

Zeitschrift: Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchungen und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène
Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit
Band: 97 (2006)
Heft: 5

Artikel: Ökotoxikologische Risikoanalyse und Grundlagen des Risikomanagements von Pflanzenschutzmitteln = Ecotoxicological risk analysis of plant protection products and principles of risk management
Autor: Daniel, Otto / Gandolfi, Michela / Aldrich, Annette
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-982033>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ökotoxikologische Risikoanalyse und Grundlagen des Risikomanagements von Pflanzenschutzmitteln*

Ecotoxicological risk analysis of plant protection products and principles of risk management

Otto Daniel, Michela Gandolfi, Annette Aldrich, Heike Baumann
und Rudolf Büchi

Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW,
Ökotoxikologie und Bodenzöologie, Schloss, Postfach 185, 8820 Wädenswil

Einleitung

Chemische Pflanzenschutzmittel (PSM) spielen eine wichtige Rolle im Pflanzenschutz. Sie haben aber auch Nebenwirkungen und bleiben nicht unbedingt im behandelten Feld, sondern können auf verschiedenen Transportpfaden (z.B. Drift, Abschwemmung) in andere, eventuell weit entfernte, Ökosysteme gelangen. Solche Risiken möchte man heute kennen, bevor ein Pflanzenschutzmittel bewilligt wird. Die Voraussetzung dazu ist eine wissenschaftlich fundierte, die landwirtschaftliche Praxis berücksichtigende und nachvollziehbare ökotoxikologische Risikoanalyse. Die fachlichen Anforderungen an die ökotoxikologischen Risikoanalysen sind in den letzten 10 Jahren im In- und Ausland stark angestiegen. Eine Risikoanalyse ist die Basis, um im Bewilligungsverfahren die ökotoxikologischen Risiken im Kontext mit anderen Risiken und dem erwarteten landwirtschaftlichen Nutzen zu bewerten und über eine Zulassung und allenfalls notwendige Sicherheitshinweise, welche die Anwendung eines PSM einschränken, zu entscheiden. Im Spannungsfeld zwischen den Interessen der Landwirtschaft und des Umweltschutzes ist es nicht einfach, die richtigen Entscheide für ein Risikomanagement zu fällen.

* Vortrag gehalten an der 118. Jahresversammlung der SGLUC vom 14./15. September 2006

Das Ziel des vorliegenden Artikels ist es, einen Einblick in Prinzipien und Vorgehensweisen für eine ökotoxikologische Risikoabschätzung zu geben und Möglichkeiten des Risikomanagements aufzuzeigen.

Bewilligungsverfahren

Bewilligungsverfahren in der Schweiz

In der Schweiz dürfen Pflanzenschutzmittel nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn eine Zulassung existiert (PSMV, SR 916.161). In der Regel bedeutet dies, dass in einem Bewilligungsverfahren Nutzen und Risiken eines Pflanzenschutzmittels analysiert und gegeneinander abgewogen werden. Die Firmen richten ihre Gesuche und die zur Beurteilung notwendigen Unterlagen an das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), welches die Zulassungsstelle ist und die Beurteilung der Gesuche koordiniert. Da bei der Beurteilung eines Gesuches verschiedene Aspekte berücksichtigt werden müssen, werden die Unterlagen an verschiedene Beurteilungsstellen mit unterschiedlichen Kompetenzen weitergeleitet (Abb. 1). Ein erster wichtiger Schritt ist der so genannte «check of completeness», bei welchem das ein-

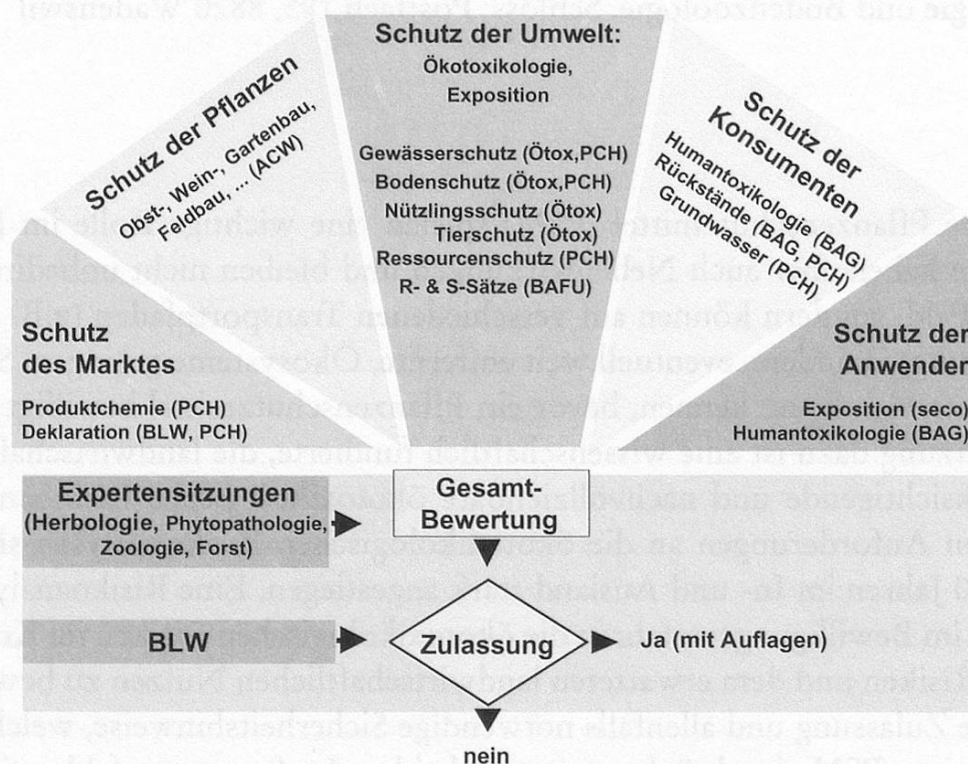


Abbildung 1 Schutzgüter und Beurteilungsstellen für Pflanzenschutzmittel in der Schweiz. BLW: Bundesamt für Landwirtschaft; PCH: Pflanzenschutzchemie der Forschungsanstalt ACW; Ötox: Ökotoxikologie der Forschungsanstalt ACW; BAFU: Bundesamt für Umwelt; BAG: Bundesamt für Gesundheit; seco: Staatssekretariat für Wirtschaft

gereichte Dossier formal und zum Teil auch inhaltlich auf die Vollständigkeit geprüft wird. Falls das Dossier nicht für eine Beurteilung genügt, werden abhängig von der Art der fehlenden Unterlagen und des möglichen Risikos neue Unterlagen nachgefordert. Bei einem vollständigen Dossier verfassen die Beurteilungsstellen ein Gutachten zuhanden des BLW.

Es gibt verschiedene Typen von Gesuchen, welche sich bezüglich den Anforderungen an das Dossier und die Bearbeitung unterscheiden. A1-Gesuche betreffen Produkte, welche einen neuen Wirkstoff enthalten, der noch nicht in Anhang I der PSMV aufgenommen worden ist; A2.1-Gesuche sind nötig für Produkte mit einer neuen Kombination von Wirkstoffen, die im Anhang I der PSMV aufgeführt sind; bei A2.2-Gesuchen geht es um Produkte mit einer neuen Formulierung, aber mit einer Kombination von Wirkstoffen, die schon in einem anderen Produkt bewilligt ist; die B-Gesuche betreffen Erweiterungen der Zulassung eines Produktes auf einen anderen Kulturtyp (z.B. Feldbau, Weinbau, Obstbau) oder gegen einen anderen Schädling. Neu existiert auch der Typ des E-Gesuches bei dem es sich um die Re-Evaluation eines Produktes mit alten Wirkstoffen handelt.

Die Planung und Priorisierung der Bearbeitung der Gesuche, eine fachliche Gesamtdiskussion und eine Nutzen – Risiko Abwägung erfolgen an den Herbst- und Frühjahrsbesprechungen, an welchen Experten von allen Beurteilungsstellen teilnehmen. Die Sitzungen finden jeweils getrennt für Herbizide, Fungizide, Insektizide (inkl. Akarizide, Molluskizide, Rodentizide, Nematizide, ...) und den Forstbereich statt.

Bewilligungsverfahren in der EU

In der EU werden neue und alte Wirkstoffe nach der Richtlinie EU 91/414 beurteilt; die Beurteilung von Produkten und Indikationen jedoch ist Sache der Mitgliedstaaten. In der Richtlinie EU 91/414 sind die Anforderungen an die Dossiers und die Prinzipien der Beurteilung festgelegt. Detaillierte Anleitungen zur Beurteilung der Wirkstoffe werden in speziellen Dokumenten (Guidance Documents) für einzelne Organismengruppen oder Fachbereiche gegeben. Das Kernstück der Beurteilung der Wirkstoffe in der EU ist das so genannte «peer review» Verfahren (http://www.efsa.eu.int/science/praper/catindex_en.html). Ein ausgewählter Mitgliedstaat erstellt einen «Draft Assessment Report» (DAR). Zu diesem DAR werden Kommentare von Firmen, anderen Mitgliedstaaten und neu auch von der Öffentlichkeit und Nicht-Regierungsorganisationen gesammelt und beantwortet. Zusätzlich erfolgt eine fachliche Diskussion an den «Pesticide Risk Assessment Peer Review» (PRAPeR) Treffen bei der «European Food Safety Authority» (EFSA) in Parma, Italien. Viele Punkte werden in diesem Gremium kontrovers diskutiert. Im Laufe der Jahre wurden bei schwierigen Beurteilungen verschiedene Massstäbe und Kriterien verwendet. Um hier eine gewisse Normierung des Vorgehens zu erreichen, werden auf Anfrage von einem «Scientific Panel» so genannte «Opinions» verfasst, die eine zusätzliche Hilfe bei der Beurteilung von schwierigen Wirkstoffen sein sollen. Die EFSA zieht aus den bereitgestellten Unterlagen (DAR inklusive Anhänge, Korrigendas, Zusammenfassun-

gen) ihre wissenschaftlichen Schlussfolgerungen, die sie an die Kommission weiterleitet. Die Kommission entscheidet schlussendlich, ob ein Wirkstoff in den Anhang I der Richtlinie 91/414 kommt, und welche «areas of concern» die Mitgliedstaaten bei der Zulassung von Produkten besonders beachten müssen. Die Aufnahme eines Wirkstoffes in den Anhang I der Richtlinie 91/414 bedeutet, dass mindestens eine sichere Anwendung möglich ist. Die Mitgliedstaaten müssen aber bei «areas of concern» die Risiken durch entsprechende Sicherheitshinweise oder andere Massnahmen mindern. Da eine beträchtliche Anzahl der bisher in den Anhang I aufgenommenen Wirkstoffe «areas of concern» hat (z.B. Vögel und Säugetiere: 51 von 108, Wasserorganismen: 58 von 108 und Arthropoden 30 von 108 Wirkstoffen), bedeutet die Umsetzung auf Ebene Produkt und Indikation für die Mitgliedstaaten (und die Schweiz) eine grosse konzeptionelle und ressourcenmässige Herausforderung.

Ökotoxikologische Risikoabschätzung

Die möglichst objektive Abschätzung der ökotoxikologischen Risiken soll basierend auf naturwissenschaftlichen Prinzipien erfolgen. Nur dann ist ein transparentes Abwägen zwischen den möglichen Risiken für die Umwelt und dem erwarteten Nutzen eines Pflanzenschutzmittels möglich. In der (Öko)toxikologie bezieht man

Ökotoxizität

Aquatische Ökosysteme

- Fische
- Invertebraten
- Algen / höhere Wasserpflanzen
- Mikrobielle Prozesse der Abwasseraufbereitung

Terrestrische Ökosysteme

- Vögel
- Andere Vertebraten
- Bienen
- Andere Arthropoden
- Regenwürmer / and. Bodentiere
- Mikrobielle Prozesse im Boden

Exposition

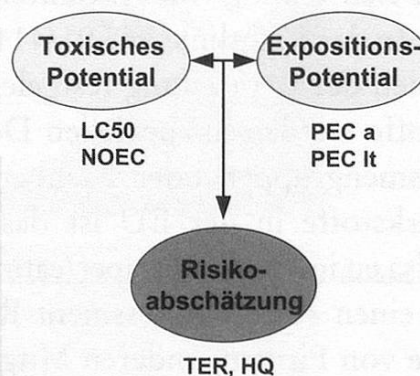
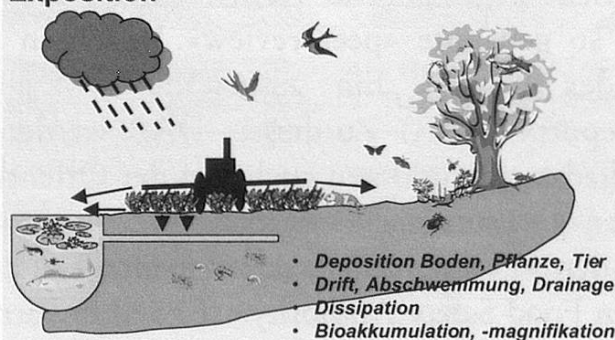


Abbildung 2 Schematische Darstellung der ökotoxikologischen Risikoabschätzung. LC50: Letale Konzentration für 50 % einer Population; NOEC: Konzentration, bei der kein Effekt beobachtet wurde; PEC: Vorhergesagte Konzentration in der Umwelt; a: akut; lt: langfristig; TER: Verhältnis von Toxizität zu Exposition; HQ: Gefahrenquotient

sich im Grundsatz immer noch auf den Satz von Paracelsus «Alle Ding' sind Gift und nichts ohne Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist». Deshalb geht es in der ökotoxikologischen Risikoabschätzung darum, das Verhältnis zwischen Exposition und ökotoxikologischem Potential zu erfassen (Abb. 2).

Exposition der Lebewesen

Der Begriff Exposition im Kontext der Toxikologie bedeutet «Kontakt eines Lebewesens mit chemischen Substanzen». Das Ausmass der Exposition entspricht der Häufigkeit und mengenmässigen Intensität des Kontaktes eines Lebewesens mit chemischen Substanzen. Die Exposition kann im Prinzip über Wasser, Boden, Luft und die Nahrung erfolgen (Abb. 2). Die Prozesse des Transportes der Wirkstoffe in diese Kompartimente müssen verstanden und die zu erwartenden Konzentrationen (Predicted Environmental Concentration; PEC) berechnet werden können.

Gewässer

Durch Drift können während der Applikation des PSM Tröpfchen aus dem behandelten Feld geweht werden. Die Menge, die so in ein Gewässer transportiert wird, hängt von der Lage und Art der Kultur, der Einstellung des Sprühgerätes und atmosphärischen Faktoren (Richtung und Stärke des Windes, Feuchtigkeit und Temperatur) ab. Je höher der Spritzbalken über der Kultur, je schneller die Fahrgeschwindigkeit, und je feiner die Tröpfchen sind, desto grösser ist die Drift. Auch durch die Art der verwendeten Spritzdüsen und die Einstellung des Druckes kann der Landwirt die Tröpfchengrösse beeinflussen.

Bei Regen können PSM vom Boden oberflächlich ins Gewässer abgeschwemmt werden. Das PSM kann je nach Sorptionsverhalten entweder gelöst oder adsorbiert an Erdpartikeln transportiert werden. Bei geringer Niederschlagsmenge und starker Sorption an die Bodenmatrix ist die Abschwemmung gering. Falls das Regenwasser in den Boden versickert, kann es in Drainagen gelangen, welche in der Regel ins Oberflächengewässer geleitet werden. Die Versickerung erfolgt präferentiell in Makroporen und durch Matrix-Fluss. Beim Matrix-Fluss spielt das Sorptionsverhalten eine grosse, beim präferentiellen Fluss eher eine kleinere Rolle für den Transport der PSM. Tendenziell gilt, dass ein stark adsorbierendes und schlecht lösliches PSM nicht so rasch durch den Boden transportiert wird wie ein schwach sorbierendes und leicht lösliches PSM. Beim präferentiellen Makroporenfluss jedoch ist ein sehr rascher Transport (innerhalb von Minuten bis Stunden) auch von stark sorbierten Wirkstoffen durch den Boden in die Drainageröhren möglich.

Boden

Abhängig von der Dichte der Vegetationsdecke gelangt ein mehr oder weniger grosser Anteil der applizierten PSM direkt auf den Boden. Je nach chemisch-physikalischen Eigenschaften der Wirksubstanzen sind diese eher an die feste Phase (Streu, Humus, Bodenmineralien) gebunden, im Bodenwasser gelöst oder in der

Bodenatmosphäre verteilt. Die Exposition der Bodenorganismen hängt aber auch stark von ihrer Lebensweise ab. Kleine Lebewesen, die in der wässrigen Phase aktiv sind, nehmen primär im Wasser gelöste Stoffe auf, während grössere Lebewesen, welche zu ihrer Ernährung Bodenmaterial aufnehmen und verdauen, auch gebundene Substanzen resorbieren. Spezielle Arten der Exposition können sich durch den Transport von PSM nach Niederschlägen in Regenwurmrohren ergeben. Da sich PSM in der humusreichen Rohrenwand anreichern können, sind Regenwürmer in gegen oben offenen Rohren unter Umständen besonders exponiert.

Luft

Durch die Applikation eines PSM werden Arthropoden auf Pflanzen und Boden (z.B. Insekten und Milben) zum Teil direkt übersprüht, und nehmen die Wirkstoffe durch das «Aussenskelett» auf. Bei flüchtigen Wirksubstanzen kann bei Vögeln und Säugetieren auch eine inhalative Exposition relevant sein.

Nahrung

Lebewesen können zusätzlich mit PSM exponiert werden indem sie kontaminierte Nahrung aufnehmen. Beispiele sind Vögel und Säugetiere, welche übersprühte Insekten, Pflanzen oder gebeiztes Saatgut fressen. Wichtig ist dieser Expositionspfad, weil chemische Substanzen zum Teil aufkonzentriert respektive bioakkumuliert werden. Bei einer Anreicherung über mehrere Stufen einer Nahrungskette spricht man von Biomagnifikation. Durch diese Anreicherungsprozesse kann die Exposition von Lebewesen am Ende der Nahrungskette bei lipophilen, schlecht abbaubaren PSM sehr gross sein. Für fischfressende Vögel wird beispielsweise der im Labor unter Gleichgewichtsbedingungen bestimmte Biokonzentrations-Faktor in Fischen berücksichtigt; bei regenwurmressenden Vögeln wird ein Biokonzentrations-Faktor in Regenwürmern aufgrund der Sorptionseigenschaften und der Lipophilie der Wirkstoffe abgeschätzt.

Ausgewählte Expositionsszenarien der EU für Gewässer

In der EU werden Konzentrationen der Wirkstoffe in Oberflächengewässern anhand der FOCUS-Szenarien (FOCUS: Forum for the Co-ordination of pesticide fate models and their use) berechnet. Step 1 dient dazu, problemlose Wirkstoffe schnell zu erkennen. Hier werden sehr unwahrscheinliche Annahmen getroffen: bei Mehrfachapplikationen werden die Applikationsmengen in der Regel addiert; bei der Drift werden immer die 90sten Perzentilwerte verwendet; Abschwemmung und Versickerung/Drainage machen zusammen 10 % aus.

In Step 2 beruhen die Berechnungen auf realistischeren Annahmen: bei der Drift werden bei Mehrfach-Applikationen tiefere Perzentilwerte verwendet; bei der Drainage und bei Abschwemmung geht man davon aus, dass das Regenereignis 4 Tage nach der Applikation eintritt und ein Abbau der Wirkstoffe im Boden wird berücksichtigt; auch die Interzeption der Wirkstoffe mit der Vegetation wird

berücksichtigt; der kombinierte Eintrag durch Abschwemmung und Versickerung/Drainage wird je nach Region und Saison auf 2–5 % geschätzt; bei Mehrfachapplikationen wird jede Applikation für sich allein berechnet und der Abbau der Wirkstoffe im Intervall zwischen den Applikationen berücksichtigt.

In Step 3 werden komplexere Modelle zur Berechnung der zu erwartenden Konzentrationen (PEC) verwendet. Als Gewässer werden die Modellgewässer Gräben, Teich und Fluss verwendet. Gemäss Empfehlung der FOCUS Arbeitsgruppe könnten risikomindernde Massnahmen ab Step 3 berücksichtigt werden. In Step 4 können dann noch weiter verfeinerte Modelle und risikomindernde Massnahmen mit einbezogen werden.

Die FOCUS-Szenarien Step 1 und Step 2 sind zwar einfach, resultieren aber in PECs, die zu stark auf der worst-case Seite liegen. Die Szenarien in Step 3 und 4 werden auf Grund ihrer Komplexität und dem damit verbundenem hohem Zeitaufwand für die Berechnungen bisher lediglich für die Beurteilung auf EU-Ebene verwendet.

In der Schweiz verwendete Szenarien für Gewässer

Wir streben für die Schweiz ein Vorgehen an, welches die Vorteile von Step 2 (Einfachheit) und 3 (Realitätsbezug) ausnutzt. Die worst-case Szenarien für Drift (Tab. 1), Abschwemmung (Tab. 2) und Drainage (Tab. 3) sollen sowohl einen guten Schutz garantieren, als auch die relevanten Bedingungen der Landwirtschaft und die übliche gute landwirtschaftliche Praxis berücksichtigen.

Tabelle 1

Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Drift

<i>Parameter</i>	<i>Werte</i>
Driftraten:	Tabelle von <i>Rautmann et al.</i> (1999)
Anzahl Applikationen/Perzentil:	1/90, 2/82, 3/77, 4/74, 5/72, 6/69, ...
Gewässer:	Tiefe 30 cm, still stehend
Deposition:	auf ganzer Fläche wie bei 3 m Abstand
Swiss Drift Reduction Factor:	0,66

Tabelle 2

Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Abschwemmung

<i>Parameter</i>	<i>Werte</i>
Abschwemmungsrate:	0,5 %
Anzahl Applikationen:	kein Einfluss auf Berechnung
Gewässer:	Tiefe 30 cm, still stehend, 0,2 ha
Deposition:	gleichmässige Verteilung
Abbau:	kein Abbau im Boden, aber im Gewässer
Saisonabhängiger Niederschlag:	nicht berücksichtigt
Bodendeckung:	basierend auf Modellen der EU

Tabelle 3

Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Drainage

<i>Parameter</i>	<i>Werte</i>
Drainagerate:	2 %
Anzahl Applikationen:	kein Einfluss auf Berechnung
Gewässer:	Tiefe 30 cm, still stehend, 0,2 ha
Deposition:	gleichmässige Verteilung
Abbau:	kein Abbau im Boden, aber im Gewässer
Saisonabhängiger Niederschlag:	nicht berücksichtigt
Bodendeckung:	basierend auf Modellen der EU und Expertenwissen
Wirkstoff-Eigenschaften:	K_{oc} -Wert (Verteilung zwischen Wasser und organischem C)

Eine noch realistischere Abschätzung der Exposition ist durch die Anwendung komplexerer Modelle möglich. Dies erfordert aber einen grösseren zeitlichen Aufwand und bringt eine Einschränkung der Gültigkeit der Resultate für eng definierte lokale Bedingungen (z.B. bestimmte Gewässertypen, bestimmte Hangneigungen) und ausgewählte landwirtschaftliche Techniken (z.B. driftreduzierende Düsen, Hagelnetze).

Ökotoxikologisches Potential

Da ein PSM in die Umweltbereiche Wasser, Boden, Luft und die Nahrung gelangen kann, können eine Vielzahl von Lebewesen beeinträchtigt werden (Abb. 2). Im Bereich der Zulassung von PSM untersucht man Vögel, Säugetiere, Fische, aquatische Invertebraten (wirbellose Organismen) und Pflanzen, Arthropoden (Gliederfüssler), Bienen, Regenwürmer und Mikroorganismen. Es ist nicht möglich, alle Arten zu testen. Man wählt daher so genannte Stellvertreterorganismen aus und untersucht ihre Empfindlichkeit im Labor. Die Extrapolation der Toxizität von wenigen Arten auf ganze Lebensgemeinschaften im Freiland ist einer der unsicheren Schritte der Risikoabschätzung.

Standardtests

Die Empfindlichkeit der Organismen gegenüber PSM – oder andersrum gesagt, die Toxizität der PSM – wird in Endpunkten ausgedrückt. Die Endpunkte bezeichnen eine Konzentration, bei der z.B. bei einer kurzfristigen Exposition 50 % der Organismen beeinträchtigt werden (LC50, lethal concentration), oder ihre Mobilität, Atmung usw. beeinträchtigt wird (IC50, inhibition concentration; EC50, effect concentration). Bei längerfristiger (chronischer) Exposition wird die höchste Konzentration ermittelt, bei der keine Effekte beobachtet werden. Dieser Endpunkt wird als NOEC (No Observable Effect Concentration) bezeichnet.

Für die verschiedenen Organismengruppen gibt es eine minimale Anforderung an Standardtests, welche mit den Wirkstoffen und z.T. mit den Produkten durchgeführt werden müssen.

- Vögel: Akute orale Toxizität (Wachtel und Wildente); Kurzzeittoxizität bei Aufnahme mit dem Futter; subchronische Toxizität und Reproduktion (sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass eine andauernde oder wiederholte Exposition während der Brutzeit unwahrscheinlich ist).
- Fische: Akute Toxizität (für die Regenbogenforelle und eine Warmwasserfischart); chronische Toxizität (sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass eine andauernde oder wiederholte Exposition unwahrscheinlich ist).
- Wirbellose Wasserlebewesen: Akute Toxizität (für das Krebstier *Daphnia magna* und eventuell für ein Wasserinsekt, eine andere Krebstierart und eine Schneckenart); chronische Toxizität, inklusive Reproduktion (sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass eine andauernde oder wiederholte Exposition unwahrscheinlich ist); akute und chronische Auswirkung auf Sedimentlebewesen (falls der Wirkstoff im Sediment übergeht und dort verbleibt).
- Wasserpflanzen: Algenwachstum; bei Herbiziden mit einer zweiten Art einer anderen taxonomischen Gruppe und einer höheren Wasserpflanze (z.B. *Lemna* sp.).
- Terrestrische Vertebraten: akute orale Toxizität für Ratten; subchronische Toxizität und Reproduktion, 2-Generationsstudie; Teratogenitätstudie (sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass eine andauernde oder wiederholte Exposition während der Brutzeit unwahrscheinlich ist).
- Bienen und Hummeln: akute orale und Kontakttoxizität für Bienen; Fütterungsversuch mit Larven (bei Wachstumsregulatoren).
- Andere (nützliche) Arthropoden: Labortest in künstlicher Umgebung (z.B. auf Glasplatte bzw. Quarzsand) mit einem Parasitoiden (*Aphidius rhopalosiphi*) und einer Raubmilbe (*Typhlodromus pyri*); zusätzlich zwei weitere Arten (boden- und blattbewohnende Räuber), die für die vorgesehene Anwendung des Wirkstoffs relevant sind; Laborversuch in einer natürlicheren Umgebung (z.B. auf Blatt) oder Halbfreilandversuch, falls in künstlicher Umgebung eine hohe Toxizität gezeigt wurde.
- Regenwürmer und andere Bodentiere: akute Toxizität für *Eisenia fetida*; Reproduktionsstudie, falls schlecht abbaubar.
- Mikrobielle Bodenprozesse: Auswirkung auf Stickstoff- und Kohlenstoffmineralisierung in natürlichem Boden.

Damit möglichst wenig Versuche mit Tieren durchgeführt werden, und auch aus ökonomischen Gründen, genügen diese Standardtests für die PSM-Zulassung, falls nach einer ersten (worst-case) Risikoanalyse mit keinen unakzeptablen Risiken zu rechnen ist.

Komplexere «higher tier» Studien

Relativ häufig ergeben die Standardtests und die worst-case Risikoanalyse, dass bei der einen oder anderen Organismengruppe ökotoxikologische Risiken nicht ausgeschlossen werden können. Dann werden zusätzliche und komplexere Studien (higher tier) durchgeführt.

- Vögel und terrestrische Vertebraten: Überwachte Käfig- oder Freilanduntersuchungen zur Abklärung von Verbreitung, Fressverhalten, alternativen Futterquellen, tatsächlichem Rückstandsgehalt im Futter, Persistenz der Verbindung in Pflanzen, Abbau des formulierten oder behandelten Produkts, Anteil des durch Räubertum erbeuteten Futters, Akzeptanz (Geniessbarkeit) von Köder, des Granulats oder behandelten Saatguts, sowie der Möglichkeit der Biokonzentration.
- Fische: Toxizität bei Jungstadien; Lebenszyklusstudie (bei starker Biokonzentrierung und langsamem Abbau); Biokonzentration (falls der Koeffizient der Oktanol/Wasser-Verteilung (K_{ow}) $> 10^3$ ist).
- Aquatische Invertebraten und Pflanzen: Mikro- oder Mesokosmosuntersuchung.
- Bienen und Hummeln: Käfig-, Tunnel- und Felduntersuchung.
- Andere (nützliche) Arthropoden: Felduntersuchungen mit empfindlichen Arthropoden.
- Regenwürmer und andere Bodentiere: Auswirkungen auf andere Raubmilben, Springschwänze, Streubeutelstudien, Terrestrische Modellökosysteme, Feldstudien.

Ökotoxikologische Risikoanalyse

Erste Stufe der Risikoanalyse

Die Risikobeurteilung von PSM findet gestuft statt. In einem ersten Schritt wird das Risiko anhand von standardisierten Laborstudien und «worst-case» Expositionsszenarien berechnet. Das Verhältnis von Toxizität zu Exposition, beispielsweise als TER (Toxicity Exposure Ratio), gilt als Indikator des erwarteten Risikos. Für die Beurteilung der Akzeptanz der Risiken werden die TER-Werte mit Triggerwerten verglichen. Die Festlegung der Triggerwerte erfolgte mittels «Expertenwissen» und berücksichtigt neben naturwissenschaftlichen wahrscheinlich auch politische und andere Aspekte. Triggerwerte sollten verschiedene Unsicherheiten, die sich beispielsweise aus der Extrapolation von Laborstudien mit einzelnen Arten auf die Wirkung von PSM im Freiland auf ganze Lebensgemeinschaften ergeben, berücksichtigen. Die Triggerwerte, welche im Fall der TER nicht unter-, und im Fall der HQ (hazard quotient) nicht überschritten werden dürfen, sind im Anhang V der Richtlinie EU 91/414 festgelegt worden (Tab. 4).

Tabelle 4

Trigger-Werte* für die Beurteilung der Akzeptanz von ökotoxikologischen Risiken.
TER (Toxicity Exposure Ratio); HQ (Hazard Quotient)

Organismengruppe	Trigger-Art	Trigger-Wert	
		<i>kurzzeitig</i>	<i>langzeitig</i>
Vögel	TER	10	5
Fische	TER	100	10
Aquatische Invertebraten	TER	100	10
Terrestrische Vertebraten	TER	10	5
Bienen und Hummeln	HQ	50	
Andere Arthropoden	HQ	2	
Bodentiere	TER	10	5

*akzeptabel: TER > Trigger-Wert; HQ < Trigger-Wert

Falls das Risiko als nicht akzeptabel eingestuft wird, werden oft in einem zweiten Schritt zusätzliche und komplexere Studien («higher tier») durchgeführt, die der Realität näher kommen sollen. Der Nachteil ist jedoch, dass sie gleichzeitig an Kontrollierbarkeit einbüßen und in der Regel nur für eng definierte Bedingungen gelten. Sie werden in einer verfeinerten Risikoanalyse berücksichtigt.

Verfeinerte Risikoanalyse am Beispiel von aquatischen Lebewesen

In Mesokosmos-Studien wird eine Lebensgemeinschaft von aquatischen Organismen in einem System mit natürlichem Wasser und Sediment für mehrere Monate exponiert. Anhand einer solchen Studie wird versucht, die Konzentration zu ermitteln, bei der gerade noch keine Effekte auf Biodiversität, die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften, die Dynamik einzelner Populationen oder ökosystemare Prozesse auftreten. Der dazugehörige Endpunkt ist die NOEC (No Observable Effect Concentration). Es wird aber auch beobachtet, ob eine Erholung von ökotoxikologischen Effekten innerhalb einer «sinnvollen» Zeit möglich ist. Der daraus resultierende Endpunkt ist die NOEAEC (No Ecologically Adverse Effect Concentration). Schlussendlich versucht man, mit einem Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen, dass solche Testsysteme nicht repräsentativ für alle aquatischen Ökosysteme sein können und ermittelt die EAC (Ecologically Acceptable Concentration). Die EAC wird mit den in den Gewässern erwarteten Konzentrationen verglichen. In den USA wird dieses Vorgehen als zu komplex und unsicher angeschaut und es werden von den Firmen keine Mesokosmos-Studien verlangt.

Verfeinerte Risikoanalyse am Beispiel von Vögeln

Die Verfeinerung der Risikobeurteilung für Vögel basiert auf einer Verfeinerung der Expositionsabschätzung. Um eine realistischere Exposition von Vögel in behandelten Kulturen zu berechnen, benötigt man zusätzliche Informationen über die Vogelarten, die in den Kulturen vorkommen können, über ihr Nahrungsspektrum, das Ernährungsverhalten und die Habitatnutzung während der Behandlungsperiode, über die mögliche Vermeidung von mit PSM kontaminierter Nahrung, über

das Schälen von gebeizten Samen, über die tatsächlich gemessenen Rückstände und deren Abbau. Mit diesen Informationen kann die Aufnahme von PSM über die Nahrung realistischer abgeschätzt werden. In Zukunft werden zur Abschätzung der Exposition (und der Ökotoxikologie) der Vögel auch vermehrt probabilistische Methoden eingesetzt.

Schutzziele der Risikoanalysen

In den verfeinerten Risikoanalysen ist es meist nicht möglich, das Verhältnis von Toxizität zu Exposition mit einem definierten Schwellenwert zu vergleichen. Die Beurteilung welche ökotoxikologischen Effekte akzeptabel oder nicht akzeptabel sind ist schwierig, und hängt vom Beurteilungsstandpunkt ab. Aus Sicht der Umwelt sollen die natürlichen Prozesse (z.B. Streuabbau im Boden) und die Biodiversität nicht beeinträchtigt werden. Rein vom Prozessdenken her gesehen sind viele Arten redundant, d.h. wenn ihre Populationen reduziert sind, wird ihr Beitrag in Prozessen von anderen Arten wahrgenommen. Deshalb möchte man aus prozessualer Sicht nicht einzelne Individuen, sondern Populationen schützen. Die Erhaltung der Biodiversität hingegen ist ein absolutes Schutzziel. Deshalb dürfen die Populationen aller Arten eine «kritische» Grösse nicht unterschreiten: sie müssen sich wieder erholen können.

Aus Sicht des integriert oder biologisch arbeitenden Landwirtes sollen «nützliche» Arthropoden nicht beeinträchtigt werden, da sie wichtige Funktionen bei der Regulierung von Pflanzenschädlingen haben (Bsp: Raubmilben); ein Landwirt, der pfluglose Bodenbearbeitung praktiziert, vertraut darauf, dass die Bodenfruchtbarkeit dank der Aktivität der Bodenlebewesen garantiert ist, und aus seiner Sicht sollen «nützliche» Bodenlebewesen nicht beeinträchtigt werden, da sie im Boden die Humus- und Strukturbildung fördern.

Die Schutzziele in einem bewirtschafteten Feld sind anders als jene, die für die normale Umwelt gelten. Durch die Bewirtschaftung selbst (Monokulturen, Bodenbearbeitung, Düngung, ...), welche für unsere Ernährung nötig ist und allgemein akzeptiert wird, werden Populationen und Biodiversität extrem beeinflusst. Mögliche ökotoxische Effekte von Pflanzenschutzmitteln in einem bewirtschafteten Feld müssen auch vor diesem Hintergrund betrachtet werden, und der Schutz von «nützlichen» Lebewesen ist wahrscheinlich primär als Faktor einer nachhaltigen Produktion zu sehen. Ein wichtiges Schutzziel für bewirtschaftete Flächen ist sicher die Reversibilität, und nicht der Ausschluss von Effekten.

Schlussendlich sollten aus Sicht des Tierschutzes Wirbeltiere nicht leiden. Mit diesem Anspruch würde jedoch das Ziel Populationen zu schützen nicht mehr genügen und man müsste letztendlich dahin gehen, Individuen vor Schmerzen zu schützen.

Bei allen diesen Aspekten der ökotoxikologischen Schutzziele stellt sich die Frage: wo setzen wir die Grenzen? Wie definieren wir Schwellenwerte? Die Beantwortung dieser Fragen ist jedoch nicht einfach und wird uns noch lange beschäftigen.

Sicherheitshinweise (Auflagen) analog zur EU

In der Richtlinie EU 91/414 sind im Anhang IV die spezifischen Sicherheitshinweise (SPe-Sätze) zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von PSM definiert. Die Sätze bilden Vorlagen, welche je nach Risiko einer Indikation und den im Mitgliedstaat geltenden Regelungen modifiziert werden. Beispiele solcher Sätze für die Schweiz könnten sein:

- SPe 3: Zum Schutz von Gewässerorganismen eine unbehandelte Pufferzone von x m zu Oberflächengewässern einhalten
- SPe 5: Zum Schutz von Vögeln muss das PSM vollständig in den Boden eingearbeitet werden; es ist sicherzustellen, dass das PSM auch am Ende der Pflanz- bzw. Saatzeilen vollständig in den Boden eingearbeitet ist.

Sicherheitshinweise beruhen auf den ökotoxikologischen Risikoanalysen und den in diesen Analysen verwendeten Messungen, Modellen und Annahmen. Die verwendeten Modelle und getroffenen Annahmen sind in der Regel deterministisch und können nicht alle Variabilitäten und Unsicherheiten berücksichtigen. In Wirklichkeit ist die Schweiz bezüglich vieler Einflussfaktoren und verwendeten Techniken sehr variabel. In der Risikoanalyse können nicht alle diese Faktoren berücksichtigt werden und abhängig von Lokalität und verwendeter Technik können die Risiken kleiner sein als berechnet wurde. Dieser Aspekt könnte mit einem parzellenspezifischen Risikomanagement berücksichtigt werden.

Vorschlag für ein parzellenspezifisches Risikomanagement

Ein sinnvolles Risikomanagement beim Einsatz von PSM in der Schweiz bedeutet mehr als nur über Zulassung/Nicht-Zulassung zu entscheiden und Sicherheitshinweise zu definieren. Durch ein solches Vorgehen wäre die PSM-Wahl für viele Landwirte eingeschränkt. Dadurch würde der Pflanzenschutz erschwert, das Resistenzmanagement gefährdet und die vermehrte Verwendung von Breitband-PSM gefördert. Zudem würden möglicherweise gewisse Landwirte die Sicherheitshinweise gar nicht beachten.

Viele Faktoren die das Risiko beeinflussen sind standortgebunden: wenn kein Oberflächengewässer in der Nähe einer Parzelle vorkommt, werden auch keine PSM via Drift oder Abschwemmung in die Oberflächengewässer gelangen. Bei der Versickerung/Drainage hingegen können PSM über das Drainagesystem über weite Distanzen verfrachtet werden. Falls ein Oberflächengewässer gross ist oder schnell fliesst, werden die PSM relativ rasch und stark verdünnt. Einige anwendungs-spezifische Einflussfaktoren wie die Applikationsrate, die Anzahl der Applikationen und das Intervall zwischen den Applikationen, sowie der Abbau der Wirkstoffe im Wasser werden standardmässig in die Risikoanalysen integriert. Auch die Art der Bewirtschaftung (Direktsaat/Pflug, Begrünung, Hecken) ist nicht in jeder Parzelle gleich. Schliesslich gibt es auch technische Faktoren, welche gerätespezifisch sind:

Beispiele sind driftreduzierende Technik (Drift reduzierende Düsen, Tunnelgeräte, etc.) und Grenzstreuvorrichtungen bei Streugeräten.

Unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren haben wir das Konzept «Parzellenspezifischer Umweltschutz in der Landwirtschaft» (PAULA) (Abb. 3) entwickelt. Mit Literaturstudien, einem Workshop und diversen Gesprächen mit Personen aus der landwirtschaftlichen Praxis wurde versucht, die verschiedenen Einflussfaktoren bezüglich ihrer Auswirkung und praktischen Bedeutung zu gewichten. In Abb. 3 sind Beispiele gezeigt, wie diese Faktoren den einzuhaltenden Abstand von einem Gewässer beeinflussen: beispielsweise wird bei der Verwendung von driftreduzierender Technik, oder wenn das angrenzende Gewässer gross oder fliessend ist, der einzuhaltende Abstand stark reduziert. Die Grundidee eines parzellenspezifischen Umweltschutzes in der Landwirtschaft (PAULA) ist es nun, dass sich die Landwirte, respektive ihre Berater, bei einem PSM mit Sicherheitshinweisen selbständig darüber informieren, ob die in den Sicherheitshinweisen geforderten Auflagen angepasst werden können. Diese Information könnte beispielsweise als Tabellen in Beratungsunterlagen, Internet und anderen Medien zur Verfügung gestellt werden. Es ist aber auch denkbar, auf dem Internet ein einfaches Berech-

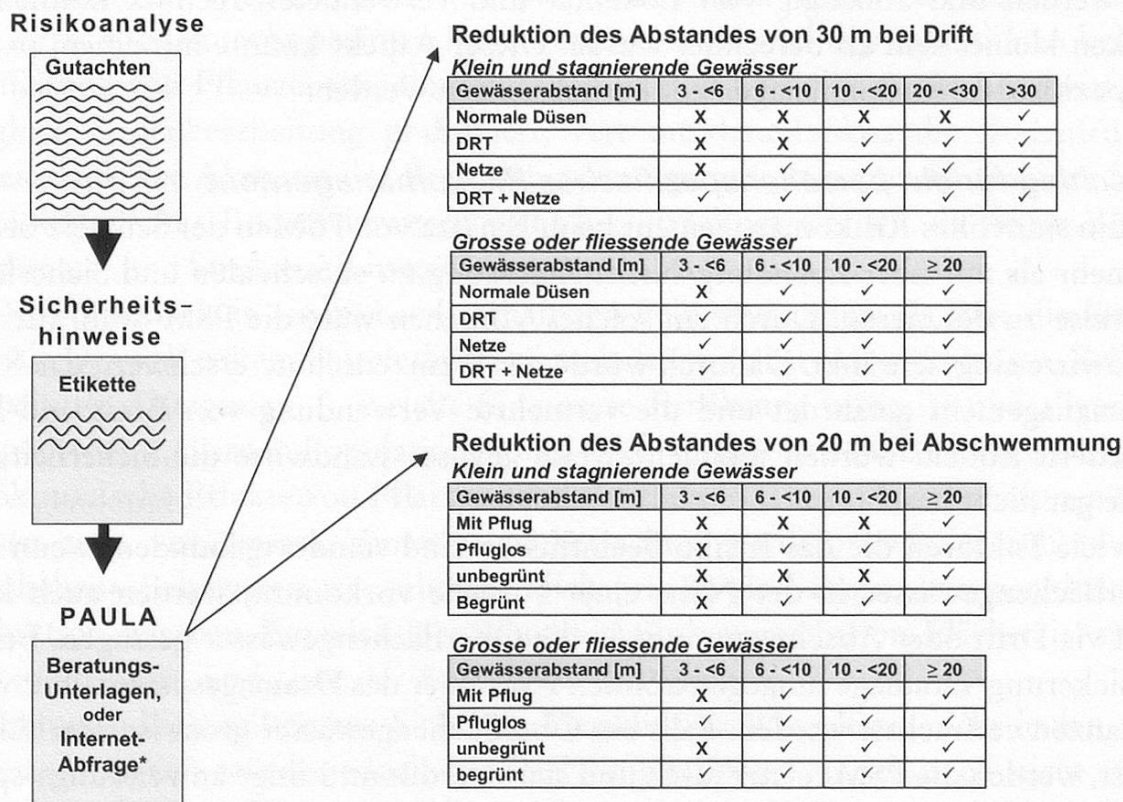


Abbildung 3 Mögliche Elemente des Konzeptes «Parzellenspezifischer Umweltschutz in der Landwirtschaft» (PAULA) bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. ✓: Anwendung des PSM möglich; x: Anwendung des PSM nicht möglich

nungsprogramm zu platzieren, wo der Landwirt seine parzellenspezifischen Parameter eingeben kann, und er in einem Ausdruck die erlaubten Erleichterungen schriftlich erhält. Das Ziel des Konzeptes des «parzellenspezifischen Umweltschutzes in der Landwirtschaft» ist die Reduktion der Belastung der Gewässer mit PSM unter grösstmöglicher Berücksichtigung der lokalen Faktoren und technischen Gegebenheiten (landwirtschaftliche Praxis). Mit einem solchen Konzept wäre es möglich die Interessen der Landwirtschaft und der Umwelt unter einen Hut zu bringen.

Zusammenfassung

Die Risiken von Pflanzenschutzmitteln (PSM) für die Umwelt müssen vor deren Bewilligung abgeschätzt werden. Die Ökotoxizität für verschiedene Lebewesen (Vögel, Säugetiere, Fische, aquatische Invertebraten und Pflanzen, Arthropoden inklusive Bienen, Würmer und Mikroorganismen) wird mit der Exposition über Wasser, Boden, Luft oder die Nahrung verglichen. Bei unproblematischen Wirkstoffen genügen im Labor ermittelte toxische Endpunkte und einfache Expositionsabschätzungen. Bei problematischen Wirkstoffen werden auch zusätzliche «higher tier» Studien durchgeführt: z.B. Mesokosmos Studien für aquatische Lebewesen und detaillierte Ernährungsstudien für Vögel. Damit wird eine Verfeinerung der Risikoanalyse möglich.

Falls die vorhandenen Studien nicht bei allen Gruppen von Lebewesen die Akzeptanz der Risiken zeigen, d.h. falls so genannte «areas of concern» bestehen, müssen bei der Zulassung von PSM Sicherheitshinweise definiert werden. Diese können nicht vollumfänglich auf die lokalen Gegebenheiten und die vom Landwirt verwendete Technologie Rücksicht nehmen. Mit dem neuen Konzept PAULA (Parzellenspezifischer Umweltschutz in der Landwirtschaft) hätten die Landwirte die Möglichkeit, bei risikoarmer lokaler Situation und moderner Technologie die Sicherheitshinweise anzupassen.

Résumé

Les risques pour l'environnement doivent être évalués avant qu'un produit phytosanitaire (PP) soit autorisé. L'écotoxicité du PP pour différents organismes (oiseaux, mammifères, poissons, invertébrés et plantes aquatiques, arthropodes y compris les abeilles, vers de terre et micro-organismes) est comparée avec l'exposition des organismes au PP à travers l'eau, le sol, l'air ou la nourriture. Pour les substances non-problématiques les points finaux toxicologiques des études en laboratoire et des calculs de l'exposition simple sont suffisants. Pour les substances problématiques des essais supplémentaires de niveau supérieur sont réalisés: par exemple études en «cosmes» pour les organismes aquatiques et essais de nutrition pour les oiseaux. Avec ces études une analyse de risque plus fine est possible.

Si le risque n'est pas acceptable pour tous les organismes, c.-à-d. si des points de préoccupation existent, des précautions à prendre pour l'environnement doivent

être définis lors de l'autorisation. Celles-ci ne peuvent pas prendre en considération tous les facteurs locaux et les techniques utilisées par l'agriculteur. Avec le nouveau concept PEAP (Protection de l'environnement dans l'agriculture par parcelle) les agriculteurs auraient la possibilité de modifier les précautions avec facteurs locaux et techniques réduisant le risque.

Summary "Ecotoxicological risk analysis of plant protection products and principles of risk management"

Environmental risks have to be assessed before a plant protection product (PPP) is authorized. The ecotoxicity of the PPP for different organisms (birds, mammals, fish, aquatic invertebrates and plants, arthropods including bees, earthworms and micro-organisms) is compared with the expected exposure of organisms to the PPP through water, soil, air or food. For unproblematic substances toxicological endpoints from laboratory studies and simple exposure calculations are sufficient. For problematic substances additional higher-tier studies are carried out: e.g. mesocosm studies for aquatic organisms and feeding studies for birds. These studies allow a more refined risk analysis.

If the risk is not acceptable for all organisms, i.e. if areas of concern exist, standard phrases to address special risks have to be defined when a PPP is authorized. These phrases can not consider all local and technological use conditions. With a new concept called SSEPA (site-specific environmental protection in agriculture) farmers could adapt safety precautions on local and technical use conditions.

Key words

ecotoxicology, risk analysis, risk management, pesticide, registration

Korrespondenzadresse: Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW
Ökotoxikologie und Bodenzöologie, Schloss, Postfach 185, 8820 Wädenswil