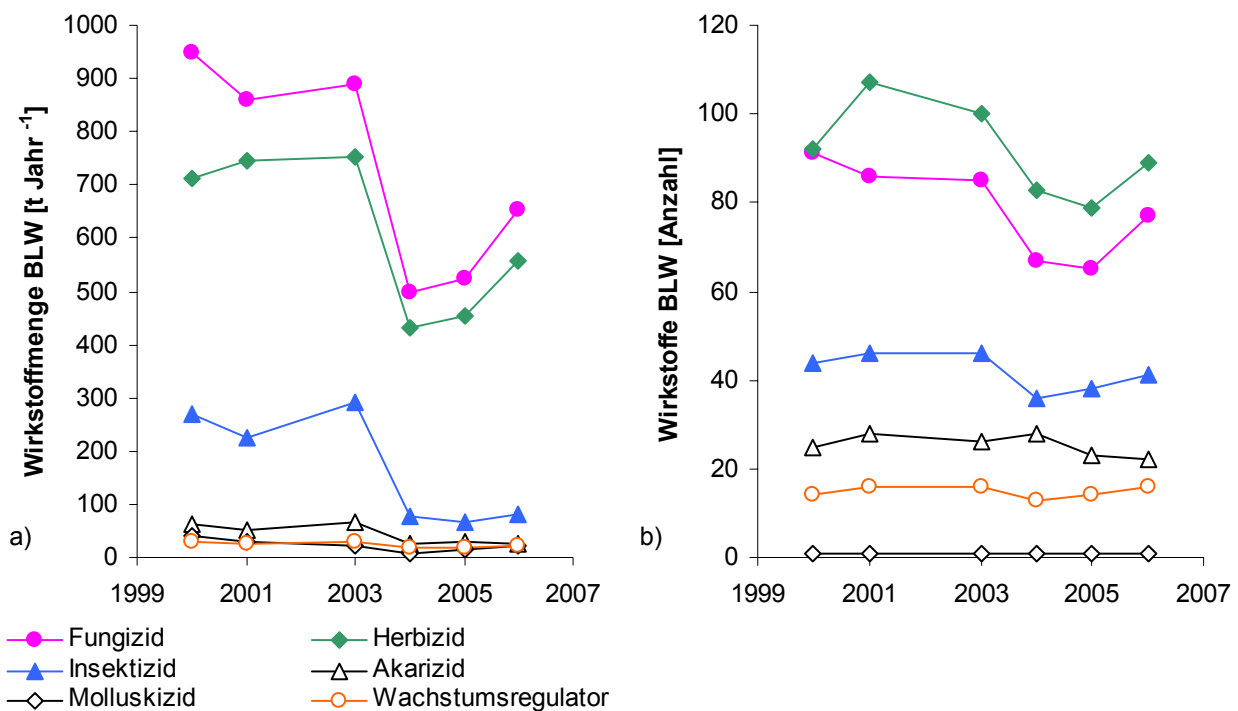


Abbildung 3: Menge a) und Anzahl b) der Wirkstoffe, die nach BLW Statistik in den Jahren 2000 – 2006 in der Schweiz verkauft worden sind

Aus dem Verlauf der Menge der in der Schweiz verkauften Pflanzenschutzmittel ist erkennbar, dass Fungizide und Herbizide den grössten Anteil am Gesamtverkauf ausmachen (Abbildung 3a). An der Anzahl der verschiedenen Wirkstoffe ist erkennbar, dass bei Herbiziden und

Fungiziden auch die grösste Produktvielfalt vorliegt (Abbildung 3b). Der Vergleich der Mengen der 20 meist verkauften Wirkstoffe aus dem SGCI und dem BLW Datensatz zeigt Unterschiede, auch wenn, wie im Jahr 2006, die Gesamtmenge übereinstimmt (Abbildung 4).

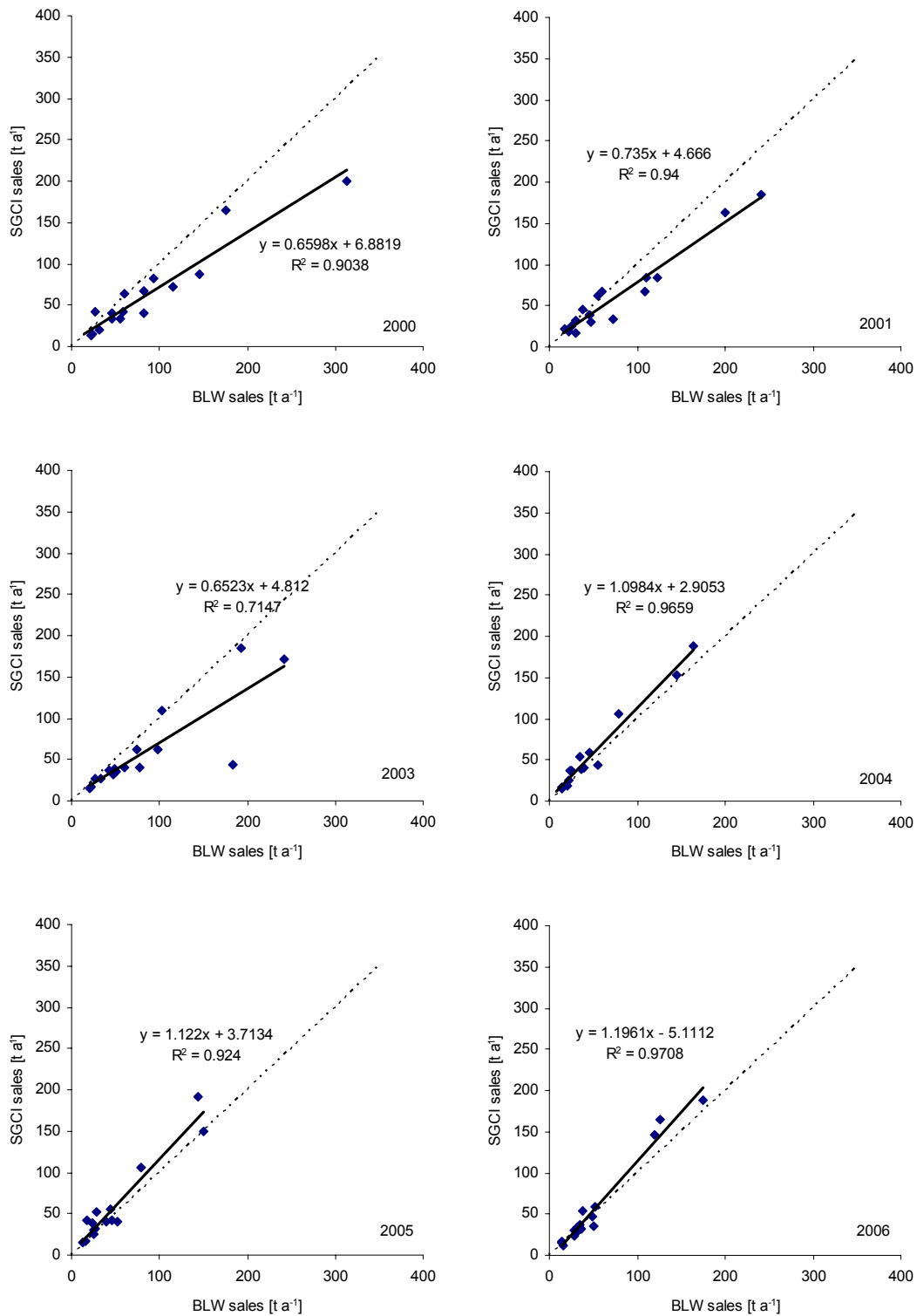


Abbildung 4: Korrelation der 20 jährlich meistverkauften Wirkstoffe nach SGCI und BLW Daten für die Jahre 2000, 2001, 2003, 2004, 2005 und 2006. Die gestrichelte Linie zeigt 100 %ige Übereinstimmung

Im Durchschnitt sind 17 der Top20 Wirkstoffe in beiden Datensätzen (SGCI und BLW) gemeinsam vorhanden. Die Korrelationen beider Datensätze (Abbildung 4) folgen einem ähnlichen Trend, jedoch sind die absoluten Zahlen des BLW in den ersten drei Erfassungsjahren um etwa 30 % höher als die der SGCI und in den drei Folgejahren 10-20 % tiefer, auch bei übereinstimmender Gesamtsumme für 2006. In der Rangfolge stimmen die Wirkstoffmengen je Wirkstoffgruppe aus dem SGCI- und dem BLW-Datensatz bis auf die Insektizidmengen gut überein (Fungizide > Herbizide > Insektizide). Es ist bislang kaum möglich zu entscheiden welcher der beiden Datensatz korrekt ist.

3.2 Erhebungen zu Pflanzenschutzmassnahmen (Anwenderdaten)

3.2.1 Verbrauchsstatistik in den drei Seengebieten Greifensee, Baldeggersee und Murtensee im Rahmen der „Evaluation der Ökomassnahmen“ (Agridea)

Im Einzugsgebiet der drei Seen Baldeggersee, Greifensee und Murtensee wurde in den Jahren 1997-2003 der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erhoben. Mit diesen Erhebungen sollte die Entwicklung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln unter dem Einfluss der damals laufenden Agrarreform verfolgt werden. Die Erhebungen sollten zeigen, welche Substanzen in welchen Mengen und zu welchen Zeitpunkten auf welche Kulturen in den einzelnen Regionen ausgebracht wurden und ob sie in einem Zusammenhang stehen mit der Dynamik der Wirkstoffe und ihrer Metabolite im Wasser der Seen (Damgaard et al., 2007). Die Datenerhebung basierte grundsätzlich auf bestehenden Aufzeichnungsgrundlagen wie Feldkalender, ÖLN-Kalender und anderen gängigen Produkten. Die Auswahl der Betriebe erfolgte nach dem Zufallsprinzip. Während der Jahre 1997 bis 2003 wurden jährlich die Daten von zirka 400 Landwirtschaftsbetrieben erfasst (200 Betriebe im Murtenseegebiet und jeweils 100 im Greifensee- und im Baldeggerseegebiet). Pro Betrieb wurden sämtliche Kulturen erfasst, wobei pro Kultur jeweils nur die grösste Parzelle ausgewertet wurde, um den Datenbestand und den Aufwand bei der Datenerfassung überschaubar zu halten (Poiger et al., 2005). Der Datensatz umfasst 27603 Produktapplikationen (entsprechend 42480 Wirkstoffapplikationen).

Entsprechend der Grösse der Einzugsgebiete, resp. der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) innerhalb der Einzugsgebiete, ist der Gesamtverbrauch an PSM in den drei Gebieten recht unterschiedlich. Ebenfalls recht unterschiedlich ist der Anteil der verschiedenen PSM-Gruppen am Gesamtverbrauch (Tabelle 1). Auffällig hoch ist der Anteil der Herbizide am Gesamtverbrauch im Vergleich zu den im vorigen Kapitel beschriebenen Verkaufsmengen für die ganze Schweiz, insbesondere im Einzugsgebiet des Greifensees.

Tabelle 1: PSM-Verbrauch (1997 bis 2003) und Anteil der verschiedenen PSM-Gruppen in den Seeneinzugsgebieten (Poiger et al., 2005)

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

Grosse Unterschiede bestehen beim PSM-Einsatz in verschiedenen Kulturen (Tabelle 2). Sowohl bezüglich der eingesetzten Mengen, als auch der Anzahl Behandlungen ist der Kartoffelanbau unter den Feldkulturen am intensivsten, gefolgt von Zuckerrüben und Getreide.

Entsprechend hoch ist auch der Anteil von Kartoffeln am Gesamtverbrauch an PSM, obwohl diese Kultur nur etwa 3 % der LN im Einzugsgebiet des Murtensees belegt. Ein ähnlich intensiver PSM-Einsatz wie im Kartoffelanbau ist bei den Dauerkulturen wie Kern- und Steinobst sowie im Rebbau zu finden (in Tabelle 2 nicht aufgeführt, da zu kleine Stichprobe).

Tabelle 2: Vergleich von Wirkstoffeinsatz, Anzahl Behandlungen und Anteil ausgewählter Kulturen am Gesamtverbrauch an PSM im Einzugsgebiet des Murtensees. Durchschnittliche Werte für den Zeitraum 1997 bis 2003 (Poiger et al., 2005).

	Durchschnittlicher Wirkstoffeinsatz [kg ha ⁻¹]	Durchschnittliche Anzahl Behandlungen	Anteil an LN [%]	Anteil am Gesamt- Verbrauch von PSM [%]
Weizen	1.8	2.2	19.0	23
Gerste	1.8	1.5	6.1	7
Triticale	1.1	1.5	1.7	2
Raps	1.6	1.8	2.4	3
Mais	1.2	1.1	8.3	7
Kartoffel	11.9	5.5	2.8	25
Zuckerrübe	4.8	3.7	3.7	13
Grünfläche	< 0.1	1.0	51.0	1

Aufgrund seines hohen Flächenanteils wird die grösste Menge an Pflanzenschutzmitteln im Getreideanbau und aufgrund der hohen Pflanzenschutzintensität im Kartoffelbau eingesetzt (Tabelle 2). Die höchsten Mengen an Pflanzenschutzmitteln pro Flächeneinheit werden aber im Obst-, Gemüse- und Rebbau eingesetzt, die hier nicht aufgeführt sind, da die Beprobung der Kulturen im Gebiet der drei Seen diese unterrepräsentiert und sie daher nicht mit genügender Präzision ausgewertet werden konnten. Diese Kulturen werden sehr oft mit Fungiziden und Insektiziden behandelt, während die Getreidekulturen vor allem mit Herbiziden behandelt werden. Kartoffeln, Zuckerrüben und Raps sind pflanzenschutzintensive Ackerkulturen mit Insektizid-, Herbizid- und Fungizideinsatz, während Wiesen und Weiden nur gelegentlich mit Herbiziden zur Neuansaat oder gezielt gegen Blacken (*Rumex sp.* Einzelpflanzen- oder Teilflächenbehandlung) behandelt werden.

Die durchschnittliche Anzahl an Behandlungen in Tabelle 2 entspricht dem Wortlaut nach dem Risikoindikator „frequency of application“, jedoch ohne die Applikationsdosen über eine definierte Standarddosis zu gewichten. So werden geringe Gaben eines Pflanzenschutzmittels gleich gewertet wie hohe Gaben, was z.B. bei einer gesplitteten Spritzung eine höhere Anzahl Behandlungen bewirken würde. Der Indikator „frequency of application“ würde aber einen anderen Wert angeben, da die Standarddosis ein splitting ausgleichen würde. Die Standarddosis gewichtet also Teilflächenbehandlungen oder geringere Dosen und teilt diese Mengen korrekt den Kulturen zu.

3.2.2 Nationales Bodenbeobachtungsnetz (NABO)

Die Schweiz unterhält ein Nationales Bodenbeobachtungsnetz (NABO) von 105 Standorten in verschiedenen geografischen Regionen, welche in den 80er Jahren aufgrund ihrer Landnutzung, Geologie und ihres Bodentyps ausgewählt worden sind. 70 dieser Standorte werden landwirtschaftlich genutzt und von 48 Standorten (den sogenannten «Flux-Parzellen») wird seit 1996 die landwirtschaftliche Nutzung erfasst. Ausgangspunkt der langjährigen Beobachtung dieser Flächen war die Stoffbilanzierung, um frühzeitig Schadstoffanreicherungen erkennen zu können und war nicht auf ein PSM-Monitoring ausgerichtet. Diese wurden aber

erfasst, wegen ihrer Schwermetallfrachten. Nähere Angaben zu den Schwermetallfrachten und der Belastung dieser Standorte finden sich bei Keller et al. (2005).

Für die 48 Flux-Parzellen liegen detaillierte Aufzeichnungen über landwirtschaftliche Massnahmen vor, welche unter anderem auch alle Kulturen und Pflanzenschutzmassnahmen einschliessen. Für die Jahre 1996 bis 2003 wurden die Anwendungsdaten in einer Access Datenbank erfasst und gepflegt, ab dem Jahre 2004 wurde auf das System Agrotech umgestellt. Über die Jahre ergab sich bei der Datenerfassung, dass unterschiedliche Mitarbeiter damit betraut waren. Dies gilt es bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen, da es im Detail in der Datenerfassung immer mehrere Varianten geben kann wie Applikationsdaten erfasst und allenfalls korrigiert werden können. Die Daten wurden uns von Armin Keller (Agroscope ART Reckenholz) zur Verfügung gestellt. Insgesamt liegen für die 48 Standorte mit 465 Kulturjahren 2010 Produktapplikationen vor (oder 2815 Wirkstoffapplikationen). Vor der Auswertung wurden die Daten gesichtet und wenn nötig anhand des Pflanzenschutzmittelverzeichnisses ergänzt. Die Daten wurden kontinuierlich erfasst und nach Standort, Kultur, Datum und Produkt gegliedert. Leider wurde zu Beginn der Aufzeichnungen bei mehrfach eingesetzten Produkten die Gesamtsumme pro Jahr und Kultur anstelle der Einzelapplikationsmenge eingesetzt, so dass etwaige Mengenreduktionen des Landwirts hier nicht mehr erkennbar sind. Schwierigkeiten verursacht auch die unterschiedliche Struktur der Daten aus der früheren Access Datenbank und der jetzigen, weitaus detaillierteren Erfassung mit Agrotech. Die Qualität des gesamten Datensatzes ist jedoch vergleichsweise gut. Die Standorte liegen mehrheitlich im Mittelland (Abbildung 5 und Tabelle 3), wo die meisten Ackerbaubetriebe liegen. Die Grünlandstandorte finden sich mehr in den bergigen Regionen.

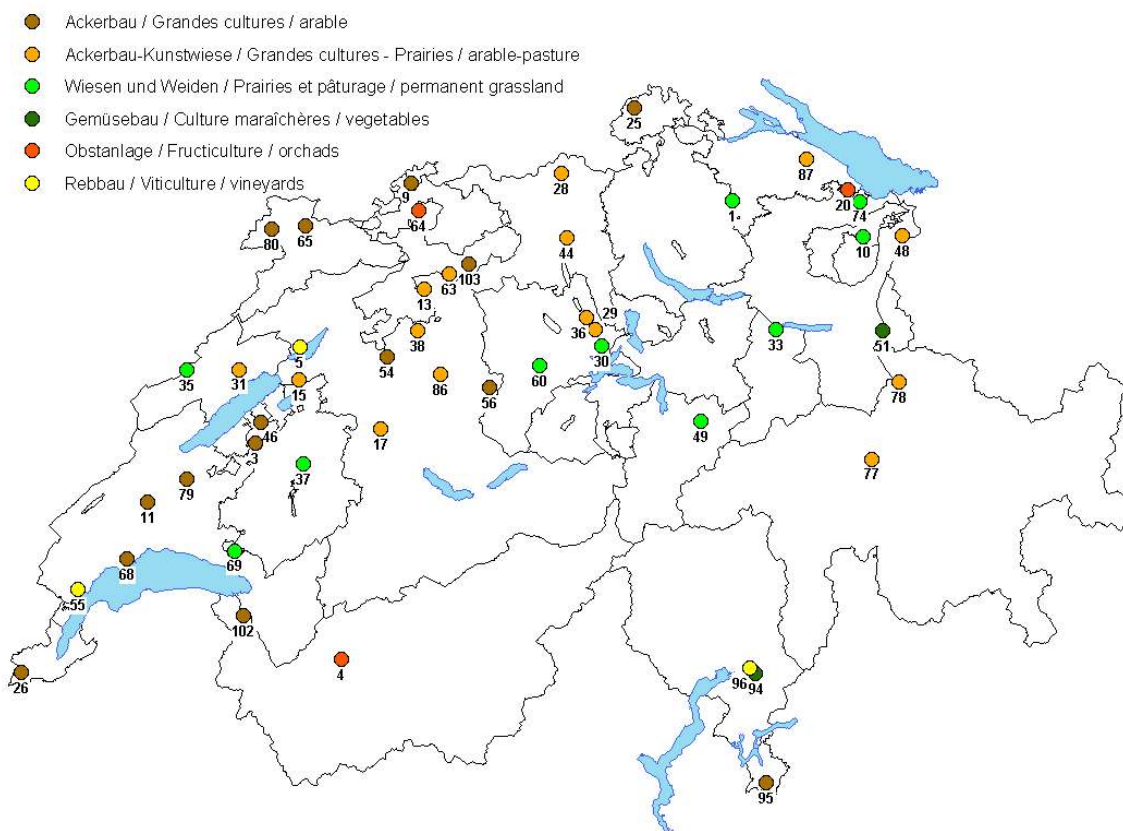


Abbildung 5: Messnetz und Verteilung der NABO-Standorte nach Nutzung (Quelle: www.bafu.admin.ch).

Tabelle 3: Aufteilung der NABO-flux Standorte auf die Regionen der Schweiz.

Region	Kantone	Anzahl Standorte	Höhe über Meer
Espace Mittelland	BE, FR, JU, NE	15	433-1093
Genferseeregion	GE, VD, VS	8	379-684
Nordwestschweiz	AG, BL, BS, SO	6	324-465
Ostschweiz & Zürich	AI, AR, GR, SG, SH, TG, ZH	10	409-935
Tessin	TI	3	209-336
Zentralschweiz	GL, LU, NW, OW, SZ, UR	6	431-1100
Gesamt		48	324-1100

Die Häufigkeiten der Kulturen und Kulturgruppen sind in den beiden folgenden Tabellen dargestellt um die Repräsentativität der Stichprobe aufzuzeigen. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, sind gewisse Kulturen in dem Datensatz kaum repräsentiert, was eine Auswertung auf diesem Niveau nicht sinnvoll erscheinen lässt. Daher wurden Kulturen mit ähnlichen Bewirtschaftungsmassnahmen und einem ähnlichen Pflanzenschutzaufwand zusammengefasst in Kulturgruppen, deren Häufigkeiten in Tabelle 5 dargestellt sind. Hier erscheint nur noch die Kulturgruppe Hülsenfrüchte unterrepräsentiert, da sie in nur 5 von 11 Jahren in der Datenbank vorkam und nur in zwei Jahren auf mehr als einem Feld.

Tabelle 4: Anzahl Kultur-Jahre der wichtigsten Kulturen im Datenbestand der NABO-flux Standorte nach Häufigkeit geordnet. Einmalige Nennungen wurden nicht berücksichtigt bzw. anderen Kulturen zugeordnet (Futterbau: Kunstwiese, Sommergerste: Wintergerste, Bohne: Gemüse, usw.).

Erntejahr	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Total
Winterweizen	7	4	8	6	7	3	9	3	7	5	10	69
Naturwiese	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	66
Kunstwiese	4	6	7	5	5	7	7	8	4	6	6	65
Reben	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	33
Silomais		4	2	3	1	2	3	3	5	4	4	31
Wintergerste	4	5	2	2	4	3	2	2	1	1		26
Winterraps		1	2	3	2	1	1	2	5	4	2	23
Apfel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	22
Körnermais		2	2	2	5	3	1	2	1	1		19
Zuckerrübe	3	1		3	3	1	1	3	2	1	1	19
Kartoffel	1		3	2	1	2	1	1	2	3	1	17
Wintertriticale	2			1				2	2	3	2	12
Kirsche	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Gemüse	2	1	1		1	2		1	1			9
Spinat	1	1	1	1		1	1	1		1		8
Grüenspargel					1	1	1	1	1	1	1	7
Soja	1	1						1	2	1		6
Dinkel	1					1				1		3
Karotte			1				1			1		3
Salat					1	1			1			3
Winterroggen	1				1	1						3
Chinakohl				1			1					2
Erdbeere	1		1									2
Futterrübe						1	1					2
Sommerhafer		2										2
Sonnenblume			1						1			2

Von den 48 Standorten werden 29 ackerbaulich genutzt (Fruchtfolgen), 11 sind Grünlandstandorte, 3 Obststandorte und 3 Reblagen, sowie 2 Gemüsebauflächen. Über die elf Beobachtungsjahre (1996 – 2006) ergeben sich für die einzelnen Kulturgruppen die in Tabelle 5 genannten Anbaujahre.

Tabelle 5: Anzahl Jahre für eine Kulturgruppe im Datenbestand der NABO-flux Standorte

Erntejahr	Naturwiese	Kunstwiese	Getreide	Mais	Kartoffel	Rüben	Raps& Ölsaaten	Hülsenfrüchte	Gemüse	Obst	Reben
1996	6	4	15		1	3	1	2	2	4	3
1997	6	6	11	6		1	2	1	2	3	3
1998	6	6	10	4	3		3		3	4	3
1999	6	6	9	5	2	3	3		2	3	3
2000	6	5	12	6	1	3			3	3	3
2001	6	7	8	5	2	2	1		5	3	3
2002	6	7	11	4	1	2	1		4	3	3
2003	6	8	7	5	1	3	2	1	3	3	3
2004	6	4	10	6	2	2	6	2	3	3	3
2005	6	6	10	5	3	1	4	1	3	3	3
2006	6	6	12	4	1	1	2		1	3	3
Summe	66	65	115	50	17	21	25	7	31	35	33

Die NABO-Flächen umfassen alle Kulturgruppen. Naturwiesen sind deutlich im Vergleich zum nationalen Durchschnitt deutlich unterrepräsentiert. Daraus ergibt sich eine Überrepräsentation aller übrigen Kulturgruppen mit Ausnahme der Hülsenfrüchte (Tabelle 6). Besonders stark überrepräsentiert sind Kartoffeln, Freilandgemüse, Obst und Reben. Da diese in Bezug auf den Pflanzenschutzmitteleintrag Risikokulturen sind, ist es günstig, dass dazu die Datenbasis möglichst gross ist.

Tabelle 6: Prozentualer Anteil der einzelnen Kulturgruppen an der Anbaufläche in der Schweiz (BLW, 2006) und Anteil an den Anbau-Jahren auf den NABO-Standorten. In der letzten Spalte ist die Abweichung der beiden Verteilungen (in %) angegeben.

Kulturgruppe	Anteil an der CH-Anbaufläche 2006 (%)	Anteil an den Anbau-Jahren NABO (%)	Abweichung NABO (%)
Naturwiese	59.73	23.40	-60.82
Kunstwiese	11.51	15.28	32.71
Getreide	13.95	22.44	60.79
Mais	5.87	8.51	44.86
Kartoffeln	1.14	3.48	204.33
Rüben	1.91	3.87	102.32
Ölsaaten	2.40	4.45	85.64
Hülsenfrüchte	0.54	0.39	-28.37
Freilandgemüse	0.88	5.03	473.65
Obst	0.63	6.77	967.68
Reben	1.42	6.38	348.79

Tabelle 7: Gesamtmenge der Wirkstoffe je Wirkstoffgruppe nach den Angaben der SGCI, den nationalen Verkaufszahlen des BLW für das Jahr 2006, sowie den jeweils auf die gesamte Ackerfläche hochgerechneten Angaben aus den Anwenderdaten der NABO Standorte. Die kursiven Werte in Klammern zeigen die prozentuale Abweichung der jeweiligen Menge von den SGCI Angaben.

Wirkstoffgruppe	SGCI [t Wirkstoff]	BLW [t Wirkstoff]	NABO [t Wirkstoff]
Herbizide	631	589 (93%)	386 (61%)
Fungizide	669	686 (103%)	407 (61%)
Insektizide	129	209 (162%)	285 (221%)
Wachstumsregulatoren	20	23 (115%)	5 (25%)
Rodentizide	1	1 (100%)	
Total	1379	1507 (109%)	1082 (78%)

Die auf den NABO-Flächen ausgebrachten Pflanzenschutzmittelmengen wurden hochgerechnet auf die jeweiligen Flächenanteile der Kulturgruppen laut Agrarbericht (BLW, 2006) um diese Mengen ebenfalls mit den Daten der SGCI und des BLW zu vergleichen. Bei den hochgerechneten NABO-Daten sind die eingesetzten Gesamtmengen im Durchschnitt um 22% geringer als die von der SGCI angegebenen Verkaufsmengen (Tabelle 7). Lediglich die Insektizide machen im NABO-Datensatz einen noch grösseren Anteil als im BLW-Datensatz aus, der ja bereits eine höhere Menge auswies als der SGCI Datensatz. Auffällig ist auch die überdurchschnittlich tiefe Menge an Wachstumsregulatoren, obwohl die Getreideflächen, wo Wachstumsregulatoren regelmässig eingesetzt werden, im NABO Datenbestand gut repräsentiert sind. Da die Auswahl der NABO-Flächen nicht auf ein PSM-monitoring abzielte ist die grosse Abweichung und mangelnde Repräsentativität in Bezug auf die Kultren der Schweiz zu erwarten gewesen. Zudem ist die Stichprobe mit nur 50 Einzelfächen relativ gering, sodass die Abweichungen zu den Verkaufszahlen nicht verwundern. Die Abweichungen zwischen BLW und SGCI Daten sind hingegen schwer erklärbar.

4. Berechnungen des terrestrischen Pflanzenschutzmittelrisikos anhand des Indikators „frequency of application“ für die Schweiz

Die in der Schweiz verkauften und im Feld eingesetzten Pflanzenschutzmittel werden auf drei verschiedenen Ebenen erhoben, wie im vorherigen Kapitel beschrieben. Der Datensatz der **SGCI** ist mit seiner langen Dauer sehr wertvoll zur Bewertung eines zeitlichen Trends, dessen Dynamik auch durch die Verbote oder Neuzulassungen von Pflanzenschutzmitteln bestimmt worden ist. Leider sind die Angaben dieser Quelle nur für die 20 meistverkauften Wirkstoffe detailliert genug um Risikoabschätzungen auszuführen.

Im Rahmen der **NABO Dauerbeobachtung** auf forst- und landwirtschaftlichen Flächen zur Beurteilung der Schadstoffbelastung wurden seit 1996 parzellenweise Daten erhoben. Auf den Landwirtschaftsflächen wurden unter anderem auch die verwendeten Pflanzenschutzmittel und ihre Mengen aufgezeichnet. Dieser Datensatz berücksichtigt tatsächlich eingesetzte Mengen für definierte Flächen und deckt einen grossen Teil der in der Schweiz angebauten Kulturen ab. Bei der Erhebung des Pflanzenschutzmittelverbrauchs auf diesen Flächen wurden die Feldkalender der Landwirte ausgewertet. In den Anfangsjahren der NABO-Datenaufzeichnung wurde bei mehrfach eingesetzten Produkten zum Teil nur die Summe der Einzelapplikationen eingetragen, was für die Risikobetrachtung ein Fehler war, da eine etwaige Mengenreduktion je Einzelanwendung nicht mehr erkennbar ist.

Ein Projekt des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) hatte zum Ziel die Auswirkungen der Ökomassnahmen, die im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) im Jahre 1992 eingeführt worden waren, zu bewerten. In diesem Rahmen wurden in den **drei Seengebieten** Baldeggersee, Greifensee und Murtensee die Verbrauchsdaten für Pflanzenschutzmittel in den Jahren 1997-2003 erhoben. Dieser Datensatz ist sehr umfangreich und detailliert allerdings nicht flächendeckend und kontinuierlich erhoben und daher bedingt für Risikobetrachtungen geeignet. Einzelne Wirkstoffe die in den Seengebieten ausgebracht worden waren konnten zeitlich verzögert im Wasser der Seen analysiert werden. So war es möglich errechnete aquatische Risiken mit tatsächlich gemessenen Belastungen zu vergleichen (Damgaard et al., 2007).

Seit dem Jahr 2000 werden seitens des **BLW** alle in der Schweiz verkauften Pflanzenschutzmittel erfasst und in einer detaillierten Sammlung zusammengestellt. Die Daten stammen von den verschiedenen Pflanzenschutzmittel-Produzenten und -Händlern der Schweiz. Grössenordnungsmässig stimmen sie mit den Gesamtmengen der SGCI überein, wiesen jedoch für die ersten fünf Jahre deutliche Abweichungen auf. Da die SGCI nur die Daten ihrer Mitgliedsfirmen erfasst hat, Produzenten und Händler sich auch untereinander Pflanzenschutzmittel verkaufen und auch Parallelimporte zu berücksichtigen sind, sind die Abweichungen der BLW und SGCI zum Teil erklärbar. Im Jahr 2006 waren die durch das BLW und die SGCI erfassten Gesamtmengen nahezu gleich.

Beim Vergleich der Verbrauchsdaten mit den offiziell erhobenen Verkaufsdaten fällt auf, dass einzelne Produkte, die die Landwirte angegeben haben, weder im Pflanzenschutzmittelverzeichnis des BLW, noch in den Auflistungen der anderen Datenbanken vorkommen. Es ist daher anzunehmen, dass gewisse Produkte im Ausland beschafft worden sind. Der umgekehrte Fall, dass Produkte aus der Schweiz im Ausland eingesetzt werden, ist in Anbetracht des relativ hohen Preisniveaus in der Schweiz, vor allem für solche Pflanzenschutzmittel interessant, die im Ausland nachgefragt, aber dort nicht mehr gehandelt werden (z.B. Atrazin). Eine Bereinigung

der Verkaufsdaten um Parallelimporte oder -exporte ist angesichts der mangelnden Transparenz des Grenzverkehrs, besonders bei grenzüberschreitender Flächenbewirtschaftung, schwer möglich. Die Harmonisierung der Zulassung und der gehandelten Produkte über die Grenzen einzelner Länder hinaus, erscheint daher, zusammen mit einer korrekten landesweiten Erhebung der Verbrauchs- und Verkaufsdaten, sinnvoll um eine korrekte Risikobewertung durchführen zu können.

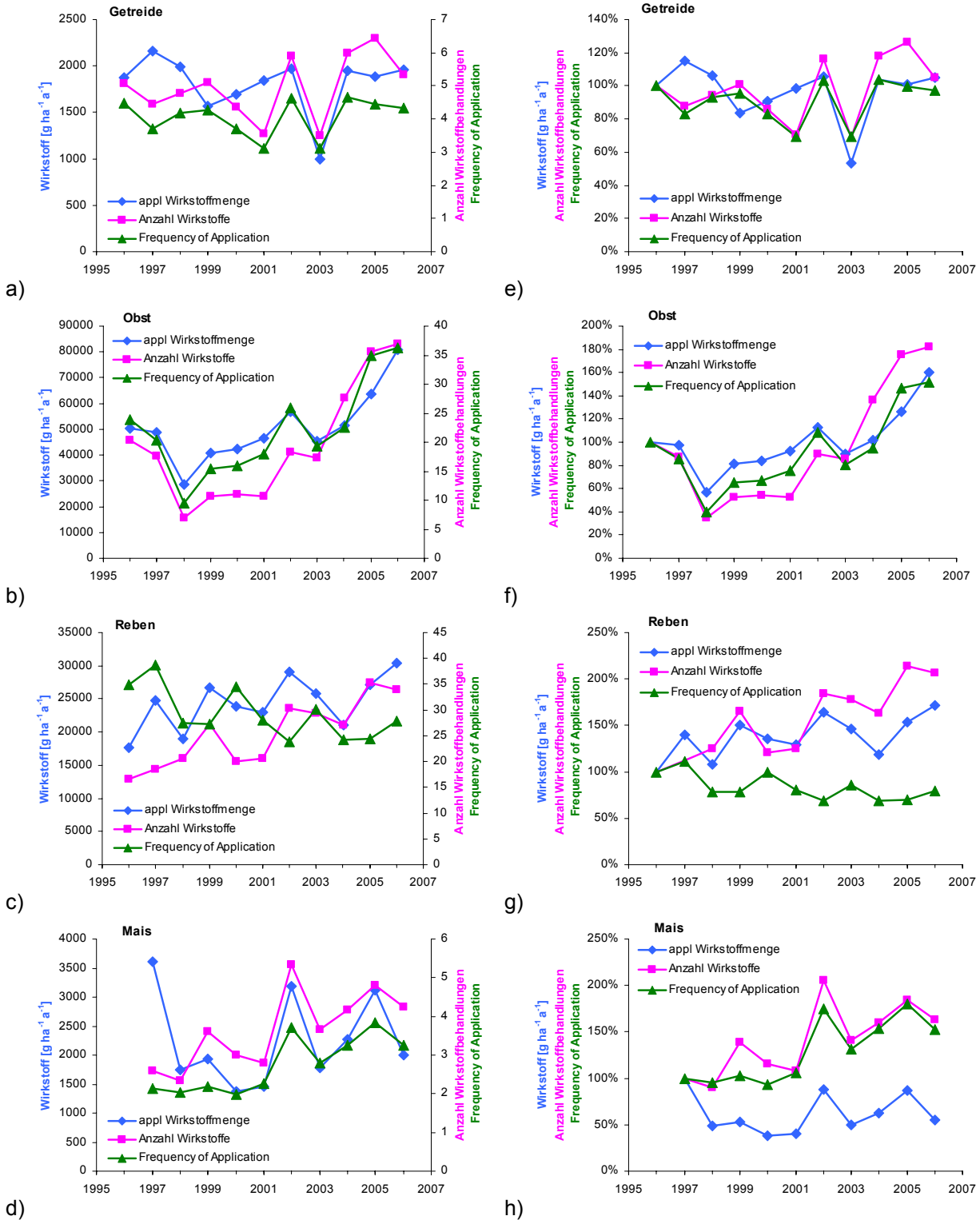


Abbildung 6: Anzahl und Menge der auf den NABO „flux“ Parzellen ausgebrachten Pflanzenschutzmittel je Kulturgruppe für die Zeit von 1996 – 2006. Der „frequency of application“ Indikator gibt die über die Normanwendung korrigierte Anzahl Behandlungen je Kulturgruppe an. Die Grafiken a – d geben Absolutwerte, die Grafiken e – h Relativwerte im Vergleich zu den Werten des ersten Jahres an.

Bei den Verlaufsgrafiken für Pflanzenschutzmitteleinsatz auf den NABO-Flächen fällt besonders bei den Ackerkulturen die hohe jährliche Schwankung auf (Abbildung 6a und d). Dies ist noch augenfälliger bei den Kulturgruppen Rüben, Raps, Ölsaaten und Gemüse, die wegen der geringen Stichprobenzahl hier aber nicht dargestellt sind. Zum Einen kann dies an den o.g. methodischen Datenerfassungsfehlern liegen, zum Anderen haben in der Monitoringphase etwa 1/3 der Flächen ihre Pächter gewechselt. Die recht geringe und variable Stichprobe bei einigen Kulturen oder Kulturgruppen (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5) ist Ursache grosser jährlicher Schwankungen. Um ein repräsentatives PSM-Nutzungsmonitoring durchzuführen sollte gewährleistet sein, dass Kulturen und/oder Kulturgruppen mit genügend grosser Stichprobe repräsentiert sind. Besonders bei den Fruchtfolgeflächen mit Kulturwechsel ist der Pflanzenschutzbedarf sehr variabel, wie beispielhaft für einen Standort in Abbildung 7 zu sehen. Auf dieser NABO Fläche wurde 1997 und 2003 Kunstwiese mit sehr geringen PSM-Aufwendungen angebaut, während 1998 und 2005 Kartoffeln mit sehr hohem Pflanzenschutzbedarf wuchsen.

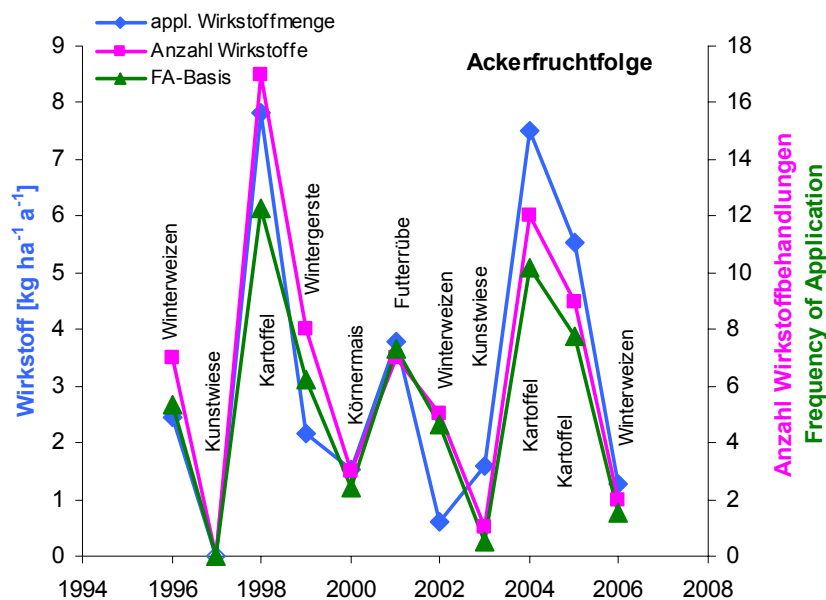


Abbildung 7: Verlauf der jährlich applizierten Wirkstoffmenge der Anzahl Wirkstoffbehandlungen und des Indikators „frequency of application“ (FA-Basis) in einer ausgewählten Ackerfruchtfolge aus dem NABO Datenset.

Als zweites Beispiel ist in Abbildung 8 der Verlauf der PSM-Applikationen für einen Standort dargestellt, der als Apfelplantage keine Fruchtfolge aufwies. Hier war die applizierte Menge im Jahr 1998 eher gering, stieg dann bis 2002 deutlich an und verharrte auf hohem Niveau. Möglicherweise hat 1998 hier eine Neuanpflanzung stattgefunden mit geringerem PSM Einsatz.

Bei der Betrachtung der Kulturgruppen, die im NABO-Datensatz mit höherer Häufigkeit vorkamen, zeigte sich eine geringere Variabilität. Im Durchschnitt betrug die Standardabweichung der Mengen und Häufigkeiten 70-76 % des Mittelwerts über die Jahre des Monitorings und war am höchsten in der Kulturgruppe Gemüse mit 111-148 %. Geringe Variationskoeffizienten über die Jahre mit Werten zwischen 23 und 56 % waren bei Rüben und Reben zu verzeichnen.

Getreide war mit 115 Anbaujahren am stärksten repräsentiert und erhielt im Durchschnitt 1.81 kg Wirkstoff jährlich, der sich auf durchschnittlich 5 Wirkstoffapplikationen verteilte. Der FA-Indi-

kator zeigt 4 Wirkstoffapplikationen mit Standarddosis an. Der Unterschied dieser beiden letzten Werte zeigt an, dass die tatsächlich ausgebrachte Dosis im Durchschnitt um 18 % geringer war als die Standarddosis. Bei Kartoffeln wurden im Durchschnitt 11.18 kg Wirkstoff ausgebracht, der sich auf 11 Wirkstoffapplikationen verteilte. Hier war der FA-Indikator mit 13.3 Standardapplikationen um 20 % erhöht, was bedeutet, dass die tatsächlich applizierte durchschnittliche Dosis eines Wirkstoffs höher als die Standarddosis lag.

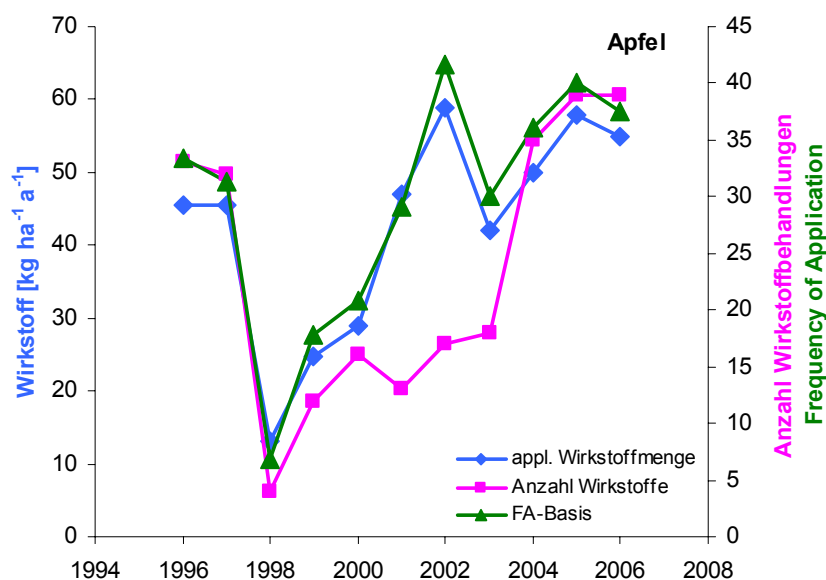


Abbildung 8: Verlauf der jährlich applizierten Wirkstoffmenge der Anzahl Wirkstoffbehandlungen und des Indikators „frequency of application“ (FA-Basis) in einer Apfelplantage aus dem NABO Datensatz.

Vergleicht man diese parzellenweise erhobenen Pflanzenschutzmittelapplikationen mit denen aus dem SGCI-Datensatz so ist erkennbar, dass Reben, Obst und Kartoffeln auch hier die höchsten Werte zeigen. Die Variabilität ist bei den SGCI-Werten erheblich geringer, da von nationalen Verkaufszahlen ausgegangen wurde, die heruntergebrochen werden auf die einzelnen Kulturgruppen mit den dazu gehörenden Flächen. Standortvariabilität spielt hier also nur eine geringe Rolle.

Tabelle 8: Menge und Anzahl der je Kulturgruppe eingesetzten Wirkstoffe, sowie der Indikator „frequency of application“ von den NABO-Flächen

Kulturgruppe	applizierte Wirkstoffmenge [g ha ⁻¹]	SD	Anzahl Wirkstoffe	SD	Frequency of Application	SD
Getreide	1812	1330	4.96	2.66	4.06	2.29
Mais	2249	1390	3.66	2.01	2.75	1.84
Kartoffel	11175	7378	11.04	6.27	13.30	6.43
Rüben	4255	1498	11.20	5.14	4.66	2.62
Raps und Ölsaaten	2657	1436	4.32	2.93	3.85	1.64
Gemüse	3960	4399	5.04	6.40	4.23	6.24
Obst	50503	47486	19.39	9.98	22.02	12.73
Reben	24407	10355	25.42	5.94	29.18	10.49

Die in der SGCI Statistik genannten Top20 Pflanzenschutzmittelwirkstoffe wurden auf einzelne Kulturgruppen verteilt. Aus dem sehr umfassenden Datensatz der drei Seengebiete wurde

diese Verteilung der Wirkstoffe auf die Kulturgruppen abgeleitet und, wie in Tabelle 14 im Anhang dargestellt, ergibt sich eine prozentuale Verteilung jedes Wirkstoffs auf einzelne Kulturgruppen. Aus den Top20 Wirkstoffen wurde der frequency of application (FA) Indikator berechnet, der – ähnlich wie die Menge der Top20 Wirkstoffe – zwischen 1995 und 2006 einen recht unveränderlichen Verlauf nimmt (Abbildung 9).

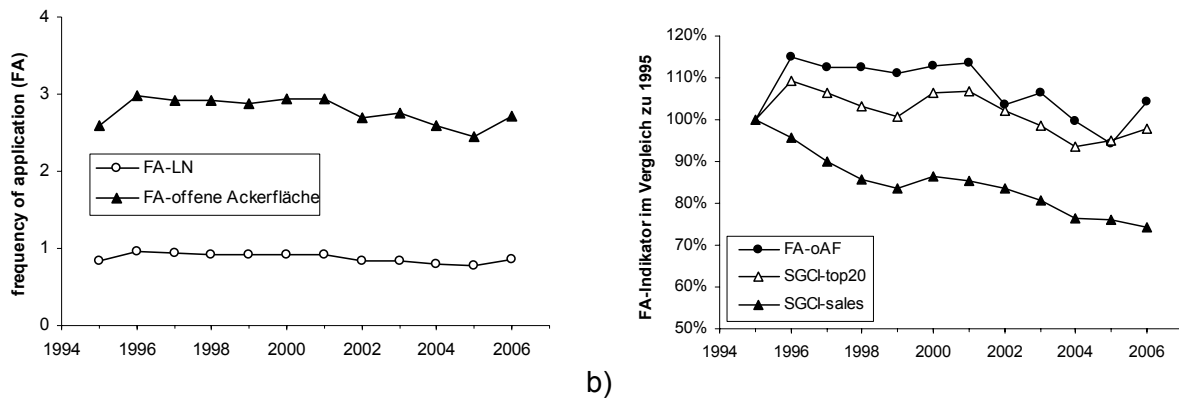


Abbildung 9: Verlauf des Indikators „frequency of application“ (FA) für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche und die offene Ackerfläche (LN ohne Naturwiese) der Schweiz auf Basis der Daten der SGCI (1995-2006). a) in absoluten und b) in relativen Werten mit der Ausgangsbasis 1995 im Vergleich zum Gesamtverkauf und der Menge der Top20 Wirkstoffe.

Aus Abbildung 10 wird deutlich, wie stark sich die Kulturgruppen in ihrer über den Verteilungsschlüssel (Tabelle 14 im Anhang) ermittelten Pflanzenschutzintensität unterscheiden. Reben, Obst und Kartoffeln werden jährlich 11.4 bis 16.9 Mal mit PSM behandelt. Freilandgemüse, Rüben und Hülsenfrüchte erhalten 2.0 bis 8.8 Wirkstoffe jährlich, während Getreide und Mais nur einen Wirkstoff erhalten. Wiesen und Weiden werden nach dieser Berechnung nur sehr selten (alle 50 Jahre) behandelt. Der zeitliche Verlauf des FA-Indikators wird durch selten genannte Wirkstoffe deutlich variiert. Wenn die beiden Wirkstoffe Azoxystrobin und Trifloxystrobin, die nur in wenigen Jahren unter den Top20 waren, bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurden, wurde der Verlauf meistens stetiger.

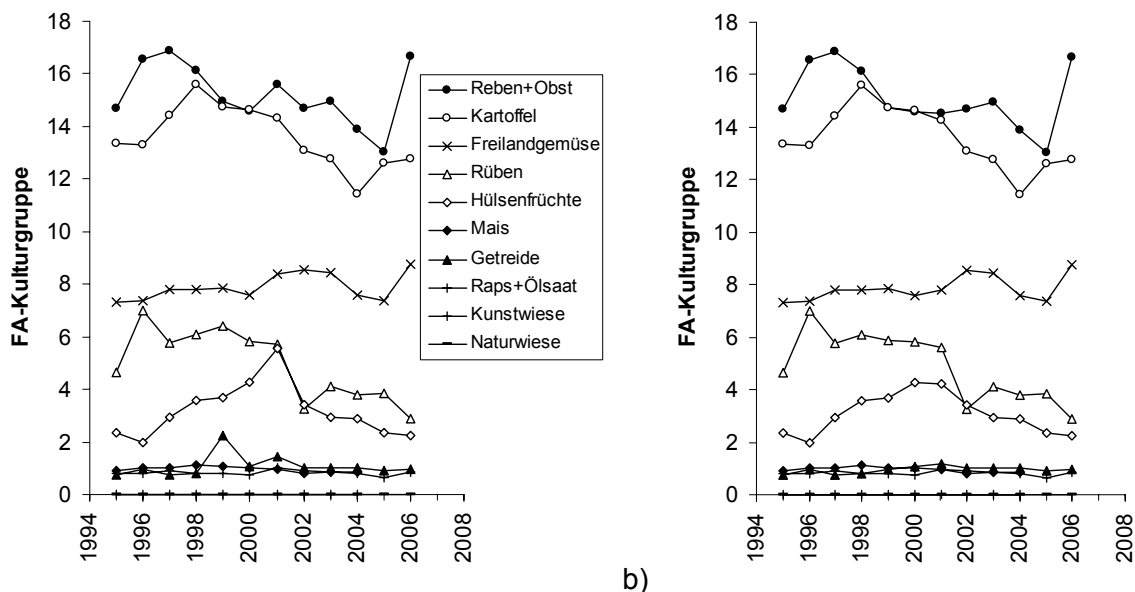


Abbildung 10: Verlauf des Indikators „frequency of application“ (FA) in definierten Kulturgruppen auf Basis der Daten der SGCI (1995-2006). a) mit allen PSM aus den Top20 PSM b) ohne Einzelneinnungen (Azoxystrobin und Trifloxystrobin)

Im Mittel über die gesamte dokumentierte Zeitperiode lassen sich Mittelwerte und jährliche Abweichungen des Indikators berechnen. Der Variationskoeffizient (Vk) gibt die Streuung von Jahr zu Jahr an und ist vergleichsweise gering für die Kulturgruppen mit hohem Pflanzenschutz-einsatz, während die anderen Kulturgruppen mit weniger Pflanzenschutz aufwand eine höhere Variabilität anzeigen (Tabelle 9). Möglicherweise werden in Obst- und Rebanlagen standardisierte Pflanzenschutzprogramme eingesetzt, die von Jahr zu Jahr nur wenig schwanken.

Tabelle 9: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Jahreswerte (1995-2006; n=12) des Indikators „frequency of application“ für einzelne Kulturgruppen aus dem SGCI Datensatz (Vk: Variationskoeffizient).

	FA	SD	Vk
Naturwiese	0.019	0.005	23%
Kunstwiese	0.017	0.005	28%
Getreide	0.947	0.127	13%
Mais	0.930	0.113	12%
Kartoffel	13.580	1.159	9%
Rüben	4.896	1.302	27%
Raps+Ölsaaten	0.822	0.077	9%
Hülsenfrüchte	3.074	0.764	25%
Freilandgemüse	7.849	0.488	6%
Reben+Obst	15.116	1.195	8%

5. Diskussion und Schlussfolgerungen für das terrestrische Pflanzenschutzmittelrisiko in der Schweiz

Gemäss den Aufzeichnungen der SGCI ist die Menge an PSM-Wirkstoffen, die in der Schweiz verkauft worden sind, von 1988 bis 2006 um 45 % zurückgegangen. Seit Beginn der Erfassung der Top20 in 1995 betrug der Rückgang der Gesamtmenge 26 %. Der Rückgang ist bedingt durch das Verbot einzelner Pflanzenschutzmittel, und durch die geringere Dosis neu zugelassener Wirkstoffe. Mit einer linearen Anpassung würde dies einer jährlichen Abnahme um 2.06 % entsprechen (Tabelle 10). Die Menge der Top20 nahm im gleichen Zeitraum um nur 0.84 % jährlich ab. Der Indikator frequency of application bezogen auf die offene Ackerfläche nahm seit 1995 um jährlich 0.87% ab. Das Risiko aus den Top20 PSM war also über die Zeitperiode proportional zur verkauften Menge.

Tabelle 10: Zeitlicher Trend (lineare Anpassung) des Pflanzenschutzmittelverkaufs zwischen 1995 und 2006 (n=12), der Menge der Top20 PSM und des Indikators „frequency of application“ berechnet für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche und die offene Ackerfläche der Schweiz auf Basis der SGCI Daten.

y=ax+b	Pflanzenschutzmittelverkauf [t Wirkstoff/Jahr]	Menge der Top20 [t Wirkstoff/Jahr]	FA_{top20}-LN	FA_{top20}-offene Ackerfläche
R ²	0.893	0.439	0.390	0.278
a	-36.788	-9.185	-0.010	-0.026
b	1788.944	1094.167	0.942	2.950
<i>Jährliche Abnahme (a / b)</i>	<i>-2.06%</i>	<i>-0.84%</i>	<i>-1.10%</i>	<i>-0.87%</i>

Für die einzelnen Kulturgruppen aus dem NABO Datensatz ergibt sich ein etwas anderes Bild. Bei Getreide ging im zeitlichen Verlauf die eingesetzte Wirkstoffmenge um 0.79 % jährlich zurück, während die Anzahl Wirkstoffe und der FA-Indikator leicht zunahm. Bei Kartoffeln war die eingesetzte Menge nahezu konstant im zeitlichen Verlauf, aber die Anzahl Wirkstoffe und der FA Indikator stiegen deutlich an (Tabelle 11). Diese Tabelle zeigt auch deutliche Unterschiede zwischen der Anzahl applizierter Wirkstoffe und dem Indikator „frequency of application“: Bei den Kulturgruppen Getreide, Obst, Reben, Raps und Ölsaaten war die Anzahl Wirkstoffe höher als die des frequency of application Indikators, was bedeutet, dass die tatsächliche Aufwandmenge geringer war als die Standarddosis. Bei Gemüse, Kartoffeln, Mais und Rüben hingegen wurde tatsächlich mehr als die Standarddosis eingesetzt.

Die Zunahme des Risikos bei sinkenden oder konstanten Verkaufszahlen deutet auf eine erhöhte Wirksamkeit der einzelnen Wirkstoffe hin. Da die Standarddosis eines Wirkstoffs ein entscheidender Faktor bei der Berechnung des FA-Indikators ist, kann durch die Veränderung dieses Wertes auch eine Trendwende bewirkt werden. Daher ist bei einer standardmässigen Verwendung des Indikators grosser Wert zu legen auf eine breit abgestützte Vertrauensbasis für diese Standarddosis, denn bei diesem Indikator ist die Dosis gleichbedeutend mit der Wirksamkeit (Toxizität) des Wirkstoffs. Andere Indikatoren würden für gewisse Nichtzielorganismen spezielle Toxizitätswerte benutzen, sofern vorhanden.

Tabelle 11: Zeitlicher Trend der applizierten Wirkstoffmengen, der Anzahl Wirkstoffe und des Indikators „frequency of application“ für einzelne Kulturgruppen aus dem NABO Datensatz (lineare Anpassung über die Zeit mit Bestimmtheitsmass R^2 , Steigung a und Ordinatenabschnitt b; a/b gibt die jährliche Veränderung im Vergleich zum Jahr 1996 an; 1996-2006; n=11).

Kulturgruppe	y=ax+b	Applizierte Wirkstoffmenge [g ha ⁻¹]	Anzahl Wirkstoffe	Frequency of Application
Getreide	R ²	0.025	0.126	0.016
	a	-15.009	0.102	0.021
	b	1901.666	4.345	3.930
	a / b	-0.79%	2.35%	0.54%
Mais	R ²	0.000	0.539	0.665
	a	-1.780	0.239	0.194
	b	2260.716	2.100	1.485
	a / b	-0.08%	11.40%	13.06%
Kartoffel	R ²	0.000	0.055	0.065
	a	3.148	0.377	0.525
	b	11154.696	8.591	9.890
	a / b	0.03%	4.39%	5.30%
Rüben	R ²	0.007	0.014	0.062
	a	-27.045	-0.159	0.093
	b	4425.827	12.203	4.075
	a / b	-0.61%	-1.30%	2.28%
Raps und Ölsaaten	R ²	0.197	0.033	0.010
	a	-234.374	0.134	-0.055
	b	4219.472	3.428	4.220
	a / b	-5.55%	3.90%	-1.30%
Gemüse	R ²	0.085	0.028	0.197
	a	312.566	0.146	0.334
	b	2240.661	4.239	2.389
	a / b	13.95%	3.44%	13.98%
Obst	R ²	0.459	0.501	0.437
	a	2749.222	2.164	1.613
	b	34007.964	6.412	12.340
	a / b	8.08%	33.74%	13.07%
Reben	R ²	0.388	0.767	0.436
	a	749.977	1.711	-0.971
	b	19906.692	15.161	35.007
	a / b	3.77%	11.28%	-2.77%

Da der FA-Indikator aus der erfassten Gesamtmenge eines Wirkstoffes und der Standarddosis für eine Kultur(gruppe) ermittelt wird, zeigt der Vergleich der tatsächlich applizierten Anzahl Wirkstoffe mit dem FA Indikator an, ob die Wirkstoffe eher über- oder eher unterdosiert werden. Für die verglichenen Daten zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung, auch wenn die Variabilität sehr hoch liegt. Lediglich bei der Kulturgruppe Zucker- und Futterrüben zeigt sich eine deutliche Unterdosierung, d.h. hier wird mit geringerer Dosis oder Dosis-Splitting gearbeitet (Tabelle 12 und Abbildung 11). Für den Fall, dass die applizierte Wirkstoffmenge zunimmt und

der FA Indikator eine abnehmende Tendenz zeigt, wie z.B. bei Reben, ist dies ein Indiz für eine zunehmende Verwendung von PSM mit hoher Aufwandmenge. Der umgekehrte Fall, die Wirkstoffmenge nimmt ab und der FA Indikator zu, ist ein Indiz für relativ häufiger eingesetzte niedrig dosierte PSM.

Tabelle 12: Menge und Anzahl der je Kulturgruppe eingesetzten Wirkstoffe, sowie der Indikator „frequency of application“ von den NABO-Flächen

Kulturgruppe	Wirkstoffmenge [kg ha ⁻¹]	Anzahl Wirkstoff-behandlungen	Frequency of Application
Naturwiese	0.08	1.32	0.16
Kunstwiese	0.05	0.45	0.13
Getreide	1.66	4.96	4.08
Mais	1.99	3.64	2.64
Kartoffel	8.77	11.00	12.22
Zucker- & Futterrüben	4.12	11.81	4.71
Raps & Ölsaaten	2.42	4.39	3.60
Hülsenfrüchte	2.02	4.33	2.66
Freilandgemüse	2.74	4.83	3.87
Obst	42.82	18.48	21.89
Reben	23.04	26.00	29.27

Beim Vergleich der drei unterschiedlichen Datensätze fällt auf, dass die Mengen und auch die ermittelten Risiken voneinander abhängen und dass bei allen verwendeten Datensätzen eine ähnliche Abfolge der Kulturen oder Kulturgruppen in Bezug auf das Risiko festzustellen ist. Dieser erste Vergleich von unabhängig erhobenen PSM-Datensätzen anhand von verkauften und applizierten PSM-Mengen und eines Risikoindikators zeigt die unterschiedliche Qualität und Gewichtung der Monitoringprogramme an.

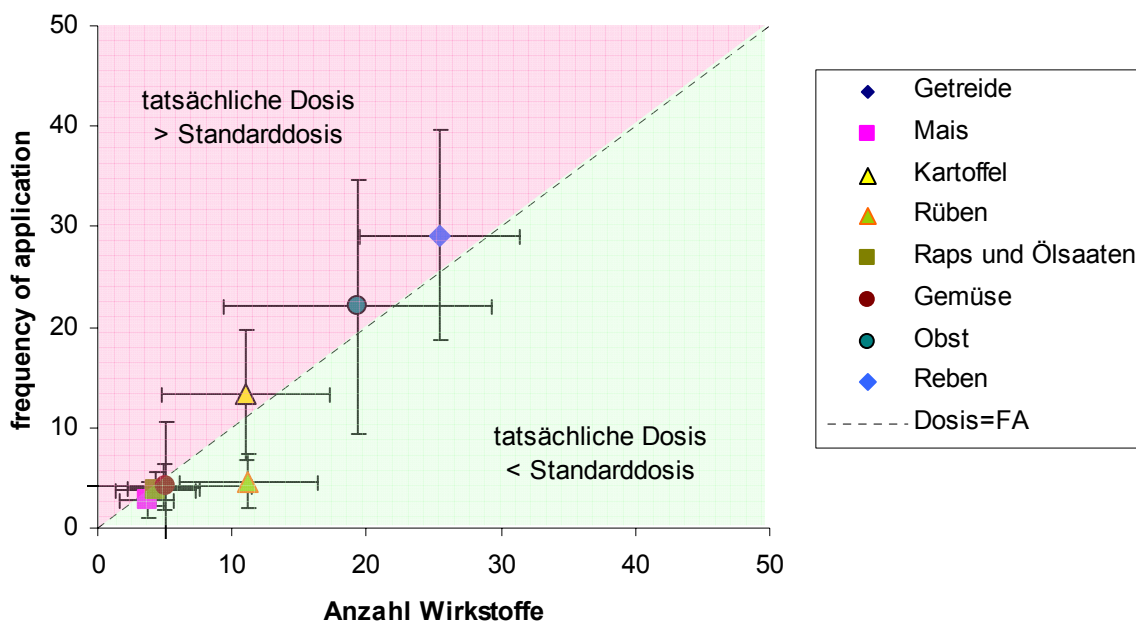


Abbildung 11: Vergleich der Anzahl Wirkstoffe und des Indikators „frequency of application“ auf Basis der NABO-Daten

Die Vollständigkeit der Erhebungen ist bei den verwendeten Daten kaum überprüfbar, ist aber ein entscheidendes Qualitätsmerkmal. Die Anwenderdaten sollten repräsentativ sein für die Topografie, die Klimazonen, die Anbausysteme, Kulturen (Kulturgruppen) und kontinuierlich über einen längeren Zeitraum und in gleicher Weise erfasst werden. Nicht zuletzt sollten Zonen und Kulturen mit einer erwarteten hohen Intensität beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Hinblick auf das daraus entstehende Risiko intensiver beobachtet werden. Der bislang beste Datensatz ist aufgrund seiner Kontinuität und seriösen Erfassung der von den NABO Standorten, die auch einen erheblichen Teil der Schweizer Landwirtschaft und Landschaft repräsentieren.

Ohne die korrekte und kontinuierliche Erhebung der Verkaufszahlen für Pflanzenschutzmittel sind Anwenderdaten schwer zu interpretieren, denn sie ergänzen sich beide in ihrer Aussagekraft und Interpretierbarkeit. Die hoheitliche und unabhängige Erfassung der jährlich verkauften, importierten und exportierten Pflanzenschutzmittel ist ein wichtiges Element zur Bewertung des Risikos von grossflächig eingesetzten Umweltchemikalien. Die detaillierte und kontinuierliche Erhebung der Mengen aller gehandelten Produkte für landwirtschaftliche Anwendung, aber auch für die ausserhalb der Landwirtschaft eingesetzten Umweltchemikalien ist wesentlich um den zeitlichen Verlauf zu dokumentieren und auch um den Erfolg von politischen Entscheidungen zu prüfen. Nationale Verkaufszahlen lassen sich – wie in diesem Bericht gezeigt – auf Kulturen oder Kulturgruppen herunterbrechen und erlauben so auch eine Identifizierung und Bewertung von risikoreichen Anbauformen.

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist für die Umwelt, den Anwender, die ländlichen Bewohner und die Konsumenten mit Risiken verbunden. Indikatoren für Pflanzenschutzmittlerisiken sind für alle diese Kompartimente, Organismen und Gruppen entwickelt worden. Die Indikatoren unterscheiden sich dabei sehr stark in der Komplexität ihrer Berechnung und in ihrer Interpretierbarkeit. Ein wichtiges Kriterium für die Wahl eines Indikators ist aber auch wie gut er akzeptiert und verstanden wird. Ein komplexer Indikator ist in seiner Berechnung kaum verständlich, da sehr viele Annahmen und Kenntnisse über die Toxizität, das Umweltverhalten und die betroffenen Organismen oder Umweltkompartimente zu berücksichtigen sind. Ein einfacher Indikator mag zwar gewisse Risiken nicht darstellen, hat aber den grossen Vorteil, dass er verstanden werden und daher auch im politischen Prozess von höherer Wichtigkeit sein kann. Bis zur Entwicklung von international harmonisierten Vorgehensweisen (wie z.B. die GIS basierte Berechnung von Pflanzenschutzmittelrisikoindikatoren auf Basis der im EU-Projekt HAIR vorgeschlagenen Algorithmen in einem allgemein verständlichen Softwarepaket) bei der Berechnung von Risikoindikatoren für Pflanzenschutzmittel ist daher die Wahl eines einfachen Indikators, der aber integrierende Eigenschaften besitzt, wie der Indikator „frequency of application“ eine gute Wahl. Der beste Indikator ist aber untauglich, wenn die Datengrundlage fehlerhaft, nicht repräsentativ, oder lückenhaft ist. Hier sollte also das Augenmerk liegen um die Risiken des PSM-Einsatzes bewerten zu können.

6. Übersicht über die Anwendung von terrestrischen Risikoindikatoren in Europa

6.1 Deutschland

In Deutschland werden Pflanzenschutz-Risikoindikatoren im Rahmen des nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln erhoben (BMELV, 2008). Statistische Daten über die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln werden im sogenannten «NEPTUN»-Netzwerk erhoben (NEPTUN: Netzwerk zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in unterschiedlichen, landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands). Dabei handelt es sich um eine repräsentative Anzahl Betriebe für die verschiedenen Kulturgruppen in allen relevanten Regionen Deutschlands (vergleichbar mit NABO in der Schweiz).

Aus diesen Daten wird der Behandlungsindex berechnet, der als Mass für die Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln dient. Zur Risikobeschreibung werden mit Hilfe des Computermodells «SYNOPS» (Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel) Risikoindikatoren berechnet. Die Verantwortung für alle beschriebenen Aktivitäten liegt beim Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. Bis auf weiteres wird alle drei Jahre ein Bericht verfasst.

In Zukunft ist vorgesehen, den Fortschritt des nationalen Aktionsplans mit Hilfe des systemübergreifenden «Deutschen Pflanzenschutzindex» (DIX) darzustellen. In diesen sollen der Behandlungsindex, die Risikoindikatoren, die Ergebnisse von Rückstandsanalysen in Lebens- und Futtermitteln sowie die Ergebnisse von Monitoringstudien einfließen. Dabei handelt es sich um eine Gesamtschau aller relevanten Teilaspekte. Obwohl der Begriff «Index» verwendet wird ist nicht vorgesehen, diese Aspekte mit einer einzigen Masszahl auszudrücken.

Im Rahmen des EU-Netzwerks Endure (<http://www.endure-network.eu/>) werden derzeit Risikoindikatoren in ausgewählten Regionen angewendet um z.B. die Pflanzenschutzmassnahmen in einzelnen Kulturen zu überprüfen. Der Vergleich zweier Feldversuche in Dänemark und Deutschland hat für die Pflanzenschutzmittelapplikationen in zwei Ackerfruchtfolgen nur geringe Risiken gezeigt (Deike et al., 2008). In der Bodenseeregion werden aktuell die Pflanzenschutzmittelrisiken in der Apfelproduktion evaluiert (Strassemeyer pers. Mitteilung).

6.2 Belgien

Belgien hat entschieden die Erkenntnisse zu Risikoindikatoren aus seinem „federal Programme for Reduction of Pesticides and Biocides (PRPB)“ zu quantifizieren. Dieses Projekt ist in der Entwicklung für pestizide und biozide Wirkstoffe.

Diese Evaluation ist bereits fortgeschritten für Pflanzenschutzmittel, deren Risiken anhand des Indikators PRIBEL berechnet werden (siehe www.prpb.be; fonctionnement du PRPB\indicateur de risque) (Steurbaut, 2006; van Bol et al., 2008). Mit diesem Indikator wird das Risiko für Belgien im Vergleich zur Referenzperiode 2001 errechnet. PRIBEL wird derzeit verbessert mit einem Modul, das auch die Unsicherheit der erhaltenen Indikatoren ermitteln kann. Nichtsdestotrotz sind noch viele wichtige Schritte zu gehen, bis zufriedenstellende Indikatoren zur Verfügung stehen: Die Prozedur zur Aggregation der Daten ist noch sehr wenig

ausgearbeitet (die ermittelten Risiken werden über Zeit und Raum summiert) und einige Module der Risikoabschätzung sind zu stark vereinfacht.

Vincent van Bol (pers. Mitteilung) hält ein weiteres Problem für sehr wichtig – nämlich, dass Risikoindikatoren nicht genügen um ein klares Bild der regionalen oder nationalen Pflanzenschutzmittelproblematik zu erhalten. Nur für den Fall, dass alle Risikoindikatoren vorliegen (was unwahrscheinlich ist) wird nur der Teil des Problems erkennbar, der wissenschaftlich untermauert ist. Das Pflanzenschutzmittelproblem bleibt, mit einem signifikanten Anteil, ein unbekanntes Risiko, wegen der zahlreichen Interaktionen zwischen Wirkstoffen, Gesundheitsaspekten und der Umwelt.

Als persönliche Position hält er die Anwendung verschiedener Indizes für notwendig (Risikoindikatoren, Häufigkeitsindizes, Verkaufszahlen, Nutzungsdaten, Monitoring), aber auch eine Abschätzung der Wichtigkeit unbekannter Risiken, die mit der Verwendung grosser Mengen von Pflanzenschutzmitteln und Bioziden in Kauf genommen werden. *Per definitionem* ist ein unbekanntes Risiko nicht kalkulierbar, aber gewisse Hinweise lassen sich möglicherweise nutzen.

6.3 Norwegen

In Norwegen wurde der dort entwickelte Risikoindikator im Jahr 2004 leicht verändert und ist seitdem unverändert in Anwendung (Spikkerud et al., 2004). Dieser nationale Risikoindikator wird jährlich anhand der vorliegenden Verkaufsstatistik berechnet, um die Trends im Verlauf des Risikos zu verfolgen als Teil des nationalen Aktionsplans zur Risikoreduzierung. Die zugrunde liegenden Berechnungen entsprechen denen für das differenzierte Norwegische Besteuerungssystem, was die Akzeptanz verbessert, da man an dieses System gewöhnt ist. Der neue Aktionsplan sieht für die Periode 2010-2014 eine Evaluation des Besteuerungssystems vor, wobei die laufenden Arbeiten der OECD und der EU berücksichtigt werden sollen.

6.4 Frankreich (Ecophyto 2018)

Bis zum Jahr 2018 hat sich Frankreich nach einem Erlass des Präsidenten zum Ziel gesetzt, die Pflanzenschutztaufwendungen „wenn möglich“ um 50% zu reduzieren und die gefährlichsten Pflanzenschutzmittel vom Markt zu nehmen. Neben dem Monitoring der verkauften Menge an Pflanzenschutzmitteln soll die Anzahl der verwendeten Dosen errechnet werden. Die im jüngst (Okt 2009) entwickelten Aktionsplan „Ecophyto 2018“ genannten Ziele sollen aber auch anhand des Indikators „frequency of application“ oder „indice de fréquence de traitement (IFT)“ sowohl auf Betriebs- wie auch auf Landesebene überwacht werden (<http://agriculture.gouv.fr/>). Die Reduktion der Pflanzenschutztaufwendungen erfolgt aber zunächst auf freiwilliger Basis.

6.5 OECD

Die Harmonisierung der auf nationaler Ebene entwickelten und verwendeten Pflanzenschutzmittelrisikoindikatoren ist ein Ziel internationaler Bemühungen. Die Risikoindikatoren für terrestrische Systeme wurden in einem ersten OECD Projekt verglichen und bewertet (OECD, 2004). Beim ersten TERI Projektmeeting in Frick, Schweiz im May 2002, wurden vier Indikatoren ausgewählt zur weiteren Evaluation. Diese Evaluation sollte auf den folgenden

Kriterien beruhen: Die Berechnung des Indikators sollte (1) durchführbar sein, sollte (2) die Toxizität der Pflanzenschutzmittel sowie deren Exposition und die behandelte Fläche berücksichtigen, sollte (3) aussagekräftige Informationen liefern, (4) verbunden sein im Zusammenhang mit der Pflanzenschutzmittelregistrierung, (5) auf dem korrekten Niveau aggregierbar sein und (6) zeitliche Trends darstellen, sollte (7) kommunizierbar und (8) ökologisch relevant sein und (9) geeignet als politisches Instrument, das (10) gerade in Verwendung ist. Bei der Bewertung der vier ausgewählten Indikatoren (frequency of application, Danish Index of Load, Dutch TERI Indikator, Norwegian TERI Indikator) wurden die Risiken aus Verkaufs- und Anwendungsdaten berechnet. Der frequency of application Indikator wurde als derjenige, der am einfachsten zu berechnen und zu kommunizieren ist herausgestellt. In Ländern mit einer grossen Vielzahl von Kulturen kann jedoch die Identifizierung einer Standarddosis für jede Wirkstoff-Kultur-Kombination problematisch sein. Der Dänische Load Index und der Dutch TERI Indikator wurden als recht ähnlich bewertet, denn sie berücksichtigen beide die Toxizität der Pflanzenschutzmittel gegenüber Nicht-Ziel-Organismen (Regenwürmer, Vögel, Bienen) und lassen einen zeitlichen Trend des terrestrischen Risikos erkennen. Der Norwegische TERI Indikator unterscheidet sich von den anderen dadurch, dass er auf einem Klassifikationsschema aufgebaut ist und Persistenz und Bioakkumulation berücksichtigt, die in einem Index kombiniert werden. Dieser Indikator ist kompliziert und nicht leicht interpretierbar.

Das aus dem OECD-TERI Projekt entstandene EU-Projekt HAIR sollte einen harmonisierten Indikator für Europa entwickeln. Die Algorithmen und Formeln für Indikatoren wurden vorgeschlagen und auch für gut befunden. Die Anwendungssoftware, mit der die Berechnung aller Indikatoren auf wählbarer geografischer Auflösung, und für verschiedene Risikobereiche ermöglicht werden sollte, ist noch nicht verfügbar und ist wahrscheinlich zu komplex, um je angewendet zu werden. Die Risikoindikatoren Gruppe der „Risk Reduction Steering Group“ der OECD hat daher erneut den Auftrag die Harmonisierung der verschiedenen gebräuchlichen Risikoindikatoren voranzutreiben. Auf Europäischer und internationaler Ebene soll zumindest ein Indikator berechnet werden, der einen internationalen Vergleich der Pflanzenschutzmittelrisiken erlaubt.

7. Literatur

- BLW (2006): Agrarbericht 2006 des Bundesamtes für Landwirtschaft, pp 304. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- BMELV (2008): *Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). 32 p.
- Damgaard, C., Fließbach, A., Axelsen, J., Thomsen, M., Gyldenkerne, S., Sørensen, P.B. (2007): Verification of Indicators. In: Final Report of the EU-Project: Harmonised Environmental Indicators for Pesticide Risk (SSPE-CT-2003-501997), pp 74, Brussels.
- Deike, S., Pallutt, B., Melander, B., Strassemeyer, J., Christen, O. (2008): Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case-study of two long-term field experiments in Germany and Denmark. *European Journal of Agronomy* **29**, 191-199.
- EC (2008): A common methodology for the collection of pesticide usage statistics within agriculture and horticulture. Eurostat (ed.), pp 66. Office for official publications of the European Communities.
- Flari, V., Crocker, J., Hart, A., Ashauer, R., Brown, C., Fließbach, A. (2004): Inventory of existing pesticide risk indicators that include terrestrial risk indices.
- Goodlass, G., Halberg, N., Verschuur, G., Hanegraaf, M.C. (2001): Study on Input/Output Accounting Systems on EU Agricultural Holdings. Centre for Agriculture and Environment.
- Halberg, N., Verschuur, G., Goodlass, G. (2004): Farm level environmental indicators; are they useful? An overview of green accounting systems for European farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

- Keller, A., Rossier, N., Desaulles, A. (2005): Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftsparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung. *Anhang Schriftenreihe der FAL* **54**, 57-93.
- OECD (2004): Summary report of the OECD project on pesticide terrestrial risk indicators (TERI), pp 25. OECD, Paris.
- Poiger, T., Buser, H.R., Müller, M.D. (2005): Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. Synthesebericht. Bereich Pflanzenschutzmittel. Wädenswil, A.F. (ed.), pp 71. Agroscope FAW Wädenswil, Wädenswil.
- Spikkerud, E., Haraldsen, T., Abdellause, A., Holmen, M.T. (2004): Pesticide risk indicators for human health and the environment, pp 12. Norwegian Food Safety Authority. National Centre of Plants and Vegetable Foods.
- Sturbaut, W. (2006): Belgian Pesticide Risk and Use Indicators Methodology - Compendium PRIBEL, pp 160.
- van Bol, V., Debongnie, P., Pussemier, L., Maraite, H., Sturbaut, W. (2002): Study and Analysis of Existing Pesticide Risk Indicators. Veterinary and Agrochemical Research Center (VAR), Tervuren.
- van Bol, V., Ruelle, P., Fontier, H. (2008): Environmental risks due to pesticide use at a national scale: indicators calculation on the Belgian pesticide sales database. In: ENDURE International Conference 2008 Diversifying crop protection, La Grande-Motte, France.
- Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), pp 47, Paris.

Danksagung

Wir danken allen Personen und Institutionen herzlich, welche zum Gelingen und zur Verbesserung dieser Untersuchung beigetragen haben und frühere Versionen dieses Berichts kritisch gelesen haben. Die Verkaufsmengen-Statistik der Pflanzenschutzmittel wurde vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) zur Verfügung gestellt. Die Angaben aus der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) erhielten wir von Armin Keller, Agroscope ART Reckenholz. Die Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie hat ihre jährlichen Erhebungen zur Verfügung gestellt. Die Daten der Pflanzenschutzmittelaufwendungen in den drei Schweizer Seengebieten (Projekt: Evaluation der Ökomassnahmen) wurden uns bereits für ein früheres Projekt in Form einer Access-Datenbank (PTP) von Lukas Keller und Michael Wagner (Agridea) bereitgestellt. Lukas Keller hat zudem die Plausibilität der Verteilung der Wirkstoffe auf Kulturgruppen beurteilt. Volkmar Gutsche, Jörn Strassemeyer, Vincent van Bol und Erlend Spikkerud haben uns Übersichten über die Anwendung von Risikoindikatoren in ihren Ländern zugesandt. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat diese Studie finanziert.

8. Übersicht über bestehende terrestrische Risikoindikatoren

8.1 Indikator «Frequency of Application» (FA) (Dänemark)

Der Indikator «Frequency of Application» (FA) wurde in Dänemark entwickelt, um den Erfolg der politisch vorgeschlagenen Anreize zur Pflanzenschutzmittelreduktion im Getreideanbau zu überwachen. Im Gegensatz zu den meisten anderen Risikoindikatoren für Pflanzenschutzmittelanwendung beinhaltet der Algorithmus keine Toxizität für einzelne Wirkstoffe. Der Indikator integriert aber die Informationen über Pflanzenschutzmittelanwendung und Wirksamkeit auf Zielorganismen über die sogenannte Standarddosis, die als biologisch aktive Applikationsdosis angesehen wird und soll auch die indirekte Wirkung auf Ökosysteme beinhalten. Die Standarddosis ist die Grösse, über die sich bei einer Reduktion der Aufwandmenge eines Pflanzenschutzmittels oder Teilflächenbehandlung die Anzahl der Flächenbehandlungen verringern würde.

Berechnung des Indikators:

$$FA = \sum_{\text{all active ingredients}} \left(\frac{SA_{\text{active ingredient}} \text{ (kg)}}{SD_{\text{crop type}} \text{ (kg / ha)}} \right) \frac{1}{AGRA_{\text{year}} \text{ (ha)}}$$

$SA_{\text{active ingredient}}$	Jährlich verkaufte Menge eines spezifischen Wirkstoffs (Sold Amount)
$SD_{\text{crop type}}$	Standarddosis eines spezifischen Wirkstoffs in einer Kultur
$AGRA_{\text{year}}$	Fläche unter einer Kultur oder Kulturgruppe

Dieser Indikator errechnet sich also mit relativ wenigen Daten. Er lässt sich mit nationalen Verkaufszahlen wie auch mit Anwenderdaten berechnen. Die Standarddosis ist das variable Element über die sich das Risiko stark steuern lässt.

Literatur

Mohlenberg, F., Elmegaard, N., Gravesen, L. (2002): Pesticide Terrestrial Risk Indicators: an examination of terrestrial indicators developed in Norway, Holland and Denmark on Danish sales data from 1992 - 2001.

Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), Paris.

8.2 Pesticide Occupational Environmental Risk (POCER; Belgien)

Der POCER Indikator ist entwickelt worden, um Informationen für die zukünftige Reduktion der PSM-Anwendung in wichtigen Kulturen zu liefern. POCER beruht auf Annex VI (Uniform Principles) der Europäischen Richtlinie 91/414/EEC, und besteht aus 10 Modulen, die das Berufsrisiko widerspiegeln (ohne Berücksichtigung der Nahrungsaufnahme) (Vercruyse und Steurbaut, 2002).

Anwendungsrisiko für Menschen	Umweltrisiko
Pflanzenschutzarbeiter	Persistenz im Boden
Landarbeiter	Grundwasserkontamination
Unbeteiligte Passanten («bystanders»)	Akutes Risiko für aquatische Organismen
	Akutes Risiko für Vögel
	Akutes Risiko für Bienen
	Akutes Risiko für Regenwürmer
	Akutes Risiko für Arthropoden

Risiko für Vögel

$$RI_{\text{birds}} = \frac{(PEC_{\text{bird}} \times 10)}{(LD_{50} \times BW)}$$

Behandelte Kulturen $PEC_{\text{bird}} = 31 \times AR \times BW \times 0.3$ [mg d⁻¹]

Behandeltes Saatgut $PEC_{\text{bird}} = AR \times BW \times 0.3$ [mg d⁻¹]

Granulatapplikation $PEC_{\text{bird}} = 20 \times GW \times A$ [mg d⁻¹]

LD50: akute lethale Dosis für 50% der Population

AR: Applikationsrate [kg ha⁻¹]

BW: Körpergewicht [Vorgabe 0.01kg]

31: Tage je Monat

0.3: Kleine Vögel essen 30% ihres Körpergewichts

GW: Gewicht eines Granulat Partikels [Vorgabe 2mg]

20: Vögel nehmen 20 Partikel täglich auf

A: Wirkstoffanteil im Granulat

10: Kriterium für einheitliche Prinzipien (Dir 91/414/EC Annex IV)

Der RI_{birds} ist = 0

- bei Pflanzenschutzmittelapplikation in Gewächshäusern
- beim Eintauchen von Pflanzen in pflanzenschutzmittelhaltige Lösungen
- beim Giessen mit pflanzenschutzmittelhaltigen Lösungen

Risiko für Regenwürmer

$$RI_{\text{earthworms}} = \frac{(PEC_{\text{initial}} \times 10)}{LC_{50}}$$

$$PEC_{\text{initial}} = \frac{(100 \times AR \times f)}{(d * \rho)}$$

LC50:	Akute LC50 für Regenwürmer [mg kg ⁻¹ Boden]	
AR:	Applikationsrate [kg ha ⁻¹]	
10:	Kriterium für einheitliche Prinzipien (Dir 91/414/EC Annex IV)	
f:	Anteil der den Boden erreicht = 1-Interzeption Nur für Spritzapplikationen, ansonsten wird angenommen, dass die ganze Dosis den Boden erreicht. Interzeptionsfaktoren bei Vercruyse und Steurbaut (2002)	
d:	Bodenschicht [m]	Vorgabe: 0.05
ρ	Bodendichte [kg m ⁻³]	Vorgabe: 1400

Risiko für Bienen

$$RI_{\text{bees}} = \frac{AR}{(LD_{50} \times 50)}$$

LD50:	das Minimum von LD50oral und LD50contact [µg Biene ⁻¹]	
AR:	Applikationsrate [kg ha ⁻¹]	
50:	Kriterium für einheitliche Prinzipien (Dir 91/414/EC Annex IV)	

Risiko für Nützlinge (nützliche Arthropoden)

Nur für Sprühapplikation. Für alle anderen Applikationstechniken wird angenommen, dass kein Risiko für nützliche Arthropoden besteht.

$$RI_{\text{beneficial arthropods}} = \frac{(RC - 25)}{(100 - 25)}$$

RC:	Arithmetischer Mittelwert der Klasse nützlicher Arthropoden mit der höchsten Mortalität = reduction of control capacity [%]	
-----	---	--

Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf nützliche Arthropoden werden abgeschätzt auf Basis der Berechnungen in der Biobest Datenbank (1999). Pflanzenschutzmittel werden dort in 4 Klassen aufgeteilt:

Class 1	mortality	<25%	
Class 2	mortality	>25%	<50%
Class 3	mortality	>50%	<75%
Class 4	mortality	>75%	<100%

Berechnung des endgültigen Pflanzenschutzmittelrisikoindicators (als SCORE)

Für jeden der 10 einzelnen Risikoindikatoren (7 für die Umwelt und 3 für menschliche Gesundheit) werden die folgenden Daten ermittelt

Unterer Grenzwert (LL) (Vorgabe = 1 ausser $RI_{\text{beneficial arthropods}} = 0$)
 Oberer Grenzwert (UL) (Vorgabe = 100 ausser $RI_{\text{beneficial arthropods}} = 1$ und $RI_{\text{groundwater}} = 10000$)
 RI^+ , LL^+ , UL^+ werden durch Division von RI , LL und UL durch UL berechnet (z.B. $RI^+ = RI/UL$)

RI⁺, LL⁺ and UL⁺ werden wie folgt transformiert:

$$RI^+_{\text{transformed}} = \log\left(1 + \frac{1}{RI^+}\right)$$

Ein Überschreitungsfaktor (EF) wird für jeden Index wie folgt berechnet:

$$EF \text{ RI}^+ = \left(\frac{RI^+_{\text{transformed}} - LL^+_{\text{transformed}}}{UL^+_{\text{transformed}} - LL^+_{\text{transformed}}} \right)$$

Der Endwert jedes Risikoindicators variiert zwischen 0 (geringes Risiko) und 1 (hohes Risiko). Das **Gesamtrisiko**, welches von einem Pflanzenschutzmittel ausgeht, ist die Summe aller 10 Risikoindikatoren und kann zwischen 0 (geringes Risiko) und 10 (hohes Risiko) variieren.

Literatur

Biobest (1999) <http://207.5.17.151/biobest/en/neven/default.asp>

Vercruyse, F., Steurbaut, W. (2002): POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator. *Crop Protection* **21**, 307-315.

8.3 Pesticide Environmental Assessment System (PEAS; Canada)

Der PEAS «Avian Risk» (AR) Index ist einzigartig, da er bereits mit tatsächlichen Feldmessungen validiert worden ist.

Berechnungen

ARindex	(Anzahl von „bird kill acres“) * („avian use pattern adjustment factor“) * (Skalierungsfaktor)
Anzahl von „bird kill acres“	(Mortalitätswahrscheinlichkeit 0-100%) * Anzahl behandelter acres * Anzahl wiederholter Applikationen

Mortalitätswahrscheinlichkeit:

$$P = \frac{e^{a+b(TP)+c(DTI)+d(HLC)+e(HF)}}{1 + e^{a+b(TP)+c(DTI)+d(HLC)+e(HF)}}$$

TP: Toxisches Potential einer Pflanzenschutzmittelapplikation:

$$TP = \frac{\left(\frac{\log \text{HD}_5 \text{ equivalents}}{\text{kg of avian body weight}} \right)}{\text{m}^2 \text{ of treated area}}$$

HD₅: Gefährliche Dosis für die letzten 5% der Speziesverteilung. HD₅ ist die Menge eines Pflanzenschutzmittels [mg kg⁻¹ Vogelkörpergewicht], welche 50% Mortalität bei einer Spezies bewirkt, die empfindlicher als 95% aller Vogelspezies ist – berechnet mit einer 50%igen Wahrscheinlichkeit der Über- oder Unterschätzung. Die Datengrundlage, mit der HD₅ berechnet wird, kann unterschiedlich sein in Bezug auf Spezies und Toxizitätswerte.

DTI: Dermal Toxicity Index:

$$DTI = \log \left(\frac{\text{oral LD}_{50}}{\text{dermal LD}_{50} \times 1000} \right)$$

HLC: Henry's Law Constants: Variable zur Abschätzung der Inhalationsgefahr. HLCs sind nicht mit HD₅ oder DTI korreliert.

HF: Hazard Factor:

$$HF = \frac{\text{median repellency of a pesticide to redwinged blackbird}}{\text{LD}_{50} \text{ of redwinged blackbird}}$$

Variable zur Abschätzung des Potentials für die aktive Vermeidung von Pflanzenschutzmittelrückständen. Je höher der HF, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel eine tödliche Dosis aufnimmt. HF waren mit HLCs korreliert, aber nicht mit HD₅ oder DTI.

Avian Exposure Adjustment Factors:

Tabelle: Anpassungsfaktoren für die Abschätzung der Gefahr für Vögel, mit Pflanzenschutzmitteln in Kontakt zu kommen (PEAS AR).

Pre-Plant or Pre-Emergence application			
Soil Application			Seed Treatment
Liquid product	Granular product	Unspecified product	
0.5 (surface)	Silica granules: 2	0.5	Sommerweizen: 2
0.1 (subsurface)	Corn cob (organic) granules: 1		Hafer: 2
	Clay and others: 0.35		Sommergerste 1
			Wintegetreide, Erbsen: 0.4
			Raps, Senf, Luzerne: 0.2
			Soja, Ackerbohne, Zuckerrübe, Gras, Kartoffeln: 0.1
Post-Emergence application			
Ground Foliar Application	Soil Application Liquid	Aerial Application	
1	0.5 (surface) 0.1 (subsurface)	2.6	

Bemerkung: Das Risiko für Vogelmortalität durch irgendeinen Wirkstoff ist vernachlässigbar, wenn $HD_5 > 100$.

Literatur

Benbrook, C., Benbrook, K.L., Mineau, P. (2007): Pesticide Environmental Assessment System” (PEAS): A Tool for Tracking and Managing the Impacts of IPM System Design and Pesticide Use, pp 24. http://www.ipminstitute.org/pmoet/downloads/PEAS_Development_Plan.pdf

Mineau, P. (2002): Estimating the probability of bird mortality from pesticide sprays on the basis of the field study record. *Environmental Toxicology and Chemistry* **21**, 1497-1506.

Mineau, P. (2004): New tools for tracking and managing pesticide risks: the “Pesticide Environmental Assessment System (PEAS)”. Personal communication

8.4 Load of Index (DLI; Dänemark)

Der DLI ergänzt den FA Indikator zur Abklärung, ob sich Abweichungen bei der toxischen Dosis durch Veränderungen der Verkaufszahlen oder durch unterschiedliche Toxizität der verwendeten Pflanzenschutzmittel erklären lassen.

Berechnung:

$$DLI = \sum_{\text{all active ingredients}} \frac{SA_{\text{active ingredient}} [\text{kg}]}{Tox^1 \times AGRA_{\text{year}} [\text{ha}]}$$

¹ Hier können verschiedene Ökotox-Werte eingesetzt werden (z.B. Fisch, Algen, Vögel etc.) aber nur der tiefste Toxizitätswert aus den verfügbaren Daten (d.h. der empfindlichste Organismus) wird in Formel eingesetzt zur Berechnung des endgültigen Risikos (Mohlenberg et al., 2002).

Beispiele:

$$Tox_{DLI \text{ earthworms}} = \frac{SD_{\text{crop type}}}{LC_{50 \text{ earthworms}}}$$

$$Tox_{DLI \text{ birds}} = \frac{SD_{\text{crop type}}}{LC_{50 \text{ oral}}}$$

$SA_{\text{active ingredient}}$	Quantity of each active ingredient sold per year
$AGRA_{\text{year}}$	Area of arable land
$SD_{\text{crop type}}$	Standard dose of each active ingredient in each crop/crop type

Literatur

Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), pp 47, Paris.

Mohlenberg, F., Elmegaard, N., Gravesen, L. (2002): Pesticide Terrestrial Risk Indicators: an examination of terrestrial indicators developed in Norway, Holland and Denmark on Danish sales data from 1992 - 2001.

OECD (2004): Summary report of the OECD project on pesticide terrestrial risk indicators (TERI), pp 25. OECD, Paris.

8.5 ESCORT_2

Workshop on European Standard Characteristics of non-target arthropod regulatory testing (ESCORT_2)

Das Ziel des ESCORT_2 workshops der EU war eine Anleitung und weitere Grundlagen für die Risikoeinschätzung von Nicht-Ziel Arthropoden bereitzustellen. Der Algorithmus beinhaltet auch eine vereinfachte Strategie für Tests für ein abgestuftes Vorgehen (higher tiers) und Schwellenwerte für Messungen im Feld (In field) wie auch ausserhalb (off field).

Berechnungen

1. Stufe (tier I) risk assessment (Hazard Quotient approach)

1.1 In field:

$$HQ_{\text{in field}} = \frac{\text{application rate} \times \text{MAF}}{LR_{50}}$$

Application rate: Applikationsrate (g ha⁻¹ or ml ha⁻¹). Die Einheiten sollten mit denen für die Berechnung des LR₅₀ vergleichbar sein.

LR₅₀: Dosis für 50% Mortalität

MAF: Mehrfacher Applikations-Faktor. Verhältnis der maximalen Anzahl empfohlener Applikationen und der ersten einfachen Applikation eines Wirkstoffs

Das Produkt von einfacher Applikationsrate und MAF erlaubt die Bestimmung der maximalen Rückstandsmenge im Produkt nach mehrfachen Applikationen. MAF leitet sich ab aus dem Verhältnis der Halbwertzeit und dem Spritz-Intervall zusammen mit der Anzahl Behandlungen

1.2 Off-field

$$HQ_{\text{off field}} = \frac{\text{application rate} \times \text{MAF} \times \frac{\text{drift factor}}{\text{vegetation distribution factor}}}{LR_{50}} \times \text{correction factor}$$

drift factor: = % drift/100: Normalerweise wird das 90igste Perzentil der Driftmessungen zur Abschätzung der Drift Deposition ausserhalb des Feldes benutzt (% drift). Für die Abschätzung der PECoff-field wird empfohlen Vorgabewerte zu verwenden: Abstand vom Feldrand 1m (Ackerkulturen) und 3m (Obst- und Rebanlagen). Die durchschnittlichen 90igsten Perzentile für Driftwerte sind im Appendix VI des workshop-Berichts enthalten.

Vegetation distribution factor: Um die Überschätzung des Driftwertes durch das 90igste Perzentil zu korrigieren wird der Faktor 10 als angemessen erachtet ohne den worst case für off-site Depositionen abzu-schwächen

Correction factor: Ein Sicherheitsfaktor von 10 wird zur Korrektur der Unsicherheit der Extrapolation der Daten aus der ersten Stufe (first tier) zu *Aphidius rhopalosiphi* und *Typhlodromus pyri* für alle off-site Arthropoden eingeführt.

2. Stufe (tier II) Risk Assessment

Der Schwellenwert für HQ von *A. rhopalosiphi* and *T. pyri* ist ≥ 2 **und** keine geeigneten oder erwünschten Risikominderungsmaßnahmen wurden angewendet. Lethale (Mortalität) und sublethale (Eiablage, Parasitierung) Effekte werden erfasst. Daraus ergeben sich alternativ die folgenden Schritte:

- a) Das Spritzmuster wird unter Feldbedingungen simuliert und die Auswirkungen werden nach der letzten Spritzung geprüft.
- b) Eine einfache Dosis, die die Akkumulation der Rückstände bei Mehrfachbehandlung berücksichtigt, wird direkt ausgebracht. Die folgende Formel sollte verwendet werden um die zu testenden Applikationsraten zu ermitteln:

$$\text{field rate} = \text{application rate} \times \text{MAF}$$

$$\text{drift rate} = \text{application rate} \times \text{MAF} \times \frac{\text{drift factor}}{\text{vegetation distribution factor}} \times \text{correction factor}$$

Application rate:	Für Raumkulturen, z.B. Obst- oder Rebanlagen wird ein Korrekturfaktor von 5 vorgeschlagen (aus ESCORT I, berücksichtigt dann sowohl Boden bewohnende Arthropoden als auch solche, die auf der Pflanze leben)
Correction factor:	Ein Sicherheitsfaktor von 5 wird eingeführt um die Variabilität der Sensitivität verschiedener Spezies gegenüber Pflanzenschutzmitteln zu berücksichtigen. Dieser Faktor kann reduziert werden, wenn zusätzliche Spezies getestet werden

In weiteren Tests können die folgenden Arthropodenarten im Rahmen höherstufiger Untersuchungen (higher tiers) geprüft werden:

- *Orius laevigatus*
- *Chrysoperla carnea*
- *Coccinella septempunctata*
- *Aleochara bilineata*

Alle vier Spezies werden regelmässig im Rahmen der Zulassungsprüfungen getestet – diese Daten sollten also vorhanden sein. Eine Sensitivitätsanalyse dieser Testorganismen und Testsysteme für höherstufige Studien ist bislang nicht möglich. Diese Spezies scheinen trotzdem recht sensitiv gegenüber PSM zu sein (belegt durch Risiko-Abschätzungen, die im Rahmen der erneuten Registrierung von PSM gemäss EU Richtlinie 91/414 (http://europa.eu/legislation_summaries/food_safety/plant_health_checks/l13002a_de.htm) durchgeführt wurden). Als Unterstützung für die Auswahl von Spezies in Feldversuchen empfiehlt sich Candolfi et al. (2000).

Literatur

Candolfi, M.P. et al. (2000): Guidance document on regulatory testing and risk assessment procedures for plant protection products with non-target arthropods. In: SETAC Europe; ESCORT 2 Workshop (European Standard Characteristics of Non-Target Arthropod Regulatory Testing) : a joint BART, EPPO/CoE, OECD, and IOBC workshop organised in conjunction with Europe and EC, Wageningen International Conference Center, 21-23 March 2000, 2000. Candolfi, M. (ed.).

Candolfi, M.P., Bigler, F., Campbell, P., Heimbach, U., Schmuck, R., Angeli, G., Bakker, F., Brown, K., Carli, G., Dinter, A., Forti, D., Forster, R., Gathmann, A., Hassan, S., Mead-Briggs, M., Melandri, M., Neumann, P., Pasqualini, E., Powell, W., Reboulet, J., Romijn, K., Sechser, B., Thieme, T., Ufer, A., Vergnet, C., Vogt, H. (2000): Principles for regulatory testing and interpretation of semi-field and field studies with non-target arthropods. *Journal of Pest Science* 73, 141-147.

8.6 Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel (Synops; Deutschland)

Der Indikator SYNOPS_2 wurde zur Ermittlung und zum Vergleich von Umweltrisikopotentialen von Pflanzenschutzstrategien mit unterschiedlichen Produkten in einer Region entwickelt. In SYNOPS_2 werden die möglichen Effekte von PSM auf Boden, Luft, Grundwasser und Oberflächengewässer berechnet. Die Spritzgeräte werden in SYNOPS_2 besonders gewichtet. Acker- und Gemüsekulturen werden mit nach unten gerichteten Spritzdüsen behandelt und Raumkulturen mit Vernebelungsgeräten.

Berechnungen

Akutes Regenwurmrisiko

$$\text{acute biological risk earthworms} = \frac{\text{sPEC}_{\text{soil short term}}}{\text{LC}_{50\text{earthworms}}}$$

$$\text{sPEC}_{\text{soil short term}} = \max_{t_{a.i.}}^{t_{a.i.}+365} \text{CS a.i.}_{(t)} \text{ [mg kg}^{-1} \text{ Boden]}$$

$\text{LC}_{50\text{earthworms}}$:

letale Konzentration für 50% Mortalität bei Regenwürmern

Mehrfachapplikationen:

$$\text{CS a.i.}_{(t)} = \sum_{j=1}^{\text{napp}} \text{CS a.i.}_{(t,j)} \text{ [mg kg}^{-1} \text{ Boden]}$$

napp

Anzahl Wirkstoffapplikationen

$\text{CS}_{a.i.}(t_0=0)$

yo: anfängliche Konzentration im Boden [mg kg⁻¹ Boden]

$$yo = \frac{\text{soil load}}{365}$$

$$\text{soil load} = (\text{Dose rate} - \text{Drift}) \times \frac{100 - \text{VDT}_{\text{crop}}}{100}$$

VDT: Wert (%) aus der Interzeptionstabelle, der die Verteilung der zwischen Pflanzen- und Bodenoberfläche in Abhängigkeit vom Applikationszeitpunkt widerspiegelt. Diese Tabelle beruht auf den Vereinbarungen im Rahmen der EU concerted Action CAPER (CAPER report Seite 71).

Annahmen

Lagerungsdichte des Bodens: 1.5 g cm⁻³

Bodentiefe: 2.5 cm

$t_{a.i.}$

Julianischer Tag der ersten Wirkstoffapplikation

$\text{CS}_{a.i.}(t_i)$:

$yo * \exp(-\lambda * (t_i))$ (erster Tag nach der Wirkstoffapplikation)

$\text{CS}_{a.i.}(t_{i-1}) * \exp(-\lambda * (t_i))$ (alle folgenden Tage)

$i = i+1$

$\lambda * (t_i) = \exp(0.08 * (\text{Temp}(t)-20)) * \lambda$

$\lambda = \ln 2 / \text{DT}_{50_s}$

DT_{50_s} : half-time of a.i. in the soil (from the standard lab experiments)

Chronisches Regenwurmrisiko

$$\text{chronic biological risk earthworms} = \frac{\text{IPEC}_{\text{soil long term}}}{\text{NOEC}_{\text{earthworms}} \times t_{\text{earthworms}}}$$

$$\text{IPEC}_{\text{soil long term}} = \sum_{t_{a.i.}}^{t_{a.i.}+365} \max \text{CS}_{a.i.(t)} \quad [\text{mg d}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ soil}]$$

CS _{a.i.(t)}	siehe oben
NOEC _{earthworms}	Kein Konzentrationseffekt messbar (No Observed Effect Concentration) für Regenwürmer
t _{earthworms}	Dauer des Experiments zur Ermittlung von NOEC

Berechnung des endgültigen Indikators (als Pflanzenschutzstrategie)

Das akute und subchronische biologische Risiko das von einer ganzen Pflanzenschutzstrategie ausgeht kann für Regenwürmer wie folgt errechnet werden:

$$\text{acute biological risk}_{\text{earthworms}} = \max_{a.i.=1}^m \frac{\text{sPEC}_{\text{soil short term}}}{\text{LC}_{50 \text{ earthworms}}}$$

$$\text{subchronic biological risk}_{\text{earthworms}} = \sum_{a.i.=1}^m \left(\sum_{t=\text{tew}(a.i.)}^t \frac{\text{CS}_{a.i.(t)}}{\text{NOEC}_{\text{earthworms}} \times t_{\text{earthworms}(a.i.)}} \right)$$

Die Risikopotentiale jeder Pflanzenschutzstrategie können durch Risikografiken visualisiert werden, in welchen ausgewählte biologische Risiken im Vergleich dargestellt werden.

Literatur

Gutsche, V., Rossberg, D. (1999): Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel (SYNOPS). In: Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project, Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. . 1999. Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Werf, H.v.d., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T. (eds.), pp 69-82.

Reus, J., Leenderts, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Werf, H.v.d., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T. (2002): Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90, 177-187.

8.7 Bees Risk Indicator (based on TERs; Italien)

Risikoabschätzung für Honigbienen durch pflanzenschutzmittelverseuchten Pollen

Villa et al. (2000) schlagen eine neuartige Methode vor, um das Risiko für Honigbienen, die durch Pollen kontaminiert werden abzuschätzen. Ihr Indikator beruht auf den folgenden Annahmen, Bedingungen und Fakten:

- Das Einzugsgebiet der Bienen ist hauptsächlich mit Pflanzenschutzmitteln behandelt, weshalb die Drift während oder direkt nach der Behandlung der wesentliche Kontaminationsweg ist. Die Pflanzenschutzmittelmenge und die Behandlungszeiträume sind die Hauptfaktoren für das Vorkommen von Pflanzenschutzmitteln im Sammelgebiet.
- Das Pflanzenschutzmittel oder der Wirkstoff kann in den Pollen hineinwandern (eine Eigenschaft, die anhand des $\log K_{oa}$ erfasst werden kann).
- Die Persistenz des Wirkstoffs.

Daraufhin wurden toxicity/exposure ratios (TER) berechnet als Indikatoren für das Risiko dem Honigbienen ausgesetzt sind auf Basis dieser speziellen Kontaminationsroute. Villa et al. verglichen TER-Werte mit traditionell verwendeten HQs wobei sie eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen TER und Risikoquotienten fanden.

Berechnung

Entwicklung des „exposure index“

El: Exposure Index	Score _{TWA} * Score _{logK_{oa}} (siehe Tabelle unten)	
Short-term exposure	TWA	7d
Long-term exposure	TWA	120d

Für Bienen ist nur die acute LD₅₀ (oral und Kontakt) bekannt.

Tabelle: Scores (nach Villa et al., 2000).

TWA		LogK _{oa}	
g/ha	Score		Score
<10	0.1	<5	0.1
10-20	0.2	5-6	0.2
20-50	0.5	6-7	0.5
50-100	1	7-8	1
100-200	2	8-9	2
200-400	4	9-10	4
400-800	8	10-11	8
800-1500	16	11-12	16
>1500	32	>12	32

Zeitlich gewichteter Durchschnitt (time weighted average, TWA)

Für Einzelapplikationen
$$TWA = \frac{AM_i(1 - e^{-kt})}{kt} \quad [g \text{ ha}^{-1}]$$

Für Mehrfachapplikationen
$$TWA = \frac{[AM_{i1}(1 - e^{-kt}) + AM_{i2}(1 - e^{-k(t-t_1)})]}{kt} \quad [g \text{ ha}^{-1}]$$

t_1	Tage zwischen Applikationen (days) $AM_t = AM_i e^{-kt}$
AM_t :	Rückstandsemge zum Zeitpunkt t
AM_i :	Anfangsmenge
k	$\ln 2 / DT_{50}$

LogK_{oa}

K_{oa}

Oktanolluft Verteilungskoeffizient (ein Indikator für die Biokonzentration in der terrestrischen Biomasse)

$$= K_{ow} / K_{aw}$$

$$= C_o / C_w * C_w / C_a = C_o / C_a$$

C_o :	Sättigungskonzentration (v/v) in Oktanol
C_w :	Sättigungskonzentration (v/v) in Wasser
C_a :	Sättigungskonzentration (v/v) in Luft
K_{ow} :	Konzentration Oktanol/Wasser
K_{aw} :	$H/R * T$
H:	VP/S Pa m ³ /moles: Henry's law constant
R =	8.314 Pa m ³ /moles
T =	absolute Temperatur (25 °C)

Klassifikation von Chemikalien in Bezug auf Pollenkontamination

PSM Klasse	Pollen Kontamination	7d TWA	7d LogK _{oa}	Total score
Class A	Sehr hoch	>800	>11	>256
Class B	Hoch			>64
Class C	Signifikant			≥8
Class D	Niedrig			≥4
Class E	Vernachlässigbar			<0.4

PEC (potentielle Konzentration in der Umwelt) in klassifizierten Chemikalien

Zur Entwicklung quantitativer Daten (um sie mit toxikologischen Endpunkten zu kombinieren) wurde das folgende Rangfolgesystem aufgestellt im Hinblick auf die Berechnung der „Toxicity-to-Exposure Ratio“ (TER):

PSM Klasse	PEC
Class A	100 µg/g
Class B	10 µg/g
Class C	1 µg/g
Class D	0.1 µg/g
Class E	0.01 µg/g

Toxicity-to-Exposure Ratios (TERs)

	Aufnahme Adulte	Aufnahme Larven	Kontaktaufnahme
short-term	$\frac{LD_{50 \text{ oral}}}{PEC}$	$\frac{LD_{50 \text{ oral}}}{PEC}$	$\frac{LD_{50 \text{ contact}}}{PEC}$

Beurteilung der Bienengefährdung (bee exposure)

Die folgenden Annahmen wurden getroffen um die Bienengefährdung zu beurteilen

Menge an Pollen in einem Bienenstock	40 kg a ⁻¹
Geschätzte Bienenpopulation	250000 a ⁻¹
Menge Pollen je Biene	160 mg
Larven nehmen auf	130 mg Pollen in 6-8 Tagen ihrer Entwicklung
Gewicht der Larve	1<100 mg am Ende der Entwicklung
Nahrungsaufnahme	Konstante (% des Körpergewichts)
Larven nehmen auf	70 % des Körpergewichts pro Tag
Eine Larve nimmt auf	70 mg Pollen pro Tag
Larve Xenobiotikaaufnahme	70 * PEC / 100 mg Körpergewicht
Adulte nimmt auf	30 mg Pollen in 5-6 Tagen
Adulte nimmt auf	5 mg Pollen pro Tag
Adulte Xenobiotikaaufnahme	5 * PEC / Biene
Pollenmenge die eine Biene sammelt	300 mg d ⁻¹ (1)
Menge der aufgenommenen Xenobiotika	300 * PEC

(1) Nur Kontaktaufnahme** und nur Arbeiterbienen

** gemäss EPPO (1993) ist die Hauptgefahr durch acute toxische Substanzen bedingt durch Kontakt; LD₅₀Kontakt ist bedeutsam für Insektizide. LD₅₀Oral sollte eher für Substanzen, die weniger akut toxisch sind geeignet sein, wie z.B. Fungizide.

Tabelle: Berechnete Aufnahme durch Pollen via Nahrung oder Kontakt für Pflanzenschutzmittelklassen

	Pollen PEC [µg/g]	Täglich mit Nahrung aufgenommene PSM Menge		Täglich mit Pollen aufgenommene PSM Menge
		Adulte [µg/day]	Larven mit 100mg [µg/day]	Arbeiterbienen [µg/day]
Class A	100	0.5	7	30
Class B	10	0.05	0.7	3
Class C	1	0.005	0.07	0.3
Class D	0.1	0.0005	0.007	0.03
Class E	0.01	0.00005	0.0007	0.003

Bemerkung: Toxizitätsdaten sind nur für **adulte** Bienen verfügbar.

Für Wachstumsregulatoren mit Wirkung auf Insekten sollten Daten aus Brutfütterungstests nach Wittman und Engels (1981) verwendet werden

Literatur

Villa, S., Vighi, M., Finizio, A., Bolchi Serini, G. (2000): Risk Assessment for Honeybees from Pesticide-Exposed Pollen. *Ecotoxicology* **9**, 287-297.

Wittman, D. and Engels, 1981: Development of test procedure for insecticide-induced brood damage in honey bees (in German). *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* **3**, 187-190

8.8 Environmental Potential Risk Indicator for Pesticides (EPRIP; Italien)

Der Indikator EPRIP wurde von Trevisan et al. (1999) entwickelt. Er kann von Beratungsinstitutionen und Behörden für Umweltschutzzwecke genutzt werden. Der Indikator EPRIP berechnet eine vorausgesagte Konzentration für Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden und Luft. Er integriert ein Klassifizierungssystem von 9 verschiedenen Umweltindizes, welche zwischen 1 und 625 variieren können. Die einzelnen Indizes erfassen folgende Aspekte:

- Potentielles Risiko für den Menschen
- Potentielles Risiko für Regenwürmer im Boden
- Potentielles Risiko durch Abdrift für Algen, Crustaceen und Fische im Oberflächenwasser
- Potentielles Risiko durch abfließendes Wasser für Algen, Crustaceen und Fische im Oberflächenwasser
- Potentielles Risiko für den Menschen durch Verflüchtigung

Der Indikator setzt verschiedene Gleichungen ein, um die vorausgesagten Konzentrationen für jedes Kompartiment zu berechnen. Diese beziehen toxikologische, chemische und standort-spezifische Informationen mit ein. Nachdem die vorausgesagten Konzentrationen berechnet sind, werden sie durch einen Koeffizienten geteilt, der das Risiko für Organismen im entsprechenden Kompartiment widerspiegelt. Dies ist der Index für das potentielle Risiko. Die einzigen erfassten nicht-Zielorganismen sind Regenwürmer.

Berechnungen

Regenwürmer

$$\text{potential risk index}_{\text{soil}} = \frac{\text{PEC}_{\text{soil}}}{\text{LC}_{50 \text{ earthworms}}}$$

$$\text{PEC}_{\text{soil}} = \text{rate} \cdot (1 - f_{\text{int}}) / (100 \cdot \text{Tiefe} \cdot \text{LD})$$

f_{int} : Interzeption der Kultur (%)

LD: Lagerungsdichte (kg/m³)

Für wiederholte Anwendungen:

$$\text{PEC}_n = \text{PEC}_{\text{soil}} \cdot (1 - \exp^{-nki}) / (1 - \exp^{-ki})$$

n: Anzahl Anwendungen

k: $\ln 2 / \text{HF}$

i: Tage zwischen den Applikation

HF (DT₅₀): Halbwertszeit im Boden

Die potentiellen Risikoindikatoren werden wie folgt normiert:

EPRIP normalisation

Risk Score	<0.01	<0.1	<1	<10	>10
Risk Point	1	2	3	4	5

Berechnung des «Final Pesticide Indicators» (as a SCORE)

Nach der Normierung wird der EPRIP Indikator mit der folgenden Formel berechnet:

$$EPRIP_{\text{final}} = \left[\text{score}_{\text{groundwater}} \times \max \left(\text{Score}_{\text{surface water by drift}} \text{ or } \text{Score}_{\text{surface water by runoff}} \right) \times \text{Score}_{\text{soil}} \times \text{Score}_{\text{air}} \right] + \sum \text{penalties}$$

In dieser Formel werden auch sogenannte «Strafpunkte» (penalty point) berücksichtigt. Für jedes Umweltkompartiment führt ein Risikoindex von 4 zu 25 Strafpunkten, und ein Risikoindex von 5 zu 50 Strafpunkten (siehe Tabelle unten).

Tabelle: EPRIP Classification with Penalty Point System.

EPRIP Score	Penalty Consideration	Final Potential Risk Classification
1		"none"
2-16	no risk points ≥ 4	"negligible"
17-81	cannot have two risk points ≥ 4	"small"
82-256	cannot have three risk points = 5	"present"
257-400		"large"
>400		"very large"

Literatur

Reus, J., Leenderts, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Werf, H.v.d., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T. (2002): Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **90**, 177-187.

Trevisan, M., Errera, G., Capri, E., Padovani, L., Del Re, A.A.M. (1999): Environmental potential risk indicator for pesticides. In: Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. J. Reus, P.L., C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (ed.), pp 141- 147. Centre for Agriculture and the Environment, Utrecht, The Netherlands.

Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), pp 47, Paris.

8.9 Pflanzenschutzmittel Risiko Index für hypogäische und epigäische terrestrische Systeme (PRIHS, PRIES; Italien)

Finizio et al. (2001) haben einen alternativen Risikoindikator vorgeschlagen. Ihre Indices berücksichtigen die Informationen, welche gemäss Anhang VI der Richtlinie 91/414/EEC benötigt sind. Dennoch sind die Indices eher willkürlich, insbesondere was die Gewichtung der einzelnen Effekte anbelangt. Eine Validierung in grösserem Umfang steht noch aus. Fehlende Angaben zu Nebenwirkungen von Mikroorganismen und Nützlingen könnten ein grösseres Problem darstellen, ebenso wie die grossen Unterschiede zwischen Literaturwerten für toxikologische Endpunkte und chemisch-physikalische Eigenschaften. Mit einer entsprechenden Datenbank könnte dieses Problem jedoch entschärft werden. Die Autoren haben zudem einen allgemeinen Pflanzenschutzmittelrisiko-Indikator entwickelt (ERIP; Environmental Risk Index of Pesticides).

Kurzzeit Pflanzenschutzmittel Risiko Index für hypogäische terrestrische Systeme: PRIHS-1

Tabelle: Kategorien mit relativen Punktzahlen (scores) und Gewichtung für Nichtzielorganismen hypogäischer terrestrischer Systeme

Regenwürmer (A)		Nützliche Arthropoden (B)		Säugetiere (C)	
EC ₅₀ /PEC _{ST}	Score	% Effect (MRA)	Score	LD _{50cut} /PEC _{ST}	Score
>1000	0	(2xMRA)=0%	0	>1000	0
1000-100	1	0%<MRA<30%	2	1000-100	1
100-10	2	MRA>30%	4	100-10	2
10-1	4	(0.5xMRA)>30%	8	10-1	4
<1	8			<1	8
	W=5.5		W=5		W=2

Bemerkungen

$$PEC_{ST} = \frac{MRA}{750} [\text{mg kg}^{-1} \text{ soil}]$$

MRA Maximale Applikationrate [g ha⁻¹]

750 10000 m² x 0.05 m x 1.5 g/cm³

Depth: 0.05 m

Bulk density: 1.5 g/cm³

Korrekturen: PEC wird in mg kg⁻¹ Boden ausgedrückt. Dieser Wert wird mit dem Faktor 1000 multipliziert.

Gewichtung: Die Gewichtungsfaktoren widerspiegeln die ökologische Bedeutung der einzelnen Taxa im Boden (für Säugetiere gering).

Für Nützlinge ist der Endpunkt eine Aktivitätsreduktion von 30%, bei einer festen Exposition (MRA x0.5, 1, 2).

Berechnung des Indikators PRIHS-1 (as a SCORE)

Der Indikator variiert zwischen 0 und 100 und wird wie folgt berechnet:

$$PRIHS-1 = (a \times 5.5) + (b \times 5) + (c \times 2)$$

Langzeit Pflanzenschutzmittel Risiko Index für das epigäische terrestrische System: PRIHS-2

Tabelle: Kategorien mit relativen Punktzahlen (scores) und Gewichtung für epigäische Nichtzielorganismen terrestrischer Systeme

Regenwürmer		Mikroorganismen		Nützlinge	
NOEC/PEC (14d)	Score	% Effect	Score	% Effect	Score
>1000	0	(2xMRA)=0%	0	(2xMRA)=0%	0
1000-100	1	0%<MRA<25%	2	0%<MRA<30%	2
100-10	2	MRA>25%	4	MRA>30%	4
10-1	4	(0.5xMRA)>25%	8	(0.5xMRA)>30%	8
<1	8				

Bemerkungen

$$PEC_{LT} = PEC_{ST} \frac{1 - e^{-kt}}{kt} \text{ [mg kg}^{-1} \text{ soil]}$$

PEC_{ST} (siehe oben)

t: Zeitdauer des Toxizitätstests

k: $\ln 2 / DT_{50}$

DT₅₀: Halbwertszeit des Wirkstoffs im Boden

Gewichtung: Die Gewichtungsfaktoren spiegeln die ökologische Bedeutung der einzelnen Taxa im Boden wider (für Säugetiere gering). Für Säugetiere wird die Exposition via kontaminierte Nahrung berücksichtigt. Diese berücksichtigt die Konzentration in der Nahrung (CD: mg kg⁻¹) als Produkt des Biokonzentrationsfaktors (BCF) und de PEC_{LT}. Für Nützlinge: siehe oben, wie bei Kurzzeit.

Berechnung des Indikators PRIHS-2 (als Punktwertung)

Der Indikator variiert zwischen 0 und 100 und wird wie folgt berechnet:

$$PRIHS - 2 = (A \times 4) + (B \times 4) + (C \times 3) + (D \times 1.5)$$

Kurzzeit Pflanzenschutzmittel Risiko Index für das epigäische terrestrische System: PRIES-1

Tabelle: Risiko Klassifikationsintervalle, Punktwertungen und Gewichtung für Nichtzielorganismen des epigäischen terrestrischen Systems

Bienen		Vögel		Nützlinge		Säugetiere	
HQ	Score	LD ₅₀ /TDI	Score	% Effect	Score	LD ₅₀ /TDI	Score
>1	0	>1000	0	(2xMRA)=0%	0	>1000	0
1-10	1	1000-100	1	0%<MRA<30%	2	1000-100	1
10-100	2	100-10	2	MRA>30%	4	100-10	2
100-1000	4	10-1	4	(0.5xMRA)>30%	8	10-1	4
>1000	8	<1	8		0	<1	8
	W=3		W=4		W=3		W=2.5

Bemerkungen

$$HQ = \frac{MRA}{LD_{50}}$$

MRA Maximale Applikationsrate [g ha⁻¹]

LD₅₀: Lethale Dosis für 50% der Population (µg Biene⁻¹)

Gewichtung: Die Gewichtungsfaktoren widerspiegeln die ökologische Bedeutung der einzelnen Taxa im Boden (für Vögel wird auf Grund ihrer höheren Mobilität ein höheres Risiko angenommen als für Säugetiere; Bienen und Nützlinge werden gleich gewichtet).

Berechnung des Indikators PRIES-1 (als Punktwertung)

Der Indikator variiert zwischen 0 und 100 und wird wie folgt berechnet:

$$PRIES-1 = (A \times 3) + (B \times 4) + (C \times 3) + (D \times 2.5)$$

Long-term Pesticide Risk Index for the Epygean Soil System: PRIES-2

Tabelle: Punktwertungen für einzelne Aufnahmeparameter

Persistenz		Bioakkumulation		Luftaffinität (A) Flüchtigkeit Level I		Bodenaffinität (S) Flüchtigkeit Level I		Applikationsrate (MRA)	
DT ₅₀ (d)	Score	log K _{ow}	Score	%	Score	%	Score	g/ha	Score
<10	0	<2.5	1	<0.01	1	<1	1	<50	1
10-30	2	2.5-3.5	1.1	0.01-5	1.25	1-20	1.25	50-200	2
30-90	3	>3.5	1.25	>5	1.5	>20	1.5	200-1000	3
90-300	4							1000-10000	4
>300	5							>10000	5

Tabelle: Punktwertungen für einzelne Effektparameter

Pflanzen (T1)		Bienen (T2)		Nützlinge (T3)		Vögel (T4)		Säugetiere (T5)	
F1TOT.	Score	NOEL (g/bee)	Score	NOEL (g/ha)	Score	NOEL (mg/kg diet)	Score	NOEL (mg/kg diet)	Score
+	4	<0.1	4	<10	4	<0.1	4	<0.1	4
-	0.1	0.1-1	3	10-100	3	0.1-1	3	0.1-1	3
		1-10	2	100-500	2	1-10	2	1-10	2
		10-100	1	500-1000	1	10-100	1	10-100	1
		>100	0.1	>1000	0.1	>100	0.1	>100	0.1

Bemerkung: Für Pflanzen wird kein NOEL angegeben, jedoch eine grobe Schätzung der Phytotoxizität.

Berechnung des Indikators PRIES-2 (als Punktwertung)

Der Indikator variiert zwischen 0 und 100 und wird wie folgt berechnet:

$$PRIES-2 = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i}{5} \times \frac{(A+S)}{2} \times B \times P \times MPA$$

Environmental Risk Index for Pesticides (ERIP)

Tabelle: Affinitätsklassen von Luft, Wasser, Boden und Sedimentklassen für PSM

Air affinity Fugacity Level I (DA)		Water affinity Fugacity Level I (DW)		Soil affinity Fugacity Level I (DS)		Sediment affinity Fugacity Level I (DSED)	
%	Score	%	Score	%	Score	%	Score
<0.1	0.5	<1	0.5	<0.1	0.5	<0.1	0.5
0.1-1	1	1-10	1	0.1-5	1	0.1-5	1
1-5	1.25	10-50	1.25	5-10	1.25	5-10	1.25
5-20	1.5	50-90	1.5	10-30	1.5	10-30	1.5
>20	2	>90	2	>30	2	>30	2

Tabelle: Risiko Klassifikationsintervalle, Punktwertungen und Gewichtung für Nichtzielorganismen des epigäischen terrestrischen Systems für Persistenz, Bioakkumulation und Applikationsrate der Pflanzenschutzmittel

Persistence (P)		Bioaccumulation (B)		Max. rate of application (MRA)	
DT ₅₀ (d)	Score	log K _{ow}	Score	(g/ha)	Score
<10	0.5	<2.5	1	<50	0.5
10-30	1	2.5-3.5	1.1	50-200	1
30-90	2	>3.5	1.25	200-1000	2
90-300	3			1000-10000	3
>300	4			>10000	4

Tabelle: Klassifikation der Pflanzenschutzmitteltoxizität gegenüber Nichtzielorganismen im epigäischen terrestrischen System

Pflanzen		Bienen			Nützlinge		Vögel			Säugetiere		
Phyt.	Score	NOEL	LD50	Score	Score		NOEL	LD50	Score	NOEL	LD50	Score
	(A)	[µg/bee]		(B)	%	(C)	mg kg ⁻¹ d ⁻¹		(D)	mg kg ⁻¹ d ⁻¹		(E)
+	2	<0.01	<0.1	2	>80	2	<1	<10	2	<1	<10	2
-	0.1	0.01-0.1	0.1-1	1.5	80-50	1	1-10	10-10 ²	1.5	1-10	10-10 ²	1.5
		0.1-1	1-10	1	50-30	1	10-10 ²	10 ² -10 ³	1	10-10 ²	10 ² -10 ³	1
		1-10	10-102	0.5	30-10	0.5	102-103	103-104	0.5	102-103	103-104	0.5
		>10	>102	0.1	<10	0.1	>104	>103	0.1	>104	>103	0.1

Tabelle: Klassifikation der Pflanzenschutzmitteltoxizität gegenüber Nichtzielorganismen im hypogäischen terrestrischen System

Regenwürmer			Mikroorganismen	
NOEL (mg kg ⁻¹ d ⁻¹)	LD ₅₀	Score (A)	% Effekt	Score (B)
<0.1	<1	2	(0.5xMRA)>25%	2
0.1-1	1-10	1.5	MRA>25%	1.5
1-10	10-10E2	1	0%<MRA<25%	1
10-100	10E2-10E3	0.5	(2xMRA)=0%	0.1
>100	>10E3	0.1		

Berechnung des Indikators ERIP (als Punktwertung)

Der Indikator variiert zwischen 0 und 100 und wird wie folgt berechnet:

$$T_x = \frac{\sum_{i=1}^n \text{scores}}{n}$$

- T_x : Mittlere Punktzahl für die toxischen Effekte einer Substanz in einem Umweltkompartiment
- n : Anzahl verwendeter individueller Punktwertungen

Der allgemeine Indikator ERIP für die gesamte Umwelt wird wie folgt berechnet:

$$\text{ICRA} = \left[\left(D_{[(W+SED)/2]} \times T_{\text{WAT}} \right) \times \left(A_{[(A+S)/2]} \times T_{\text{EPY}} \right) \times W_2 + \left(D_s \times T_{\text{HYPO}} \right) \times W_3 \right] \times P \times B \times \text{MRA}$$

- D : Mittelwert der Punktwertungen zur Verteilung der PSM in Wasser und Sediment oder in Luft und Boden oder im Boden
- T : Mittlere Punktwertung der Effekte in Wasser und epi- und hypogäischen Systemen
- P : Persistenz Punktwertung
- B : Bioakkumulation Punktwertung
- W : Gewichtung für den $D \times T$ Wert (1.5 für stark gefährdete Systeme und 0.5 für Systeme mit mittlerer oder keiner Gefährdung)
- MRA : Punktwertung der maximalen Applikationsrate

Literatur

Finizio, A., Calliera, M., Vighi, M. (2001): Rating Systems for Pesticide Risk Classification on Different Ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **49**, 262-274

8.10 Regenwurm oder «Dutch Indicator» (DI; Niederlande)

Der «Dutch Indicator» vereint zwei separate Indikatoren, welche die folgenden Aspekte umfassen:

- Das Risiko für einzelne nicht-Zielorganismen (insbesondere Vögel und Regenwürmer), und
- Die mit einer bestimmten Aktivsubstanz behandelte Fläche

Berechnungen

$$DI = \sum_{\text{all active ingredients}} \frac{PEC_{ai1}}{TOX_{ai1}} \times \frac{AREA_{ai1}}{AREA_{total}}$$

PEC:	die potentielle Umweltkonzentration wird berechnet aus Verkaufszahlen und der behandelten Fläche. Sie wird durch Bodeneigenschaften modifiziert (nur Regenwürmer) ausgehend von der maximalen Applikationsrate [mg ha ⁻¹]
AREA _{treated}	berechnet aus der mittleren Dosis und den Verkaufszahlen
AREA _{total}	Ackerfläche
TOX	Ökotoxikologische Endpunkte (Wyss, 2002)

Berechnung des Indikators

Vier einzelne Indikatoren, welche das Risiko für Oberflächenwasser, Grundwasser, Vögel und Regenwürmer erfassen, werden zusammengeführt. Für Oberflächengewässer ist vom Gesetz ein Gewichtungsfaktor 10 vorgeschrieben.

Bemerkungen

Wenn für eine Substanz keine Daten vorhanden sind, wird das geometrische Mittel für die entsprechende Substanzfamilie verwendet. Falls für diese auch keine Daten vorhanden sind, so wird das Mittel für die gesamte Pflanzenschutzmittelgruppe verwendet.

Literatur

Wyss S.G., 2002: Report of the OECD Discussion Group on Terrestrial Risk Indicators of the Working Group on Pesticides

Finizio A. & Verin A., 2002: Summary of the draft report Pesticide Terrestrial Risk Indicators: Terrestrial Environmental Risk Indicators tested in the Italian context.

Mohlenberg F., Elmegaard N. & Gravesen L., 2002: Summary of the draft report Pesticide Terrestrial Risk Indicators: an examination of terrestrial indicators developed by Norway, Holland and Denmark on Danish sales data from 1992-2001]

Spikkerud E., 2002: Summary of the draft report Pesticide Terrestrial Risk Indicators: Terrestrial Environmental Risk Indicators tested with Norwegian pesticide sales data.

Fließbach A., 2002: Summary of the draft report Pesticide Terrestrial Risk Indicators: OECD terrestrial risk indicators for the use data from the three lake regions Baldeggersee, Greifensee and Lac de Morat in Switzerland.

8.11 Umweltmassstab für Pflanzenschutzmittel (EYP; Niederlande)

J. Reus und P. Leendertse entwickelten diesen Indikator für die Anwendung in den Niederlanden. EYP berechnet eine potenzielle Umweltkonzentration (PEC) in den Kompartimenten Grundwasser, Wasser, Boden (akut und chronisch) und Luft (sollte in 1999 berücksichtigt werden). Der EYP Indikator wurde für die Anwendung in Ackerkulturen entwickelt (z.B. Acker, Gartenbau, Obstbau). Ein spezieller Indikator wurde für die Anwendung in Gewächshäusern entwickelt.

Der Indikator basiert auf der Berechnung der potentiellen Umweltkonzentration (PEC) der Wirkstoffe in jedem einzelnen Umweltkompartiment und dem Vergleich mit Umweltstandards, die von der Niederländischen Regierung festgelegt wurden. Falls die PEC dem Umweltstandard entspricht, ist die Punktwertung 100 EIP. EYP kann bei der Bewertung der „guten landwirtschaftlichen Praxis“ durch Landwirte behilflich sein.

Berechnungen

Formel 1

$$EYP_{\text{score a.i.}} = \frac{PEC_{\text{a.i.}}}{\text{environmental standard}_{\text{a.i.}}} \times 100EIP$$

- Die Berechnungsbasis für EIP ist eine Standard dosis von 1 kg ha⁻¹. Falls eine andere Applikationsdosis verwendet wird, wird der EIP mit der tatsächlichen Dosis multipliziert (siehe unten).
- Falls ein formuliertes Produkt eingesetzt wird, wird der EIP für das jeweilige Produkt mit dem aktuellen Gehalt des Wirkstoffs im Produkt multipliziert.

Risk to soil organisms

$$\text{Akut} \quad \text{Score}_{\text{soil short term}} = 100 \times \frac{PEC_{\text{soil direct}}}{0.1 \times LC_{50 \text{ earthworms}}} \times \text{application rate}$$

$$\text{Chronisch} \quad \text{Score}_{\text{soil long term}} = 100 \times \frac{PEC_{\text{soil after 2 yrs}}}{0.1 \times NOEC_{\text{soil organisms}}} \times \text{application rate}$$

Da kaum Daten für die chronische Toxizität gegenüber Bodenorganismen vorliegen wird $Score_{\text{soil}}$ wie folgt umgewandelt:

$$\text{extrapolated score}_{\text{soil long term}} = 100 \times \frac{PEC_{\text{soil moisture}}}{0.1 \times NOEC_{\text{water organisms}}} \times \text{application rate}$$

$$PEC_{\text{soil moisture}} = \frac{PEC_{2 \text{ yrs}}}{Kd + 0.2}$$

$$PEC_{2 \text{ yrs}} = \frac{10 \times AR \times f}{d \times p} \times \text{residue} [\%] \text{ after 2 yrs}$$

0.1 Umweltstandard (aus „CAPER groundwater“)

Der Anteil der Dosis, die im Boden zwei Jahre nach der Applikation vorliegt, wird berechnet anhand des PESTLA-Modells (version 1.0) für fünf Klassen der Gehalte an organischer Bodensubstanz (<1.5 %; 1.5-3 %; 3-6 %; 6-12 %; >12 %). Diese Prozentwerte hängen ab von der Halbwertszeit DT_{50} und K_{om} jedes Wirkstoffs.

AR	Applikationsrate [kg a.i. ha ⁻¹]
f	fraction die den Boden erreicht = (1-Interzeption)
d	Bodenschicht [m] Kurzzeit 0.025 m Langzeit 0.20 m
ρ	Lagerungsdichte [kg m ⁻³] Vorgabe 1400 kg m ⁻³
K_d	Adsorptionskoeffizient: K_{om} *organische Bodensubstanz [dm ³ kg ⁻¹]
K_{om}	organische Bodensubstanz/Wasserverteilungskoeffizient
0.2	Bodenfeuchte [l kg ⁻¹ soil]

Berechnung des endgültigen Indikators

Die Endwerte für jedes Kompartiment stehen für sich und werden nicht kombiniert zu einer endgültigen Gesamtpunktwertung.

Literatur

Reus, J., Leendertse, P. 1999. The environmental yardstick for pesticides (field - crops). In J. Reus, P. Leendertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (eds), Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. 59-68.

Reus, J., Leenderts, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Werf, H.v.d., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T. (2002): Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **90**, 177-187.

Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), pp 47, Paris.

8.12 Norwegian Indicator (NI; Norwegen)

Der Norwegische Indikator ist ein zusammengesetzter Indikator (compound indicator) der die Effekte auf Regenwürmer, Vögel und Bienen berücksichtigt zusammen mit der Persistenz und Bioakkumulation der PSM (d.h. Wirkstoffe). Die Indikatoren für terrestrische Organismen werden abgeschätzt über ein Punktwerteschema der TER (Toxicity-Exposure Ratio) oder Risikoquotienten unter Berücksichtigung der Kriterien aus EPPO und den Regulierungen der Europäischen Union.

Berechnungen

Regenwürmer

Terrestrische Effekte auf Regenwürmer

T_{ew} : Score of Tox/PIEC

Tox: 14 day LC_{50}

Tox/PIEC	Score
>100	0
10-100	2
<10*	4

* Uniform Principles of 91/414/EEC give a threshold of safety of 10

$$PIEC_{soil} = \frac{AR \times f}{100 \times d \times \rho} \text{ [mg kg}^{-1} \text{ of soil]}$$

AR Applikationsrate [kg Wirkstoff ha⁻¹]

f Fraktion die den Boden erreicht = (1-Interzeption)

0 Bodenapplikation

0.5 Kultur vorhanden

d Bodenschicht [m]

0.05 m Bodenapplikation

0.20 m mechanische Einarbeitung

ρ Lagerungsdichte [kg m⁻³]

Richtwert 1500

Unter den oben getroffenen Annahmen ergeben sich folgende Werte für die Bodenkonzentration des Wirkstoffs (direkt nach einer Applikation):

PIEC _{soil} [mg kg ⁻¹ soil]	AR/750	assuming no incorporation or interception
	AR/1500	assuming no incorporation but 50% interception
	AR/3000	assuming incorporation but no interception

Bienen

Terrestrische Effekte auf Bienen	T_{bee}	Punktwertung von AR/Tox
	AR	Applizierte Dosis [$g\ ha^{-1}$]
	Tox	$LD_{50\ oral}$ bei oraler Aufnahme [$\mu g\ Biene^{-1}$]
	Tox	$LD_{50\ dermal}$ bei Kontaktgefährdung [$\mu g\ Biene^{-1}$]

HQ (AR/Tox)	Score
<50*	0
50-100	0.5
100-1000	1
1000-10000	1.5
>10000	2

* Uniform Principles of 91/414/EEC give a threshold of risk of 50

Vögel

Der Indikator berücksichtigt nicht die möglichen Aufnahme- und Kontaktwege durch Wasser, Sprühnebel, andere Beute oder Inhalation.

Terrestrische Effekte auf Vögel	T_{bird}	Score of Tox/Exp
Falls Nahrungsgrundlage bekannt	Tox	dietary LC_{50} [$mg\ kg^{-1}\ food$]

Zur Berechnung der Aufnahme

PIEC [$mg\ kg^{-1}$]	AR x K <i>für Vogelarten, die sich von Blättern, Insekten Kultur und Unkrautsamen ernähren</i>
AR	Applikationsdosis [$kg\ ha^{-1}$]
K	30 <i>eine auf Messwerten beruhende Konstante um die Restizidrückstände in der Nahrung der Vögel abzuschätzen</i>

Annahme: Nach einer Pflanzenschutzmitteldosis von $1\ kg\ ha^{-1}$ verbleiben auf den Blättern Rückstände in Höhe von $30\ mg\ kg^{-1}$ (Hoerger and Kenaga, 1972)

Falls Diät bekannt:
Tox oral LD_{50} ($mg\ kg^{-1}$ Körpergewicht)

Zur Berechnung der täglichen Aufnahme:
AR x 9 (für kleine Vögel = 10 g)
AR x 3 (für grosse Vögel = 100 g)

Bei Verwendung von gebeiztem Saatgut oder Granulaten
Exp Wirkstoffkonzentration

Falls das Saatgut Repellents enthält
Exp 0

Tox/Exp	Score
>10*	0
1-10	2
<1	4

* Uniform Principles 91/414 EEC give a threshold of safety of 10

Persistenz

Per DT ₅₀ (day)	Persistence Referenzdosis (g ha ⁻¹)			
	<100	100-1000	1000-2000	>2000
<10	0	0	0	0
10-30	0	0	0.5	1
30-60	0.5	1	1.5	2
60-200	1.5	2	2.5	3
200-365	2.5	3	3.5	4
>365			4	

Halbwertzeit

DT₅₀ Halbwertzeit im Boden
 BioAc: Bioakkumulation
 Score (logP_{ow}) x Score (DT₅₀) x Score (purification
 DT₅₀)

BCF or logP _{ow}	Score
0 or <3	0
100-100 or 3-4	1
>1000 or >4	2

PDT ₅₀	Score
<1	0
1-10	0.5
>10	1

DT ₅₀ [d]	Score
<1	0
1-10	0.5
10-60	1
60-200	1.5
>200	2

P_{ow} Oktanol/Wasser Partitions Koeffizient (=logK_{ow}?)

DT₅₀ Halbwertzeit im Boden

PDT₅₀ Halbwertzeit im Boden

Berechnung des endgültigen Umweltindikators

- PSM mit Sprühapplikation

Der Umwelt-Risiko Index (E) wird für jedes Pflanzenschutzmittel wie folgt berechnet:

$$E = (T + A + L + 2P + B + 1)^2$$

T: Score for undesirable terrestrial effects
*Ausschliesslich die sensitivste der folgenden Testspezies
 wird in den endgültigen Indikator aufgenommen; d.h. die*

Punktwertung T für das allgemeine Risiko unerwünschter Effekte auf terrestrische Organismen ist gleich dem höchsten Wert aus T_{ew} , T_{bee} or T_{bird} .

- A: Punktwertung für unerwünschte aquatische Effekte
- L: Punktwertung für das Auswaschungspotenzial
- P: Punktwertung für Persistenz
- B: Punktwertung für Bioakkumulation
- 1: Die Zahl 1 wird addiert, sodass Pflanzenschutzmittel ohne Punktwertung in irgendeinem der Fälle immer noch für das Gesamtrisiko berücksichtigt werden.

- Pflanzenschutzmittel ohne Sprühapplikation

Saatbeizmittel, Pflanzenschutzmittel zur Anwendung in Gewächshäusern und mikrobielle Produkte sind Beispiele für Pflanzenschutzmittelprodukte, deren Eigenschaften zu stark von den meisten anderen PSM abweichen.

Für Saatgutbehandlung werden T_{bee} und T_{ew} gleich Null gesetzt, da die Risiken für vernachlässigbar gehalten werden. Das Risiko für Vögel ist allerdings erhöht, daher wird die Formel wie folgt abgeändert:

$$E = \left(2T_{bird} + A + \frac{L}{2} + 2P + B + 1 \right)^2$$

Für Pflanzenschutzmittel im Gewächshaus und mikrobielle Produkte gilt:

$$E = 1$$

Da diese Produkte nur einen kleinen Beitrag zum Umweltrisiko haben.

Für alle Pflanzenschutzmittel

Für alle PSM wird der endgültige Umwelt Index (E) mit der behandelten Fläche multipliziert. Diese Fläche wird kombiniert berechnet aus der Applikationsrate (Standarddosis = SAD) und der Verkaufsmenge. Separate Richtlinien liegen in Norwegen vor für die Berechnung von SAD für Pflanzenbehandlungsmittel.

Um Veränderungen über die Zeit zu verfolgen wird der kollektive Umweltindikator wie folgt berechnet:

$$\text{collective environmental index} = E_1 \times \text{area}_1 + E_2 \times \text{area}_2 + \dots + E_i \times \text{area}_i$$

Literatur

Hoerger, F., Kenaga, E.E. (1972): Pesticide residues on plants: correlation of representative data as a basis for estimation of their magnitude in the environment. *Environmental Quality and Safety*, 9-28.

Spikkerud, E., Haraldsen, T., Abdellause, A., Holmen, M.T. (2004): Pesticide Risk Indicators for human Health and the Environment. Authority, N.F.S. (ed.), pp 12. National Centre of Plants and Vegetable Foods.

Norwegian Agricultural Inspection Service (2000): Pesticide risk indicators for health and environment-Norway, pp 24. Norwegian Agricultural Inspection Service.

8.13 Pflanzenschutzmittel Umwelt Risiko Indikator (PERI; Schweden)

C. Nilsson entwickelte diesen Indikator für Schweden. Dieses Modell ist Teil eines Systems von Indikatoren die von Landwirten und Praktikern genutzt werden können um mögliche Umwelt-risiken zu erheben und auszuwerten auf Basis eines nach ISO 14001 zertifizierten Prozesses. Das PERI Modell nutzt eine Rangfolgemethodik die die chemischen Eigenschaften der PSM und ihrer Toxizität auf einer 1-5 Skala beurteilt.

Berechnungen

$$\text{PERI} = \left(\text{GUS}_{\text{score}} \times K_{\text{aw score}} + \frac{\text{mean toxicity score} \times K_{\text{ow score}}}{10} \right) \times \frac{\text{dose}}{\text{recommended dose}}$$

PERI-Umweltkontamination & Nicht-Ziel-Organismen *PERI-Dosis*

GUS_score:	Grundwassernähe	$\log(\text{DT}_{50} \text{ at } 20 \text{ }^\circ\text{C}) * (4 - \log K_{\text{oc}})$
DT ₅₀ :		Halbwertszeit im Boden [d]
K _{oc} :		Oktanol-Boden-C Verteilungskonstante = 1.724
K _{om} :		K _{om}
K _{om} :		Oktanol-organische Bodensubstanz Verteilungs-konstante
K _{aw_score} :		Henry Konstante, Punktwertung, H
K _{ow_score} :		Oktanol-Wasser Verteilungskonstante

$$\text{mean toxicity score} = \frac{\text{Bee EC}_{50\text{score}} + \text{Worm}_{\text{score}} + \text{Daphnia LC}_{50\text{score}} + \text{Algae EC}_{50\text{score}} + \text{Soil microbes}_{\text{score}}}{5}$$

Dose	Tatsächlich eingesetzte Dosis
Recommended dose	Geprüfte und empfohlene Dosis für Pflanzen-schutz in Schweden

Rangfolgeschema

Score	GUS
1	<0
2	0-1
3	1.0-1.8
4	1.8-2.8
5	>2.8

Score	Henry-Konstante (K _{aw})
1	<1
2	1-5
3	5-25
4	25-100
5	>100

Score	K _{ow}
1	<3.0
5	≥3.0

Score	BCF
1	<100
3	100-1000
5	>1000

Score	LC ₅₀ /EC ₅₀ Daphnia, Scenedesmus, Chlorella
1	>100 mg/L
2	10-100 mg/L
3	1-10 mg/L
4	0.1-1 mg/L

5 >0.1 mg/L

Score	LC ₅₀ Earthworm
1	>1000 mg/kg
2	1000-100 mg/kg
3	10-100 mg/kg
4	1-10 mg/kg
5	<1 mg/kg

Score	LC ₅₀ Bienen
1	>100 mg/Biene
2	10-100 mg/Biene
3	1-10 mg/Biene
4	0.1-1 mg/Biene
5	<0.1 mg/Biene

Bemerkungen

Korrekturfaktoren lassen sich integrieren, um die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu verschiedenen Jahreszeiten im Hinblick auf ein unterschiedliches Verhalten in Abhängigkeit von den abiotischen Faktoren (z.B. Temperatur) zu berücksichtigen.

Literatur

Nilsson, C. 1999. PERI. In J. Reus, P. Leendertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (eds), Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. 121-124.

Reus, J., Leenderts, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Werf, H.v.d., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T. (2002): Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. Quelle: Agriculture, Ecosystems & Environment 90, 177-187.

8.14 Environmental Management Agriculture Software Package (p-EMA; United Kingdom)

p-EMA ist ein Risiko-basiertes Bewertungssystem der Pflanzenschutzpaxis, das als neues Modul das bisherige EMA System, welches die Gefährdung beurteilte. p-EMA hebt ab auf die Risiken auf Betriebsebene und berechnet gesonderte Risiko Indizes für die Kompartimente Boden, Grundwasser und Oberflächenwasser. Die grundlegenden Risiko Indizes wie auch die Kriterien zur Definition der verschiedenen Risikokategorien für Pflanzenbehandlungsmittel beruhen auf regulativen Richtlinien des UK und der EU.

Berechnungen

Umweltverhalten

Derzeitige behördliche Praxis: die anfängliche Konzentration eines Pflanzenschutzmittels, das auf den Boden trifft verteilt sich gleichförmig innerhalb der obersten 5 cm des Bodens mit einer angenommenen Lagerungsdichte von 1.5 g cm^{-3}

Konzentration im Boden

Für Mehrfachapplikationen: Summe von $C_t = C_o * e^{-kt}$

C_t	Konzentration zur Zeit der letzten Applikation [mg kg^{-1}]
C_o	Konzentration bei früheren Applikationen [mg kg^{-1}]
k	Abbaurrate = $\ln 2 / DT_{50}$
t	Zeit zwischen früherer und letzter Applikation

Für das Umweltverhalten: $K_{oc} = K \times \frac{100}{\% \text{ organic carbon}}$

K_{oc} :	Verteilungskonstante für Oktanol und organischen Bodenkohlenstoff; Verteilungskonstante Oktanol-Boden-C
K	Freundlich Adsorptions Konstante definiert als die Konzentration einer Testsubstanz im Boden (oder Klärschlamm), wenn die Gleichgewichtskonzentration in der wässrigen Phase 1 ist.

Ökologische Risikoabschätzung

Akutes Risiko Vögel

$$\text{Avian acute TER} = \frac{LD_{50}}{\text{avian acute exposure}}$$

$$\text{Avian acute exposure} = \frac{c \times f}{w}$$

$C_{\text{treated seeds}}$: nominal concentration [$\text{mg Wirkstoff kg}^{-1}$]

$C_{\text{pelleted formulations}}$: nominal concentration [$\text{mg Wirkstoff kg}^{-1}$]

$C_{\text{sprays \& granules}}$:	$a \times r$ [mg kg ⁻¹ Nahrung]
	a Applikationsrate [kg ha ⁻¹]
	r Rückstandsfaktor [(mg kg ⁻¹ Nahrung) kg ⁻¹ ha ⁻¹]
f_{spray} :	tagliche Nahrungsaufnahme [Frischgewicht; kg]
	Annahme: Feuchte: Insekten 72%, Samen 13%
f_{granules} :	69 x mittleres Granulatgewicht (nur für akute TER)
	Annahme 69 Partikel werden täglich aufgenommen und ausgeschieden
w:	Körpergewicht [kg]

Um das variable Verhalten der Vögel bei der Nahrungsaufnahme besser widerzuspiegeln, und den Risikoindikator empfindlicher gegenüber der Situation in guten natürlichen Lebensräumen zu machen, werden zwei Versionen zur Berechnung von TER vorgeschlagen:

- Ein Vogel ernährt sich ausschliesslich von einer Kultur (centre-feeding bird)
- Ein Vogel ernährt sich nur teilweise von der Kultur (edge-feeding bird).

Vögel, die sich nur teilweise von der Kultur ernähren sind zum Teil durch die Kultur und zum Teil durch Hecken und ökologische Ausgleichflächen, die der Sprydrift ausgesetzt sind, gefährdet, und ein willkürlicher Index (arbitrary index) für die Nahrungsverfügbarkeit wird berechnet (siehe Hart et al., 2003 p. 78). Daher berechnet sich die Aufnahme wie folgt:

$$\text{Avian acute exposure} = \frac{C_{\text{crop}} \times f_{\text{crop}} + C_{\text{drift zone}} \times f_{\text{drift zone}}}{w}$$

C_{crop} :	Rückstände auf Nahrung aus der Kultur [mg Wirkstoff kg ⁻¹]
$C_{\text{drift-zone}}$:	Rückstände auf Nahrung aus der Driftzone [mg Wirkstoff kg ⁻¹]
f_{crop} :	Nahrungsmenge aus der Kultur [kg]
$f_{\text{drift-zone}}$:	Nahrungsmenge von Hecken und Ausgleichsflächen [kg]

Indikator Spezies

Eine Blaumeise (11 g) konsumiert 11 g
Kleininsekten pro Tag
Ein Rotkehlchen (18 g) konsumiert 17 g
Kleininsekten pro Tag
Ein Feldsperling (22 g) konsumiert 6.3 g
Samen oder Granulat pro Tag

Spritzungen in Ackerkulturen, Plantagen und
Büschen
Spritzungen des Untergrunds von Plantagen
und Büschen
Granulate und gebeiztes Saatgut

Kurzzeitrisiko

$$\text{Avian short term TER} = \frac{LC_{50}}{c}$$

Centre-feeding birds	siehe oben
Edge-feeding birds	Kurzzeit TER wird ersetzt durch die gewichtete Durchschnittskonzentration für Nahrungsquellen in den drei Bereichen Kultur, Hecke/Ausgleichsfläche und natürlicher Lebensraum.
Für Granulate	Der Anteil der Granulate, die aufgenommen werden, ist gleich gross wie der Anteil der Nahrung
Gewichtung	Gewichteter Durchschnitt der „centre- and edge-feeding birds“ Einarbeitung von gebeiztem Saatgut, Granulat oder Pellets in den Boden führt zu einer um den Faktor 10 verringerten Aufnahme. Falls weitere Massnahmen zur Beseitigung von zugänglichen Rückständen getroffen werden verringert sich die Aufnahme um den Faktor 100.

Säugetiere

$$\text{Mammal acute TER} = \frac{LD_{50}}{\text{Mammal acute exposure}}$$

$$\text{Mammal acute exposure} = \frac{c \times f}{w}$$

$C_{\text{treated seeds}}$	Nominalkonzentration [mg Wirkstoff kg ⁻¹]
$C_{\text{pelleted formulations}}$	Nominalkonzentration [mg Wirkstoff]
$C_{\text{sprays \& granules}}$	$a * r$ [mg kg ⁻¹ Nahrung]
	a Applikationsrate [kg ha ⁻¹]
	r Rückstandsfaktor [(mg kg ⁻¹ Nahrung) kg ⁻¹ ha ⁻¹] 112 for mammals eating short grass in arable crops
f	tagliche Nahrungsaufnahme [Frischgewicht; kg] Annahme: Feuchte: Gras 77 %, Samen 13 %
$f_{\text{pesticide granules}}$	Falls ein einzelnes Granulat Korn die letale Dosis enthält wird der p-EMA Punktwert maximal = -100
w	Körpergewicht [kg]

Indikator Spezies

Eine Feldmaus (25 g) konsumiert 14 g Gras (short grass) pro Tag	Applikationen in Beeren und Fruchtanlagen
Ein Feldhase (3.33 kg) konsumiert 803 g Gras (short grass) pro Tag	Applikationen in Ackerkulturen centre-feeding
Eine Feldmaus (25 g) konsumiert 14 g Gras pro Tag	Applikationen in Ackerkulturen edge -feeding
Ein Kaninchen (1.5 kg) konsumiert 417 g Gras (short grass) pro Tag	Applikationen in Obstplantagen
Eine Waldmaus (18 g) konsumiert 2.9 g Samen oder Pellets pro Tag	Granulate und gebeiztes Saatgut

Gewichtung

Gewichteter Durchschnitt der „centre- and edge-feeding mammals“

Einarbeitung von gebeiztem Saatgut, Granulat oder Pellets in den Boden führt zu einer um den Faktor 10 verringerten Aufnahme. Falls weitere Massnahmen zur Beseitigung von zugänglichen Rückständen getroffen werden verringert sich die Aufnahme um den Faktor 100.

Falls in Obstplantagen ein Bodenstreifen unter der Baumreihe frei von Vegetation gehalten wird, mit nur geringer Verunkrautung, verringert sich die Aufnahme um den Faktor 10.

Regenwürmer

$$\text{Earthworm acute risk} = \frac{LC_{50}}{\text{initial soil concentration}}$$

LC₅₀

Lethale Dosis für 50% der Population

Anfängliche Konzentration siehe oben (Brown et al., 2003)

Bienen

Sprühapplikation	Gefährdungsfaktor: HQ=Applikationsrate/LD ₅₀
Saatbeizung, Granulat, Pellet	Die Aufnahme durch Bienen ist vernachlässigbar, daher HQ=0
Applikationen zwischen Okt und Feb	Keine Bienen, daher HQ=0
Nicht blühende Kulturen (z.B. Getreide)	HQ=0
	Ausnahme: Bohnen (extra-floral nectaries)
Aufnahme gering, blühende Pflanzen	HQ=Anteil der Applikationsrate/LD ₅₀
	Anteil der AR, der sich als Drift niederschlägt, wird über die Entfernung zwischen dem Rand der behandelten Fläche und der Mitte des Randstreifens gemittelt
Drift Schätzung	modelliert in Brown et al. (2003)
Aufnahme gering in Kultur und Rand	HQ=50 oder Wert aus Driftschätzung
Wenn HQ<2500 aber der Wirkstoff	ist ein signifikanter Wachstumsregulator für Insekten
	HQ=2500 (high hazard)

Nicht-Ziel Arthropoden

Eine Punktwertung zwischen 0 to -100 wird verwendet beruhend auf qualitativen Informationen über die Aktivität des Pflanzenschutzmittels.

	Punktwertung
Keine insektizide Wirkung	0
Selektive Insektizide	-50
ICP Insektizide	-50
Wirksam gegen ein breites Spektrum von Insekten	-90
Andere Insektizide	-80
Andere PSM mit insektizider Wirkung	-80
Solide Saatgutformulierung	0 (negligible risk for arthropods)

Berechnung des endgültigen Indikators

Grundsätzlich variiert der EMA Wert zwischen +100 (geringes Risiko = gut) und -100 (hohes Risiko = schwach)

p-EMA Werte variieren zwischen 0 und -100 (frühere Softwareversion) wie folgt:

0 bis -40	durchschnittliche gute Praxis
-40 bis -70	unter dem Durchschnitt/Nachprüfung empfohlen
-70 bis -100	schlecht

Die p-EMA Werte (ausser für nützliche Arthropoden) werden anschliessend bezogen auf entsprechende p-EMA Werte in zwei Schritten:

- Definition zweier Grenzwerte des Risikoindex um zwischen drei Risikokategorien zu unterscheiden
 - average good practice,
 - below average-review recommended,
 - poor.

Diese Werte beruhen auf Grenzwerten die gegenwärtig bei der behördlichen Beurteilung verwendet werden. Namentlich die Grenzwerte für die Kategorie „schwach“ beruhen auf Werten die vorher in 91/414/EEC spezifiziert wurden um zu erkennen welche PSM eine detaillierte Risikoabschätzung benötigen.

- Verbindung der beiden Grenzwerte durch eine Gerade um andere p-EMA Werte zu definieren für andere Werte der Risk Indices.

Literatur

Brown, C.D., Hart, A., Lewis, K.A., Dubus, I.G. (2003): p-EMA (I): simulating the environmental fate of pesticides for a farm-level risk assessment system. *Agronomie* **23**, 67-74.

Hart, A., Brown, C.D., Lewis, K.A., Tzilivakis, J. (2003): p-EMA (II): evaluating ecological risks of pesticides for a farm-level risk assessment system. *Agronomie* **23**, 75-84.

Lewis, K.A., Brown, C.D., Hart, A., Tzilivakis, J. (2003): p-EMA (III): overview and application of a software system designed to assess the environmental risk of agricultural pesticides. *Agronomie* **23**, 85-96.

8.15 Environmental Impact Quotient (EIQ; USA)

Der EIQ Indikator beurteilt das Risiko eines Pflanzenschutzmittels für Landarbeiter, Konsumenten und terrestrische Organismen auf Basis einer Rangfolgemethodik. Die Informationen zu Toxizität und anderer chemischer Parameter werden mit dieser Methode bewertet. Anschliessend fliessen die einzelnen Punktwertungen in Formeln zur Berechnung der endgültigen EIQ Wertung ein. Der EIQ schätzt die Umweltwirkung der gebräuchlichsten im Obst- und Gemüsebau eingesetzten Pflanzenschutzmittel (Insektizide, Akarizide, Fungizide, Herbizide), die in der kommerziellen Landwirtschaft eingesetzt werden.

Berechnungen

$$\text{EIP Field Use Rating} = \text{EIQ Score} * \text{Application Rate}$$

$$\text{EIQ} = [C \times (DT \times 5) + (DT \times P)] + \{ [C \times (S + P) \times 2 \times SY + L] + [(F \times R) + (D \times (S + P) / 2 \times 3)] + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5) \} / 3$$

Landwirt

Konsument

Ökologie

Tabelle List of Symbols

Symbol	Beschreibung und Einheiten
Applikationsrate	Menge des applizierten Wirkstoffs [lbs acre ⁻¹]
B	Toxizität nützliche Arthropoden
C	Klassifikation für chronische Toxizität
D	Klassifikation LC ₅₀ Wildente
DT	Klassifikation Kontakt Ratte LD ₅₀ (dermal tox)
F	Klassifikation LC ₅₀ Fisch
L	Klassifikation „leaching potential“ eines Wirkstoffs
P	Klassifikation Halbwertszeit Blatt (plant surface)
R	Klassifikation „runoff potential“ eines Wirkstoffs
S	Klassifikation Halbwertszeit Boden (soil)
SY	Systemische Pflanzenschutzmittelklassifikation
Z	Klassifikation LD ₅₀ Biene

Rangfolgeschema

Rang	Toxizität nützliche Arthropoden (B)
1	low impact
3	moderate impact
5	severe impact
3	post-emergent herbicide

Rang	chronische Toxizität (C)
1	little / none
3	possible
5	definite

Rang	Toxizität Wildente LC ₅₀ (D)
1	> 1000 ppm
3	100-1000 ppm
5	1-100 ppm

Rang	Kontakttoxizität LD ₅₀ Ratte, Kaninchen (DT)
1	>2000 mg/kg
3	200-2000 mg/kg
5	0-200 mg/kg

Rang	Fischtoxizität LC ₅₀ (F)
1	> 10 ppm
2	1-10 ppm
3	<1 ppm

Rang	Halbwertszeit Blatt (P)
1	1-2 weeks
3	2-4 weeks
5	> 4 weeks
1	pre-emergent herbicides

Rang	Grundwasser/Runoff Potential (L)
1	small
3	medium
5	large

Rang	Halbwertszeit Boden DT50 (S)
1	< 30 days
3	30-100 days
5	> 100 days

Rang	Wirkungsweise des Pflanzenschutzmittels (SY)
1	non-systemic
1	all herbicides
3	systemic

Rang	Bienen Toxizität (Z)
1	relatively non toxic
3	moderately toxic
5	highly toxic

Weitere Berechnungen für den endgültigen Indikator

Wenn verschiedene PSM zur Lösung eines Pflanzenschutzproblems eingesetzt werden können, wird die folgende Gleichung verwendet:

$$\text{EIP Field Use Rating}_{\text{pesticides}} = \text{EIQ Score} * \% \text{ Wirkstoff} * \text{Applikationsrate}$$

Dieses Indikatorsystem kann auch zum Vergleich verschiedener integrierter Pflanzenschutzprogramme verwendet werden:

$$\text{EIP Field Use Rating}_{\text{pest management program}} = \text{EIQ Score} * \% \text{ Wirkstoff} * \text{Applikationsrate} * \text{Anzahl Applikationen}$$

Literatur

Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J., Tette, J. (1992): A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* **139**.

Wyss, G.S. (2002): Report of the OECD discussion group on terrestrial risk indicators of the working group on pesticides. OECD (ed.), pp 47, Paris.

8.16 Multi-Attribute Toxicity Factor (MAT; USA)

C. Benbrook hat zusammen mit anderen Forschern den MATF Indikator entwickelt, der die Toxizität von Pflanzenschutzmitteln angibt im Rahmen des "Healthy Grown" Wisconsin Potato IPM Labelling Projekts. Das Modell wurde speziell für die Kartoffelproduktion in Wisconsin entwickelt. Die Anwendung dieses Indikators für andere Kulturen und in anderen Regionen ist nicht zulässig und kann falsche Risikovorhersagen treffen. Dieses Modell beruht auch auf Experten-gestützten Erhebungen und Annahmen für Nützlinge, die nur für Wisconsin anwendbar sind. Besonders die Algorithmen für den BioIPM Index müssen für andere Regionen oder Kulturen angepasst werden, wenn sie interpretierbar sein sollen.

Es werden Indices für vier Komponenten gebildet: akute Säugetiertoxizität, chronische Säugetiertoxizität, ökologische Auswirkungen und Auswirkungen auf nützliche Organismen sowie ganze Pflanzenschutzprogramme (IPM systems). Die Werte der Indexkomponenten und Unterindizes werden so skaliert, dass individuelle Werte für einzelne Wirkstoffe bei jedem Index oder Unterindex ungefähr in den gleichen Bereich.

Das MATF system ist so strukturiert, dass hohe Werte eine hohe Toxizität oder hohes Risiko anzeigen.

Berechnungen

Akute Säugetiertoxizität (AM)

The toxicity value for acute risks in mammals is obtained by taking the inverse of the Rat Oral LD₅₀ value and then multiplying by a MATF designed scaling factor of 500.

$$\text{AM: acute mammal toxicity value} = \frac{1}{\text{rat oral LD}_{50(x)}} \times 500 \quad \text{für PSM } x$$

Chronische Säugetiertoxizität (CM)

Die Werte für chronische Säugetiertoxizität ergeben sich aus einer Klassifizierung der Rangwertungen für hormonelle Wirksamkeit (endocrine disruption, ED) und Kanzerogenität. Zusätzlich wird der „cancer potency factor“ (Q*) in der Gleichung verwendet. Der CM-Wert zeigt Risiken an, die von langfristigen Expositionen ausgehen, wie Trinkwasser, Berufs- und Ernährungs-bedingte Exposition.

$$\text{CM: chronic mammal toxicity value} = \left[\left(\frac{0.1}{\text{cRFD}_x} \right) \times \text{ED}_x \right] + Q_x^* \times 50 \times \text{cancer class}_x \quad \text{für PSM } x$$

cRFD	Referenzdosis chronisch, EPA oder chronic Population Adjusted Dose (PAD, als Standard oder vorläufiger Schätzwert)		
ED	hormonelle Wirkung	YES	3
		NO (info available)	1
Q*	EPA Kanzerogenität (Steigung der Dosis-Wirkungsbeziehung)		
EPA Klassifikation Kanzerogenität		Class A	10
		Class B2	10
		Class C	5
		Class D	2

Ökotoxizität

Der ökologische Toxizitätsindex (ECO) ist die Summe der Unterindizes für Vögel, für aquatische und kleine Wirbellose (gelistet in einer Tabelle in Benbrook et al., 2002). In Abhängigkeit vom verwendeten Pflanzenschutzmittel werden verschiedene Skalierungsfaktoren zur Anpassung der Werte für Unterindizes benutzt um den Wertebereich einzugrenzen.

$$\text{Ecological toxicity value} = \text{scaled } LC_{50} \text{ Daphnia} + \text{scaled } LC_{50} \text{ Fish} + \text{scaled } LD_{50} \text{ Bird}$$

Biointensive Integrated Pest Management

Die Komponenten des „Biointensive Integrated Pest Management“ (BioIPM) Index beinhalten Resistenz Management, Auswirkungen auf nützliche Nicht Ziel Organismen und Bientoxizität.

$$\text{Beneficial toxicity value} = (\text{Score}_{\text{Resistance}} + \text{Score}_{\text{Impact}} + \text{Score}_{\text{BeeToxicity}}) * 0.05$$

Score_{Resistance} Wahrscheinlichkeit der Resistenzentwicklung bei Zielorganismen in Wisconsin

Die Werte hängen von der Art des Pflanzenschutzmittels ab

Insektizide:	1	bis	3
	gering		hoch
Fungizide:	1	to	5
	gering		hoch

Score_{Impact} Auswirkungen des Pflanzenschutzmittels auf Nicht Ziel Organismen in Wisconsin.

Für diese Toxizitätsklassifizierung gegenüber nützlichen Organismen wird die Entscheidung einer Expertengruppe für die verschiedenen Variablen eingesetzt.

Die Methodik für den “Toxic Effect” Index wurde von Theiling and Croft (1988) entwickelt. Die Werte für toxische Effekte eines Pflanzenschutzmittels kommen entweder aus EIQ (Kovach et al., 1992), oder Expertenmeinung.

$$\text{impact on beneficials} = \frac{100}{(5 - \text{toxic effect pesticide}_x)} \text{ for Pesticide } x$$

Score_{Bee toxicity} Auswirkungen eines Pflanzenschutzmittels auf Bienen

Die Daten zur Bientoxizität stammen von Dr Pieter Oomen (Oomen database). Diese Datenbank wird als die massgebliche Datensammlung weltweit angesehen und enthält Daten zur Gefährdung durch Kontakt und orale Aufnahme.

0.05 Scaling factor used to bring most values under 200

Berechnung des endgültigen Indikators

Multi Attribute Toxicity Factor:

$$\text{MATF} = [(0.5 * \text{AM}_x) + \text{CM}_x + \text{ECO}_x \text{ index} + (1.5 * \text{BioIPM}_x \text{ index})] * \text{Applikationsrate for Pesticide } x$$

Literatur

Benbrook, C., Sexon, D., Wyman, J., Stevenson, W., Lynch, S., Wallendal, J., Diercks, S., Van Haren, R., Granadino, C. (2002): Developing a pesticide risk assessment tool to monitor progress in reducing reliance on high-risk pesticides. *American Journal of Potato Research* **79**, 183-199.

Kovach, J., Petzoldt, C., Degnil, J., Tette, J. (1992): A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* **139**.

Oomen, P.A. (1992): Chemicals in integrated control. *Pesticide Science* **36**, 349-353.

Theiling, K.M., Croft, B.A. (1988): Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: A database summary. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **21**, 191-218.

8.17 Harmonized environmental Indicators for pesticide Risk (HAIR; EU)

Das von der EU geförderte Projekt HAIR, schloss sich nahtlos an das OECD-TERI Projekt an. Dieses Verbundprojekt mit 19 Institutionen aus 9 Ländern wurde von Robert Luttik, RIVM (NL) koordiniert. Das Ziel des Projekts war eine integrierte und anwenderfreundliche Software zu entwickeln mit der sich harmonisierte Indikatoren auf dem pan-Europäischen Level errechnen lassen. Das endgültige Set enthält ungefähr 50 Indikatoren für verschiedene Umweltbereiche und die menschliche Gesundheit. Leider ist die Software ohne Vorwissen kaum zu benutzen, und leider ist auch das Software-Handbuch nicht genügend informativ, als dass sie von Behörden eingesetzt werden könnte. Zudem sind eine Vielzahl von Erhebungen notwendig um einige Indikatoren berechnen zu können, von denen einige leicht andere sehr schwierig zu erheben sind.

Der Schlussbericht und das Softwarepaket sind auf der folgenden Internetseite verfügbar:

http://www.rivm.nl/rvs/risbeoor/Modellen/Results_of_HAIR_project.jsp.

In Anbetracht der politischen Bedeutsamkeit des Projekts hat EUROSTAT die Software und den Abschlussbericht einer intensiven Evaluation unterzogen. Der Bericht wurde im Februar 2009 fertiggestellt und stellt die Stärken und Schwächen des Projekts und der Software verständlich dar. Ausserdem wird eine roadmap für das weitere Vorgehen gezeigt um die Erkenntnisse aus dem Projekt in eine nützliche Lösung zu führen. Der Bericht ist hier verfügbar:

http://circa.europa.eu/Public/irc/dsis/pip/library?l=/indicators_pesticides/pesticide_indicators/hair_indicators/arcadis_final_report

Die Risk Reduction Steering Group der OECD working group on pesticides hat eine Überprüfung bestehender Indikatoren und Modelle veranlasst, die momentan in der Planungsphase ist (<http://www.oecd.org/>). Diese Überprüfung soll die verwendeten Indikatoren prüfen und wenn möglich harmonisieren, was eigentlich Gegenstand des HAIR-Projektes der EU hätte sein sollen.

9. Anhang

9.1 Anbauflächen einzelner Kulturen

Tabelle 13: Anbauflächen [1000 ha] einzelner Kulturgruppen in der Schweiz von 1990 bis 2007. Angaben vor 1997 sind nicht für jedes Jahr Daten verfügbar. Quelle: Agrarbericht BLW.

Kulturgruppe	1990	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
	-											
	1992											
Naturwiese	638.9	627.5	632.4	626.8	629.4	627.3	627.1	626.4	624.3	625.4	625.1	619.4
Kunstwiese	94.4	113.9	113.1	115.9	115.5	118.5	119.0	122.6	124.5	119.1	120.5	126.2
Getreide	181.6	166.1	165.8	160.6	160.7	155.2	153.0	145.5	142.9	147.1	146.0	140.1
Mais	63.9	62.5	62.0	62.1	62.5	65.6	60.7	61.5	61.2	63.6	61.5	60.2
Kartoffeln	18.3	15.0	13.9	13.7	14.2	13.8	13.5	13.6	13.3	12.5	12.0	11.7
Rüben	18.1	20.6	20.3	20.7	20.6	20.3	20.4	19.4	20.3	19.7	20.0	21.9
Ölsaaten	18.2	19.6	21.0	20.5	18.8	18.1	22.0	24.0	24.3	24.2	25.1	26.1
Hülsenfrüchte	3.7	5.6	5.8	5.2	3.8	3.7	6.0	7.9	7.4	6.7	6.8	6.6
Freilandgemüse	8.3	8.5	8.1	8.2	8.5	8.4	8.6	8.4	8.8	8.9	9.2	9.3
Obst	7.2	7.2	7.2	7.2	7.0	6.9	6.8	6.6	6.7	6.7	6.6	6.6
Reben	14.9	14.9	15.0	15.0	15.1	15.1	15.0	14.9	14.9	14.9	14.9	14.8
Andere	11.1	14.3	13.8	15.9	16.5	18.2	17.8	16.2	15.7	16.3	17.5	17.3
LN total	1079	1076	1078	1072	1073	1071	1070	1067	1065	1065	1065	1060

9.2 Aufteilung der Wirkstoffe auf die Kulturen

Tabelle 14: Abschätzung der Verteilung des Einsatzes pestizider Wirkstoffe auf definierte Kulturgruppen. Diese Aufteilung beruht auf den Angaben aus dem Datensatz der drei Seengebiete (PTP Datenbank) und der Einschätzung von Experten.

Wirkstoffgruppe & Wirkstoff	Naturwiese	Kunstpflanze	Getreide	Mais	Kartoffeln	Zucker- & Futterrüben	Raps & Ölsaaten	Hülsenfrüchte	Freilandgemüse	Reben & Obst
A) Fungizide										
Azoxystrobin			56%		1%	2%	1%	5%	6%	28%
Captan			27%		5%	5%			4%	58%
Chlorothalonil			15%	1%	64%	1%		2%	10%	8%
Copper			1%		23%	0%	0%		12%	64%
Cyprodinil			80%						10%	9%
Dichlofluanid										100%
Fenpropimorph			75%			25%				
Folpet			0%		8%	0%	5%		14%	73%
Fosetyl-Al										100%
Mancozeb					71%	1%			26%	3%
Propineb					92%					8%
Sulfur ¹			5%			0%	5%		2%	88%
Trifloxystrobin			87%	1%		4%			0%	7%
B) Herbizide										
Aclonifene					23%		44%	32%		
Atrazin				100%						
Dinoseb					96%			4%		
Glyphosate	10%	3%	37%	7%	13%	7%	4%	6%	6%	7%
Isoproturon	4%		96%			0%				
MCPA	7%		87%	2%	0%	2%			3%	
MCPP-P	4%	0%	92%	0%		3%				1%
Metamitron						98%			2%	
Metolachlor	25%			14%		49%		1%	10%	
Napropamid	10%				0%		48%	0%	42%	0%
Orbencarb	34%				51%			15%		
Pendimethalin			78%	6%		1%	5%	5%	4%	
Prosulfocarb			79%		21%					
Tebutam			24%				76%			
C) Akarizide & Insektizide										
Mineral oil			5%	10%	25%	37%		0%		23%
Rapeseed oil			2%	7%	57%	18%	0%	6%		9%
D) Mittelwert	13%	2%	47%	15%	34%	14%	19%	7%	10%	34%

¹ Sulfur ist auch ein Akarizid