

Greenpeace, Pro Natura, SVS/BirdLife Schweiz, WWF

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES IN DER SCHWEIZ PILOTBERECHNUNG

Schlussbericht

Zürich, 17. April 2014

Remo Zandonella, Daniel Sutter, Rahel Liechti, Thomas von Stokar

VW-KOSTEN-PESTIZIDEINSATZ_SCHLUSSBERICHT.DOCX



INFRAS

INFRAS

**BINZSTRASSE 23
POSTFACH
CH-8045 ZÜRICH
t +41 44 205 95 95
f +41 44 205 95 99
ZUERICH@INFRAS.CH**

**MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN**

WWW.INFRAS.CH

INHALT

Zusammenfassung	4
Résumé	8
1. Ausgangslage und Ziele	12
1.1. Ausgangslage	12
1.2. Ziel der Studie	13
1.3. Methodisches Vorgehen	13
2. Pestizide und ihre Wirkungen	15
2.1. Einführung	15
2.1.1. Anwendungsfelder und Wirkstoffe	15
2.1.2. Rechtliche Aspekte	17
2.2. Wirkungen	19
2.2.1. Gesundheitsschäden	21
2.2.2. Ökosystemschäden	24
2.2.3. Regulierungsaufwand	29
2.3. Fazit Wirkungen	31
3. Grundlagen für die Kostenberechnung	32
3.1. Relevanz der einzelnen Wirkungen	32
3.2. Systemabgrenzung	34
3.3. Monetarisierung der Wirkungen	35
3.4. Erkenntnisse aus der Literaturanalyse	37
3.5. Berechnungsmethodik	41
3.5.1. Variante 1 – Metastudie Leach & Mumford	43
3.5.2. Variante 2 – Gesundheitskosten nach Exiopol	47
3.5.3. Variante 3 – Zahlungsbereitschaft Bioprodukte	48
3.5.4. Datengrundlage Pestizidmengen	50
4. Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz	51
4.1. Gesamtergebnisse	51
4.1.1. Variante 1 – Metastudie Leach und Mumford	52
4.1.2. Variante 2 – Gesundheitskosten nach Exiopol	53
4.1.3. Variante 3 – Zahlungsbereitschaft Bioprodukte	54
4.2. Unsicherheiten und fehlende Kosten	54
5. Fazit und Ausblick	56

Annex	60
Detailergebnisse der drei Varianten	60
Übersicht Literaturanalyse	62
Literatur	68

ZUSAMMENFASSUNG

Pestizide sind ein verbreitet eingesetztes Hilfsmittel der modernen landwirtschaftlichen Produktionsweise, die auf (kurzfristige) Effizienz und Leistungsfähigkeit getrimmt ist. Der Einsatz von Pestiziden ist mit vielfältigen, in der Regel unerwünschten Nebenwirkungen auf Mensch und Umwelt verbunden. Diese Wirkungen des Pestizideinsatzes auf die menschliche Gesundheit und Ökosysteme sind komplex und zum Teil unvollständig erforscht. Die mit diesen Wirkungen zusammenhängenden Schäden können zu volkswirtschaftlichen Kosten führen, die durch die Allgemeinheit getragen werden. Das Hauptziel der vorliegenden Studie besteht darin, die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz im Rahmen einer Pilotberechnung erstmals abzuschätzen.

Pflanzenschutzmittel und Biozide

Bei Pestiziden unterscheidet man gemäss ihrer Anwendung die *Pflanzenschutzmittel*, die vorwiegend in der Landwirtschaft eingesetzt werden, und die *Biozide*, die ausserhalb der Landwirtschaft vor allem zur Schädlingsbekämpfung und zum Materialschutz angewendet werden. In Bezug auf ihre Einsatzmengen sind die Pflanzenschutzmittel die klar wichtigere Gruppe. Weil überdies für Biozide keine statistischen Mengendaten verfügbar sind, konzentrieren sich die vorliegenden Berechnungen auf die Kosten durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.

Drei Kostenbereiche im Fokus

Die Studie fokussiert auf drei wesentliche Kostenbereiche und stützt sich dabei auf unterschiedliche Berechnungsmethoden ab.

- › *Gesundheitsschäden*: Pestizide können über verschiedene Wirkungspfade zu Gesundheitsschäden führen. Nebst der Applikation von Pestiziden ist die Aufnahme über kontaminiertes Trinkwasser oder Nahrungsmittel relevant. Für die Monetarisierung werden einerseits Vermeidungskostenansätze angewendet, zum Beispiel Kosten für die Entfernung von Pestizidrückständen im Trinkwasser, und andererseits effektive Schadenskosten (Gesundheitskosten).
- › *Ökosystemschäden*: Der Pestizideinsatz kann zu verschiedenartigen Schäden an Ökosystemen führen. So werden beispielsweise Grenzwerte in Fliessgewässern regelmässig überschritten, was auf die hohe Relevanz dieses Problems hinweist. Weitere Schadensbereiche betreffen die terrestrischen Ökosysteme, die diesbezüglich noch relativ wenig erforscht sind, sowie negative Auswirkungen auf weitere Lebewesen wie Vögel, Amphibien, Bienen und andere Insekten.

Überdies können Pestizide die Bereitstellung von Trinkwasser gefährden, was eine Beeinträchtigung einer wichtigen Ökosystemdienstleistung darstellt.

Zur Monetarisierung der Ökosystemschäden des Pestizideinsatzes gibt es bisher allerdings noch keine breit etablierte Methodik. In der vorliegenden Studie werden für die Abschätzung der Kosten durch Beeinträchtigung von Lebewesen mehrheitlich Schadenskosten berücksichtigt. Gewisse relevante und nachweisbare Umwelteffekte (v.a. Schäden an terrestrischen Ökosystemen wie z.B. eingeschränkte Bodenfruchtbarkeit) konnten jedoch nicht monetarisiert werden.

- › *Regulierungsaufwand*: Weitere Kosten entstehen durch die bestehende Regulierung, insbesondere im Zusammenhang mit der Zulassung (Bundesebene), dem Monitoring und weiteren Kontrollen (v.a. kantonale Ebene). Ebenso werden Teile der Forschungskosten dazugerechnet.

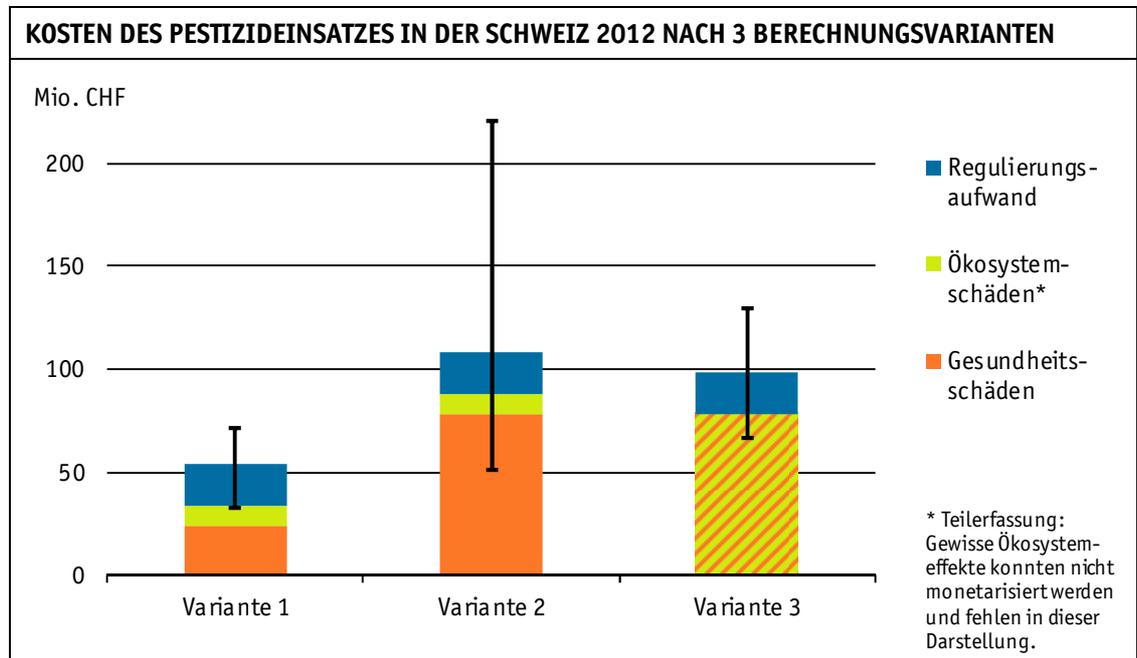
Während sich die Regulierungskosten an effektiven Personalressourcen orientieren, werden für die Gesundheits- und Ökosystemschäden aufgrund fehlender Studien mit Schweizer Bezug vorwiegend Kostensätze aus internationalen Studien herangezogen.

Um die verschiedenen Methoden und Grundlagen zu berücksichtigen und um die Unsicherheiten bei den Berechnungen darzustellen, sind die Kosten auf drei (teilweise) unterschiedliche Varianten berechnet worden.

Erhebliche volkswirtschaftliche Kosten

Gemäss der vorliegenden Pilotberechnung belaufen sich die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz für das Jahr 2012 auf **rund 50 bis 100 Mio. CHF pro Jahr**. Auf die Regulierungskosten entfallen rund 20 Mio. CHF. Die Gesundheitsschäden sind stark abhängig von der zugrundeliegenden Methodik und weisen die grössten Bandbreiten auf. Sie machen mit 25 bis 75 Mio. CHF den grössten Anteil an den Gesamtkosten aus. Die hier ermittelten Kosten durch Ökosystemschäden betragen 10 Mio. CHF. Allerdings konnten gewisse Ökosystemeffekte nicht monetarisiert werden und fehlen in diesem Betrag. Die folgende Figur zeigt die Bandbreite der Ergebnisse je nach Berechnungsvariante.

Die Kosten können als erheblich eingestuft werden. Die jährlichen Ausgaben der Schweizer Landwirtschaft für Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (inkl. Bioziden) betragen jährlich rund 125 Mio. CHF und liegen somit in einer ähnlichen Grössenordnung.



Figur Z-1 Eigene Berechnungen. Die schwarzen Balken zeigen die Ergebnisse von Sensitivitätsrechnungen (untere bzw. obere Bandbreiten der Berechnungen).

Die angegebenen Kosten beziehen sich auf das Jahr 2012. Nicht enthalten sind Kosten, die durch den Einsatz von Bioziden entstehen. Aufgrund der noch wenig entwickelten Methodik sowie unvollständig erforschten Wirkungszusammenhängen bestehen in allen Kostenbereichen sowie entsprechend in allen drei Berechnungsvarianten erhebliche Unsicherheiten. Vor allem die Ökosystem-schäden sind aufgrund der noch unsicheren Quantifizierung der Schäden unvollständig (z.B. Beeinträchtigung der Artenvielfalt im Landwirtschaftsgebiet). Aus diesen Gründen ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen Kosten des Pestizideinsatzes tendenziell höher liegen.

Politischer Handlungsbedarf

Die ausgewiesenen volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz stellen externe Kosten dar, welche nicht direkt von jenen Akteuren getragen werden, welche die Kosten verursachen. Während die Umweltressourcen kostenlos genutzt und geschädigt werden, fallen die langfristigen Kosten nicht bei den Verursachenden an, sondern werden mehrheitlich von der Allgemeinheit getragen.

Die mit dem Pestizideinsatz verbundenen externen Kosten sollten aus wohlfahrtsökonomischer Sicht den Verursachern angelastet, das heisst internalisiert, werden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe einer Pestizidabgabe erfolgen, wie sie Dänemark kennt. Eine solche Internalisie-

rungsmassnahme verändert die Preise der Pestizide, beeinflusst so die Produktionsfunktion in der Landwirtschaft und führt zu einem neuen Marktgleichgewicht hinsichtlich der Nachfrage nach Pestiziden (resp. der Belastung der Umwelt).

RÉSUMÉ

Les pesticides sont des auxiliaires très répandus dans les modes de production agricoles actuels ; on y recourt pour accroître l'efficacité et la performance (à court terme). Toutefois, le recours aux pesticides s'accompagne de nombreux effets secondaires, généralement indésirables, sur l'être humain et sur l'environnement. Ces effets sur la santé humaine et sur les écosystèmes sont complexes et les recherches scientifiques menées à ce propos sont en partie lacunaires. Quant aux dommages provoqués par ces effets secondaires, ils peuvent générer des coûts économiques qui sont imputés à la collectivité. La présente étude a pour objectif principal d'évaluer le coût économique de l'utilisation de pesticides au moyen d'un compte pilote.

Produits phytosanitaires, biocides

Les pesticides se subdivisent en produits phytosanitaires, utilisés essentiellement dans l'agriculture, et en biocides (lutte contre les nuisibles, protection du matériel), utilisés hors du secteur agricole. Les produits phytosanitaires constituent le groupe le plus important, tant en termes de quantités utilisées qu'en termes de traçabilité dans l'environnement. Les calculs effectués dans le présent contexte se concentrent donc sur les coûts générés par l'utilisation de produits phytosanitaires, également par manque de données statistiques disponibles concernant les biocides.

Coup de projecteur sur trois domaines de coûts

Pour tenir compte des effets mentionnés, l'étude se concentre sur trois domaines de coûts et recourt à différentes méthodes de calcul.

› **Atteintes à la santé:** les voies de contamination des pesticides sont multiples. Chez l'être humain, les plus fréquentes sont l'application de telles substances ainsi que leur absorption par le biais de l'eau potable ou de denrées alimentaires.

La monétarisation de ces coûts prend en compte aussi bien les coûts de la prévention, tels que les frais de neutralisation des résidus de pesticides dans l'eau potable, que les coûts des dommages effectifs (coûts de santé).

› **Dégradation des écosystèmes:** les atteintes aux écosystèmes causées par les pesticides sont de différentes natures. Le dépassement régulier des valeurs limites dans les cours d'eau révèle bien l'impact de cette problématique. Parmi les autres milieux détériorés par les pesticides, mentionnons les écosystèmes terriens, encore assez peu étudiés sous cet angle ; mentionnons aussi les retombées négatives que subissent d'autres organismes vivants, tels que les

oiseaux, les amphibiens ou encore les pollinisateurs tels que les abeilles. Par ailleurs, les pesticides constituent un risque pour l'approvisionnement en eau potable et mettent donc en péril une prestation écosystémique fondamentale.

Pour chiffrer la dégradation des écosystèmes causée par les pesticides, il n'existe pas encore une méthode établie. Dans la présente étude, l'évaluation des coûts provoqués par les dommages subis par des organismes vivants se base avant tout sur les coûts engendrés par les dégâts. Certains effets importants et prouvés sur les écosystèmes (notamment les effets sur les écosystèmes terrestres, p.ex. la fertilité du sol) ne peuvent pas être chiffrés.

- › **Réglementation:** la réglementation en vigueur provoque elle aussi des coûts, notamment en termes d'autorisation de commercialiser (niveau fédéral), de monitoring et de contrôles supplémentaires (avant tout au niveau cantonal). Par ailleurs, une partie des frais de recherche sont également imputés à ce domaine de coûts.

Alors que les frais de réglementation correspondent au coût effectif des ressources humaines, le coût des atteintes à la santé et aux écosystèmes se base le plus souvent sur des chiffres issus d'une méta-analyse internationale, faute d'études correspondantes en Suisse.

Des coûts importants

Le compte pilote effectué dans le cadre de la présente étude montre que le coût provoqué par les dommages provoqués par le recours aux pesticides se monte à un ordre de grandeur de 50 à 100 millions de francs, les frais de réglementation représentant environ 20 millions de francs. L'évaluation des coûts de santé varie fortement selon l'approche méthodologique choisie et présente par conséquent les fourchettes les plus vastes, allant de 25 à 75 millions de francs ; c'est aussi le poste le plus important. Les dommages subis par les écosystèmes se montent à environ 10 millions de francs. Ces coûts représentent un résultat partiel: certaines atteintes aux écosystèmes manquent dans ce résultat parce qu'il n'existe pas encore une méthodologie établie pour les monétariser. La figure ci-après présente la fourchette des résultats en fonction des variantes de calcul.

Quelle que soit la méthode choisie, les coûts sont importants. Les dépenses de l'agriculture suisse pour des produits phytosanitaires et des produits de lutte contre les nuisibles (y compris les biocides) s'élèvent à quelque 125 millions de francs par année. Le coût des pesticides et celui des dommages atteignent donc des ordres de grandeur comparables.

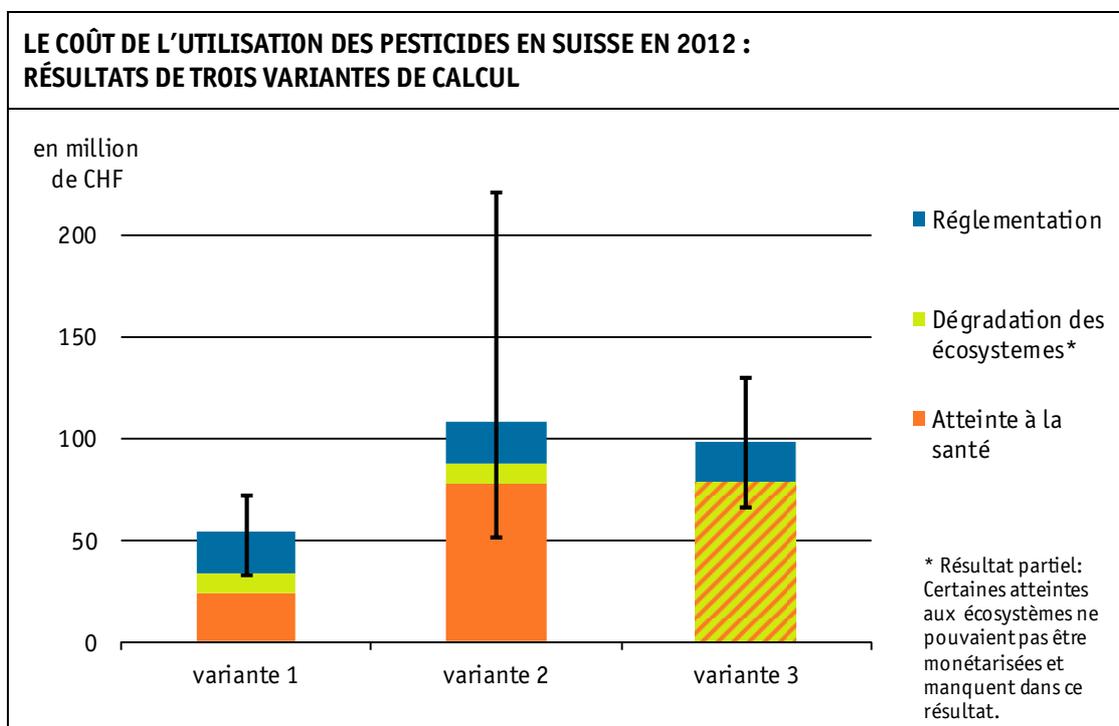


Figure Z-1 Calculs internes. Les barres noires correspondent aux résultats des calculs de sensibilité (fourchettes extrêmes des calculs).

Les chiffres se réfèrent à l'année 2012; ils ne comprennent pas les coûts générés par l'utilisation de biocides. Tous les domaines de coûts et par conséquent les trois variantes de calcul sont entachés d'une marge d'erreur considérable du fait de méthodologies insuffisamment éprouvées et d'interdépendances insuffisamment explorées. La documentation des atteintes aux écosystèmes, notamment, est incomplète du fait d'une quantification provisoire (p. ex. atteintes à la biodiversité sur les terrains agricoles). On peut donc admettre que le coût effectif de l'utilisation de pesticides est plus élevé.

Interventions requises au plan politique

Les coûts avérés de l'utilisation de pesticides en Suisse représentent des coûts externes, qui ne sont pas directement payés par ceux qui les occasionnent. Alors que les ressources naturelles sont utilisées et détériorées sans contre-valeur, les frais occasionnés à long terme ne sont pas imputés à ceux qui les provoquent, mais sont majoritairement pris en charge par la collectivité.

Selon une approche qui relève de l'économie du bien-être, les coûts externes liés à l'utilisation de pesticides doivent être imputés à ceux qui les provoquent ; en d'autres termes, il s'agit de les internaliser, par exemple au moyen d'une taxe sur les pesticides, telle qu'elle est appliquée au Danemark. Une telle mesure d'internalisation modifie le prix des pesticides, in-

fluence la fonction de production agricole et conduit à l'établissement d'un nouvel équilibre sur le marché en termes de demande de pesticides (respectivement de répercussion sur l'environnement).

1. AUSGANGSLAGE UND ZIELE

1.1. AUSGANGSLAGE

Pestizide sind Teil einer auf kurzfristige Effizienz und Höchstleistung getrimmten landwirtschaftlichen Produktionsweise. Zwischen 1990 und 2005 wird in der Schweiz zwar ein Rückgang von 40% bei der verkauften Menge Pflanzenschutzmitteln angegeben. Jedoch wurden dabei auch ältere Produkte durch neuere ersetzt, welche mit kleineren Aufwandmengen auskommen, dafür wirksamer sind. Die Umweltbelastung ist dadurch nicht zwingend geringer geworden. Seit 2006 sind Daten von allen Pflanzenschutzmittel verkaufenden Unternehmen verfügbar, wobei sich seither das Niveau zwischen 2'100 und 2'200 Tonnen jährlich eingependelt hat.¹

Wie die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Literaturanalyse sowie die geführten Gespräche mit ExpertInnen zeigen, sind die Umweltwirkungen des Pestizideinsatzes äusserst komplex und vielschichtig. Den Produktivitätsgewinnen der Anwender von Pestiziden stehen Schäden in der Umwelt sowie beim Menschen gegenüber.

Aus ökonomischer Sicht handelt es sich dabei um ein klassisches Marktversagen: Während die Umweltressourcen kostenlos genutzt und geschädigt werden, fallen die langfristigen Kosten nicht bei den Verursachenden an. Sie werden Dritten oder nachfolgenden Generationen aufgebürdet.

Im Frühling 2012 forderte Nationalrätin Tiana Angelina Moser den Bundesrat in einem Postulat (12.3299) auf zu prüfen, ob und in welcher Form ein Aktionsplan zur Risikominimierung und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, wie ihn die EU vorsieht, geeignet ist, die Pestizidbelastung zu verringern. Der Bundesrat erklärte sich am 23.5.2012 bereit, das Postulat anzunehmen. Der Nationalrat überwies es am 15.6.2012. Die Antwort des Bundesrates ist in dieser Angelegenheit noch ausstehend.

Vor diesem Hintergrund möchten die Umweltverbände Greenpeace, Pro Natura, SVS/BirdLife Schweiz und WWF verbesserte Erkenntnisse über die Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz in die politische Diskussion einbringen. Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die Frage, wie hoch die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz sind. Daran anschliessend kann die Frage angegangen werden, wie und durch welche regulatorischen Massnahmen diese Kosten gesenkt werden könnten.

Die vorliegende Studie liefert einerseits basierend auf der Literaturanalyse und der Expertengespräche Einsichten in die verschiedenen Wirkungen von Pestiziden. Andererseits – und

¹ Vgl. dazu die Angaben des BFS:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/ind24.indicator.240502.2405.html>

dies stand im Zentrum der Arbeit – wird im Rahmen der Pilotberechnung erstmals versucht für die Schweiz die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes zu berechnen.

1.2. ZIEL DER STUDIE

Hauptziel der Studie ist es, die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz abzuschätzen. Darüber hinaus soll die Studie erste Hinweise geben, mit welchen politischen Handlungsoptionen diese Kosten gesenkt werden könnten.

Im Zentrum der Arbeit stehen primär die volkswirtschaftlichen, d.h. externen Kosten des Pestizideinsatzes in verschiedenen Wirkungsbereichen. Dazu zählen:

- › Gesundheitsschäden: Applikation, Lebensmittel, Trinkwasser, Inhalation.
- › Ökosystemschäden: aquatische Ökosysteme, terrestrische Ökosysteme, Verfügbarkeit von Trinkwasser, Bienen und weitere Tiere.
- › Regulierungsaufwände: Gesetzesvollzug (Zulassung, Kontrolle), Forschung.

Die internen und externen Nutzen des Pestizideinsatzes in Form von Produktivitätsgewinnen und die gesamthafte Kosten/Nutzen-Betrachtung sind nicht Gegenstand der Analyse. Sie werden aber vollständigshalber erwähnt (siehe Schluss des Kapitels 3.3).

1.3. METHODISCHES VORGEHEN

Für die vorliegende Studie wurden verschiedene Methoden angewendet. Diese werden folgend kurz erläutert.

Literaturresearch

In einem ersten Schritt haben wir die relevante Literatur zu den Wirkungen und den externen Kosten der Pestizide gesichtet ausgewertet. Im Annex finden sich die Kurzzusammenfassungen einer Auswahl der gesichteten Literatur.

Experteninterviews

Um die Komplexität des Themas und die mehrgliedrigen Wirkungsketten vom Einsatz der Pestizide bis zu den Folgen für Mensch und Umwelt besser einschätzen zu können, haben wir verschiedene ExpertInnen über leitfadengestützte Gespräche befragt. Gestützt auf diese Experteninterviews konnten wir die einzelnen Wirkungen vertiefter beleuchten und ihre Relevanz besser einschätzen. Mit folgenden Personen haben wir persönliche oder telefonische Gespräche geführt:

LISTE DER GESPRÄCHSPARTNER		
Name	Funktion	Institution
Daniel, Otto	Leiter Gruppe Ökotoxikologie	Agroscope Wädenswil
Ehmann, Heinz	Abteilungsleiter Gewässerqualität	Amt für Umwelt Kanton Thurgau
Felix, Olivier	Leiter Fachbereich Nachhaltiger Pflanzenschutz	Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Hitzfeld, Bettina	Abteilungschefin Boden & Biotechnologie, bis Ende 2013 Leiterin Sektion Biozide in der Abteilung Luftreinhaltung/Chemikalien	Bundesamt für Umwelt BAFU
Kattwinkel, Mira	Abteilung Systemanalyse und Modellierung	EAWAG Zürich
Lichtensteiger, Walter	Gruppenleiter von GREEN Tox, Forschungsgruppe für reproduktive, endokrine und Umwelttoxikologie	Universität Zürich (emeritiert)
Niggli, Urs	Direktion Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL	FiBL Frick
Scheringer, Martin	Senior Scientist, Gruppe für Sicherheits- und Umwelttechnologie	Institut für Chemie- und Bioingenieurwissenschaften, ETH Zürich
Seiler, Kurt	Kantonschemiker, Amtsleiter	Interkantonales Labor Schaffhausen
Stamm, Christian	Stellv. Abteilungsleiter Umweltchemie	EAWAG Zürich
Werner, Inge	Leiterin Oekotoxzentrum	EAWAG Zürich
Wiget, Roman	Geschäftsleiter	Seeländische Wasserversorgung Gemeindeverband SWG, Worben

Tabelle 1

Quantitative Berechnungen

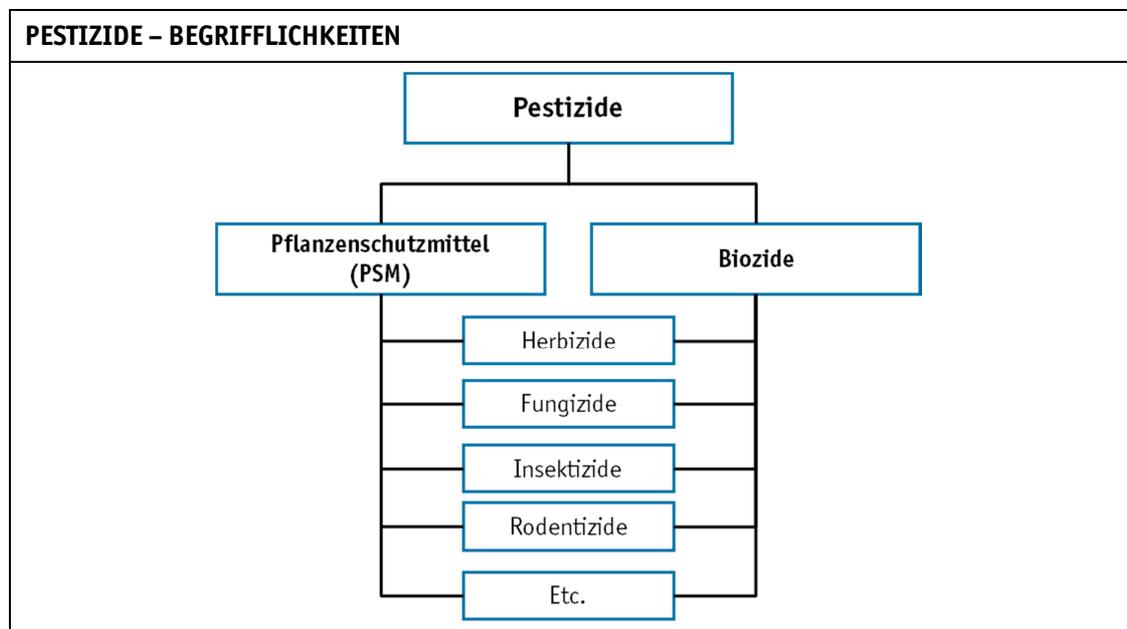
Berechnung der Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz unter Verwendung der verschiedenen vorliegenden Kostenstudien sowie eigenen Hochrechnungen basierend auf veröffentlichten Statistiken und Schätzungen. Das detaillierte Vorgehen wird in Kapitel 3.5 erläutert.

2. PESTIZIDE UND IHRE WIRKUNGEN

2.1. EINFÜHRUNG

2.1.1. ANWENDUNGSFELDER UND WIRKSTOFFE

Das Wort Pestizid (von lat. *pestis*= Geißel, Seuche und lat. *caedere*= töten) stammt aus dem englischen Sprachgebrauch und bezeichnet chemische Substanzen, die lästige oder schädliche Lebewesen töten, vertreiben oder in Keimung, Wachstum oder Vermehrung hemmen.²

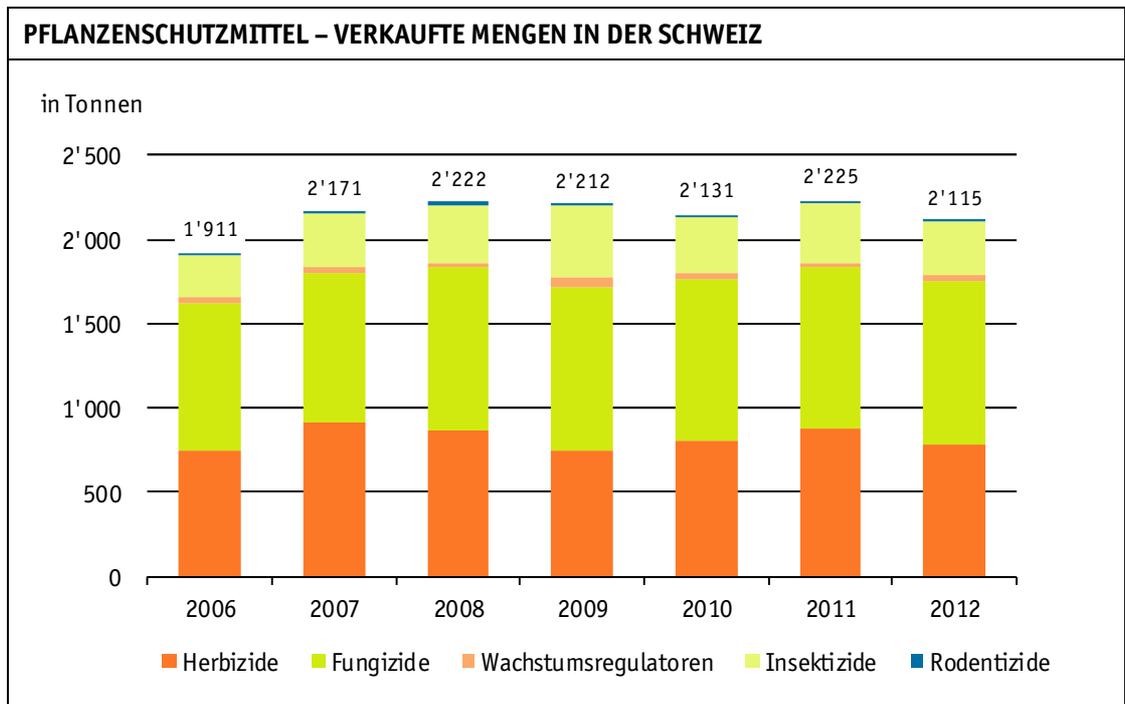


Figur 1 Eigene Darstellung.

Die Pestizide werden gemäss ihren Anwendungsfeldern in zwei Hauptgruppen unterschieden: die **Pflanzenschutzmittel (PSM)** und die **Biozide**. Pflanzenschutzmittel werden primär in der Landwirtschaft eingesetzt und sind in Bezug auf die Einsatzmenge sowie die in der Umwelt nachweisbare Menge die klar wichtigere Gruppe. Biozide umfassen Pestizide, die ausserhalb des agrarischen Bereichs eingesetzt werden, u.a. als Holzschutzmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel, Beschichtungsmittel und Desinfektionsmittel. Pestizide werden meistens nach ihren Zielorganismen klassifiziert, die mit dem Einsatz bekämpft werden sollen. Zu den wichtigsten Gruppen gehören die **Herbizide** (gegen Pflanzen), **Insektizide** (gegen Insekten) und **Fungizide** (gegen

² Vgl. <http://www.hortipendium.de>.

Pilze). Eine häufige Anwendung finden auch Rodentizide (gegen Nagetiere) sowie Wachstumsregulatoren.³



Figur 2 Quelle: BFS/BLW, Verkäufe von Pflanzenschutzmitteln, 22.3.2013; Zahlen für 2012 gemäss Auskunft BLW.

Die beiden in der Schweiz mengenmässig wichtigsten Gruppen sind die Fungizide und die Herbizide mit einer jährlichen Verkaufsmenge von rund 800 bis 1'000 Tonnen (vgl. Figur 2). An dritter Stelle folgen die Insektizide mit rund 400 Tonnen pro Jahr. Von geringer mengenmässiger Bedeutung sind die Rodentizide sowie die Wachstumsregulatoren. Die jährlichen Schwankungen der verkauften PSM-Mengen sind unter anderem auch durch die Witterung beeinflusst.

Die Pestizide werden gemäss ihrer chemischen Eigenschaften klassifiziert. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten chemischen Gruppen, deren Einsatzbereich (Pestizidklassen: Herbizide, Insektizide, Fungizide) sowie einige Beispiele chemischer Wirkstoffe.

³ Letztere werden in der Landwirtschaft zur Beeinflussung des Pflanzenwachstums eingesetzt, z.B. zur Erhöhung der Standfestigkeit, Verringerung der Pflanzenhöhe oder zur Hemmung der Keimung (z.B. bei Kartoffeln).

PESTIZIDE: CHEMISCHE GRUPPEN UND WIRKSTOFFE		
Chemische Gruppe	Einsatzbereich Pestizidklasse	Beispiele von Wirkstoffen
Organophosphate	Insektizide	Malathion, Chlorpyrifos, Parathion
Carbamate, Thiocarbamate	Insektizide, Fungizide, Herbizide	Mancozeb, Carbaryl, Methomyl
Pyrethroide	Insektizide	Permethrin
Phosphonate	Herbizide	Plyphosate
Phenoxy-Herbizide	Herbizide	2,4-D, 2,4,5-TP (Silvex), Dicamba
Neonicotinoide	Insektizide	Imidacloprid, Clothianidin, Thiamethoxam
Anilide	Herbizide	Metolachlor, Alachlor
Triazine	Herbizide	Atrazin, Terbutylazin, Simazin, Metamitron
Phtalimide	Fungizide	Captan, Captafol
Organochloride/Organochlorpestizide	Insektizide, heute grösstenteils verboten	DDT, Aldrin, Dieldrin, Lindan, Heptachlor

Tabelle 2

2.1.2. RECHTLICHE ASPEKTE

In der schweizerischen Gesetzgebung finden sich gleich mehrere Bestimmungen und Verordnungen, welche sich der Pestizide annehmen. Vereinfacht lassen sich wiederum die Bereiche Pflanzenschutzmittel und Biozide unterscheiden, wobei ein spezifischer Wirkstoff in beiden Bereichen zum Einsatz kommen kann. Unter ersterem werden Pflanzenschutzmittel (PSM) in der Landwirtschaft sowie beim Unterhalt von Grünanlagen verstanden. Sie unterstehen der Pflanzenschutzmittelverordnung (SR 916.161), welche die Zulassung, das Inverkehrbringen, die Verwendung und die Kontrolle regelt. Unter Bioziden werden die Schädlingsbekämpfung und der Materialschutz verstanden. Details sind in der Biozidprodukteverordnung (SR 813.12) geregelt, wobei u.a. Produkte, welche ausschliesslich nach Pflanzenschutzverordnung in Verkehr gebracht werden, ausgenommen sind.

Grundsätzlich gilt für Pflanzenschutzmittel und Biozide eine Zulassungspflicht in der Schweiz. Die federführenden, zuständigen Bundesbehörden sind dabei das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) für den Vollzug der Pflanzenschutzmittelverordnung (PSMV) sowie das Bundesamt für Umwelt (BAFU) für den Vollzug der Biozidprodukteverordnung.⁴ Weitere involvierte Bundesstellen sind das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV, Humantoxikologie und Lebensmittel) und das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO, Arbeitssicherheit). Die in der Schweiz zugelassenen Wirkstoffe sind in den jeweiligen Anhängen der Verordnungen aufgeführt.

⁴ Für die durchgeführten Risikobewertungen des Zulassungsverfahrens vgl. z.B. Knauer et al. 2010.

Eine weitere rechtliche Grundlage bildet die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81), welche unter anderen die Anwendung gewisser Pflanzenschutzmittel in bestimmten Bereichen verbietet. So besteht ein Verbot für die Herbizidanwendung auf und entlang von Strassen, Wegen und Plätzen (seit 1986 für Gemeinden, seit 2001 auch für Privatpersonen), welche ab 1999 auf Kantonal- und Gemeindestrassen ausgedehnt wurde (Wittwer, Gubser 2013). Ebenso bestehen für die Anwendung von PSM in der Landwirtschaft und im Gartenbau rechtliche Vorgaben (VFB-LG, SR 814.812.34).

Über diese Zulassungs- und Anwendungsbestimmungen hat der Bund Vorgaben zur maximalen Höhe von Rückständen in Oberflächengewässern sowie in Trinkwasser und Lebensmitteln erlassen. Die Grenzwerte für Wirkstoffe in Fließgewässern, Trinkwasser und Lebensmittel sind in den folgenden Verordnungen festgehalten:

- › Grenzwerte Umwelt: Gewässerschutzverordnung, Grenzwerte für Pestizidkonzentrationen in Gewässern (GschV, SR 814.201),
- › Fremd- und Inhaltsstoffverordnung: Grenzwerte für Pestizide in Trinkwasser und Lebensmittel (FIV, SR 817.021.23).

Die Recherchen und Gespräche haben gezeigt, dass zwischen der Schweiz und der EU keine grundsätzlichen Unterschiede in der Regulierung der Pestizide bestehen. Das Zulassungsverfahren für PSM sowie die Zulassungsentscheide sind in der Schweiz zwar autonome Prozesse, die Gesetzgebung lehnt sich aber stark an jene der EU an. Ebenso wird während des Verfahrens auf die gemachten Expertisen in den EU-Ländern zurückgegriffen. Im Bereich der Biozide orientiert sich die Schweiz noch stärker an der bestehenden EU-Praxis (z.B. gegenseitige Anerkennung der Zulassungen von Biozid-Produkten).⁵

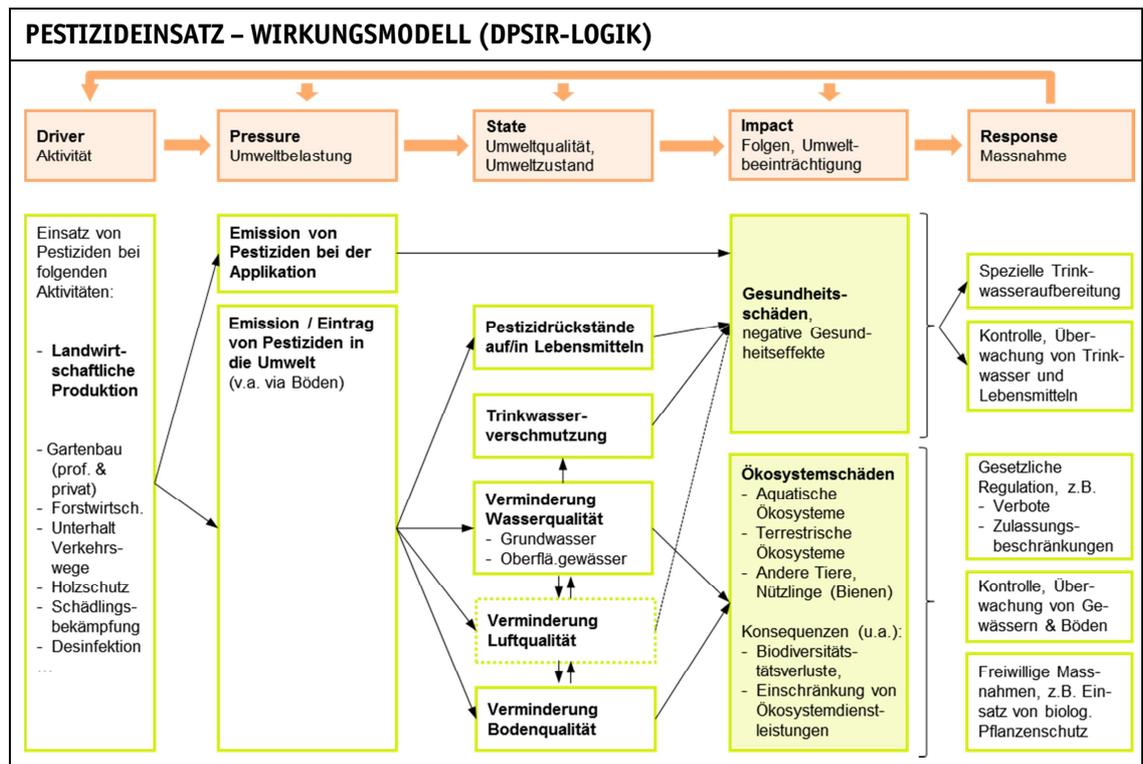
Beispielhaft für die gesetzgeberische Nähe zur EU steht etwa die 2-jährige Suspension der Bewilligung von drei Insektiziden durch das BLW. Diese Einschränkung wurde analog zu einem Erlass in der EU eingeführt.⁶ Die Schweiz ist zudem Unterzeichnerin des Rotterdamer Übereinkommens (SR 0.916.21), welches die Informations- und Meldepflicht der Vertragsparteien beim Handel mit umweltgefährlichen Chemikalien und Pestiziden regelt.

⁵ Vgl. dazu das Abkommen über die gegenseitige Anerkennung von Konformitätsbewertungen, Kapitel 18, Anhang, SR 0.946.526.81.

⁶ Vgl. <http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00075/01127/index.html>.

2.2. WIRKUNGEN

Pestizide können vielfältige Wirkungen bei Mensch und Umwelt haben. Für eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Wirkungs- und Schadensbereiche entlang der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge wählen wir das DPSIR-Modell.⁷ Dieses wird im Umweltbereich oft eingesetzt und veranschaulicht den kausalen Zusammenhang zwischen Aktivität (z.B. landwirtschaftliche Produktion), Umweltbelastung (Emission / Eintrag von Pestiziden), Umweltqualität bzw. Umweltzustand (Konzentration von Pestiziden im Wasser, Trinkwasser, auf Lebensmitteln etc.) sowie den Folgen (v.a. Gesundheitsschäden, Ökosystems Schäden). Auf die Folgen dieser Schadwirkungen kann die Politik bzw. Gesellschaft mit Massnahmen reagieren, die wiederum an den verschiedenen DPSIR-Ebenen ansetzen und so die Folgen direkt oder indirekt beeinflussen können.



Figur 3

Für die Monetarisierung der Folgen des Pestizideinsatzes sind nebst den **Gesundheitsschäden** und den **Ökosystems Schäden** auch jene **Regulierungskosten** relevant, die sich durch die ge-

⁷ Das DPSIR-Modell bzw. der DPSIR-Ansatz steht für Driving Forces (Aktivität, Treiber), Pressures (Umweltbelastung), State (Umweltqualität, Umweltzustand), Impacts (Folgen, Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt), Responses (Massnahmen bzw. Antworten der Politik / Gesellschaft).

troffenen Massnahmen ergeben (Zulassungsregulierungen, Kontrollen und Monitoring, Forschung und weitere). Letztere sind somit indirekte Kosten, welche sich aus den direkten Wirkungen des Pestizideinsatzes ergeben resp. für die Vermeidung dieser getätigt werden müssen. Für die folgende Beschreibung der Wirkungen und der indirekten Kosten unterscheiden wir grundsätzlich drei Kostenbereiche, wobei sich die ersten beiden explizit auf die Umwelteffekte beziehen, der dritte Bereich sich hingegen auf Kosten der öffentlichen Hand bezieht:

- › **Gesundheitsschäden:** Direkte und indirekte Wirkungen von Pestiziden auf die Gesundheit des Menschen, so zum Beispiel chronische oder akute Erkrankungen.
- › **Ökosystemschäden:** Direkte und indirekte Wirkungen von Pestiziden in der Umwelt, so zum Beispiel in Gewässern.
- › **Regulierungsaufwand:** Kosten, welche für die öffentliche Hand anfallen, so zum Beispiel durch Zulassungsvorschriften und Kontrollaufgaben.

Diese drei Kostenbereiche werden in den folgenden Abschnitten entlang der wichtigsten Wirkmechanismen genauer beschrieben, Tabelle 3 zeigt deren Struktur.

STRUKTUR KOSTENBEREICHE	
Kostenbereiche	Teilbereiche
Gesundheitsschäden	Applikation von Pestiziden
	Lebensmittel (Konsum)
	Trinkwasser
	Inhalation*
Ökosystemschäden	Aquatische Ökosysteme
	Terrestrische Ökosysteme
	Verfügbarkeit von Trinkwasser
	Weitere Tiere: Insekten (insb. Bienen), Vögel, Amphibien
Regulierungsaufwand	Zulassung von Pestiziden
	Kontrolle
	Forschung

Tabelle 3 * Gemeint ist damit die Inhalation von Luft im Allgemeinen, die mit einer Hintergrundkonzentration von Pestiziden belastet ist, und nicht bei der Applikation von Pestiziden.

Die drei Kostenbereiche werden jeweils nach den aufgeführten Teilbereichen analysiert, wobei zuerst auf die generellen und potentiellen Wirkungen eingegangen wird. Danach thematisieren wir jeweils die spezifische Belastungssituation (= Exposition) in der Schweiz. Diese Einschätzungen dienen als Grundlage, um die Relevanz der einzelnen Bereiche einzustufen (vgl. Kapitel 3.1).

2.2.1. GESUNDHEITSSCHÄDEN

Menschen können Pestiziden entweder direkt bei deren Anwendung ausgesetzt sein oder aber indirekt über das Trinkwasser, die Nahrungsaufnahme oder über die Atemluft (Inhalation der Hintergrundbelastung). Auf die Belastungssituation dieser Wirkungspfade in der Schweiz wird im zweiten Teil dieses Abschnittes eingegangen. Zuerst werden die potentiellen Gesundheitsfolgen für den Mensch durch Pestizide im Allgemeinen beschrieben.

Akute und chronische Effekte

Bei der Toxizität von Pestiziden muss zwischen akuten und chronischen Effekten unterschieden werden:

Akute Effekte treten ein, wenn ein hohes Expositionslevel gegenüber einer hochdosierten Pestizidmenge erreicht ist. Dadurch können innerhalb von Minuten Kopfschmerzen, Hautreizungen, Schwäche, Atembeschwerden oder Erbrechen auftreten. Letztlich kann dies zu einer Überreaktion des zentralen Nervensystems und Koma führen.⁸

Chronische Effekte erfolgen hingegen entweder bei einer langanhaltenden Exposition, wobei in der Regel bereits tiefere Dosen ausreichen, oder durch eine Akkumulation von Pestiziden im Körper, was vor allem bei sehr persistenten und schwer abbaubaren Stoffen der Fall ist. Im Bereich der chronischen Schädwirkungen sind vor allem folgende zwei Effekte zu erwähnen:

- › Direkte krebserregende (kanzerogene) Wirkung: Pestizide werden u.a. als mögliche Ursachen für eine Reihe von Krebsarten (Brust-, Eierstock- und Prostatakrebs sowie weitere Krebsarten) eingeschätzt.
- › Indirekte Schäden durch hormonaktive Stoffe (endokrine Disruptoren): Pestizide haben oftmals hormonaktive Wirkungen, welche beispielsweise bei einer Schwangerschaft die embryonale Entwicklung stören können. Ebenso können neurologische Fehlfunktionen wie verminderte Entwicklungsfähigkeit und Intelligenz, sowie schlechtere und verminderte Spermienproduktion oder Übergewicht verursacht werden. Zudem sind Nerven-, Hormon- und Immunsystem von Kleinkindern besonders empfindlich. Daneben können auch endokrine Disruptoren zu erhöhtem Krebsrisiko führen.⁹

⁸ Für eine detailliertere Beschreibung dieser Effekte vgl. z.B. Alvanja et al. (2004), CRO Forum (2012), Koureas et al. (2001) oder Köhler und Triebkorn (2013).

⁹ Siehe dazu z.B. Diamanti et al. (2009), CRO Forum (2012) oder Koureas et al. (2011) und Rauh et al. (2011) für Auswirkungen auf Kinder.

Verschiedene Studien haben insbesondere eine Korrelation und einen kausalen Zusammenhang zwischen der Pestizidexposition und dem erhöhten Krebsrisiko nachgewiesen. Der kausale Zusammenhang bezieht sich allerdings in der Regel auf die gesamte Pestizidmenge bzw. Pestizidexposition und nicht auf einzelne Stoffe.¹⁰ Nachweisbar kritisch ist jedoch die konstante Hintergrundbelastung von Pestiziden. Zu erwähnen ist zudem die Kombination mit anderen Chemikalien, welche zu additiven oder synergetischen (zusammenwirkenden) Effekten führen.¹¹ Hier besteht jedoch nach wie vor ein grosser Forschungsbedarf, um Einzel- und Mischungseffekte besser zu identifizieren.

Exposition und Belastungssituation in der Schweiz

a. Applikation

Pestizidanwender, wie Landwirte und Gärtner, aber auch der persönliche „Hausgebrauchs-Anwender“ sind Pestiziden bei deren Ausbringung direkt ausgesetzt und tragen gemäss befragten ExpertInnen und Literatur daher auch das höchste Gesundheitsrisiko.¹² Einen entscheidenden Einfluss auf das mögliche Gesundheitsrisiko spielen die sachgemässe Anwendung und das persönliche Verhalten. Aufgrund der guten Ausrüstung und Ausbildung der Pestizidanwender in der Schweiz spielt das Gesundheitsrisiko im Rahmen der Applikation gemäss Expertenaussagen heute kaum eine Rolle (ausser bei unsachgemässer Anwendung).

b. Lebensmittel

Behandelte Lebensmittel stellen für den Konsumenten die wichtigste Quelle zur Aufnahme von Pestiziden dar. Pestizidrückstände finden sich vor allem auf Früchten und Gemüsen wieder, wobei insbesondere fettlösliche, schwer abbaubare Stoffe sich im Körper akkumulieren und ablagern können. Im Vergleich zur Aufnahme von Pestiziden übers Trinkwasser oder Inhalation ist die Aufnahme über die Lebensmittel von weit grösserer Bedeutung und um Faktoren höher.¹³

Neben den Pestizidrückständen durch Schweizer Produkte sind vor allem importierte Nahrungsmittel zu beachten, welche aus Ländern kommen, wo gewisse Pestizide erlaubt sind, welche in der Schweiz nicht mehr zu Anwendung kommen (z.B. Paraquat). Generell weisen importierte Nahrungsmittel höhere Pestizidrückstände auf, als in der Schweiz produzierte (Kantonales

¹⁰ Siehe etwa Koureas et al. (2012), Lee et al. (2004) oder Alavanja et al. (2004). In Exiopol (2011) finden sich Angaben zu stoffspezifischen Krebsrisiken.

¹¹ Etwa CRO Forum (2012) oder Schlumpf et al. (2010) sowie Expertenaussagen in den geführten Interviews.

¹² siehe z.B. Alavanja et al. 2004.

¹³ Zusätzlich können Pestizide auch durch Fleischverzehr in den Körper gelangen (Expertenaussagen). Die Relevanz dürfte in der Schweiz jedoch geringer sein als bei pflanzlichen Lebensmitteln. Angaben zur Ablagerung von Stoffen im Körper siehe, Schlumpf et al. (2010) und Garry (2004); zur Bedeutung von Pestiziden in Lebensmitteln siehe Juraske et al. (2009).

Labor Zürich 2012). So hat beispielsweise das Kantonale Labor Zürich in seiner Messreihe von 2012 in knapp 13% aller Proben Höchstwertüberschreitungen von Pestiziden gefunden. Bei Schweizer Lebensmittel überschritten lediglich 1.1% der Proben die Grenzwerte, in der EU waren übermässige Pestizidrückstände in 5% aller Proben, in Asien in rund 25%. Diese Ergebnisse waren in den Vorjahren sehr ähnlich.¹⁴ Gemäss der Studie von Juraske et al. (2009) nimmt die Schweizer Bevölkerung im Durchschnitt von jedem in der Landwirtschaft eingesetzten Kilogramm Pestizid rund 0.4‰ (bzw. 0.41 g) durch Früchte und Gemüse in den Körper auf. Breit eingesetzte Pestizide, wie zum Beispiel Glyphosat, können in Industrieländern aufgrund der regelmässigen Exposition über die Nahrung bei einem erheblichen Teil der Bevölkerung im Körper bzw. Urin nachgewiesen werden.¹⁵

In der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) hat der Bund Grenzwerte und Toleranzwerte für Pestizidrückstände auf und in Lebensmitteln deklariert. Der Toleranzwert ist der Wert, bei dessen Überschreitung die Lebensmittel bzw. das Trinkwasser als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert gilt, aber gesundheitlich noch unbedenklich ist. Idealerweise liegt der Toleranzwert weit unter dem Grenzwert für ein gesundheitliches Risiko.¹⁶ Die Toleranzwerte gelten sowohl für Schweizer Produkte als auch für importierte Lebensmittel, wobei bei letzteren vom Lebensmittelvertreiber Angaben zu den ausländischen Anwendungsbedingungen von Pestiziden dem BAG vorgelegt werden müssen (BAG, 2013)¹⁷. In der Schweiz überprüfen die Kantonslabors schweizerische und importierte Lebensmittel auf Pestizidrückstände.

c. *Trinkwasser*

Nach der Ausbringung der Pestizide durch den Anwender wird angenommen, dass je nach Anwendungsmethode und Wetterbedingungen ca. 10% der Pestizide in die Luft gelangen, ca. 5% auf den Pflanzen bleiben und ca. 85% in den Boden eindringen. Nur wenige Substanzen erreichen das Grundwasser und der Abfluss von Pestiziden wird auf weniger als 10% der angewendeten Dosis geschätzt. Trinkwasserverschmutzungen durch Pestizide sind laut Expertenaussagen und Studien im Vergleich zur direkten Applikation oder durch den Verzehr von Lebensmitteln von geringerer Bedeutung.¹⁸

¹⁴ Kantonales Labor Zürich, Jahresbericht 2012. Die Prozentwerte beziehen sich auf die Summe aller Proben, das heisst sie sind nicht nach Lebensmittelklassen oder Gefahrrentypen separat verfügbar. Wenn also z.B. bei den Lebensmitteln aus dem Ausland Gemüse- oder Früchtearten mit einem generell hohen Pestizid-,Bedarf' stärker vertreten sind, beeinflusst dies das Ergebnis.

¹⁵ z.B. FOEE 2013a. Diese Studie ist allerdings nicht in einem wissenschaftlichen Journal publiziert worden.

¹⁶ Weil die Ursache-Wirkungszusammenhänge oft noch zu wenig erforscht sind und vor allem durch Mischeffekte Gesundheitseffekte möglich sind, ist nicht auszuschliessen, dass auch bei Einhaltung aller Toleranzwerte für Einzelstoffe die Gesamtheit aller Pestizide zu negativen Gesundheitseffekten führt.

¹⁷ <http://www.bag.admin.ch/themen/lebensmittel/10380/10386/13051/index.html>.

¹⁸ Hierzu die Studie von Margni et al. (2002).

In der Schweiz beträgt der Toleranzwert von Pestiziden im Trinkwasser 0.0005mg/kg für die Summe aller organischen Pestizide und deren relevanten Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte und 0.0001 mg/kg (= 0.1 µg/l) pro Einzelsubstanz für organische Pestizide, deren relevanten Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung FIV, Liste 4). Diese Grenzwerte gelten auch für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird. Kantonale Labors überprüfen die Trinkwasserqualität regelmässig auf Pestizide und Pestizidrückstände, insbesondere auch im Grundwasser.¹⁹

In der Schweiz können im Grundwasser teilweise Pestizide und Abbauprodukte von Pestiziden nachgewiesen werden. So fanden sich 2011 an 2% der Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln (Herbizide, Fungizide, Insektizide) in Konzentrationen über dem gesetzlichen Anforderungswert von 0.1 µg/l. Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln fanden sich sogar in 20% aller Messstellen über diesem Grenzwert. Nachweisbar im Grundwasser sind insbesondere noch Atrazin sowie Atrazin-Metaboliten, deren Einsatz in der Schweiz erst seit Anfang 2012 definitiv verboten ist.²⁰

*d. Inhalation*²¹

Bei der Ausbringung von Pestiziden gelangt ein gewisser Anteil (ca. 10%) in die Luft, mit der es sich in der Umwelt ausbreitet. Für persistent und schwer abbaubare Pestizide wird eine Aufenthaltszeit > 60 Tage angenommen, wobei sich die Stoffe in der ganzen Atmosphäre verteilen können. Pestizidrückstände finden sich somit in der Luft als auch im Hausstaub wieder.²²

In der Schweiz wird die Inhalation von Pestiziden gemäss ExpertInnen als geringstes Gesundheitsrisiko für den Menschen angesehen. Insgesamt ist die Pestizidkonzentration in der Luft in der Schweiz von so geringem Umfang, dass dieser Wirkungsbereich vernachlässigt werden kann.

2.2.2. ÖKOSYSTEMSCHÄDEN

Pestizide können auf unterschiedliche Wege in die verschiedenen Ökosysteme gelangen. Der Eintrag in Böden findet in vielen Fällen direkt statt, beispielsweise durch die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf landwirtschaftliche Kulturflächen.²³ Pestizide können über verschie-

¹⁹ <http://www.umwelt.sg.ch/home/Themen/wasser/grundwasser/Messergebnisse/pestizide.html>

²⁰ Vgl. BAFU (2013).

²¹ In diesem Kapitel geht es nicht um die Inhalation während der Applikation von Pestiziden (siehe Teilkapitel ‚Applikation‘), sondern um die Inhalation über die allgemeine Hintergrundkonzentration von Pestiziden in der Luft.

²² Dazu Margni et al. (2002) und Garry (2004).

²³ Gemäss Margni et al. (2002) gelangt mit 85% der grösste Anteil der Pestizide nach der Anwendung in den Boden.

dene Ausbreitungspfade zu Rückständen von Wirkstoffen oder Abbauprodukten (Metaboliten) in Fließ- oder Grundgewässer führen. So können durch den Pestizideinsatz nicht nur die Zielorganismen, sondern auch eine Reihe von Nicht-Zielorganismen geschädigt werden.

Wie lange Pestizide und ihre Rückstände in den Ökosystemen verbleiben, hängt von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Stoffe ab. Zu beachten ist dabei, dass beim Abbau von Pestiziden die Metaboliten teilweise toxischer sein können, als die Ausgangsstoffe.

Bei der Ausbringung, wie auch über die Rückstände in Böden und Gewässern, sind Lebewesen den Pestiziden ausgesetzt und können Schäden davontragen. Wie in der Humantoxikologie ist es jedoch auch in der Ökotoxikologie schwierig, allgemeine Aussagen zu den Wirkungen einzelner Stoffe auf die verschiedenen Lebewesen zu machen. Die Isolation des Effekts einzelner Schädwirkungen bzw. Umweltbelastungen ist schwierig (z.B. Pestizidbelastung vs. andere Schadstoffe).²⁴ Ebenso müssen Mischeffekte beachtet werden. Organismen, die durch ein Pestizid oder eine andere Chemikalie schon gestresst sind, können durch ein weiteres Pestizid noch stärker geschwächt werden.²⁵

Obwohl mengenmässig am meisten Herbizide ins Gewässer gelangen, haben für aquatische Organismen laut verschiedenen Expertenaussagen Insektizide die höchste Toxizität. Diese sind vor allem für Insektenlarven gefährlich, welche ihre Entwicklung im Wasser durchlaufen. Generell können Pestizide die Gemeinschaften von wirbellosen Tieren im Gewässer negativ beeinflussen. Dazu gibt es ganze Datenbanken, die die akuten und chronischen Effekten von Pestiziden auf Algen, Daphnien (z.B. Bachflohkrebse) und Fische erfassen. Gewässer, die mit Pestiziden belastet sind, weisen überdies eine geringere Biodiversität auf als unbelastete Gewässer.²⁶

Neben Wirkungen auf aquatische Systeme finden sich in der Literatur Angaben zu Effekten auf die terrestrische Flora und Fauna, die eine Schlüsselrolle in diesem System spielen: Populationsveränderungen von Mikroorganismen und Pilzgemeinschaften, Beeinträchtigung des Wachstums und der Reproduktion von Regenwürmern.²⁷ Diese Organismen haben Einfluss auf die Bodenstruktur, die Wasserversorgung und auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen für Pflanzen. Zudem bauen sie Schadstoffe wie Pestizide ab.

²⁴ Organismen, die mit anderen Lebewesen um ihren Lebensraum konkurrieren, können durch ein Pestizid so stark geschwächt werden, dass sie sich nicht mehr erholen. Würden die Organismen hingegen ohne Konkurrenzdruck auskommen, wären sie gegenüber den Pestiziden resistenter.

²⁵ Beispielsweise kann ihre Reproduktion abnehmen oder ihr Fressverhalten sich verändern, während dies bei einer Einzelstoffbelastung nicht vorkommen würde. Siehe Liess et al. (2013) und Fässler und Stöckli (2013).

²⁶ Eine Zusammenstellung von Auswirkungen findet sich in PAN (2010). Erfasste Effekte finden sich z.B. in der ECOSAR-Datenbank (<http://www.epa.gov/oppt/newchems/tools/21ecosar.htm>). Zur verminderten Biodiversität siehe Beketov et al. (2013).

²⁷ Detaillierte Ausführungen dazu sowie weitere negative Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen wie Spinnen oder Bodenkäfer finden sich in PAN (2010).

Die Resistenzbildung bei Pflanzen durch den Pestizideinsatz stellt eine weitere mögliche Wirkung dar, wird aber im Rahmen dieser Studie nicht weiter beleuchtet werden.²⁸

Eine wichtige Dienstleistung von Ökosystemen ist die Bereitstellung von (trinkbarem) Wasser. Da Pestizide auch in Grundwasserreservoirs nachgewiesen werden, besteht eine weitere zu berücksichtigende Wirkung darin, dass Pestizide diese Ökosystemdienstleistung beeinträchtigen können.²⁹ Über die Trinkwasserbereitstellung hinaus kann der Eintrag von Pestiziden in die Umwelt auch andere Ökosystemleistungen beeinträchtigen (z.B. Bodenfruchtbarkeit, Erholungsfunktion, Schädlingsregulation). Diese Zusammenhänge sind bisher aber noch nicht quantifizier- oder sogar monetarisierbar.

Darüber hinaus werden weitere Tiere von Pestiziden negativ beeinflusst, die für die Ökosysteme, sowie die Produktion von Lebensmitteln eine wichtige Funktion haben. Insektizide, insbesondere Neonicotinoide, welche vor allem als Saatgutbeizmittel verwendet werden, wirken als Kontakt- und Frassgift. Schädigende Effekte von Pestiziden (letale und subletale Effekte) wurden bei Vögeln, Amphibien, Käfern, Schmetterlingen, einzelnen Säugetieren und insbesondere bei Bestäubern wie Bienen oder Hummeln festgestellt.³⁰ In wissenschaftlichen Studien wurde beispielsweise nachgewiesen, dass Pflanzenschutzmittel über die Nahrungskette indirekt eine wichtige Ursache für Bestandsrückgänge verschiedener Vogelarten (z.B. Feldlerche, Goldammer) sind (UBA 2014; Jahn et al., 2014).

Bei Bienen konnten letale und subletale Effekte bei Futterbeschaffungs-, Lern- und Erinnerungsvermögen unter Labor- und feldrealistischen Bedingungen nachgewiesen werden. Direkte kausale Zusammenhänge zwischen Sterben von Bienenkolonien und einem einzelnen Pestizid konnten bis heute jedoch nicht gefunden werden. Wie auch in anderen Bereichen geht die Wissenschaft davon aus, dass additive und synergetische Mischeffekte höchstwahrscheinlich die Gesundheit von Bienen beeinträchtigen. Entsprechend sind Pestizide gemäss ExpertInnen einer von verschiedenen Faktoren, die einen negativen Einfluss auf die Gesundheit der Bienen haben. Weitere Faktoren hierfür sind Krankheiten und Parasiten, gekoppelt mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion.³¹

²⁸ In der Schweiz wurde vor kurzem erstmals eine Glyphosat-Resistenz nachgewiesen; vgl. Agroscope (2014).

²⁹ Zum Wert von Ökosystemdienstleistungen vgl. etwa Costanza (1997). In einer Publikation des BAFU wird in verschiedenen Beiträgen auf die Bedeutung des Grundwassers in der Schweiz eingegangen (BAFU, 2008).

³⁰ Vgl. Greenpeace (2013) für Effekte auf Bienen; Brühl et al. (2013) für Effekte auf Amphibien und Bright, Morris, Winspear (2008) für Effekte auf Vögel.

In PAN (2010) findet sich eine Zusammenstellung von Effekten auf verschiedene Organismen und Tiere.

Jahn et al. (unveröffentlicht) stellen die indirekten Effekten von Pestiziden auf 27 Vogel- und 22 Säugetierarten zusammen.

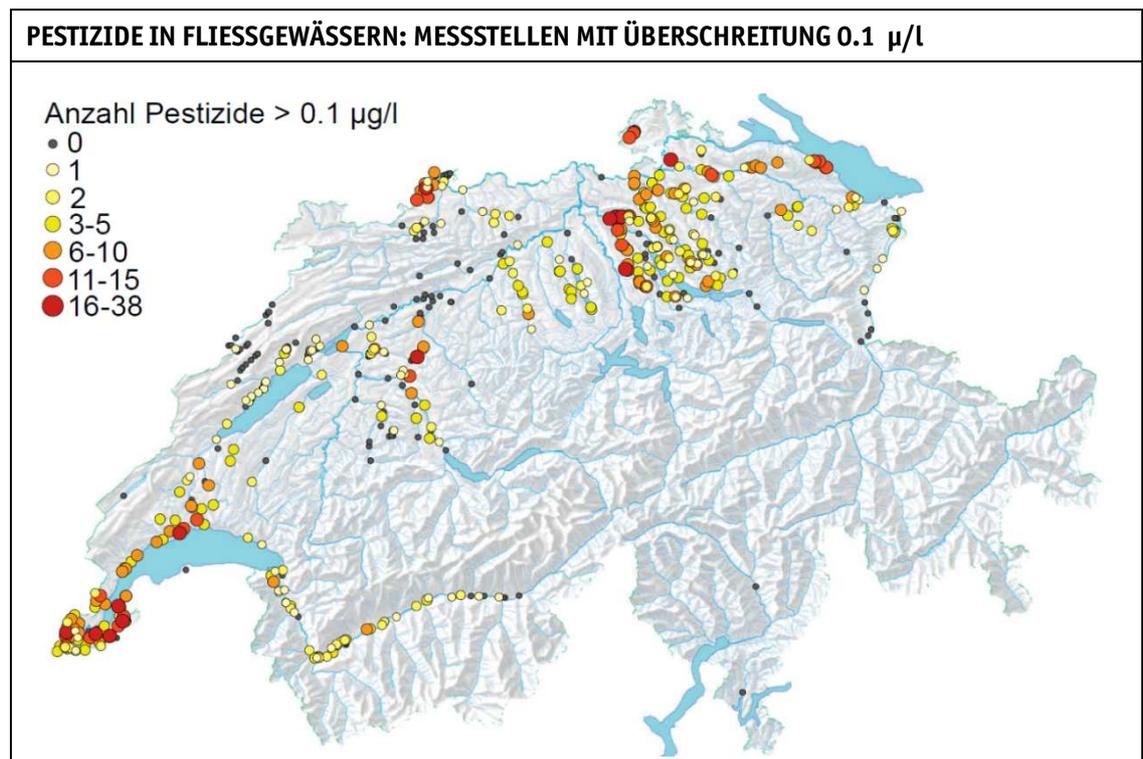
³¹ Vgl. Maxim und van der Sluijs 2013; PAN 2010; Köhler und Triebkorn 2013; Greenpeace 2013; Blacquièrre et al. 2012; Johnson et al. 2010; Geiger et al. 2010; Feltham et al. 2014.

Exposition und Belastungssituation in der Schweiz

a. Aquatische Systeme

Wasserverschmutzung durch Pestizide hängt zum einen von deren chemischen Eigenschaften ab (insb. Wasserlöslichkeit), zum andern aber auch von den Wetterbedingungen, den Bodeneigenschaften und der Distanz vom Ausbringen der Pestizide bis zum Gewässer. Heftige Regenereignisse lassen kurz zuvor versprühte Pestizide schneller ins Grundwasser gelangen.

Gemäss übereinstimmenden Expertenaussagen sind Pestizide ein praktisch flächendeckendes Phänomen in den Schweizer Fließgewässern. Der gesetzliche Anforderungswert von $<0.1 \mu\text{g/l}$ für Pestizide in Gewässern wird nachweislich immer wieder überschritten.³² Nachstehende Figur zeigt die regionale Verteilung dieser Messungen.



Figur 4 Anzahl verschiedener Pestizide pro Standort, für die mind. eine Überschreitung von $0.1 \mu\text{g/l}$ beobachtet wurde. Quelle: Munz et al. 2012.

Obwohl die Pestizidkonzentrationen in Schweizer Seen etwas weniger problematisch sind als in den Fließgewässern, wurden auch hier Konzentrationen über dem gesetzlichen Anforderungs-

³² Vgl. Wittmer et al. (2014), BAFU (2013), Munz et al. (2012) und Gerecke et al. (2002). Für einen umfassenden Literaturüberblick zum Nachweis von langlebigen Pestiziden in Oberflächen- und Grundgewässern siehe PAN (2010).

wert gemessen, vor allem durch den Eintrag über Kläranlagen.³³ Erwähnenswert ist zudem die saisonale Schwankung der Belastung: Während der landwirtschaftlichen Saison (April bis Oktober) gelangt eine deutlich höhere Menge an Pestiziden in Oberflächengewässer.

Gemäss verschiedenen ExpertInnen ist zu beachten, dass der gesetzliche Anforderungswert ökotoxikologisch nicht effektbasiert ermittelt, sondern in den 80er Jahren aufgrund der analytischen Nachweisgrenze von Pestiziden erlassen wurde. Hier wird zurzeit über eine Überarbeitung des Grenzwertes nachgedacht, wobei dieser in Zukunft idealerweise nach Einzelstoff differenziert festgelegt wird, da Pestizide verschiedene toxische Schwellen-Konzentrationen für Lebewesen aufweisen. Zurzeit werden von der EU sowie vom Ökotoxzentrum der EAWAG für einzelne Pestizide ökotoxikologische Qualitätskriterien (EQS: Environmental Quality Standards) entwickelt, aus denen zukünftig Grenzwerte abgeleitet werden könnten.³⁴

b. Bodenökosysteme

Der Boden ist ein Langzeitreservoir für Schadstoffe. Während modernere Pestizide in den meisten Fällen schneller abgebaut werden, sind ältere Pestizide wie Organochlorpestizide, welche vor 40 Jahren ausgetragen wurden, so persistent, dass sie immer noch in Böden nachgewiesen werden können. In der Schweiz werden langlebige Organochlorpestizide noch in Böden gemessen, obwohl sie seit längerer Zeit verboten sind. Der Toleranzwert von 0.002 mg/kg trockener Boden wurde im Rahmen einer Studie in 2/3 der von 2002 bis 2005 untersuchten Böden überschritten. Der Grenzwert, welcher als Schwelle für eine mögliche Gesundheitsgefährdung gilt, wurde jedoch nie überschritten (wobei einige Substanzen nur knapp unter dem Grenzwert lagen).³⁵

Insgesamt ist die Belastung von Bodenökosystemen durch Pestizide in der Schweiz schwierig einzuschätzen, birgt aber gemäss Expertenaussagen potenziell erhebliche Schadenrisiken, z.B. für die Bodenfruchtbarkeit. Besonders relevant sind dabei die ‚Altlasten‘, das heisst die Verschmutzung mit besonders langlebigen Pestiziden, die heute verboten sind. Weil aktuell eingesetzte Pestizide oft rascher abgebaut werden, dürfte die heute verursachte Belastung tendenziell weniger stark sein, wobei negative Effekte oft erst in Zukunft virulent werden.³⁶ Über die genauen Schadwirkungen für Bodenorganismen ist generell noch wenig bekannt.

³³ Vgl. Gerecke et al. (2002).

³⁴ Vorschläge dazu siehe Junghans et al. (2012).

³⁵ Vgl. Hilber et al. (2008).

³⁶ Allerdings sind neuartige Pestizide zwar rascher abbaubar, dafür aber z.T. deutlich toxischer. Zudem ist zu erwähnen, dass sich gewisse Effekte von Pestiziden zum Teil erst in Zukunft als problematisch erweisen können (siehe Bsp. Organochloride).

c. Verfügbarkeit von Trinkwasser

Das Schweizer Trinkwasser stammt zu über 80% aus Grundwasser (Quellen und Filterbrunnen).³⁷ Dieses spielt deshalb für die Verfügbarkeit von Trinkwasser eine wichtige Rolle. Eintragsfaktoren für Pestizide im Grundwasser sind – neben den chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften – wiederum Bodenbeschaffenheit, Klima und Anwendung. Die für die Schweiz durchgeführten Messungen im Bereich Grundwasser zeigen, dass landesweit Rückstände von Pflanzenschutzmitteln an rund 20% der Messstellen über dem für genutztes Grundwasser vorgesehenen Anforderungswert von 0.1 µg/l liegen.³⁸

d. Weitere Tiere (Bienen, weitere Insekten, Vögel)

In der Schweiz wurden bisher keine Bienenvergiftungen beobachtet, bei welchen ein direkter Zusammenhang mit einzelnen Pestiziden nachgewiesen werden konnte. Allerdings gehen ExpertInnen davon aus, dass Pestizide in Kombination mit anderen Faktoren einen negativen Einfluss auf die Gesundheit der Bienen haben und somit beim aktuellen Bienensterben ein Einflussfaktor sind. Die Schweiz hat seit dem 1. Dezember 2013 Einschränkungen für drei Neonicotinoide für mindestens zwei Jahre erlassen, welche in Kulturen gebraucht werden, die für Bienen besonders attraktiv sind. Damit folgt die Schweiz der Europäischen Union, die nach einer gross angelegten Studie Einschränkungen für diese Neonicotinoide erlassen hat.³⁹

2.2.3. REGULIERUNGSAUFWAND

Unter Regulierungsaufwände verstehen wir alle Kosten, die im Zusammenhang mit der Regulierung von Pestiziden zu sehen sind. Durch die Regulierung (insb. Zulassungen, Kontrollen aber auch Forschungsaufträge und Ähnliches) soll möglichen Schäden durch den Pestizideinsatz vorgebeugt werden. Die öffentliche Hand versucht demnach, Schäden in der Umwelt sowie bei der Bevölkerung zu vermeiden. Diese Kosten sind also nicht direkt auf die Schädigung von Pestiziden zurückzuführen (gemäss Wirkungspfad-Ansatz), sondern stehen im Zusammenhang mit Aktivitäten und Vorschriften der öffentlichen Hand. Wir unterscheiden dabei die drei Bereiche Zulassung, Kontrolle und Forschung, welche in der Folge kurz beschrieben werden.

³⁷ Vgl. BAFU (2008, 10).

³⁸ Vgl. hierzu die ausführliche Studies des BAFU (2009) resp. die aktuelleren Ergebnisse auf der Homepage des BAFU: <http://www.bafu.admin.ch/grundwasser/07500/07563/07579/index.html?lang=de> [zuletzt besucht: 3.2.2014].

³⁹ siehe Pressemitteilungen BLW (2013b) und EFSA: <http://www.efsa.europa.eu/de/press/news/130116.htm>.

Zulassung

Für die Zulassung der Pflanzenschutzmittel in der Schweiz ist primär das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) zuständig (vgl. Abschnitt 2.1.2). Beim BLW werden die Zulassungsgesuche der Hersteller eingereicht und unter Einbezug der Agroscope umfassend beurteilt. Weitere involvierte Bundesstellen sind das Bundesamt für Umwelt (BAFU), das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) sowie das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO).

- › Agroscope: Betrachtung der agronomischen Aspekte im Zulassungsverfahren, so zum Beispiel die ökotoxikologischen Wirkungen der eingereichten Produkte und Wirkstoffe (Verhalten der Stoffe im Boden, im Wasser und bei Pflanzen; speziell wird auch die Wirkung auf Bienen geprüft).
- › BAFU: Fokussierung auf die Toxizität der Stoffe für die Umwelt.
- › BLV: Ehemals beim Bundesamt für Gesundheit angeordnet, richtet die Stelle den Fokus auf die Wirkungen auf Lebensmittel. Somit stehen Aspekte der Humantoxikologie im Vordergrund (Einstufung der Wirkstoffe und Risikobewertung).
- › SECO, Ressort Chemikalien und Arbeit: Im Mittelpunkt steht der Arbeitsschutz und somit die Beurteilung der Wirkung auf die Anwender.

Bei der Zulassung von Bioziden sind die gleichen Stellen in den Prozess involviert, allerdings liegt die Federführung beim BAFU. Zudem wird auch das Bundesamt für Gesundheit (BAG, Direktionsbereich Verbraucherschutz, Abteilung Chemikalien) einbezogen.

Monitoring und Kontrolle

Im Bereich des Monitorings und der Kontrolle gilt es, neben den bereits erwähnten Arbeiten des BAFU (nationale Messungen in Fließgewässern und im Grundwasser) auf die Arbeiten auf kantonaler Ebene hinzuweisen. Hier sind es insbesondere die kantonalen Ämter für Umwelt oder Wasserschutzämter in den grösseren Kantonen, welche die Gewässer überwachen und teilweise Probeanalysen durchführen resp. diese in Auftrag geben. Kantonale Labors führen diese Analysen teilweise im Auftragsverhältnis durch resp. sind teils im Rahmen von Leistungsvereinbarungen von den Kantonen mandatiert. In diesem Bereich findet in der Schweiz eine enge Zusammenarbeit zwischen den Labors statt, wobei sich teils Schwerpunkte für die einzelnen Labors herauskristallisiert haben (z.B. Pestizide in Lebensmitteln).⁴⁰ Für den Bereich der Trinkwasserkontrolle spielen neben den kantonalen Labors zudem die Wasserwerke eine wichtige Rolle,

⁴⁰ Vgl. z.B. den Jahresbericht 2012 des kantonalen Labors des Kantons Zürich für Erläuterungen zu einzelnen Tätigkeiten und Resultate im Zusammenhang mit Pestiziden.

indem sie zum Teil auch selbstständig Analysen in ihren Wasserreservoirien durchführen. Weiter führen zum Teil privatrechtliche Organisationen die Kontrollen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) durch.

Forschung

Zuletzt erbringt die Forschung Dienstleistungen, welche von der öffentlichen Hand und anderen Akteuren genutzt werden können. Dies umfasst die Grundlagenforschung aber auch die angewandte Forschung, etwa wenn es darum geht, stoffspezifische Grenzwerte für die Gewässerbelastung zu erarbeiten. In der Schweiz beschäftigten sich verschiedene Hochschulen und Forschungsinstitute mit dieser Thematik. Ein wichtiger Akteur ist dabei sicherlich die Eawag mit dem angeschlossenen Oekotoxzentrum.

2.3. FAZIT WIRKUNGEN

Aus den Analysen zu den möglichen Schadwirkungen des Pestizideinsatzes in diesem Kapitel ziehen wir das folgende Fazit:

- › Pestizide führen zu einer breiten Palette an Schadwirkungen für Mensch und Umwelt.
- › Viele der Wirkungsketten sind allerdings erst unvollständig erforscht. Bei einer erheblichen Zahl an Wirkungen sind die Ursache-Wirkungszusammenhänge zwar nachweisbar und kausal dem Pestizideinsatz zuzuordnen. Allerdings gibt es eine Reihe von Einschränkungen:
 - › Die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind oft nur im Labor nachweisbar, während in der Natur ein kausaler Zusammenhang sehr oft (noch) nicht möglich ist, u.a. weil in der Natur sehr viele andere Stoffe und Einflussfaktoren gleichzeitig wirken.
 - › Ebenfalls oft nicht möglich ist die Zuordnung von Schadwirkungen zu einzelnen Wirkstoffen. In der Regel sind die kausalen Zusammenhänge nur für die gesamte Pestizidexposition bzw. -menge nachweisbar, nicht aber für Einzelstoffe.
 - › Es gibt fast keine *quantitativen* Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Pestizidexposition und Schadwirkungen, auf Basis derer das Ausmass der Wirkung (Schäden) berechnet werden könnte.
- › Insbesondere der letzte Punkt führt dazu, dass eine Quantifizierung und schliesslich Monetarisierung der Schäden des Pestizideinsatzes über den Wirkungspfad-Ansatz⁴¹ sehr schwierig bzw. grösstenteils unmöglich sein wird.

⁴¹ Beim Wirkungspfad-Ansatz erfolgt die Quantifizierung bzw. Monetarisierung der Wirkungen bottom-up, das heisst eng entlang des Wirkungspfades (bottom-up) von den Emissionen bis hin zu den Kosten: Emission → Exposition → Wirkung → Kosten (mehr dazu siehe Kapitel 3.5).

3. GRUNDLAGEN FÜR DIE KOSTENBERECHNUNG

Um die Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz berechnen zu können, müssen folgenden Fragen geklärt werden: Welche Wirkungen sind relevant und sollen in die Berechnungen einfließen? Welche Systemabgrenzungen sind vorzunehmen? Welche Wirkungen können quantifiziert werden und mit welcher Methodik werden die Kosten berechnet?

3.1. RELEVANZ DER EINZELNEN WIRKUNGEN

In Kapitel 2.2 haben wir den Fokus auf einzelne Wirkungen gelegt und diese beschrieben. Um diese Wirkungen einordnen zu können, haben wir basierend auf der Literaturanalyse, den Experteninterviews sowie der Diskussion mit der Begleitgruppe die Relevanz der einzelnen Wirkungsbereiche festgelegt. Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend das Ergebnis dieser System- und Wirkungsanalyse. Dabei wird für alle Kostenbereiche inkl. Teilbereichen zum einen festgehalten, inwieweit die entsprechenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge tatsächlich nachgewiesen werden können resp. wie gross die Unsicherheiten sind. Zum anderen wird eine Einschätzung zur Relevanz der einzelnen Wirkungen vorgenommen.

ZUSAMMENSTELLUNG DER WIRKUNGEN				
Kostenbereich	Teilbereich (Wirkmechanismus)	Ursache-Wirkungs-Zus.hang	Relevanz Schweiz	Erklärung
Gesundheits-schäden	Applikation	✓	●	In der Schweiz u.a. dank sachgerechter Anwendung kaum problematisch.
	Trinkwasser	✓	●	In der Schweiz toxikologisch irrelevant, allerdings in Grundwasser verbreitet Grenzwert-Überschreitungen.
	Lebensmittel	✓	CH: ●● Ausland: ●●/●●●●	Bei importierten Lebensmitteln speziell relevant, für in der Schweiz produzierte Lebensmittel etwas weniger stark.
	Inhalation	0	0	Ursache-Wirkungs-Zusammenhang nicht nachweisbar.
Ökosystem-schäden	Aquatische Ökosysteme	✓	●●/●●●●	Kritische Wirkungen auf aquatische Organismen wahrscheinlich. Grenzwert der GSchV wird in Fließgewässern an 70% aller Standorte überschritten.
	Terrestrische Ökosysteme	(✓)	●●	Grundsätzlich problematisch, v.a. da z.T. längere Verweildauer von Pestiziden in Böden. Kausale Schadenszusammenhänge allerdings kaum nachgewiesen.
	Verfügbarkeit von Trinkwasser	✓	●●/●●●●	Trinkwasserverfügbarkeit als Dienstleistung des Ökosystems wird als wichtig erachtet und stellt potenzielles Risiko dar.
	Weitere Tiere (Insekten, Amphibien, Vögel)	(✓)	●●/●●●●	Potenziell hohe Schadwirkung auf Bienen. Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge allerdings noch beschränkt und v.a. qualitativ.
Regulierungs-aufwand	Zulassung	✓	●●●●	Direkter kausaler Zusammenhang zu Pestizideinsatz. Relevanter Aufwand bei diversen Bundesämtern (v.a. Zulassung) und kantonalen Stellen (Trinkwasser, Lebensmittel).
	Monitoring / Kontrolle	✓	●●●●	
	Forschung	✓	●●	Kausaler Zusammenhang weniger eng, Relevanz aber vorhanden (z.B. EAWAG / Oekotoxzentrum)

Tabelle 4 Legende: ✓ Ursache-Wirkungs-Zusammenhang nachgewiesen.
 0 Ursache-Wirkungs-Zusammenhang schwach bzw. nicht nachgewiesen
 Relevanz für die Schweiz: ● = gering, ●● = mittel, ●●●● = hoch

Gemäss dieser Analyse sollten die Wirkungen im Bereich Gesundheit (Lebensmittel, z.T. Trinkwasser), im Bereich Ökosysteme (Aquatik, Terrestrik, Verfügbarkeit Trinkwasser, Tiere) und die Kosten im Bereich Regulierung (Zulassung, Monitoring / Kontrolle, Forschung) weiterverfolgt werden.

3.2. SYSTEMABGRENZUNG

Um die aufgeführten Kostenbereiche quantifizieren zu können, muss in einem nächsten Schritt das berücksichtigte System abgegrenzt werden. Dabei geht es insbesondere um folgende Dimensionen:

- › Inhalt: Welche Produkte und Stoffe werden miteinbezogen?
- › Raum: In welchen Regionen wird der Pestizideinsatz berücksichtigt?
- › Zeit: Welcher Zeitraum wird erfasst und wie wird mit früheren Anwendungen umgegangen?

Für die Monetarisierung der Wirkungen haben wir die folgenden Systemgrenzen angewendet:

- › *Inhaltlich*: Betrachtet werden grundsätzlich alle Pestizide, das heisst die Pflanzenschutzmittel und die Biozide. Allerdings liegen für die Biozide kaum separate Daten vor. Beim Nachweis von Wirkstoffrückständen zum Beispiel in Gewässern vermischen sich die Einsatzgebiete von PSM und Bioziden. Aufgrund der Datenverfügbarkeit können jedoch dort, wo Mengen in die Berechnungen einfließen, nur die Pflanzenschutzmittel berücksichtigt werden, da für die Biozide keine statistischen Daten vorliegen.
- › *Räumlich*: Grundsätzliche liegt der Fokus auf den gesamten in der Schweiz eingesetzten Pestizidmengen (Territorialprinzip). Nicht betrachtet werden demnach Pestizide, die über Lebensmittel in die Schweiz importiert werden. Das Territorialprinzip stellt angesichts der Datenverfügbarkeit wiederum eine im Rahmen dieser Studie unumgängliche Vereinfachung dar. Die für die Schweiz veröffentlichten Zahlen zu den eingesetzten Pestizidmengen basieren auf den im Inland verkauften Mengen an Pflanzenschutzmitteln. Von Anwendern selber importierte und ausgebrachte Mengen bleiben mangels Datenverfügbarkeit unberücksichtigt.
- › *Zeitlich*: Im Fokus stehen die aktuell eingesetzten Pestizidmengen und ihre Wirkungen. In der Regel beziehen sich die Berechnungen auf das Jahr 2011. Dieses ist im Moment das aktuellste Jahr, für das detaillierte Daten zu den eingesetzten Pestizidmengen vorliegen.

In der vorliegenden Studie nicht monetarisiert werden die Folgen von ‚Altlasten‘, das heisst von Pestiziden, die heute verboten sind und nicht mehr eingesetzt werden. Diese Effekte sind zwar z.T. immer noch relevant (v.a. im Boden) und werden deshalb im Bericht erwähnt, spielen aber für die Diskussion möglicher Massnahmen nur eine untergeordnete Rolle.

Obige Ausführungen zu den inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Abgrenzungen machen deutlich, dass das gewählte System nicht die vollumfänglichen Kosten des Pestizideinsatzes abdecken können. Indem wir bei den Berechnungen in der Regel auf die verkauften Mengen an Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz fokussieren, sind die Berechnungen hinsichtlich inhaltlicher und zeitlicher Abgrenzung als at-least-Ansatz zu interpretieren.

3.3. MONETARISIERUNG DER WIRKUNGEN

Begriffe und Definitionen

Während im vorangehenden Kapitel die Wirkungen der Pestizide erläutert und dargelegt wurden, müssen diese in einem weiteren Schritt monetarisiert werden, um Aussagen über die anfallenden Kosten machen zu können. Zuerst werden dafür die relevanten Begriffe kurz erläutert.

- › Soziale Kosten: Die sozialen (oder volkswirtschaftlichen) Kosten umfassen gesellschaftliche Kosten, die durch eine Aktivität (z.B. Pestizideinsatz) entstehen. Sie setzen sich aus den internen und externen Kosten zusammen.
- › Interne Kosten: Die internen Kosten sind jene Kosten, welche die Akteure selber tragen. Im Falle des Pestizideinsatzes sind dies zum Beispiel die Kosten für den Kauf der Pestizide oder für die notwendigen Maschinen zur Ausbringung.
- › Externe Kosten: Als extern wird jener Teil der sozialen Kosten bezeichnet, für den nicht die Verursachenden direkt aufkommen. Im konkreten Fall können dies beispielsweise Kosten durch Verschmutzung von Gewässern durch den Pestizideinsatz sein. Externe Kosten, insbesondere auch im Bereich der Landwirtschaft:
 - › werden oft vernachlässigt,
 - › manifestieren sich erst mit zeitlicher Verspätung,
 - › betreffen Akteursgruppen, deren Interessen wenig oder nicht vertreten werden und
 - › sind Kosten, deren Verursacher nicht eindeutig identifizierbar sind (Aspekte gemäss Leach und Mumford 2008).

In der ökonomischen Wohlfahrtstheorie werden die externen Kosten – teilweise wird auch von technologischen Externalitäten gesprochen – wie folgt definiert:

Externe Kosten liegen vor, wenn von Aktivitäten eines Wirtschaftssubjektes (Produktion oder Konsum) negative Einflüsse auf andere Wirtschaftssubjekte (Produzenten oder Konsumenten) ausgehen – und somit deren Wohlfahrt beeinflussen, ohne dass diese Nachteile sich in den Preisen für diese Aktivitäten niederschlagen und über einen Marktprozess weitergegeben werden.⁴²

⁴² aus: Ecoplan, Infras 2014.

Bewertungsmethoden

Aus der Definition externer Kosten wird eine weitere Problematik klar: Die externen Kosten sind nicht in den Marktpreisen enthalten. Bezüglich Monetarisierung der externen Kosten stellen sich daher zusätzliche Fragen, wie diese Kosten „gemessen“ werden. Dabei gibt es verschiedene Methoden, um die Folgekosten der betrachteten Aktivitäten (externe Kosten des Pestizideinsatzes) zu bewerten resp. zu monetarisieren. Liegen keine direkten Marktpreise vor, bieten sich folgende Quantifizierungsmethoden an (nach Ecoplan, Infrac 2014):

› **Schadenskosten:** Es wird versucht, den entstehenden Schaden (z.B. durch Luftverschmutzung oder Lärm) abzuschätzen. Beim Schadenskosten-Ansatz gibt es zwei Untervarianten: Der Schadenskosten-Ansatz beruht entweder auf indirekt *beobachtbaren Marktpreisen* oder auf hypothetischen Fragestellungen zur Ermittlung der *Zahlungsbereitschaft* (z.B. für die Reduktion einer Umweltbelastung oder eines Unfallrisikos). Ein Beispiel von indirekten Marktpreisen (so genannte *Hedonic Pricing* Analysen) sind Wohnungspreise in Abhängigkeit der Verkehrslärmbelastung: Mittels multivariabler statistischer Verfahren kann der Einfluss der Verkehrslärmimmissionen auf den Mietpreis ermittelt und quantifiziert werden. Die Mietpreise sind also ein indirekter Marktpreis für den Schaden (Minderung der Lebensqualität), der durch den Verkehrslärm verursacht wird.

Im Gegensatz dazu werden Zahlungsbereitschaften in der Regel mittels aufwendigen Befragungen ermittelt, beispielsweise die Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung einer Krankheit (z.B. durch Luftschadstoffbelastung ausgelöste Bronchitis) oder einer Hospitalisierung. Die Zahlungsbereitschaft wird als Näherungsgröße für den immateriellen Schaden (Leid) betrachtet, der durch eine Krankheit ausgelöst wird.

Da auch indirekt beobachtbare Marktpreise letztlich auf tatsächlichen Entscheidungen beruhen, ist ihnen prinzipiell mehr Vertrauen zu schenken als Zahlungsbereitschaften.

› **Vermeidungskosten:** Bei diesem Ansatz werden die Kosten von Maßnahmen verwendet, welche die Entstehung von Schäden verhindern. Es werden also nicht wie beim Schadenskosten-Ansatz die Kosten des Schadens ermittelt, sondern es wird untersucht, wie teuer es ist, den Schaden zu vermeiden. Bei den Vermeidungskosten besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den ermittelten Kosten und dem Schaden – es ist sowohl eine Überschätzung als auch eine Unterschätzung des Schadens möglich. Deshalb werden meist die Vermeidungskosten für ein politisch akzeptiertes Ziel berechnet (z.B. 2-Grad-Ziel für Treibhausgase). Dieses Ziel ist implizit mit einer gesellschaftlichen Bewertung des Schadens verbunden.

› **Reparaturkosten oder Wiederherstellungskosten:** In einem dritten methodischen Ansatz werden die Kosten von Maßnahmen ermittelt, die den entstandenen Schaden reparieren oder

das beschädigte Gut ersetzen. So kann z.B. das durch eine neue Straße verlorene Land (z.B. eine extensiv bewirtschaftete Wiese) mit den Kosten bewertet werden, die entstehen, wenn diese Wiese andernorts ersetzt wird. Die Reparatur- oder Wiederherstellungskosten sind nur eine beschränkt geeignete Schätzgröße für den Schadens- bzw. Wohlfahrtsverlust, da sie keinen direkten Zusammenhang mit dem Schaden haben und oft die Reparatur oder der Ersatz nicht perfekt ist. Es ist sowohl eine Unter- als auch eine Überschätzung des Schadens möglich.

Exkurs: Nutzenkomponenten

Im Zusammenhang mit volkswirtschaftlichen Betrachtungen von einzelnen Wirtschaftstätigkeiten werden neben den Kosten vielfach die Nutzen beleuchtet, teilweise stehen diese auch im Zentrum.

Im Bereich des Pestizideinsatzes sind ebenfalls Nutzen zu verzeichnen, welche sich insbesondere durch (zumindest kurzfristig) höhere Ernteerträge in der Landwirtschaft manifestieren. Diese Nutzen fallen hauptsächlich auf privater Ebene an, indem ein Hersteller von landwirtschaftlichen Gütern über den Absatz seiner Produkte am Markt höhere Gesamteinnahmen erzielen kann. Die (privaten resp. internen) Kosten für die Pflanzenschutzmittel werden dabei mit eingerechnet, da sich ein Einsatz für einen Anwender nur dann lohnt, wenn der erzielbare Zusatzumsatz über den dafür notwendigen Kosten für die Pflanzenschutzmittel liegt.

Die vorliegende Studie fokussiert auf die volkswirtschaftlichen Kosten und damit insbesondere auf die externen Kosten, welche nicht durch die Verursacher selber bezahlt werden. Als externe Nutzen des Pestizideinsatzes sind etwa die Ertragssicherheit oder die damit verbundene kurzfristige Versorgungssicherheit (Mengenstabilität) zu nennen. Solche Nutzen werden im Rahmen dieser Studie jedoch nicht weiter vertieft.

3.4. ERKENNTNISSE AUS DER LITERATURANALYSE

Neben den naturwissenschaftlichen Studien zum Nachweis von Pestiziden in verschiedenen Ökosystemen, deren Verbreitung sowie der Wirkung einzelner Produkte resp. Wirkstoffe haben wir gezielt auch Studien analysiert, welche sich mit der Quantifizierung dieser Wirkungen beschäftigen haben und Aussagen zu externen Kosten machen. Tabelle 15 im Annex fasst den Inhalt sowie wichtige verfügbare Daten aus den analysierten Studien zusammen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass sich unter den konsultierten Studien und Veröffentlichungen nur wenige finden, die effektive Kosten berechnet haben und bei denen die Methodik nachvollziehbar dargestellt wurde. Im Zentrum der Analysen stehen die ausführlichen Arbeiten von Pimentel (Fokus USA, 1992 sowie 2005), Fleischer und Waibel (Fokus Deutschland, 1998)

und Pretty (Fokus UK, 2000 sowie 2001). Diese Arbeiten werden denn in vielen anderen Studien referenziert, beziehungsweise als Grundlage für neuere Berechnungen verwendet. Gemeinsam haben diese drei Grundgearbeiten, dass sie einen Top-Down-Ansatz verfolgen. Die Kosten für den Pestizideinsatz werden nicht über die Monetarisierung einzelner Wirkungen auf Stoffebene hochgerechnet. Stattdessen werden Angaben zu Unfällen und Krankheiten im Zusammenhang mit Pestiziden, aufgewendete Kosten der Allgemeinheit (der öffentlichen Hand) für Wasserreinhaltung oder Wiederinstandsetzung von Ökoflächen herangezogen. Die Dosis-Wirkungs-Relationen stehen nicht im Mittelpunkt der Analysen, sie dienen lediglich als Ausgangslage, um aufzuzeigen, wo mögliche Wirkungen bestehen. Die Kosten dieser Wirkungen werden dann hingegen top-down berechnet, oft unter Zuhilfenahme von groben Annahmen.

Top-Down-Methode: Beispiel zur Kostenberechnung in Waibel, Fleischer (1998)

Die Autoren quantifizieren u.a. Kosten im Bereich der Lebensmittel. Dabei gehen sie zuerst auf die nachweisbaren Zusammenhänge ein und fokussieren dabei auf Rückstände einzelner PSM-Wirkstoffe in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln. Dieser Wirkungspfad wird danach jedoch nicht weiterverfolgt. Für die Quantifizierung wird nicht auf die möglichen Schäden bei den Konsumenten eingegangen, sondern es werden die Kosten für die Überwachung im Lebensmittelsektor herangezogen. Angewendet wird demnach ein Vermeidungskostenansatz, welcher nicht auf die Wirkung einzelner Stoffe eingeht, sondern sich zusammengefasst auf die Kosten der öffentlichen Hand und der Unternehmen im Rahmen von Laborprüfungen der Lebensmittel abstützt.

Daneben haben Leach und Mumford (2008, 2011) versucht, ausgehend von einzelnen Wirkstoffen, Gesamtkosten und Kostensätze zu ermitteln. Sie führten dazu das „Pesticide Environmental Accounting (PEA)“ ein, eine Methodik, welche in einem ersten Schritt auf Ebene von Einzelstoffen eine systematische und einheitliche Einschätzung zu deren Gefährdungspotenzialen vornimmt. Danach werden in einem zweiten Schritt die externen Kosten für diese einzelnen Stoffe berechnet, wobei dazu wiederum auf die oben erwähnten Kostenstudien für die USA, Deutschland und Grossbritannien abgestützt wird. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftsleistung eines betrachteten Landes sowie deren Bevölkerung und einiger Variablen zur Landwirtschaft versuchen sie zudem, diese Kostensätze zu verallgemeinern, um Ländervergleiche zu ermöglichen. Trotz der Vereinheitlichung der Methodik ist dieser Ansatz als eher aufwändig einzustufen. Praneetvatakul et al. (2013) zeigen am Beispiel Thailand zudem, wie abhängig die mit dieser Methode resultierenden Kosten vom zugrundeliegenden Mengengerüst sind.

Letztlich wurde im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts EXIOPOL Analysen von Pestiziden durchgeführt (Fantke, Wagner, 2009). Mittelpunkt war, die wichtigsten Insektizide und Herbizide in Europa zu identifizieren und deren Wirkungen zu monetarisieren. Aus der Analyse gehen jedoch lediglich Einheitswerte für Gesundheitseffekte (infolge Krebs) einzelner Wirkstoffe für die EU-Länder hervor. Ökosystem-Wirkungen werden nicht monetarisiert.

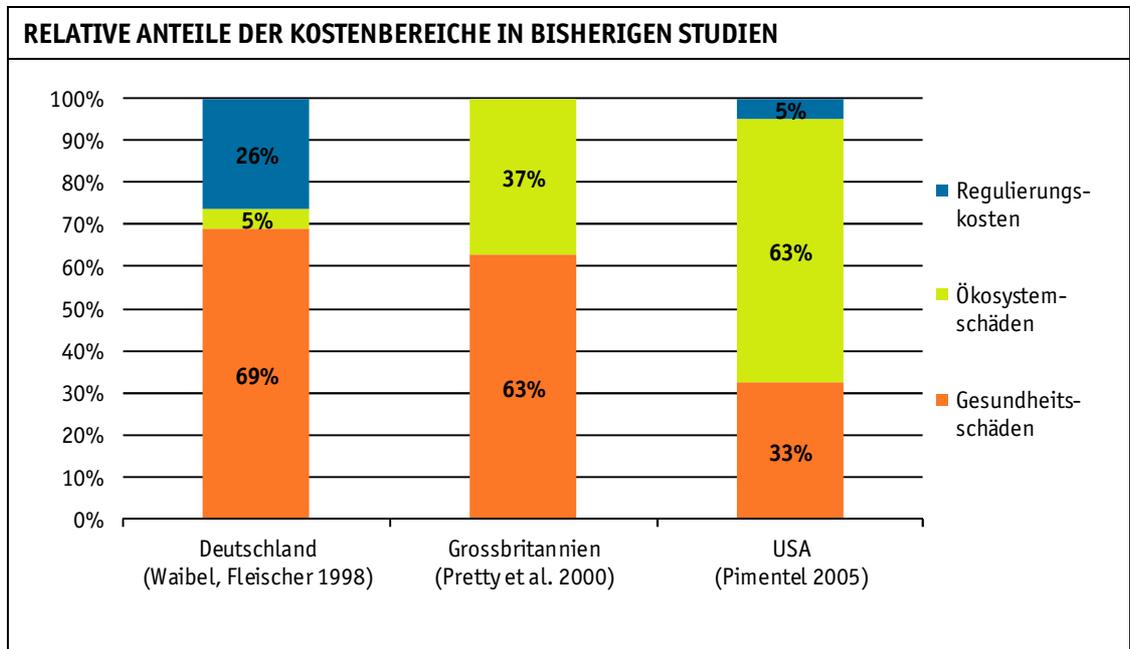
Folgend werden die vier wichtigsten Studien und die darin dargelegten Wirkungs- und Kostenbereiche kurz zusammengefasst.

GRUNDLEGENDE MONETARISIERUNGSTUDIEN		
Studienautoren	Schadens-, Wirkungsbereiche	Differenzierung der Resultate
Pimentel et al. 1992 / Pimentel 2005	Umwelt- und Soziale Kosten: › Gesundheitskosten bei Anwendern (Public Health) › Tiersterben › Verluste natürlicher Feinde › Pestizid-Resistenzen › Bienen- und Bestäubungsverluste › Ernteaufschläge › Verluste in der Fischerei › Vogelverluste › Grundwasserkontamination › Staatliche Vermeidungsregulierungen	Nur Gesamtkosten je Schadenskategorie (US \$ pro Jahr)
Waibel, Fleischer 1998	Externe Kosten durch: › Belastung Trinkwasser › Giftschäden an Honigbienen › Rückgang Biodiversität › Lebensmittelüberwachung › Gesundheitsbelastungen (Anwender) › Staatliche Institutionen	Gesamtkosten je Schadenskategorie (DM pro Jahr) sowie teilweise detailliertere Angaben für die Berechnung einzelner Kategorien (meist bzgl. Mengengerüst, d.h. Anzahl Fälle u.Ä.)
Pretty et al. 2000	Die Kosten durch Pestizide sind Teil der berechneten externen Kosten der Landwirtschaft. Als Kosten der Pestizide berücksichtigt sind: › Bereich Wasser: Pestizide im Trinkwasser sowie in Fließgewässern und Monitoring › Biodiversitätsverluste und Verluste in Bienenkolonien › Gesundheitskosten bei Anwendern (Akut-Behandlungen)	Gesamtkosten je Schadenskategorie (£ pro Jahr), dazu auf Basis von Waibel, Fleischer und Pimentel errechnete Kosten für Deutschland und USA (in £ pro Jahr)

GRUNDLEGENDE MONETARISIERUNGSSTUDIEN		
Studienautoren	Schadens-, Wirkungsbereiche	Differenzierung der Resultate
Leach und Mumford 2008, 2011	<p>Übernahme der Kostenkategorien gemäss Pretty et al. für Kostenhochrechnung. Eigene Kategorisierung angelehnt an die Methodik des Environment Impact Quotient (EIQ):</p> <ul style="list-style-type: none"> › Anwender › Pflücker › Konsumenten › Grundwasser › Aquatische Systeme › Vögel › Bienen 	<p>Geschätzte externe Kosten je Schadenskategorie nach Pretty et al. für UK, USA und Deutschland (in € 2005/06) total und pro Kilogramm aktiver Substanzen (€/ kg a.i.).</p> <p>Kostensätze nach EIQ-Kategorisierung für 14 Insektizide (jeweils in € pro ha und Anwendung, für UK, USA, Deutschland, Spanien, Israel und die Türkei)</p>
EXIOPOL, Fantke und Wagner, 2009	Nur Gesundheitskosten bei Menschen und Ökosystemeffekte. Für letztere liegen nur Werte zu ‚potentially affected species fractions‘ (PAF) vor. Monetarisiert werden lediglich die Gesundheitskosten.	Kostensätze für die einzelnen EU-Staaten differenziert nach Insektiziden und Herbiziden sowie nach Krebs- und Nicht-Krebseffekten. Unit Values je Kilogramm für das Jahr 2000 (€/ kg a.i.)

Tabelle 5

Werden die Zahlen aus den genannten Studien für die drei Länder Deutschland, Grossbritannien und USA zusammengestellt und nach den erwähnten drei Kostenbereichen (vgl. Kapitel 2.2 resp. 3.1) gegliedert, ergibt sich folgendes relatives Bild hinsichtlich der Bedeutung einzelner Kostenbereiche.



Figur 5 Quelle: Siehe angegebene Studien.

Figur 5 verdeutlicht, dass zwischen den Studien grosse Unterschiede bezüglich der Gewichtung der einzelnen Bereiche bestehen. Dies kann einerseits darin begründet sein, dass sich die betrachteten Länder effektiv stark unterscheiden. Andererseits offenbaren sich darin unserer Ansicht nach vor allem gewisse methodische Differenzen sowie die unterschiedlichen Blickwinkel der Studien. So wurden beispielsweise im Rahmen der Arbeiten von Pretty et al. (2000, 2001) die Regulierungs- und Kontrollkosten in Grossbritannien gar nicht einbezogen.

3.5. BERECHNUNGSMETHODIK

Die anwendbare Berechnungsmethodik hängt nicht nur von den gewählten Abgrenzungen ab. Stärker noch wird sie beeinflusst durch die verfügbaren Datengrundlagen (Mengen und Kostensätze). So liegen für die Schweiz einerseits keine detaillierten, nach Wirkstoff differenzierten Mengenangaben und andererseits auch keine spezifischen Kostensätze vor. Diese Ausgangslage prägt somit die in der vorliegenden Studie anwendbare Methodik und korrespondiert überdies mit den naturwissenschaftlichen nur schwer nachweisbaren Kausalitäten (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Sind diese Wirkungszusammenhänge nur schwach ausgeprägt oder aber fehlt ein quantitativer Ursache-Wirkungszusammenhang, wird eine eng dem Wirkungspfad folgende Monetarisierung (Bottom-Up-Ansatz) äusserst schwierig. Darin ist mitunter die Ursache zu suchen, dass in den analysierten ausländischen Studien mit Kostenangaben fast vollumfänglich Top-Down-Berechnungen erstellt wurden. D.h. wo keine direkt messbaren Schadenskosten vorliegen, wur-

den Hochrechnungen auf Basis von Vermeidungs- und Ersatzkostenansätzen gemacht. Die Kostenberechnung lehnt sich in diesem Fall nicht direkt an das vorzufindende Wirkungsmodell an, sondern abstrahiert von den Wirkungen einzelner Wirkstoffe, stützt sich demnach auf einen Top-Down-Ansatz. Darin widerspiegelt sich letztlich die Tatsache, dass sich im Bereich der externen Kosten des Pestizideinsatzes noch keine Methodik etabliert hat und vieles noch als Pionierarbeit einzustufen ist.

Angesichts dieser Ausgangslage können resp. müssen die Kosten des Pestizideinsatzes mit verschiedenen Berechnungsmethoden quantifiziert werden. Um die verschiedenen Methoden zu berücksichtigen und um die Unsicherheiten bei den Berechnungen darzustellen, haben wir die Kosten auf **drei (teilweise) unterschiedliche Varianten** berechnet. Nachstehende Tabelle fasst die angewandten Methoden für jede Variante und jeden Kostenbereich zusammen. Darauf folgen für einzelne Teilbereiche detailliertere Ausführungen zur Berechnung der jeweiligen Kosten.

In Kapitel 3.1 wurden aufgrund der Relevanzanalyse acht Wirkungsbereiche für die Weiterentwicklung ermittelt (vgl. Tabelle 4). Unter Einbezug der möglichen Berechnungsmethoden hat sich herausgestellt, dass für die Kostenberechnung ebenfalls acht Bereiche berücksichtigt werden können. Allerdings erfolgt gegenüber der Wirkungsanalyse eine Mutation. So werden im Bereich Gesundheitsschäden Vermeidungskosten beim Trinkwasser (Reinhaltung des Trinkwassers) berücksichtigt (zusätzlich zu den Kosten bei Lebensmitteln). Hingegen muss im Bereich Ökosystemschäden auf die Berechnung von Kosten in terrestrischen Ökosystemen verzichtet werden. In der Literatur wurden nicht genügend Angaben gefunden, um eine Berechnung der Kosten durchführen zu können. Nachstehende Tabelle fasst diese Kostenbereiche zusammen und zeigt für die jeweilige Berechnungsvariante, welche Grundlagen verwendet wurden.

BERECHNUNG DER PESTIZIDKOSTEN – ANGEWANDTE METHODEN IN DEN VARIANTEN				
Kostenbereiche / Teilbereiche		Variante 1	Variante 2	Variante 3
Gesundheits-schäden	Trinkwasser	<ul style="list-style-type: none"> › Kostensatz aus Leach & Mumford › Bottom-up Berechnung über geschätzte zusätzliche Wasseraufbereitungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> › Allgemeine Kostensätze für Gesundheitsschäden aus Fantke / Wagner (2009, EXIOPOL-Studie) 	<ul style="list-style-type: none"> › Top-Down-Berechnung über Zahlungsbereitschaftsansatz (Bio- vs. Non-Bio-Lebensmittel)
	Lebensmittel	<ul style="list-style-type: none"> › Kostensatz aus Waibel & Fleischer › Bottom-up Berechnung über geschätzte Laborkosten für Untersuchungen im Bereich Lebensmittel 		
Ökosystem-schäden	Aquatik	<ul style="list-style-type: none"> › Verwendung verschiedener Kostensätze aus Leach & Mumford 		
	<i>Terrestrik</i>	<ul style="list-style-type: none"> › <i>Keine Monetarisierung möglich, nur Daten zu PAF (,potentially affected species') aus EXIOPOL vorliegend (siehe Tabelle 5 oben)</i> 		
	Verfügbarkeit Trinkwasser	<ul style="list-style-type: none"> › Kostensatz aus Leach & Mumford 		
	Weitere Tiere (Bienen, weitere Insekten, Vögel)	<ul style="list-style-type: none"> › Kostensatz aus Leach & Mumford für Effekte bei Bienen, Vögeln und weitere Insekten 		
Regulierungsaufwand	Zulassung	<ul style="list-style-type: none"> › Bottom-up-Erfassung über bei Bundesämtern für den Bereich Pflanzenschutzmittel zugeordnete Stellenprozenten 		
	Monitoring / Kontrolle	<ul style="list-style-type: none"> › Bottom-up Berechnung über geschätzte Stellenprozente bei kantonalen Umweltämtern sowie bei kantonalen Labors 		
	Forschung	<ul style="list-style-type: none"> › Bottom-up Berechnung über geschätzte Stellen in der Forschung (Fokus EAWAG) 		

Tabelle 6

Wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, unterscheiden sich die drei Varianten insbesondere im Bereich der Gesundheits- und der Ökosystemschräden. Der Regulierungsaufwand basiert in allen drei Berechnungsvarianten auf der gleichen Vorgehensweise.

3.5.1. VARIANTE 1 – METASTUDIE LEACH & MUMFORD

Gesundheitskosten

Für die Berechnung der Gesundheitskosten stützen wir uns in dieser Variante auf in der Literatur publizierte Werte und Kostensätze sowie auf eigene Bottom-up-Schätzungen ab. Wir verwenden

die von Leach und Mumford (2008)⁴³ konsolidierten und vereinheitlichten Kostensätze, welche aus den drei erwähnten Grundlagestudien stammen (vgl. Kapitel 3.4) für den Kostenbereich Trinkwasser und einen Kostensatz aus Waibel und Fleischer (1996) für den Kostenbereich Lebensmittel. Folgende Werte fließen in die Berechnungen ein.

VARIANTE 1 – VERWENDETE KOSTENSÄTZE GESUNDHEITSBEREICH		
Kostenbereich	Beschreibung	Kostensatz
Trinkwasser	Kosten für Pestizide im Trinkwasser, Wirkungen auf Konsumenten	3.36 EUR/kg a.i.
	Kosten für Pestizide im Trinkwasser, alle Wirkungen	5.60 EUR/kg a.i.
Lebensmittel	Kosten für Lebensmittelkontrollen aufgrund von Pestizidrückständen	0.87 DM/kg a.i. resp. 0.44 EUR/kg a.i.

Tabelle 7 a.i. = active ingredient, d.h. aktive Substanz. Beide Trinkwasserkostensätze zu Euro-Preisen im Jahr 2006, vgl. Leach und Mumford (2008), Tabelle 4, Seite 143. Im Bereich Lebensmittel wurde der Kostensatz aus Waibel und Fleischer (1996) mit Hilfe der angegebenen Mengen in Leach und Mumford (2008) abgeleitet.

In einer Alternativrechnung wird über eine vereinfachte Schätzung von jährlichen Wasseraufbereitungskosten zur Filterung von Pestizidrückständen (Bereich Trinkwasser) sowie von jährlichen Kosten für Lebensmittelanalysen in kantonalen Labors (Bereich Lebensmittel) eine Größenordnung der Gesundheitskosten ermittelt. Die verschiedenen Berechnungsansätze liefern eine Grundlage für die später dargestellte Bandbreite der Resultate.

Ökosystemkosten

Für die Berechnung der Ökosystemkosten erachten wir die publizierten Kostensätze in Leach und Mumford als einzige plausible Grundlage. Deshalb stützt sich dieser Kostenbereich ausschliesslich auf die in genannter Quelle publizierten Werte ab. Es ist insbesondere bezüglich Wirkungen auf Bienen anzufügen, dass der gesamte oder erhebliche Ausfall der „Bestäubungsdienstleistung“, gewichtige Kosten bei den Erträgen aus betroffenen Produkten verursachen würde. Diese Kosten werden mit dem verwendeten Kostensatz nicht vollständig abgedeckt. Wie hoch die ökonomische Bedeutung der Bestäubungsleistung der Bienen in der Schweiz in etwa ist, zeigen Berechnungen der Agroscope (Fluri et al. 2004, Fluri und Frick 2005). Dort wurde geschätzt, dass rund 270 Mio. CHF des Erntewertes von Obst und Beeren (ohne Acker- und Gemüsebau) von der Bestäubung durch Honigbienen abhängig sind.

⁴³ Die Studie von Leach und Mumford (2008) ist aus unserer Sicht die bisher am breitesten abgestützte Arbeit zur Abschätzung der externen Kosten des Pestizideinsatzes und berücksichtigt als Metastudie auch Ergebnisse anderer relevanter Studien.

Weiter können hauptsächlich im Bereich der terrestrischen Ökosysteme aufgrund fehlender Kostensätze keine Berechnungen durchgeführt werden. Diese Kosten fehlen folglich vollständig in den Ergebnissen.

VARIANTE 1 – VERWENDETE KOSTENSÄTZE ÖKOSYSTEMSCHÄDEN		
Kostenbereich	Beschreibung	Kostensatz
Aquatische Effekte	Kosten für Gewässerpestizidverschmutzungen, gestorbene Fische, Monitoring und Biodiversitätsverluste, Wirkungen auf aquatische Systeme	0.56 EUR/kg a.i.
	Gesamtkosten für aquatische Systeme	1.12 EUR/kg a.i.
Weitere Tiere	Gesamtkosten für Wirkungen auf Bienen	0.32 EUR/kg a.i.
	Gesamtkosten für Wirkungen auf Vögel	0.42 EUR/kg a.i.
	Gesamtkosten für Wirkungen auf nutzbringende Insekten	0.42 EUR/kg a.i.
Verfügbarkeit von Trinkwasser	Kosten für Pestizide im Trinkwasser, Wirkungen auf das Grundwasser	0.56 EUR/kg a.i.

Tabelle 8 a.i. = active ingredient, d.h. aktive Substanz. Alle Kostensätze zu Euro-Preisen im Jahr 2006, vgl. Leach und Mumford (2008), Tabelle 4, Seite 143.

Regulierungsaufwand

Beim Regulierungsaufwand unterscheiden wir die drei Bereiche Zulassung, Kontrolle / Monitoring und Forschung, wobei die Kosten in allen drei Bereichen mit einem Bottom-up-Ansatz berechnet werden. Hierbei fokussiert der Ansatz einerseits auf einer Anzahl Vollzeitstellen, die je Bereich vorliegen resp. geschätzt werden. Andererseits werden über Annahmen zu Vollkosten je Vollzeitstelle in einem zweiten Schritt die Kosten berechnet.

Für die Aufgaben auf Bundesebene im Rahmen der Zulassungsverfahren für neue Pflanzenschutzmittel liegen detaillierte Zahlen zu den benötigten Stellenprozenten vor (vgl. Tabelle 9). Nicht enthalten sind Ressourcen, die im Zusammenhang mit der Zulassung von Biozid-Produkten stehen (insb. bei BAFU, BLW und BAG) resp. im Zusammenhang mit Programmen des Gewässermonitorings.

ZULASSUNGSVERFAHREN PESTIZIDE – VOLLZEITSTELLEN	
Bundesstelle	VZÄ (%)
Bundesamt für Landwirtschaft BLW	1100%
Agroscope	1300%
Bundesamt für Umwelt BAFU	120%
Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV	210%
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO	250%
Total	2980%

Tabelle 9 VZÄ = Vollzeitstellen. Quelle: Angaben der verschiedenen Bundesämter. Nicht berücksichtigt sind Stellen, welche befristet für die Neuüberprüfung schon zugelassener Produkte gesprochen wurden. Bis 2015 resp. 2017 sind dies zusätzlich 1060% resp. 250%.

Im Bereich der Kantone sind Kontroll- und Monitoringstellen bei den Umweltämtern ebenso zu berücksichtigen wie die Untersuchungen und Analysen der kantonalen Labors. Dazu kommen Ausgaben für die Kontrollen im Bereich ökologischer Leistungsnachweis (ÖLN, vgl. auch Kapitel 2.2.3.). Gemäss Aussagen der befragten Fachpersonen fallen die Aktivitäten je nach Kanton unterschiedlich aus. Während einige Kantone verstärkt auf ein breites Monitoring verschiedener Gewässer setzen, arbeiten andere wiederum Schwerpunkt basiert (z.B. Hofentwässerung). Ähnlich präsentiert sich die Situation bei den Labors, wo teilweise überkantonale zusammengearbeitet werden und sich einzelne Analyseinstitute auf einen Schwerpunkt (z.B. Pestizide in Lebensmittel) fokussieren.

Um Doppelzählungen zu vermeiden und die effektiven Personalressourcen ermitteln zu können, wäre aufgrund dieser Ausgangslage eine Erfassung aller kantonalen Stellen in der Schweiz sowie detaillierte Auswertungen der ÖLN-Praxis nötig. Im Rahmen der vorliegenden Studie verwenden wir stattdessen eine stark vereinfachte Bottom-up-Berechnung. Analog wird das Vorgehen im Bereich der Forschung gewählt. So fliessen bei den Kantonen rund 15 bis 30 Stellen (1'500-3'000 Stellenprozente im Bereich Umweltämter) in die Rechnung ein, hinzu kommt die gleiche Grössenordnung für die (inter-)kantonalen Labors. In der Forschung werden rund 45 Stellen berücksichtigt.

Die verwendeten Kostensätze je Vollzeitstelle bewegen sich zwischen 150'000 und 200'000 CHF pro Jahr für Stellen der öffentlichen Hand und zwischen 80'000 und 120'000 CHF pro Jahr in der Forschung. Erstere leiten sich ab aus Zahlen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR; Angaben für den gesamten Dienstleistungssektor und die öffentliche Verwaltung). Für letztere wurden die Geschäftszahlen der EAWAG herangezogen.

Umrechnung der Kostensätze

Alle angegebenen Kostensätze in anderen Währungen als Schweizer Franken werden nach einheitlicher und etablierter Methodik (siehe u.a. Infrast et al. 2007) in Schweizer Franken umgerechnet, wobei das Jahr 2012 als Basisjahr verwendet wird. Dabei werden die Kostensätze zuerst mittels durchschnittlicher Jahreswechselkurse in Schweizer Franken umgerechnet. Die höhere Kaufkraft in der Schweiz wird zusätzlich berücksichtigt, indem die kaufkraftbereinigten Pro-Kopf-Bruttoinlandprodukte der relevanten Länder herangezogen werden. Letztlich werden die Kostensätze inflationsbereinigt und auf das Preisniveau im Jahr 2012 hochgerechnet (Basis: harmonisierter Verbraucherpreisindex, HVPI). Als Quellen für diese Umrechnungen und Kosten-

satzbereinigungen dienen die entsprechenden Datentabellen von Eurostat.⁴⁴ Für die Umrechnung der Kostensätze aus Mumford und Leach (2006) auf die Schweiz und das Jahr 2012 ergeben sich entsprechend folgende Umrechnungsfaktoren:

- › Wechselkurs: 1.573 CHF/EUR (2006)
- › BIP pro Kopf, kaufkraftbereinigt (2006):
 - › Schweiz vs. Deutschland: Faktor 1.21
 - › Schweiz vs. UK: Faktor 1.14
 - › Schweiz vs. USA: Faktor 0.87
- › Inflation (Basis harmonisierter Verbraucherpreisindex) Schweiz 2006-2012: +2.4%

Für die Umrechnung von Kostensätzen aus anderen Studien werden entsprechend analoge Werte für die jeweiligen Länder und Jahre verwendet.

3.5.2. VARIANTE 2 – GESUNDHEITSKOSTEN NACH EXIOPOL

Variante 2 zieht für die Gesundheitsschäden Kostensätze heran, welche in Fantke und Wagner (2009, EXIOPOL-Studie) publiziert wurden. Da es sich um ein EU-Projekt handelte, liegt der Fokus auf den EU-Mitgliedsländern, spezifische Werte für die Schweiz werden keine publiziert. Um die Gesundheitskosten trotzdem für die Schweiz über diese Kostensätze berechnen zu können, haben wir unterschiedliche Länder herangezogen, die in Bezug auf ihre Landwirtschaft mindestens teilweise mit der Schweiz vergleichbar sind (Österreich, Niederlande, Belgien). Die Kostensätze sind als Effekte auf die Gesundheit (Gesundheitskosten) zu interpretieren, wobei zwischen Krebs- und Nicht-Krebs-Effekten unterschieden wird. In der Studie von Fantke und Wagner (2009) erfolgt die Berechnung der Gesundheitskosten über so genannte DALY (disability adjusted life years), was vereinfacht gesagt ein Mass für die Anzahl verlorenen Lebensjahre ist.⁴⁵ Für die vorliegenden Berechnungen für die Schweiz ist dieser Zwischenschritt nicht nötig, da direkt Kostensätze pro Pestizidmenge aus der EXIOPOL-Studie verwendet werden konnten.

⁴⁴ Grundlagen der Eurostat-Datenbank (2014):

Euro/Ecu-Wechselkurse: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ert_bil_eur_a&lang=de

Bruttoinlandsprodukt pro Kopf zu Marktpreisen, kaufkraftbereinigt:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=de&pcode=tec00001>

Harmonisierter Verbraucherpreisindex: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=prc_hicp_aind&lang=de

⁴⁵ DALY ist ein Mass für die Sterblichkeit und die Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit. Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr bei einwandfreier Gesundheit. DALYs sind die Summe aus verlorenen Lebensjahren aufgrund von frühzeitigen Todesfällen sowie dem Verlust an Lebenszeit durch Krankheit (aus: Ecoplan, Infrass 2014).

VARIANTE 2 – VERWENDETE KOSTENSÄTZE GESUNDHEITSBEREICH			
Wirkstoffe	Wirkung	Land	Kostensatz (in EUR/kg a.i.)
Herbizide	Krebs	Österreich	3.3
		Niederlande	0.3
		Belgien	12.7
	Non-Krebs	Österreich	7.6
		Niederlande	21.9
		Belgien	12.3
Insektizide	Krebs	Österreich	0
		Niederlande	0
		Belgien	0
	Non-Krebs	Österreich	100.9
		Niederlande	0
		Belgien	229

Tabelle 10 a.i. = active ingredient, d.h. aktive Substanz. Alle Kostensätze zu Euro-Preisen im Jahr 2000. Quelle: Fantke und Wagner (2009, Annex VI). Die Kostensätze werden analog zum Vorgehen unter Variante 1 in Schweizer Franken umgerechnet. Für die Ermittlung des Hauptergebnisses werden die Kostensätze aus Österreich verwendet.

In der EXIOPOL-Studie von Fantke und Wagner (2009) werden für die Ökosystemschäden ebenfalls quantitative Angaben gemacht, indem die so genannten ‚Potentially Affected Fraction (PAF) of Species‘ ausgewiesen werden. Dieser Wert zeigt die möglicherweise betroffener Lebewesen infolge des Pestizideinsatzes. Allerdings lässt sich auf Basis der PAF-Werte (bisher) keine Monetarisierung der Schäden vornehmen, sodass die Ökosystemschäden in der EXIOPOL-Studie nicht monetär ausgewiesen werden.

Aus diesem Grund werden die Ökosystemschäden wie auch der Regulierungsaufwand in der Variante 2 gleich berechnet wie in der Variante 1 (siehe oben).

3.5.3. VARIANTE 3 – ZAHLUNGSBEREITSCHAFT BIOPRODUKTE

Die Berechnungsvariante 3 stellt einen anderen Ansatz zur Abschätzung der externen Kosten in den Bereichen Gesundheit und Ökosystemen in den Vordergrund. Die Idee ist es, auf Basis einer explizit geäußerten Zahlungsbereitschaft einen Näherungswert für die Schadenskosten abzuschätzen. Dieses Vorgehen wird bei der Monetarisierung von Umweltkosten typisch und oft angewandt (siehe auch Kap. 3.3). Im vorliegenden Fall werden die Mehrausgaben der KonsumentInnen für Bio-Produkte so interpretiert, dass sie eine *Zahlungsbereitschaft* zur Vermeidung von Umwelt- und Gesundheitsschäden widerspiegelt, die sich zumindest teilweise auf den Pestizideinsatz bezieht. Aus Konsumentenbefragungen weiss man, dass die Vermeidung von Umweltschäden durch Pestizideinsatz und eine positive Wirkung auf die Gesundheit aufgrund geringerer Zusatzstoffe zu den wichtigsten Gründen für den Kauf von Biolebensmitteln gehören (BÖLN 2013).

Die Abschätzung der Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung des Einsatzes von Pestiziden in der Landwirtschaft zur Herstellung von pflanzlichen Lebensmitteln wird demnach wie folgt abgeschätzt:

- › Jährlicher Gesamtumsatz mit pflanzlichen biologischen Lebensmitteln (ohne Fleisch, Milchprodukte etc.) in der Schweiz: gut 600 Mio. CHF im Jahr 2012 (Bio Suisse 2013).
- › Abschätzung der Mehrausgaben für Bioprodukte aus der Preisdifferenz zwischen biologischen und herkömmlichen Lebensmitteln (Fokus Früchte und Gemüse). Gemäss aktuellen Zahlen liegen die Konsumentenpreise für Bioprodukte bei Früchten und Gemüse im Moment im Mittel gut 50% über den Preisen konventioneller Produkte (BLW 2013c). Die Mehrausgaben der Schweizer Wohnbevölkerung für pflanzliche Biolebensmittel betragen demnach gut 200 Mio. CHF pro Jahr.
- › Diesen Mehrausgaben für Bioprodukte können als Zahlungsbereitschaft für den Einsatz biologischer Landwirtschaft interpretiert werden. Allerdings ist nur ein Teil davon als Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von negativen Folgen des Pestizideinsatzes zu interpretieren, da es für die Konsumenten auch weitere wichtige Gründe gibt, Bioprodukte zu kaufen (z.B. geringerer Einsatz von Düngemitteln, weitere positive Umweltwirkungen der Biolandwirtschaft wie ökologische Ausgleichsflächen, regionale und sozialverträgliche Produkte). Aus Bevölkerungsbefragungen wird jedoch klar, dass der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel einer der Hauptgründe für den Kauf von Biolebensmittel ist (positiver Beitrag für Gesundheit und Umwelt, BÖLN 2013). Auf Basis dieser Daten gehen wir davon aus, dass 25-50% dieser gesamten Mehrausgaben als Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung von Pestiziden in der Landwirtschaft interpretiert werden kann.

Weil die Konsumenten mit dem Aufpreis für Bioprodukte sowohl negative Umwelt- als auch Gesundheitsfolgen vermeiden wollen, deckt dieser Berechnungsansatz beide Kostenbereiche (Gesundheits- und Umweltschäden) ab. Die Abschätzung der externen Kosten ist zwar mit einigen Unsicherheiten behaftet, hat aber den Vorteil, dass sie auf einer tatsächlich im Markt geäusserten Zahlungsbereitschaft basiert.⁴⁶

Die Berechnung des Regulierungsaufwandes erfolgt bei der Variante 3 analog wie bei den Varianten 1 und 2.

⁴⁶ Im Gegensatz zu den anderen Varianten basiert das Ergebnis der Variante 3 nicht mehr ganz auf dem Territorialprinzip, weil bei der Zahlungsbereitschaft auch die Ausgaben für Bioprodukte aus dem Ausland berücksichtigt werden. Der Berechnungsansatz widerspiegelt somit eher das Inlandprinzip, bei dem der Fokus auf der inländischen Bevölkerung liegt.

3.5.4. DATENGRUNDLAGE PESTIZIDMENGEN

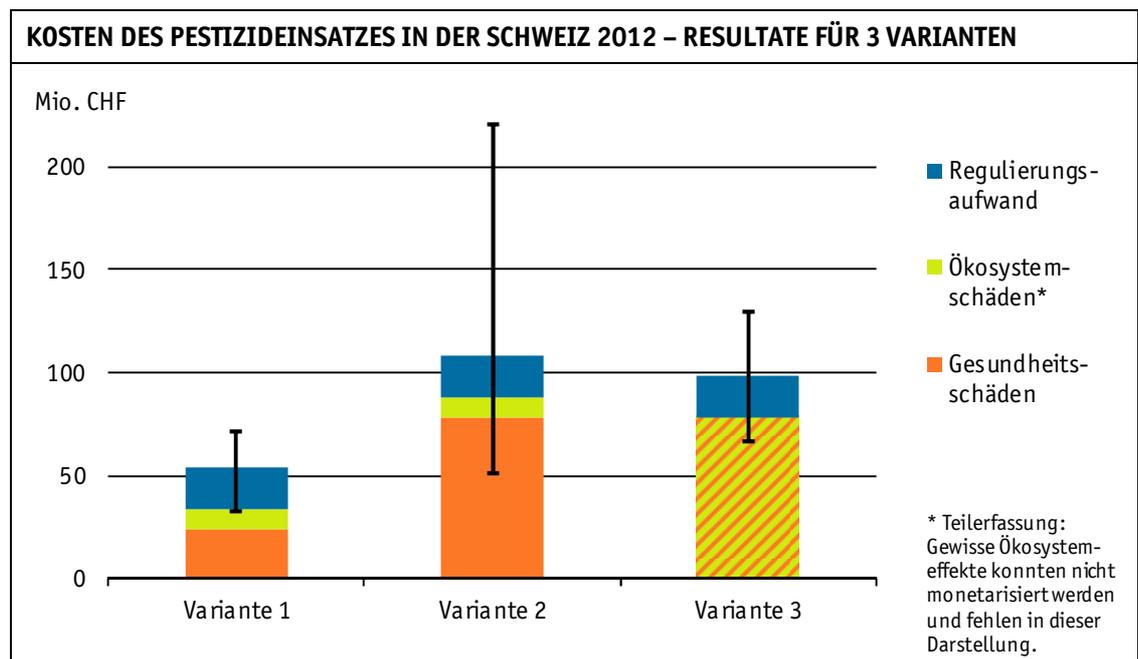
Für die Berechnung der Gesamtkosten für die Schweiz werden für die Kostenbereiche Gesundheits- und Ökosystemschäden Daten zu den eingesetzten Pestizidmengen benötigt. Im Mittelpunkt steht die verfügbare Statistik des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) zu den Verkäufen von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. Diese werden seit 2006 jährlich im März vom Bundesamt für Statistik (BFS) publiziert (vgl. auch Figur 2 in Kapitel 1.1). Detailliertere Daten sind beim BLW nur auf Anfrage erhältlich, wobei die Daten hier zwar nach verkauften Mengen je Wirkstoff differenzieren, die Mengenangaben jedoch nur in groben Kategorien vorliegen. Demnach werden in der Schweiz am meisten Pflanzenschutzmittel mit folgenden Wirkstoffen verkauft: Glyphosat, Schwefel, Paraffinöl, Folpet (Fungizid, Phtalimid). Letztlich finden sich auf der Homepage der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) Daten zu importierten und exportierten Pestizidmengen. Diese Daten differenzieren nach einzelnen Wirkstoffen. Die herangezogenen Kostenstudien präsentieren jedoch meist Kostensätze, die nicht nach einzelnen Wirkstoffen unterscheiden. Deshalb werden für die Berechnungen nicht die detaillierten Mengenangaben der FAO verwendet, sondern die Pestizidmengen aus der BFS/BLW-Statistik (siehe Figur 2, Kapitel 2.1.1).

4. KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES IN DER SCHWEIZ

4.1. GESAMTERGEBNISSE

Der volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz belaufen sich gemäss den Berechnungen in der vorliegenden Studie auf **rund 50 bis 100 Mio. CHF pro Jahr**. Die Regulierungskosten belaufen sich auf rund 20 Mio. CHF, die Ökosystemschäden auf rund 10 Mio. CHF. Die Gesundheitsschäden sind stark abhängig von der zugrundeliegenden Methodik und weisen die grössten Bandbreiten auf. Sie machen mit 25 bis 78 Mio. CHF den grössten Anteil an den Gesamtkosten aus.

Wie in Kapitel 3.5 erläutert, haben wir aufgrund der noch wenig etablierten Methodik die Kosten mit Hilfe verschiedener Ansätze resp. Kostensätze berechnet. Die dargelegten Bandbreiten sind Resultat dieser Vorgehensweise. Die nachfolgende Figur stellt die Ergebnisse für die entsprechenden Varianten 1 bis 3 dar.

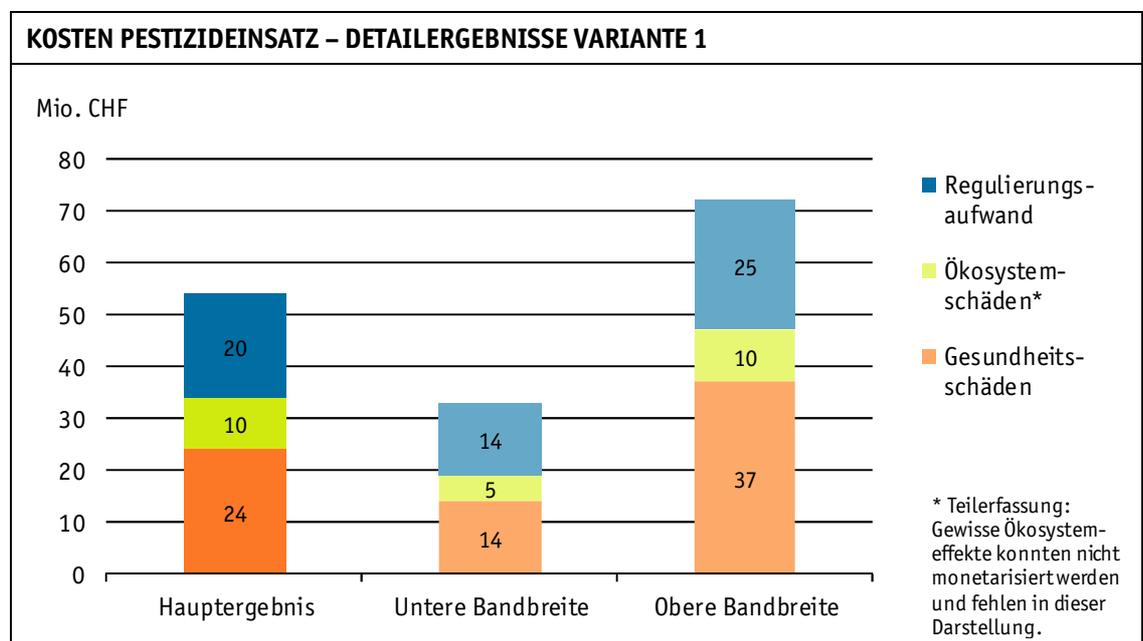


Figur 6 Eigene Berechnungen. Die schwarzen Balken zeigen die Ergebnisse von Sensitivitätsrechnungen (untere bzw. obere Bandbreiten der Berechnungen).

Wie aus der Darstellung der Ergebnisse hervorgeht, sind die Bandbreiten nicht alleine durch die unterschiedlichen Methoden je Variante begründet. Auch innerhalb einer einzelnen Variante können erhebliche Differenzen entstehen. In den folgenden Abschnitten erläutern wir die Resultate je Variante detaillierter und gehen auf Ursachen für die Bandbreiten ein.

4.1.1. VARIANTE 1 – METASTUDIE LEACH UND MUMFORD

Die Berechnungen für die Variante 1 ergeben einen zentralen Wert für die Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz im Jahr 2012 von rund 55 Mio. CHF bei Bandbreiten von 33 bis 72 Mio. CHF. Den grössten Anteil machen die Gesundheitskosten aus (44%), wobei der wesentliche Teil dieser Kosten auf die Verschmutzung von Trinkwasser resp. die Vermeidung von Pestizideinflüssen ins Trinkwasser zurückzuführen ist. Die Regulierungskosten belaufen sich auf knapp 40% der Gesamtkosten.



Figur 7 Eigene Berechnungen.

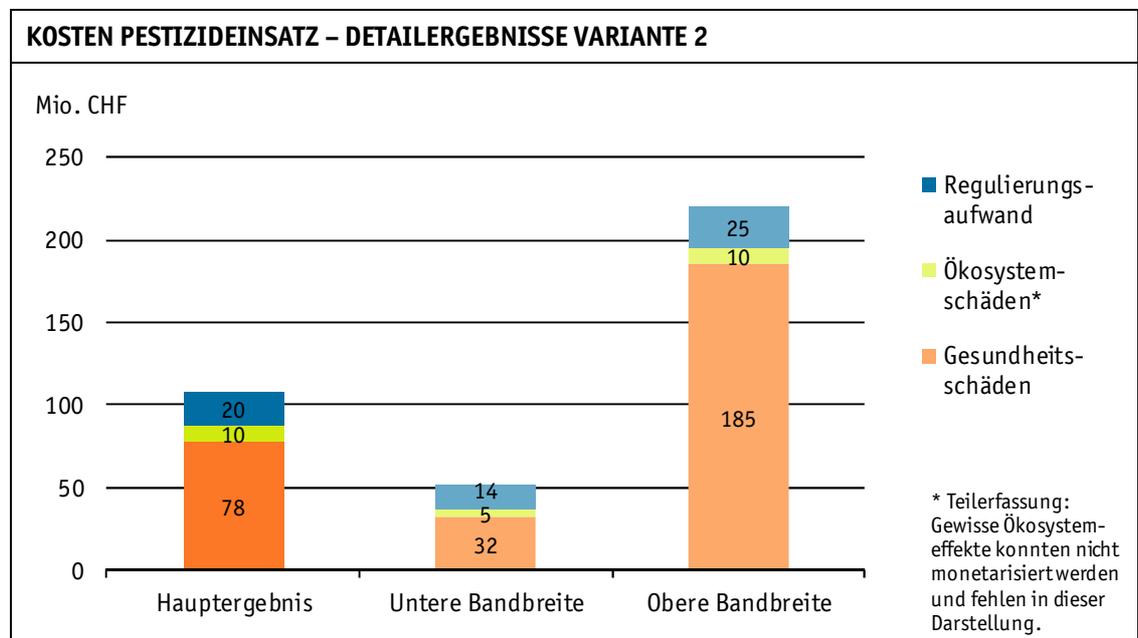
Die Berechnungen in Variante 1 lehnen sich bei den Gesundheits- und den Ökosystemschiäden stark an die Meta-Studie von Leach und Mumford (2008) an. Die resultierenden Bandbreiten stammen von unterschiedlichen Kostensätzen, welche für die Berechnung der Kosten in der Schweiz verwendet werden. Dabei gibt es einen relativen Handlungsspielraum, da je nach Interpretation der Kostenkategorien in den Grundlagestudien die einzelnen Kostensätze anders miteinander addiert werden können. So ergeben sich beispielsweise unterschiedliche Resultate, wenn man bei den Kosten von Pestiziden in Trinkwasser nur auf die Effekte bei den Konsumenten fokussiert oder aber weitere Effekte z.B. auf Anwender oder das Grundwasser berücksichtigt.

Die Bandbreiten bei den Regulierungskosten stammen vorwiegend aus der Verwendung unterschiedlicher Kostensätze für eine Vollzeitstelle.

4.1.2. VARIANTE 2 – GESUNDHEITSKOSTEN NACH EXIOPOL

Die Berechnungen für die Variante 2 ergeben einen zentralen Wert für die Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz im Jahr 2012 von rund 107 Mio. CHF bei Bandbreiten von 51 bis 220 Mio. CHF. Den grössten Anteil machen die Gesundheitskosten aus (72%). Das grosse Gewicht der Gesundheitskosten ist erklärbar durch die verwendeten Kostensätze. Diese stammen aus Fantke und Wagner (EXIOPOL, 2009) und beziehen sich u.a. auf Krebsfälle durch Pestizidwirkstoffe. Die Quantifizierung der Kosten erfolgt in der EXIOPOL-Studie über die Bewertung verloreener Lebensjahre (DALY), was zu bedeutenden Werten führt. Eine grobe Abschätzung auf Basis von EXIOPOL ergibt für die Schweiz entsprechend einen Verlust von gut 1'000 DALY pro Jahr infolge des Einsatzes von Pestiziden.

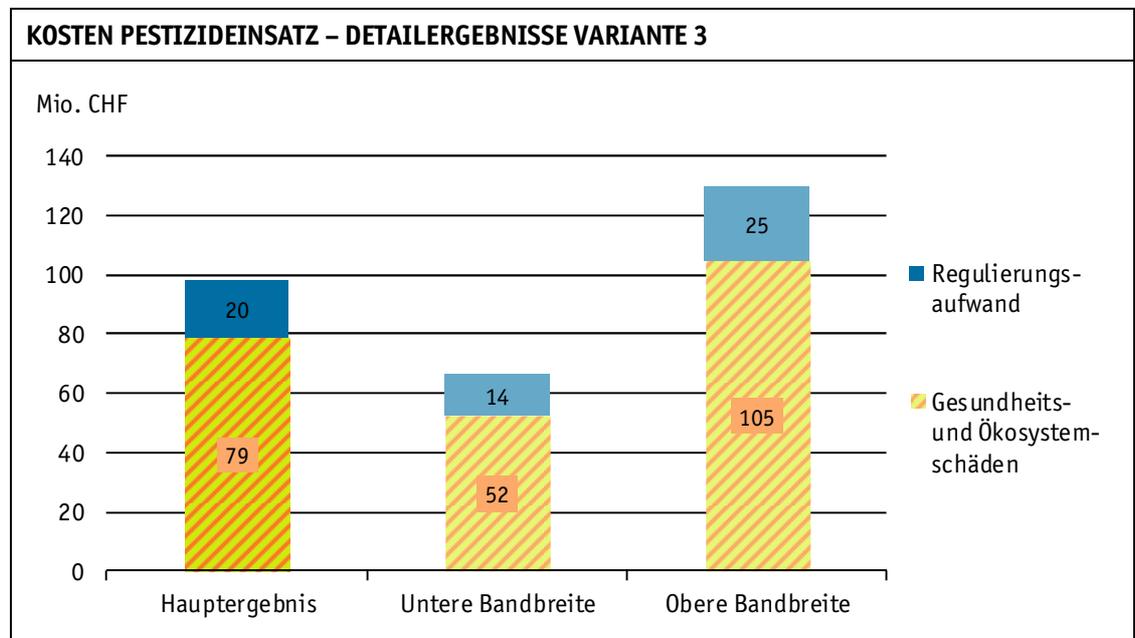
Es ist zu erwähnen, dass bei den in der EXIOPOL-Studie ausgewiesenen Werten erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Ländern bestehen. Insgesamt ergeben sich auf Basis von EXIOPOL deutlich höhere Gesundheitskosten als bei der Verwendung der Daten von Mumford und Leach (2008) in Variante 1. Die Berechnung der Ökosystemschäden sowie der Regulierungskosten folgt der gleichen Methodik wie in Variante 1. Ihr relativer Anteil beläuft sich auf knapp 10% resp. 20% der Gesamtkosten.



Figur 8 Eigene Berechnungen.

4.1.3. VARIANTE 3 – ZAHLUNGSBEREITSCHAFT BIOPRODUKTE

Die Berechnungen für die Variante 3 ergeben einen zentralen Wert für die Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz im Jahr 2012 von knapp 100 Mio. CHF bei Bandbreiten von 66 bis 130 Mio. CHF. Die Regulierungskosten machen rund 20% der Gesamtkosten aus, sie folgen methodisch den Berechnungen in Variante 1. Die Gesundheits- und Ökosystemkosten werden in dieser Variante mittels eines Zahlungsbereitschaftsansatzes berechnet und können deshalb nicht getrennt ausgewiesen werden. KonsumentInnen in der Schweiz sind demnach bereit, für den Verzicht von Pestiziden im Lebensmittelanbau sowie für die Vermeidung von Rückständen in den Lebensmitteln selber jährlich rund 80 Mio. CHF zu bezahlen (Bandbreite 52 bis 105 Mio. CHF).



Figur 9 Eigene Berechnungen.

4.2. UNSICHERHEITEN UND FEHLENDE KOSTEN

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind die folgenden Punkte von Bedeutung:

- › Basisjahr für die Berechnungen bei jenen Kostenblöcken, welche auf Basis der verkauften Pestizidmengen berechnet werden, bildet das Jahr 2012.
- › Die Kosten für den Biozid-Einsatz werden aufgrund fehlender Grundlagedaten nur ungenügend in den Resultaten abgebildet. Nicht enthalten sind sie in den Regulierungskosten sowie bei jenen Kostenblöcken, für welche die verkauften Mengen an Pflanzenschutzmittel herangezogen werden.

- › Für die Schätzung der Gesundheits- und der Ökosystems Schäden wurden keine spezifisch für die Schweiz angepassten Kostenberechnungen durchgeführt. Die Werte basieren deshalb mehrheitlich auf in der Literatur publizierten Werten für andere Länder resp. auf groben Schätzungen und Hochrechnungen für die Schweiz. Nicht enthalten sind aufgrund fehlender Kostensätze Schäden im Bereich der terrestrischen Ökosysteme.
- › Die Regulierungskosten auf Ebene Monitoring, Zulassung und Forschung konnten nicht vollumfassend erfasst werden. Sie basieren auf Annahmen und groben Hochrechnungen. Darüber hinaus gilt für die Regulierungskosten insgesamt, dass sie nur auf Personalkosten fokussieren. Kosten für Immobilien, Mobilien und technisches Equipment sowie weitere Bereiche sind nicht berücksichtigt.
- › Die relative grosse Bandbreite der Ergebnisse weist darauf hin, dass die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Dies gilt insbesondere für die Gesundheits- und Ökosystems Schäden. Bei den Ökosystems Schäden ist darauf hinzuweisen, dass die relativ niedrigen Kosten unter anderen eine Folge fehlender quantitativer Wirkungszusammenhänge sind. Diese Kosten sind aus unserer Sicht eine Mindestschätzung und können auch deutlich höher liegen.
- › Bis eine vollständigere und genauere Berechnung der externen Kosten des Pestizideinsatzes möglich ist, sind noch weitere Forschungsarbeiten zu den Wirkungszusammenhängen sowie mehr und umfassendere Kostenstudien nötig. Die externen Kosten des Verkehrs, zu denen seit über dreissig Jahren geforscht wird, sind ein gutes Beispiel dafür, dass langjährige Arbeiten nötig sind, bis eine etablierte und umfassende Berechnung der externen Kosten möglich ist.

5. FAZIT UND AUSBLICK

Im Rahmen der vorliegenden Studie stand die Betrachtung der von Pestiziden verursachten volkswirtschaftlichen Kosten im Vordergrund. Die privaten Nutzen von Pestiziden wurden nicht beleuchtet, ebenso wird nicht auf mögliche externe Nutzen des Pestizideinsatzes, etwa kurzfristige Versorgungssicherheit, eingegangen. Die Studie fokussiert auf die berechenbaren, externen Kosten des Pestizideinsatzes.

Verbreiteter Nachweis

Pestizide respektive deren Rückstände oder Abbauprodukte werden in der ganzen Schweiz in Gewässern wie auch im Trinkwasser und in den Böden nachgewiesen. Die Konzentrationen der Pestizide in der Umwelt variieren je nach Ökosystem, Jahreszeit und Region. Durch die in den letzten Jahren stark verbesserte Analytik können mehr Wirkstoffe und Abbauprodukte nachgewiesen werden.

Komplexe Dosis-Wirkungszusammenhänge

Die direkten Wirkungen von Pestizidprodukten resp. deren Wirkstoffen sind sehr schwierig kausal nachzuweisen. Zwar gelingt dies unter Laborbedingungen, aber aufgrund der unzähligen und meist schwierig kontrollierbaren Einflussfaktoren in der Umwelt gelingt dies ausserhalb des Labors erst unvollständig bzw. kaum quantitativ. Für die Schweiz liegt unseres Wissens bis jetzt keine für die vorliegende Fragestellung verwendbare quantitative Dosis-Wirkungs-Studie vor. Für die Berechnung der Kosten in den Bereichen Gesundheit und Ökosystem stützen wir uns deshalb mehrheitlich auf internationale Studien ab.

Regulierungskosten

Externalitäten sind ein klassisches Beispiel für ein Marktversagen. Im konkreten Fall entstehen durch die Anwendung von Pestiziden Kosten, welche nicht direkt von den Verursachenden getragen werden. Dies kann dazu führen, dass die entsprechenden Güter, z.B. die Umwelt, übernutzt werden. Die öffentliche Hand überlässt bereits heute das Inverkehrbringen von Pestiziden (Pflanzenschutzmittel und Biozide) nicht dem freien Markt. In diesem Sinne können die auftretenden Regulierungskosten als Vermeidungskosten interpretiert werden, um grössere negative Auswirkungen zu verhindern. Die Regulierungskosten lassen sich im Bereich der Pestizide denn auch besser nachweisen. Insbesondere auf Bundesebene kann der verfügbare Personalaufwand im Zusammenhang mit der Regulierung der Pflanzenschutzmittel gut erfasst werden.

Umgang mit Unsicherheiten: Pilotberechnung

Die mit dieser Studie präsentierten Ergebnisse erfassen die externen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz nicht vollständig. Neben mangelnden Daten bestehen auch auf naturwissenschaftlicher Ebene noch erhebliche Wissenslücken über die genauen Dosis-Wirkungs-Effekte von Pestiziden. Darüber hinaus zeigt sich, dass neben den bekannten Wirkungen oft solche bestehen, die heute noch nicht erfasst oder nachgewiesen werden können. Aus diesen Gründen werden die Resultate immer in Bandbreiten angegeben, welche auf diese Unsicherheiten hinweisen sollen. Für die Interpretation der vorliegenden Resultate sind deshalb die erläuterten Unsicherheiten zwingend zu berücksichtigen und bei Schlussfolgerungen miteinzubeziehen.

In diesem Sinne sind die vorliegenden Resultate als erste Pilotberechnung zu sehen. Sie zeigt Möglichkeiten der Quantifizierung auf, ihre Methodik ist aber in Zukunft weiter zu verbessern. Wie in anderen Bereichen der Umweltökonomie braucht es eine gewisse Zeit, bis sich Methoden und Vorgehensweisen etablieren.

Erhebliche volkswirtschaftliche Kosten

Die volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz liegen gemäss vorliegender Abschätzung im Bereich von 50 bis 100 Mio. CHF pro Jahr. Die Kosten weisen damit ein erhebliches Ausmass aus. Als Vergleich: Gemäss landwirtschaftlicher Gesamtrechnung werden in der Schweiz jährlich rund 125 Mio. CHF für Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel ausgegeben. Der Wert aller pflanzlichen Erzeugnisse in der Landwirtschaft beläuft sich auf rund 4 Mia. CHF.⁴⁷

Weil die Wirkungszusammenhänge bisher erst unvollständig erforscht und quantifizierbar sind und weitere, bisher unbekannte Umwelt- oder Gesundheitsrisiken auftauchen können, dürften die tatsächlichen Kosten des Pestizideinsatzes eher höher liegen als in der vorliegenden Berechnung ermittelt.⁴⁸ Dies trifft insbesondere auf die Ökosystemeffekte zu, die aufgrund der noch unsicheren Quantifizierung der Schäden unvollständig sind und bei denen das Risiko besteht, dass sie noch deutlich sein könnten als hier ausgewiesen.

⁴⁷ Vgl. dazu Agrarbericht 2013, Annex A14/15 (BLW 2013a).

⁴⁸ Eine Verifizierung der hier abgeschätzten volkswirtschaftlichen Kosten wird möglich sein, wenn die kürzlich gestartete Studie des Umweltbundesamtes Deutschland zur Ermittlung der externen Umweltkosten des chemischen Pflanzenschutzes in Deutschland vorliegt (voraussichtlich im Jahr 2015).

Mögliche regulatorische Massnahmen

Externe Kosten sind aus ökonomischer Sicht eine Form von Marktversagen, stellen also eine Situation dar, welche aus Sicht der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt nicht optimal ist. Die Kosten werden bewusst oder unbewusst von der Allgemeinheit getragen. Das Verursacherprinzip ist ein wichtiger Grundsatz, auf Basis dessen die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt optimiert werden kann, indem die gesamten Kosten von den verursachenden Akteuren getragen werden. Da eine solche Internalisierung der volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes auf dem freien Markt nicht zustande kommt, gilt es regulatorische Massnahmen in Betracht zu ziehen.

Im Fall der Pestizide wäre es deshalb sinnvoll, wenn die mit dem Pestizideinsatz verbundenen externen Kosten den Verursachern angelastet, das heisst internalisiert, würden. Dies kann beispielsweise mit Hilfe einer Pestizidabgabe erfolgen, wie sie Dänemark kennt. Eine solche Internalisierungsmassnahme erhöht die Preise der Pestizide und sendet korrekte Preissignale im Markt. Sie beeinflusst die Produktionsfunktion in der Landwirtschaft und führt zu einem neuen Marktgleichgewicht hinsichtlich der Nachfrage nach Pestiziden (resp. der Belastung der Umwelt). Die aus der Abgabe generierten Einnahmen könnten entweder im Sinne einer Lenkungsabgabe an die Bevölkerung rückverteilt oder zweckgebunden zur verursachergerechten Deckung von Kosten für die Zulassung, das Monitoring (Gewässer, Trinkwasser, Lebensmittel) oder die Erforschung der Umweltwirkungen verwendet werden.

Neben der erwähnten Internalisierung der externen Kosten mittels (Lenkungs-)Abgabe sind weitere regulatorische Massnahmen zur Senkung der volkswirtschaftlichen Kosten des Pestizideinsatzes in der Schweiz denkbar. Im Rahmen der vorliegenden Studie sind diese Massnahmen nicht vertieft analysiert worden. Auf Basis der Interviews, der Literaturanalyse sowie Erfahrungen aus anderen Bereichen scheinen uns folgende Massnahmen prüfenswert:

- › Einführung wirkstoffspezifischer und risikobasierter Grenzwerte für Pestizidrückstände in Gewässern anstelle des bisherigen pauschalen Grenzwertes.
- › Intensivierung der Forschung zu möglichen Risiken und Folgen des Pestizideinsatzes sowie zu möglichen Anpassungsmassnahmen zur Verminderung der Einsatzmengen.
- › Aufbau eines systematischen Monitorings von Pestizidrückständen in der Umwelt (v.a. Gewässern), in Lebensmitteln sowie im Trinkwasser.
- › Stärkung der Rolle von Umwelt- und Gesundheitsbehörden im Zulassungsprozess bzw. generell eine Revision dieses Prozesses.
- › Verbesserte Transparenz zu den eingesetzten bzw. zugelassenen Wirkstoffen, deren Abbauprodukten und möglichen Wirkungen bzw. generell Verbesserung des Informationsflusses zwi-

schen Zulassungsbehörden einerseits und Kontrollbehörden und Trinkwasserversorgung andererseits.

- › Strengere Regelung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln im engeren Umfeld von Trinkwasserfassungen.
- › Zuletzt falls nötig Verbote, z.B. für spezifische Wirkstoffe oder spezielle Einsatzgebiete.

ANNEX

DETAILERGEBNISSE DER DREI VARIANTEN

In den nachfolgenden Tabellen werden die Kosten nach Kostenbereichen detailliert dargestellt für alle drei Varianten.

Kosten Pestizideinsatz – Detailergebnisse Variante 1

2012, Mio. CHF	Haupt- ergebnis	Untere Bandbreite	Obere Bandbreite
Gesundheitsschäden	24	14	37
Trinkwasser	20	12	31
Lebensmittel	4	2	6
Ökosystemschäden*	10	5	10
Aquatisch	4	2	4
Terrestrisch	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>
Weitere Tiere	4	1	4
Verfügbarkeit sauberes Trinkwasser	2	2	2
Regulierungsaufwand	20	14	25
Zulassung	6	4	7
Kontrolle	9	6	12
Forschung	5	4	6
Total Kosten	54	33	72

Tabelle 11 Eigene Berechnungen. * Teilerfassung: Gewisse Ökosystemeffekte konnten nicht monetarisiert werden und fehlen in dieser Darstellung (v.a. Schäden an terrestrischen Ökosystemen). n.b. = nicht berechnet.

Kosten Pestizideinsatz – Detailergebnisse Variante 2

2012, Mio. CHF	Haupt- ergebnis	Untere Bandbreite	Obere Bandbreite
Gesundheitsschäden	78	32	185
Krebs- & Nicht-Krebs-Effekte	78	32	185
Ökosystemschäden*	10	5	10
Aquatisch	4	2	4
Terrestrisch	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>	<i>n.b.</i>
Weitere Tiere	4	1	4
Verfügbarkeit sauberes Trinkwasser	2	2	2
Regulierungsaufwand	20	14	25
Zulassung	6	4	7
Kontrolle	9	6	12
Forschung	5	4	6
Total Kosten	108	51	220

Tabelle 12 Eigene Berechnungen. * Teilerfassung: Gewisse Ökosystemeffekte konnten nicht monetarisiert werden und fehlen in dieser Darstellung (v.a. Schäden an terrestrischen Ökosystemen). n.b. = nicht berechnet.

Kosten Pestizideinsatz – Detailergebnisse Variante 3

2012, Mio. CHF	Haupt- ergebnis	Untere Bandbreite	Obere Bandbreite
Zahlungsbereitschaft Bio-Lebensmittel	79	52	105
bezahlte Aufpreise für pestizidfreie Lebensmittel	79	52	105
Regulierungsaufwand	20	14	25
Zulassung	6	4	7
Kontrolle	9	6	12
Forschung	5	4	6
Total Kosten	99	66	130

Tabelle 13 Eigene Berechnungen.

ÜBERSICHT LITERATURANALYSE

Die folgenden Tabellen fassen eine Auswahl der analysierten Literatur zusammen.

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT HUMAN- UND ÖKOTOXIKOLOGIE		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
Humantoxikologie		
Endocrine Disruptors, Risk Management Options, Emerging Risk Initiative - Position Paper	CRO Forum, 2012	Einführung in die Risiken von Endokrinen Disruptoren (EDC) (Stoffe, die hormonell wirken); Typen von EDC, deren Quellen (z.B. Pestizide); Auswirkungen auf Mensch und Umwelt; Entfernung von EDC im Wasser; Regulationen in EU und USA
Life cycle human toxicity assessment of pesticides: Comparing fruit and vegetable diets in Switzerland and the United States	Juraske et al. 2009	Charakterisierung der lebenslangen kumulativen Gesundheitsschädigung für den Menschen durch die Aufnahme von Pestiziden auf Früchten und Gemüse in der Schweiz und den USA. Ursache-Wirkungszusammenhänge: Potentieller lebenslänglicher Schaden: 4.2 min Lebensverlust / Person. Gesamte Humantoxizitätsauswirkung: 1.7×10^{-7} DALY cap / Jahr.
Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems	Margni et al. 2001	Beschreibung einer Life Cycle Assessment Methode zur Bestimmung der Pestizidauswirkungen auf die menschliche Gesundheit und das aquatische, sowie terrestrische Ökosystem
Health Effects of chronic Pesticide Exposure: Cancer and Neurotoxicity	Alavanja et al., 2004	Umfassende epidemiologische Literaturstudie zu den Gesundheitseffekten von Pestiziden. Der Schwerpunkt liegt auf Krebserkrankungen und Neurotoxizität durch chronische Exposition.
Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes	Koureas et al., 2012	Vergleich von 49 Humanbiomonitoringstudien zu den Effekten der Pestiziden Organophosphate und Pyrethroide. Wirkungen: negative Effekte auf die Neuroentwicklung von Kindern und die männliche Reproduktion. Fazit: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Exposition dieser Pestiziden und den gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen
USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model. recommended characterization factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment	Rosenbaum et al., 2008	Entwicklung und Beschreibung des USEtox Modells, welches der Berechnung von Charakterisationsfaktoren tausender Chemikalien für die Human- und Frischwassertoxizität dient.

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT HUMAN- UND ÖKOTOXIKOLOGIE		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
Ökotoxikologie		
Environmental effects of pesticides. An impression of recent scientific literature August 2010	PAN, 2010	Umfassende Literaturstudie zu Umwelteffekten von Pestiziden auf verschiedene Kompartimente: <ul style="list-style-type: none"> > Bodenbelastung > Wasserverschmutzung > Effekte auf Organismen (traget und non-target) Effekte auf die Biodiversität
Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through waste water treatment plants - current situation and reduction potential	Gerecke et al., 2002	Studie über die Konzentrationen von verschiedene Pestiziden im Auslauf von 19 Kläranlagen und zwei Flüssen in der Schweiz Fazit: Pestizidverschmutzung in der CH könnte durch ordnungsgemässe Anwendung signifikant verkleinert werden
Das Fehlen von Bachflohkrebsen	Fässler und Stöckli, 2013	Studie über Insitu-Versuche mit Bachflohkrebsen in der Wyna (AG) zur Eruiierung von akuter und chronischer Toxizität Fazit: während den Tests konnte keine akute Toxizität durch Pestizide nachgewiesen werden; jedoch ist eine toxische Wirkung dieser Stoffe möglich, welche sich in geringerer Frassaktivität der Bachflohkrebsen auswirken
Pestizidmessungen in Fließgewässern	Munz et al., 2012	Auswertung von 345'000 Pestizidmesswerten (PMS und Biozide) aus Schweizer Fließgewässern. Fazit: 98 der 162 nachgewiesenen Pestizide wiesen an über 70% der 565 untersuchten Standorte Konzentrationen über dem Grenzwert von 0.1µg/l auf
Survey of organochlorine pesticides in horticultural soils and there grown Cucurbitaceae	Hilber et al., 2008	Untersuchungen von Organochlorpestiziden in Schweizer Böden und den darauf angepflanzten Cucurbitaceae. Immissionen: der Toleranzwert von 0.002mg/kg trockener Boden wurde bei 2/3 der Böden überschritten, der Grenzwert hingegen nicht. Fazit: Obwohl Organochlorpestizide seit 40 Jahren verboten sind, wurden sie in 66% der Böden gefunden, wobei die landwirtschaftliche Bewirtschaftung keinen Einfluss darauf hatte.
Seed-dressing systematic insecticides and honeybees	Maxim und van der Sluijs, 2013	Bericht zur historischen Beweisführung zu den Risiken des Insektizids Gaucho (aktive Substanz ist Imidacloprid) gegenüber Honigbienen in Sonnenblumen und Maisfeldern in Frankreich und eine Analyse der getroffenen Massnahmen.
Culmination of Low-Dose Pesticide Effects	Liess et al., 2013	Studie zu den Auswirkungen tiefer Neonicotinoidkonzentration auf aquatische Invertebraten in Gegenwart von Konkurrenzspezies und ohne. Resultat: Bei Anwesenheit der weniger sensitiven Konkurrenzspezies, konnte sich die untersuchte Population nicht vom Insektizid erholen und nahm kontinuierlich ab.

Tabelle 14

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER MONETARISIERUNG VON KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
EU-Ebene		
Sachstandspapier zu Toxische Stoffe (UBA Methodenkonvention 2.0)	P. Fantke / UBA 2010/2012	Definition und Auflistung wichtiger toxischer Substanzen, darunter sich im Einsatz befindende Wirkstoffe im Bereich PSM in EU. Dazu Externe Kosten von toxischen Substanzen (neben Schwermetallen auch Insektizide und Herbizide, Werte aus Leach und Mumford 2008 sowie EXIOPOL)
EXIOPOL Deliverable D II.2.c-1 A new environmental accounting framework using externality data and input-output tools for policy analysis	P. Fantke, S. Wagner, IER Stuttgart, 2009	Ausführliches Forschungsprojekt mit Bottom-Up-Ansatz zur Identifizierung der wichtigsten, sich in Gebrauch befindlichen Herbiziden und Insektiziden auf Länderebene. Unterscheidung nach Gesundheits- und Ökosystemeffekten, Monetarisierung aber nur von Gesundheitseffekten
Kostenstudie Deutschland		
Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in Deutschland	Waibel und Fleischer 1998	<p>Berechnung von Kosten und Nutzen, Kosten für</p> <ul style="list-style-type: none"> › Belastung von Trinkwasser: belastungsunabhängig (vorbeugender Gewässerschutz, insb. Überwachung, ca. 1/3) und belastungsabhängig (insb. Vermeidungs-, Ausweich- und Beseitigungskosten von Wasserwerken bei erhöhten Werten, ca. 2/3) › Giftschäden bei Honigbienen: Schadenskosten aufgrund gemeldeter Schäden von Imkern › Rückgang der Biodiversität: auf Basis Zahlungsbereitschaften für Aussterben von Pflanzenarten und Anteil Herbizide an Artensterben › Lebensmittelüberwachung: Kosten der Industrie, sowie der staatlichen Lebensmittelüberwachung und des Lebensmittel-Monitorings; Kosten für Kontrollen der Importe wurden abgezogen › Gesundheitsbelastungen: Behandlungskosten für Vergiftungsfälle und Kosten für Todesfälle (über VSL) <p>Tätigkeit staatlicher Institutionen: Anteilige Kosten mit Zusammenhang PSM der Pflanzenschutzdienste in den Bundesländern und der Biologischen Bundesanstalt für Land- & Forstwirtschaft (BBA)</p>

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER MONETARISIERUNG VON KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
Kostenstudie USA		
Environmental and Economic Costs of Pesticide Use	Pimentel et al., 1992 Pimentel, 2005	<p>Studie zu Pestizidkosten in den USA mit folgenden Kostenkategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> › Gesundheitskosten: Hospitalisierungen und Behandlung nach Vergiftungen, Arbeitsausfälle, Krebsbehandlungen, Todesfälle › Tiersterben und Ausfälle bei tierischen Produkten: Ausfälle bei Tierbeständen und dadurch bei Produkten wie Fleisch oder Milch resp. Kosten durch verunreinigte Produkte. Grundlage sind Zahlen zu Todesfällen von Tieren und zu Kosten für Pestizidnachweis in Lebensmitteln. › Verlust natürlicher Feinde: Kosten für zusätzliche Pestizidanwendungen › Pestizid-Resistenzen: Berücksichtigt werden Ernteaufschläge (verminderte Ernten) › Bienen- und Bestäubungsverluste: direkte Verluste durch kleinere Kolonien sowie niedrigere Honig-/Wachserträge, Ernteaufschläge aufgrund ausbleibender Bestäubung › Ernteaufschläge: Neben direkten Kosten v.a. Versicherungen für Produzenten und Zerstörung von mit Pestiziden verseuchten Ernten › Verluste in der Fischerei: Kosten für durch Pestizide getötete Fische sowie für Ausfälle bei der Nutzung aufgrund von Verboten › Vogelverluste: Direkte Kosten für getötete Vögel sowie Kosten für Schutzprogramme › Grundwasserkontamination: Monitoring- sowie Reinigungskosten › Staatliche Vermeidungsregulierungen: insb. Kosten für Registrierung und Zulassung von Pestiziden <p>Ergibt sehr hohe Gesamtkosten von rund 8 Mrd. \$ (resp. rd. 9.6 Mrd. \$ 2005), davon rd. 5 Mrd. \$ externe Kosten. Die Kostenberechnung erfolgt top-down unter Einbezug diverser Studien, die bereits Kosten für Einzelaspekte berechnet haben</p>

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER MONETARISIERUNG VON KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
Kostenstudien UK		
An assessment of the total external costs of UK agriculture	Pretty et al. 2000	<p>Ermittlung der externen Kosten der Landwirtschaft über sieben Kostenkategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> › Schäden an der Natur (4 Kategorien: Wasser, Luft, Boden, Biodiversität/Landschaft) › Schäden beim Menschen (3 Kategorien: Pestizide, Nitrate, Mikroorganismen) <p>...darunter drei Kostenblöcke, welche auf Pestizideinsätzen basieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> › Wasser: Jährliche Kosten von Wasserwerken für die Beseitigung von Pestizidrückständen im Trinkwasser › Wasser: Kosten für Monitoring (und minimal: Informationen) des Veterinary Medicines Directorate (VMD), des Pesticides Safety Directorate (PSD) und der Environment Agency (EA) sowie für Wiederansiedlung von zerstörten Fischbeständen (Kosten zu 50% durch Pestizide verursacht) › Biodiversität und Landschaft: Reparaturkostenansatz für Wiederherstellung von Habitaten resp. Ansiedlung von Arten (Grundlagen für Kosten aus Biodiversitätsaktionsplan) sowie von Steinmauern und Hecken (bezahlte Subventionen an Bauern als Basis) ; dazu Verluste in Bienenkolonien (grobe Annahmen aus einer Studie zum Wert der Bienen) (nach Pretty et al. 2001, zu 50% durch Pestizide verursacht) <p>Gesundheitsschäden durch Pestizide: nur akute Effekte (Durchschnittskosten für Arztbehandlungen). Chronische Effekte (Krankheiten wie Krebs etc.) werden aufgrund fehlender wissenschaftlicher Grundlagen zu Kausalitäten und Kosten nicht berücksichtigt.</p>
Policy challenges and priorities for internalizing the externalities of modern agriculture	Pretty et al. 2001	Vergleich negativer externer Kosten in der Landwirtschaft in USA, Deutschland und UK mit sieben Kostenkategorien (vgl. Pretty et al. 2000)
Total external costs and benefits of agriculture in the UK	O'Neill, 2007	u.a. Schadenskosten im Bereich Umwelt durch die Landwirtschaft. Kosten durch Pestizide sind aber nur beim Trinkwasser enthalten (Kosten der Wasserwerke, um Pestizide zu filtern und Grenzwerte einzuhalten, analog zu Pretty et al. 2000). Pestizidkosten im Bereich Gesundheit und Biodiversität werden nicht berücksichtigt
Kostenstudien Dänemark		
Organic Agriculture in Denmark	Bichel Committee, 1999a, b	Studie zur Auswirkung einer vollständigen Anpassung der Landwirtschaft an biologischen Anbau. Als Teil davon werden die Umweltverbesserungen abgeschätzt, wovon wiederum ein Teil dem Pestizideinsatz angerechnet wird (gesparte Vermeidungskosten). Keine detaillierten Erklärungen zur Berechnungsmethodik. Details zu berücksichtigten Effekten finden sich im Report vom sub-committee on the environment and health, jedoch keine Monetarisierungen
The economics of pesticides in Danish agriculture	Kaergard et al., 2002	Zusammenzug der Erkenntnisse aus den Berichten des Bichel Committees. Keine Angaben zu Methodik und Kosten

LITERATURSTUDIEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER MONETARISIERUNG VON KOSTEN DES PESTIZIDEINSATZES		
Publikation / Studie	Autor / Jahr	Inhalt
Kostenstudien mit Methodik-Fokus bzw. Meta-Analysen		
A method to measure the environmental impact of pesticides	Kovach et al. 1992	Methodik für die Bewertung der Auswirkungen einzelner Pestizide (Environmental Impact Quotient, EIQ). Für die Wirkung werden die Stoffe auf zehn Faktoren (LC50, runoff Potenziale u.Ä.) analysiert. Ebenso fließt die Anwendungsdosis, Anteil aktiver Stoffe und Anwendungshäufigkeit mit ein. Der Fokus der Methode liegt auf der Toxizität der Wirkstoffe. Die Risikoexposition bei der Anwendung wird nicht berücksichtigt.
Pesticide Environmental Accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications	Leach, Mumford, 2008	Einführung des Pesticide Environmental Accounting (PEA) basierend auf dem EIQ-System von Kovach et al. und unter Einbezug verschiedener Kostenstudien. Kategorisierung orientiert sich nach dem EIQ-System, die Herleitung der Kosten nach den herangezogenen Studien. Vereinfacht ausgedrückt, werden spezifische Kostensätze für Wirkstoffe aus ausführlichen Kostenstudien mit ihrer nach EIQ-Logik gewichteten Gefährlichkeit multipliziert. Zudem Einbezug von GDP und Bevölkerung für Umrechnung und Ländervergleich
Pesticide Environmental Accounting: A decision-making tool estimating external costs of pesticides	Leach, Mumford, 2011	Spezifische Anwendung der von Leach, Mumford (2008) präsentierten Methodik für Zuckerrüben in Deutschland und 5 verschiedenen Pestiziden resp. Einsatzmengen
Pesticides, external costs and policy options for Thai agriculture	Praneetvatakul et al., 2013	Berechnung der externen Kosten des Pestizideinsatzes unter Anwendung der PEA-Methodik einerseits und von aktuellen Kostenstudien für Thailand andererseits. Der Vergleich der beiden Methoden zeigt, dass die PEA-Methodik über die Jahre stark steigt (kongruent zur Mengenentwicklung), wohingegen spezifische thailändische Kostenstudien ein geringeres Kostenwachstum ergeben. Bei letzterer machen zudem Gesundheitskosten lediglich 1% der Gesamtsumme aus, bei der PEA-Methodik hingegen rund 80%.

Tabelle 15

LITERATUR

- Agroscope 2014:** Erste Glyphosat-Resistenz in der Schweiz, Medienmitteilung vom 10. Februar 2014, Nyon/Wädenswil.
- Alavanja, M.C.R., Hoppin, J.A., Kamel F. 2004:** Health Effects of Chronic Pesticide Exposure: Cancer and Neurotoxicity. *Annual Review of Public Health*, 25, 155-197.
- Beketov, M.A., Kefford, B.J., Schäfer, R.B., Liess, M. 2013:** Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *PNAS Early Edition*, doi/10.1073/pnas.1305618110, 1-5.
- Bichel Committee 1999a:** Report from the Bichel Committee, Organic Scenarios for Denmark, report from the Interdisciplinary Group of the Bichel Committee, März 1999.
- Bichel Committee 1999b:** Report from the Sub-committee on the environment and health, report from the Interdisciplinary Group of the Bichel Committee, März 1999.
- Bio Suisse 2013:** Jahresmedienkonferenz 2013 (10. April 2013), Umsätze Biolebensmittel nach Produktkategorien, Bio Suisse.
- Blacquièrre, T., Smaghe, G., van Gestel, C.A.M., Mommaerts, V. 2012:** Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, 21, 973-992.
- BÖLN 2013:** Ökobarometer 2013, Repräsentative Bevölkerungsbefragung. Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).
- Bright, J.A., Morris, A.J., Winspear, R. 2008:** A review of indirect effects of pesticides on birds and mitigating land-management practices, Royal Society for the Protection of Birds RSPB Research Report 28, Bedfordshire, April 2008.
- Brühl, C.A., Schmidt, T., Pieper, S., Alscher, A. 2013:** Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline?, *Nature, Scientific Reports* 3: 1135, 1-4.
- Bundesamt für Umwelt BAFU 2008:** Management des Grundwassers in der Schweiz, Leitlinien des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU 2009:** Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA), Zustand und Entwicklung 2004-2006, Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU 2013:** Umwelt Schweiz 2013.
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01722/index.html?lang=de>
 (29.11.2013).
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW 2013a:** Agrarbericht 2013, 12. November 2013, Bern.

- Bundesamt für Landwirtschaft BLW 2013b:** Einschränkung der Bewilligung für einzelne Pestizide. <http://www.blw.admin.ch/themen/00011/00075/01127/index.html> (29.11.2013).
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW 2013c:** Marktbericht BIO, Oktober 2013.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P. und van den Belt, M. 1997:** The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, Vol. 387, 253-260.
- CRO Forum 2012:** Endocrine Disruptors: Risk Management Options. Emerging Risk Initiative – Position Paper.
- Diamanti-Kandarakis, E., Bourguignon, J.-P., Giudice, L.C., Hauser, R., Prins, G.S., soto, A.M., Zoeller, Gore, A.C. 2009:** Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement. *Endocrine Reviews*, 30, 293-342.
- Ecoplan, INFRAS 2014 (unveröffentlicht):** Externe Effekte des Verkehrs 2010 – Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten, Ecoplan und INFRAS im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE, Bern/Zürich.
- Fantke, P. und Wagner, S. 2009:** EXIOPOL Deliverable DII.2.c-1, Report on Unit Values for Pesticides, Exiopol a new environmental accounting framework using externality data and input-output tools for policy analysis, Project N.037033 im Auftrag der Europäischen Kommission, Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy IER, Universität Stuttgart, Stuttgart, 8. Dezember 2009.
- Fantke, P. und Umweltbundesamt UBA 2012:** Sachstandspapier zu Toxische Stoffe, UBA Methodenkonvention 2.0, Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern, Version vom 30. Mai 2012.
- Fässler, S. und Stöckli, A. 2013:** Das Fehlen von Bachflohkrebsen: In-situ-Versuche in der Wyna im Kanton Aargau. *Aqua & Gas*, 5, 62-72.
- Feltham, H., Park, K., Gouldson, D. 2014:** Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. *Ecotoxicology*, DOI 10.1007/s10646-014-1189-7.
- Fluri, P., Schenk, P., Frick, R. 2004:** Bienenhaltung in der Schweiz. ALP forum Nr. 8.
- Fluri, P., Frick, R. 2005:** L'apiculture en Suisse: état et perspectives. *Revue Suisse d'Agriculture* 37 (2): 81-86.
- FOEE 2013a:** Human Contamination by Glyphosat, Friends of the Earth Europe, Brussels.
- FOEE 2013b:** The environmental impacts of Glyphosat, Friends of the Earth Europe, Brussels.
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W.W., Emmerson, M., Morales, M.B., Cerny-gier, P., Liira, J., Tschardt, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L.W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J.J., Guer-**

- rero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., Hänke, S., Fischer, C., Goedhart, P.W., Inchausti, P. 2010:** Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11, 97-105.
- Gerecke, A.C., Schärer, M., Singer, H.P., Müller, S.R., Schwarzenbach, R.P., Sägesser, M., Ochsenbein, U., Popow, G. 2002:** Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through waste water treatment plants – current situation and reduction potential. *Chemosphere*, 48, 307-315.
- Garry, V.F. 2004:** Pesticides and children. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198, 152-163.
- Greenpeace 2013:** Bye bye Biene? Das Bienensterben und die Risiken für die Landwirtschaft in Europa, Greenpeace Research Laboratories/Universität Exeter, England/Hamburg.
- Greenpeace, Pro Natura, SVS/BirdLife Schweiz, WWF 2013:** Anleitung zur Pestizidreduktion: Forderungen für einen erfolgreichen Schweizer Pestizidreduktionsplan.
- Hilber, I., Mäder, P., Schulin, R., Wyss, G.S. 2008:** Survey of organochlorine pesticides in horticultural soils and there grown Cucurbitaceae. *Chemosphere*, 73, 954-961.
- Infras, CE Delft, Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk 2007:** IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, Deliverable 1, Handbook on estimation of external costs in the transport sector, im Auftrag der EU Kommission.
- Jahn, T., Hötker, H., Oppermann, R., Bleil, R., Vele, L. 2014:** Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Deutschland.
- Johnson, R.M., Ellis, M.D., Mullin, C.A., Frazier, M. 2010:** Pesticides and honey bee toxicity – USA. *Apidologie*, 41, 312-331.
- Junghans, M., Kase, R. 2012:** Qualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel in Schweizer Oberflächengewässern: Vorschlag und Diskussion einer Methode zur Herleitung von Qualitätskriterien, *Aqua & Gas* 11, 16-22.
- Juraske, R., Mutel, C.L., Stoessel, F., Hellweg, S. 2009:** Life cycle human toxicity assessment of pesticides: Comparing fruit and vegetable diets in Switzerland and the United States. *Chemosphere*, 77, 939-945.
- Kaergard, N., Frandsen, S.E., Jorgensen, A.W., Orum, J.E., Jacobsen, L.-B. und Dubgaard, A. 2002:** The economics of pesticides in Danish agriculture, Paper für den 10. EAAE Kongress in Zaragoza, August 2002.
- Kantonales Labor Zürich 2012/2011:** Jahresberichte diverser Jahre, aktuellster Jahresbericht für 2012, Zürich.

- Knauer, K., Knauert, S., Felix, O. und Reinhard, E. 2010:** Aquatische Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln, Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Agrarforschung Schweiz, Vol. 1, 372-377.
- Köhler, H.-R., Triebkorn, R. 2013:** Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? *Science*, Vol. 341, 759 (2013).
- Koureas, M., Tsakalof, A., Tsatsakis, A., Hadjichristodoulou, C. 2012:** Systematic review of biomonitoring studies to determine the association between exposure to organophosphorus and pyrethroid insecticides and human health outcomes. *Toxicology Letters*, 210, 155-168.
- Kovach, J., Petzoldt, J., Degnil, J. und Tette, J. 1992:** A method to measure the environmental impact of pesticides, *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, Nummer 139.
- Leach, A.W. und Mumford, J.D. 2008:** Pesticide Environmental Accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications, *Environmental Pollution*, Volume 151, 139-147.
- Leach, A.W. und Mumford J.D. 2011:** Pesticide environmental accounting: a decision-making tool estimating external costs of pesticides, *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, Volume 6, Issue 1, Supplement, Mai 2011, 21-26.
- Lee, W.J., Blair, A., Hoppin, J.A., Lubin, J.H., Rusiecki, J.A., Sandler, D.P., Dosemeci, M., Alavanja, M.C.R. 2004:** Cancer Incidence Among Pesticide Applicators Exposed to Chlorpyrifos in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute*, 96, 1781-1789.
- Liess, M., Foit, K., Becker, A., Hassold, E., Dolciotti, I., Kattwinkel, M., Duquesne, S. 2013:** Culmination of Low-Dose Pesticide Effects. *Environmental Science & Technology*, 47, 8862-8868.
- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., Jolliet, O. 2002:** Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 379-392.
- Maxim, L. und van der Sluijs J. 2013:** Seed-dressing systematic insecticides and honeybees. EEA Report, chapter 16 'Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation'. 1, 369-406.
- Munz, N., Leu, C., Wittmer, I. 2012:** Pestizidmessungen in Fließgewässern: Schweizweite Auswertung. *Aqua & Gas*, 11, 32-41.
- O'Neill, D. 2007:** The total external environmental costs and benefits of agriculture in the UK, Environment Agency, London/Bristol.
- Pesticide Action Network Europe PAN, 2010:** Environmental effects of pesticides. An impression of recent scientific literature August 2010.

http://www.paneurope.info/Campaigns/pesticides/documents/risk_assesment/Pesticides%20and%20environment,%20an%20overview.doc (28.11.2013).

- Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., Lipner, V., Giordano, S., Horowitz, A. und D'Amore M. 1992:** Environmental and Economic Costs of Pesticide Use, *BioScience*, Volume 42, Nummer 10, November 1992, 750-760.
- Pimentel, D. 2005:** Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States, *Environment, Development and Sustainability*, Volume 7, 229-252.
- Praneetvatakul, S., Schreinemachers, P., Pananurak, P. und Tipraqsa, P. 2013:** Pesticides, external costs and policy options for Thai agriculture, *Environmental Science and Policy*, Volume 27, 103-113.
- Pretty, J., Brett, C., Gee, D., Hine, R., Mason, C., Morison, J., Rayment, M., van der Bijl, G. und Dobbs, T. 2000:** An assessment of the total external costs of UK agriculture, *Agricultural Systems*, Volume 65, 113-136.
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D. und van der Bijl, G. 2001:** Policy Challenges and Priorities for Internalizing the Externalities of Modern Agriculture, *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(2), 263-283.
- Rauh, V., Arunajadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D.B., Whyatt, R. 2011:** Seven-Year Neurodevelopmental Scores and Prenatal Exposure to Chlorpyrifos, a Common Agricultural Pesticide. *Environmental Health Perspectives*, 119, 1196-1201.
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schumacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M.Z. 2008:** USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 532-546.
- Schlumpf, M., Kypke, K., Wittassek, M., Angerer, J., Mascher, H., Mascher, D., Vökt, C., Birchler, M., Lichtensteiger, W. 2010:** Exposure pattern of UV filters, fragrances, parabens, phtalates, organochlor pesticides, PBDEs, and PCBs in human milk: Correlation of UV filters with use of cosmetics. *Chemosphere*, 81, 1171-1183.
- Spycher, S., Badertscher, R., Daniel, O. 2013:** Indikatoren für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz, *Agrarforschung Schweiz* 4 (4): 192–199.
- Spycher, S., Daniel, O. 2013:** Agrarumweltindikator Einsatz von Pflanzenschutzmitteln – Auswertungen von Daten der Zentralen Auswertung Agrarumweltindikatoren (ZA-AUI) der Jahre 2009 – 2010, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW.

- Waibel, H. und Fleischer, G. 1998:** Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in der deutschen Landwirtschaft aus gesamtwirtschaftlicher Sicht, unter Mitarbeit von H. Becker und A. Runge-Metzger, Agrarökonomische Monographien und Sammelwerke, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, Kiel, 1998.
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans, M., Leu, C. 2014:** Über 100 Pestizide in Fliessgewässern; Programm NAWA Spez zeigt die hohe Pestizidbelastung der Schweizer Fliessgewässer auf, Aqua & Gas Nr. 3/2014; S. 32ff.
- Wittwer, A. und Gubser, C. 2010:** Umsetzung des Verbots von Pflanzenschutzmitteln, Untersuchung zum Stand der Umsetzung des Anwendungsverbots von Unkrautvertilgungsmitteln auf und an Strassen, Wegen und Plätzen, Umwelt-Wissen Nr. 1014, Bundesamt für Umwelt, Bern.