

# Umwelt

## Ökotoxikologische Risikoanalysen von Pflanzenschutzmitteln

Otto Daniel, Michela Gandolfi, Annette Aldrich, Heike Baumann und Rudolf Büchi,  
Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CH-8820 Wädenswil

Auskünfte: Otto Daniel, E-Mail: otto.daniel@acw.admin.ch, Fax +41 44 780 6450, Tel. +41 44 783 6268

### Zusammenfassung

**Die Risiken von Pflanzenschutzmitteln (PSM) für die Umwelt müssen vor ihrer Verwendung 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: zum Beispiel Mesokosmos-Studien für aquatische Lebewesen und detaillierte Ernährungsstudien für Vögel. Damit werden detaillierte Risikoanalysen möglich, welche für das Bewilligungsverfahren der PSM eine wichtige Rolle spielen.**

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 zehn Jahren im In- und Ausland stark gestiegen. 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 sich im Grundsatz immer noch auf den Satz von Paracel-

sus «Alle Ding' sind Gift und nichts ohn' Gift; allein die Dosis macht, das ein Ding kein Gift ist». Deshalb geht es in der ökotoxikologischen Risikoabschätzung darum, das Verhältnis zwischen Exposition und ökotoxikologischem Potenzial zu erfassen (Abb. 1).

### Exposition der Lebewesen im Wasser

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. 1). Die Prozesse des Transportes der Wirkstoffe in diese Kompartimente müssen verstanden und die zu erwartenden Konzentrationen (Predicted Environmental Concentration; PEC) berechnet werden können.

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 ab von der Lage und Art der Kultur, der Einstellung des Sprühgerätes und atmosphärischen Faktoren (Richtung und Stärke des Windes, Feuchtigkeit und Temperatur). 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.

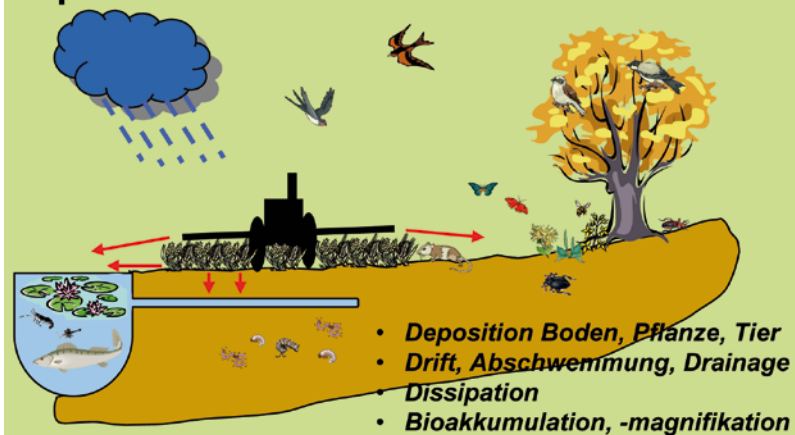
Bei Regen können PSM vom Boden oberflächlich ins Gewässer abgeschwemmt werden. Das PSM kann je nach Sorptionsverhalten entweder gelöst oder adsorbiert an Erdpartikeln transportiert werden. Bei geringer Niederschlagsmenge und starker Sorption an die Bodenmatrix ist die Abschwemmung gering. Falls das Regenwasser in den Boden versickert, kann es in Drainagen gelangen, welche in der Regel ins Oberflächenwasser 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

## Ökotoxizität

### Aquatische Ökosysteme    Terrestrische Ökosysteme

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fische</i></li> <li>• <i>Invertebraten</i></li> <li>• <i>Algen / höhere Wasserpflanzen</i></li> <li>• <i>Mikrobielle Prozesse der Abwasseraufbereitung</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Vögel</i></li> <li>• <i>Andere Vertebraten</i></li> <li>• <i>Bienen</i></li> <li>• <i>Andere Arthropoden</i></li> <li>• <i>Regenwürmer / and. Bodentiere</i></li> <li>• <i>Mikrobielle Prozesse im Boden</i></li> </ul> |
|---|---|

## Exposition



ein sehr rascher Transport (innerhalb von Minuten bis Stunden) auch von stark sorbierten Wirkstoffen durch den Boden in die Drainageröhren möglich.

### Exposition der Lebewesen in und über dem 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, Bodenminerale) 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 Regenwurmröhren ergeben. Da sich PSM in der humusreichen Röhrenwand anreichern können, sind Regenwürmer in gegen oben offenen Röhren unter Umständen besonders exponiert.

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.

### Exposition der Lebewesen über die Nahrung

Lebewesen können zusätzlich mit PSM in Berührung kommen, in-

dem 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 regenwurm-fressenden Vögeln wird ein Biokonzentrations-Faktor in Regenwürmern aufgrund der Sorptionseigenschaften und der Lipophilie der Wirkstoffe abgeschätzt.

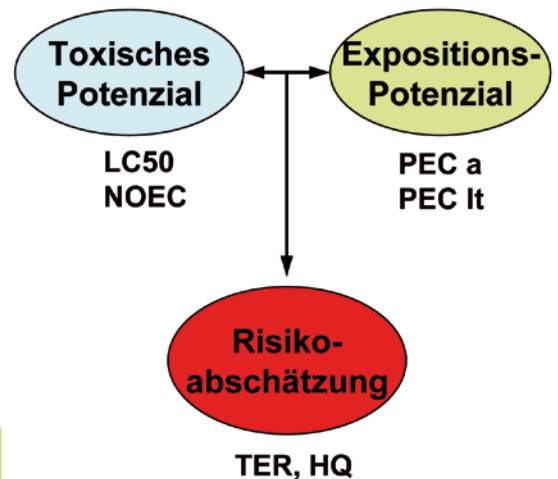


Abb. 1. Schematische Darstellung der ökotoxikologischen Risikoabschätzung. LC50: Letale Konzentration für 50% einer Population; NOEC: Konzentration, bei der kein Effekt beobachtet wurde; PEC: Vorhergesagte Konzentration in der Umwelt; a: akut; lt: langfristig; TER: Verhältnis von Toxizität zu Exposition; HQ: Gefahrenquotient.

**Abb. 2. Mesokosmenanlage, Syngenta Crop Protection AG, Stein, Schweiz (Foto: K. Knaur).**



### Expositionsszenarien für Gewässer

In der EU werden Konzentrationen der Wirkstoffe in Oberflächengewässern anhand der FOCUS-Szenarien berechnet (FOCUS 2004). 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 vier Tage nach der Applikation eintritt. 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 Ap-

pplikation 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 Graben, 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 verbundenen hohen Zeitaufwand für die Berechnungen bisher lediglich für die Beurteilung auf EU-Ebene verwendet.

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.

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 Potenzial mit Standardstudien

Da ein PSM in die Umweltbereiche Wasser, Boden, Luft und in die Nahrung gelangen kann, können eine Vielzahl von Lebewesen beeinträchtigt werden (Abb. 1). Im Bereich der Zulassung von PSM untersucht man Vögel, Säugetiere, Fische, aquatische Invertebraten (wirbellose Organismen) und Pflanzen, Arthropoden (Gliederfüssler), Bienen, Regenwürmer und Mikroorganismen (Europäische Gemeinschaft 2007). Es ist nicht möglich, alle Arten zu testen. Man wählt daher sogenannte 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.

Die Empfindlichkeit der Organismen gegenüber PSM - oder andersrum gesagt, die Toxizität der PSM - wird in Endpunkten ausgedrückt. Die Endpunkte bezeichnen eine Konzentration, bei der zum Beispiel 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 zum Teil 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 ins Sediment übergeht und dort verbleibt).

**Tab. 1. Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Drift**

Parameter	Werte
Driftraten:	Tabelle von Rautmann <i>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

**Tab. 2. Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Abschwemmung**

Parameter	Werte
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 Modellen der EU

**Tab. 3. Parameter für die Berechnung von Konzentrationen in Oberflächengewässern in der Schweiz durch Drainage**

Parameter	Werte
Drainagerate:	2 % (worst-case)
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)

■ **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 wiederhol-

te 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. Glasplatte bzw. Quarzsand) mit einem Parasitoiden (*Aphidius rhopalosi*-

**Tab. 4. Trigger-Werte\* für die Beurteilung der Akzeptanz von ökotoxikologischen Risiken. TER (Toxicity Exposure Ratio); HQ (Hazard Quotient)**

Organismengruppe	Trigger-Art	Trigger-Wert	
		kurzzeitig	langzeitig
Vögel	TER	10	5
Fische	TER	100	10
Aquatische Invertebraten	TER	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

*phi*) 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 Halfreilandversuch, 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.

#### Ökotoxikologisches Potenzial mit zusätzlichen 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 Fressverhalten, Vertreibung, 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, Granulat oder behandeltem Saatguts, sowie der Möglichkeit der Biokonzentration.

■ Fische: Toxizität bei Jungstadien; Lebenszyklusstudie (bei starker Biokonzentrierung und langsamem Abbau); Biokonzentration (falls der Koeffizient der Oktanol/Wasserverteilung ( $K_{ow}$ ) >  $10^3$  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: einfache Stufe

Die Risikobeurteilung von PSM findet gestuft statt. In einem ersten Schritt wird das Risiko anhand von standardisierten Laborstudien und «worst-case» Expositionszenarien 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 erfolgt mittels «Expertenwissen» und berücksichtigt neben naturwissenschaftlichen wohl auch politische und andere Aspekte. Triggerwerte sollten verschiedene Unsicherheiten berücksichtigen, die sich beispielsweise aus der Extrapolation von Laborstudien mit einzelnen Arten auf die Wirkung von PSM im Freiland auf ganze Lebensgemeinschaften ergeben. Die Triggerwerte, welche im Fall der TER nicht unter-, und im Fall der HQ nicht überschritten werden dürfen, sind im Anhang V der Richtlinie EU 91/414 festgelegt worden (Tab. 4).

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.

### Risikoanalyse mit zusätzlichen Studien: Wasser

In Mesokosmos-Studien (Campbell *et al.* 1999) 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 Accep-

table 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.

### Risikoanalyse mit zusätzlichen Studien: Vögel

Die Verfeinerung der Risikobeurteilung für Vögel basiert auf einer Verfeinerung der Expositionsabschätzung. Um eine realistischere Exposition von Vögeln 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 (EUFRAM 2006).

### Literatur

- Campbell P.J., Arnold D.J.S., Brock T.C.M., Grandy N.J., Heger W., Heimbach F., Maund, S.J. & Streloke M., 1999. Guidance document on higher-tier aquatic risk assessment for pesticides (HARAP). SETAC-Europe, Brussels.
- EUFRAM, 2006. Probabilistic approaches for assessing environmental risks of pesticides. Zugang: <http://www.eufram.com>.
- Europäische Gemeinschaft, 2007. Guidance documents for the implementation of Council Directive 91/414/EEC. Zugang: [http://ec.europa.eu/food/plant/protection/resources/publications\\_en.htm](http://ec.europa.eu/food/plant/protection/resources/publications_en.htm).
- FOCUS, 2004. Surface Water Scenarios in the EU Evaluation Process under 91/414/EEC». Report of the FOCUS Working Group on Surface Water Scenarios, EC Document Reference SANCO/4802/2001-rev.2. 245 S. Zugang: <http://viso.jrc.it/focus/sw/>.

### RÉSUMÉ

#### Analyse des risques écotoxicologiques des produits phytosanitaires

Les risques pour l'environnement doivent être évalués avant qu'un produit phytosanitaire (PP) soit utilisé. 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 et constitue une base importante pour la procédure d'autorisation.

### SUMMARY

#### Ecotoxicological risk analysis of plant protection products

Environmental risks have to be assessed before a plant protection product (PPP) is used. 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, which is an important basis for the registration process.

**Key words:** ecotoxicology, pesticides, regulatory, risk assessment