

Beurteilung der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss

Dorothea Noll, Nathalie Dakhel und Stéphane Burgos, Ecole d'Ingénieurs de Changins EIC, 1260 Nyon

Auskünfte: Stéphane Burgos, E-Mail: stephane.burgos@eichangins.ch, Tel. +41 22 363 40 52



Kanalschacht mit Erdablagerungen, die teilweise aus Erosion der höher gelegenen Parzelle stammen.

Einleitung

Die mechanisierte und leistungsstarke Nachkriegslandwirtschaft hat zu einer intensiven Düngung, einem vermehrten Einsatz von Pestiziden, einer strukturellen Umgestaltung der Agrarlandschaft (Vergrößerung der Parzellen), und einer Bodenverdichtung geführt. Diese Veränderungen haben den Oberflächenabfluss und die Erosion gefördert, was zu einer Erhöhung der Feinsedimente und Pestizide in den Oberflächengewässern geführt hat. Dies geht soweit, dass die gesetzlichen Werte

für Pestizide in landwirtschaftlichen Gebieten oft überschritten werden. Oberflächenabfluss und Erosion sind die wichtigsten Ursachen des Transfers von Pestiziden in Oberflächengewässer (Liess *et al.* 1999). Die phytosanitären Produkte können entweder durch die Bodenpartikel adsorbiert (Ton und organische Stoffe) oder im Wasser aufgelöst werden (Calvet *et al.* 2005). Es existieren bereits mehrere Methoden und Modelle um das Erosionsrisiko (Bodenabtrag) oder die Verschmutzung der Oberflächengewässer durch Pestizide einzuschätzen. Einige davon benutzen vorhandene Daten in verschiede-

nen Masstäben – insbesondere solche, die auf der «*Universal Soil Loss Equation (USLE)*» beruhen (Bakker *et al.* 2008). Andere benötigen eine grosse Anzahl von Parametern, die mitunter schwer zu beschaffen sind (Ludwig *et al.* 2004). Die Wahl des Massstabes ist oft ein Problem für die Erstellung kohärenter Massnahmen (Schriever *et al.* 2007). Die auf Parzellenebene entwickelten Modelle benutzen im allgemeinen keine geographischen Informationssysteme (GIS) (CORPEN 2001).

Ziel dieser Arbeit ist es, auf Parzellenebene eine Methode der Einschätzung der Transferrisiken von Pestiziden in Oberflächengewässer durch Erosion und Oberflächenabfluss zu entwickeln. Diese Studie wurde im Einzugsgebiet des Boiron de Morges (Waadt) gemacht. Sie ist im Rahmen eines Programmes zur Verminderung der Konzentration von phytosanitären Produkten entstanden. Das Programm besteht seit 1999 und beruht auf Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im nord-östlichen Teil des Einzugsgebietes des Boiron (Abb. 1). Seine Fläche beträgt 980 ha, wovon 577 ha Ackerbau, 133 ha Wiesen, 103 ha Weinbau und 167 ha andere Nutzungen (Wald, Siedlung etc.) sind. Die Höhenlage des Gebietes variiert zwischen 423 und 655 m ü.M. Das Gebiet umfasst drei Zuflüsse des Boiron: Irence, Blaçon und Blétruz.

Gemessene Faktoren

Alle wesentlichen Elemente des Gebietes (landwirtschaftliche Parzellen, Wälder, Grünstreifen, Strassen

Zusammenfassung

Diese Arbeit zeigt eine Methode zur Einschätzung von Transferrisiken von Pestiziden in Oberflächengewässer durch Erosion und Oberflächenabfluss in einem Teil des Einzugsgebietes des Boiron de Morges (Waadt). Die Methode verbindet Feldbeobachtungen mit der Nutzung von geographischen Informationssystemen (GIS). Sie berücksichtigt unvergängliche und vergängliche Faktoren. Eine Bewertungstabelle erlaubt es, die verschiedenen Faktoren entsprechend der Intensität ihres Risikos zu klassifizieren. Die Verknüpfung dieser Faktoren ermöglicht es, eine Synthesekarte der Transferrisiken von Pestiziden für das gesamte Studiengebiet zu erstellen. Die Methode erlaubt nicht nur Parzellen mit einem erhöhten Transferrisiko zu identifizieren, sondern ebenso die Faktoren, welche die Ursache dieses Transfers sind. Wenn diese Parzellen identifiziert sind, können gezielte Massnahmen erarbeitet werden, um den Bodenabtrag und den Transfer von Pestiziden zu reduzieren.

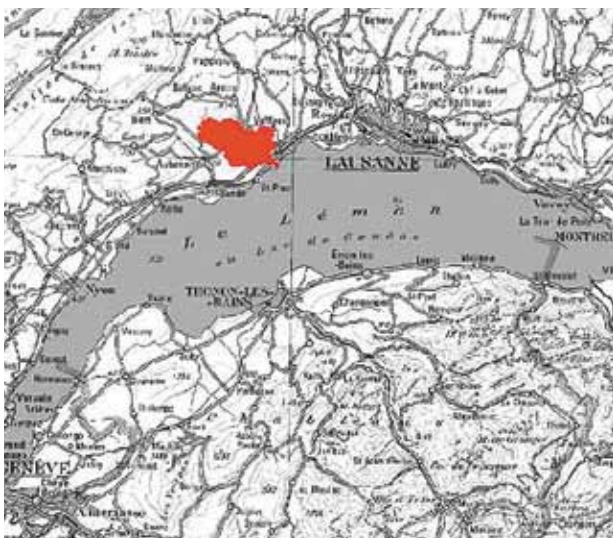


Abb. 1 | Lage des Untersuchungsgebiets.

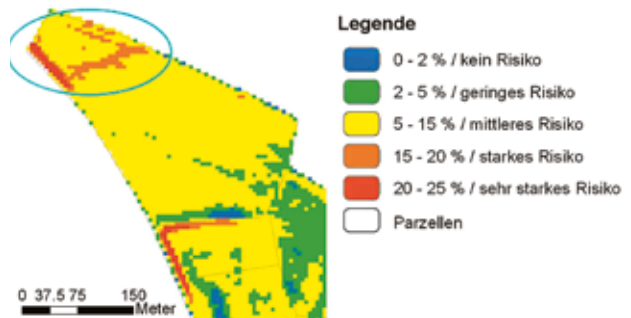


Abb. 2 | Hangneigung einer Parzelle, gemessen über ein DGM mit Spatial Analyst in einer Rasterauflösung von 5 x 5 m (Klassierung nach Tabelle 1).

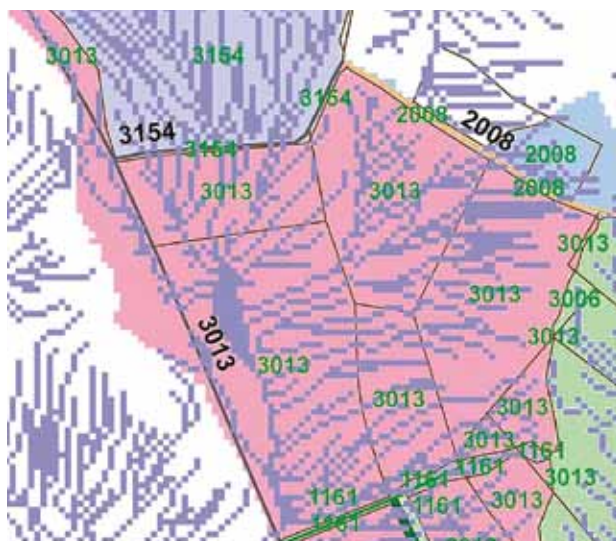


Abb. 3 | Darstellung des Einzugsgebietes der Strassen (pastellfarben) und der potenziellen Wasserläufe (blaue Linien) (schwarze Zahl = Strassennummer, grüne Zahl = Verbindung der Parzellen mit den Einzugsgebieten der Strassen).

und Wege, Kanalschächte und Wasserabflusskanäle) wurden digitalisiert. Sie wurden entweder durch Feldbeobachtungen erhoben oder über GIS Arcview 9.3, seiner Erweiterung *Spatial Analyst* (SA) aus einem digitalen 5 m Geländemodell (DGM) oder aus einem Orthophoto und der topografischen Karte ermittelt. Die aufgenommenen Elemente oder Faktoren sind zweifacher Natur: unvergänglich und vergänglich.

Unvergängliche Faktoren

Diese Faktoren hängen von der Lage und der Topographie der Parzellen ab und verändern sich während einer Anbausaison nicht. Die ersten drei der folgenden Faktoren sind vom DGM abgeleitet.

- **Hangneigung:** Je steiler ein Hang ist, desto grösser ist das Risiko für Stofftransporte. Gewisse Parzellen haben nur einen kleinen Bereich, der sehr steil ist (Abb. 2). Nur den steilsten Hangabschnitt betrachten, würde das Risiko überschätzen, aber nur die mittlere Hangneigung der gesamten Parzelle berücksichtigen, würde das Risiko zu niedrig einstufen. Aus diesem Grund wurde festgelegt, dass mindestens 25 % aller Pixel einer Parzelle in einer hohen Klasse liegen müssen, damit die Parzelle in die höhere Risikoklasse, als nur über den Mittelwert berechnet, übergeht. Dieser willkürlich festgesetzte Schwellenwert zielt darauf ab, ausreichend streng zu sein.
- **Hanglänge:** Mit zunehmender Hanglänge steigt das Risiko für Stofftransporte. Diese Variable repräsentiert den Abstand zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt der Parzelle.
- **Landschaftselemente,** welche die Fliessrichtung des Wassers beeinflussen: Diese bestehen aus Wegen und Strassen sowie deren Belag, Wälder, Hecken und Grünstreifen, die mehr als 3 m breit sind (Pufferzone). Solche Landschaftselemente können entweder als Leitlinien oder aber als Barrieren für Oberflächenabflusswasser wirken. Um die Richtung des Wasser-

Faktor Hangneigung



Faktor Hanglänge

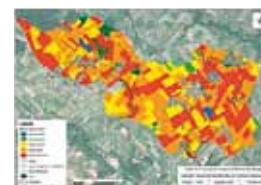


oder

Faktor Relief



Unvergängliche Faktoren



Faktor Entfernung zu Gewässern



Faktor Landschaftselemente



oder

Faktor Abfluss



Abb. 4 | Erstellung der Karte der unvergänglichen Faktoren.

abflusses bestimmen zu können, wurden die «kleinen Einzugsgebiete» von jedem Weg und jeder Strasse und die Fliessrichtung des Wassers jeder Parzelle festgestellt. Wenn man die Fliessrichtung des Wassers das aus den Parzellen kommt kennt (Abb. 3), ist es einfach zu sehen, ob ein direkter Transfer zu den Oberflächengewässern stattfindet oder nicht. Wenn das Wasser zum Beispiel auf eine Strasse fliesst, erreicht es die Oberflächengewässer schneller, indem es in einen Kanalschacht eindringt, dessen Wasser direkt in die Oberflächengewässer fliesst.

- **Entfernung zu den Gewässern:** Sie entspricht der Entfernung zwischen den Parzellen und den Wasserläufen. Je näher eine Parzelle an einem Oberflächengewässer liegt, desto grösser ist das Risiko, dass der Oberflächenabfluss auch ins Gewässer gelangt.
- **Körnung des Oberbodens:** Sie wurde durch 100 Fühlproben ermittelt, die mit dem Erdbohrer zufällig im Studiengebiet gezogen worden sind. Bereits bestehende pedologische Studien wurden ebenfalls herangezogen (Haeberli 1971; SIGALES 2004).

Vergängliche Faktoren

Letztere entwickeln sich saisonbedingt entsprechend den Anbau- und Fruchtfolgepraktiken.

- **Anbaukulturen:** ergibt für jede Parzelle die durchschnittliche Anzahl von Pestizidbehandlungen, sowie den Prozentsatz der Bodenbedeckung zum Zeitpunkt der Behandlungen. Die Weinbauggebiete wurden

nach dem Prozentsatz der Begrünung zwischen den Reihen beurteilt.

- **Bodenbearbeitungsrichtung im Verhältnis zum Hang:** Sie wurde durch Feldbeobachtungen festgestellt.

Entstehung der Risikokarten

Für alle betrachteten Faktoren wurde eine Bewertungstabelle erstellt (Tab. 1). Sie bestimmt Risikoklassen für jeden Faktor. Es sind für die meisten Faktoren fünf Klassen, deren Grenzen auf der Basis von bibliographischen Daten oder durch die Meinung von Experten festgelegt worden sind.

Jeder Risikoklasse wurde ein Koeffizient zwischen 0 (kein Risiko) und 4 (sehr starkes Risiko) zugeordnet. Risikokarten wurden für jeden Faktor erstellt. Sie wurden anschliessend miteinander verknüpft, um eine Synthesekarte der Transferrisiken von Pestiziden zu erhalten.

Von den unvergänglichen Faktoren wurden nur die Faktoren Relief (Neigung und Hanglänge) und Abfluss (Landschaftselemente und Entfernung zu den Gewässern) in Betracht gezogen.

Die Körnung des Oberbodens ist im ganzen Studiengebiet nach dem Körnungsdiagramm der GEPPA (*Groupe d'Etude pour les Problèmes de Pédologie Appliquée*) entweder LAS (Lehm bis schluffiger Lehm) oder Lsa (sandiger Lehm). Die Homogenität der Texturen und deren Zugehörigkeit zu einer gleichen Risikoklasse (Tab. 1) führten dazu, diesen Faktor hier nicht zu berücksichtigen. ➤

Tab. 1 | Bewertungstabelle des Transferrisikos von Pestiziden

		kein Risiko Koeff. = 0	geringes Risiko Koeff. = 1	mittleres Risiko Koeff. = 2	starkes Risiko Koeff. = 3	sehr starkes Risiko Koeff. = 4	
Unvergängliche Faktoren	Faktor Relief	Hangneigung (1)	<2 %	2–5 %	6–15 %	16–25 %	>25 %
		Hanglänge (2)	<50 m	51–100 m	101–200 m	201–300 m	>301 m
	Faktor Abfluss	Landschaftselemente	Wald/Hecke, Abhang	Grünstreifen, Parzelle	Grasweg	Steinweg	Strasse
		Entfernung zu den Gewässern (3)	>200 m		20–200 m		<20 m
	Körnung des Oberbodens (1)	AA, As, A	AIs, AS, AI	SI, S, SS, Sa	Sal, Lsa, LAS, La	L, Ls, LL	
Vergängliche Faktoren	Anbaukulturen (4)	permanente oder temporäre Wiese; Brachland, Luzerne, Rohrschilf	Getreide, Weinbau >70 % bedeckt	Obstanbau, Frühjahrsanbau (5), Ackerbohnen, Weinbau 70–50 % bedeckt	Rüben, Kartoffeln, Weinbau 50–30 % bedeckt	Gemüse, Weinbau <30 % bedeckt	
	Bodenbearbeitungsrichtung	kein Abfluss	Perpendikular zum Abfluss			Parallel zum Abfluss	

(1): Mosimann et al. (1991); (2): Mosimann und Rüttimann (1996); (3): Laubier (2001); (4): Hani et al. (1990); (5): Frühjahrsanbau = Raps, Mais, Soja, Sonnenblumen, Lupinen, Erbsen.

Um den Faktor Relief für eine Parzelle zu bestimmen, wird immer die höhere Risikoklassierung von Hangneigung und Hanglänge gewählt. Auf die gleiche Weise wird auch das höhere Risiko von der Entfernung zu den Gewässern und den Landschaftselementen verwendet, woraus sich der Faktor Abfluss ergibt. Anschliessend wird das Risiko der Faktoren Relief und Abfluss miteinander berechnet. Ist das Risiko für den einen oder den anderen Faktor gleich null, wird das gesamte Risiko als null angesehen. Ansonsten wird der Durchschnittswert beider Klassierungen verwendet. Als Ergebnis erhält man eine Karte der unvergänglichen Faktoren (Abb. 4).

Die Karte der vergänglichen Faktoren erhält man, indem man die Risiken, die mit den Anbaukulturen und der Bodenbearbeitung im Zusammenhang stehen, verbindet, das heisst indem man das durchschnittliche Risiko berechnet, es sei denn eines der Risiken ist null (Abb. 5).

Die Synthesekarte der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss (Abb. 6) erhält man, indem man die Karten der unvergänglichen und vergänglichen Faktoren verknüpft. Es wurde wiederum der Durchschnittswert der Risiken berechnet, es sei denn, eines der Risiken war null.

Resultate und Diskussion

Die Methode erlaubt einen Überblick über die Verteilung der Transferrisiken von Pestiziden für Parzellen einer Region zu erhalten. Abb. 7 zeigt die Verteilung des Risikos für Wiesen, Ackerbau, Weinbau sowie für die gesamte Landwirtschaftsfläche. Das Risiko ist auf 260 ha Ackerbau und 80 ha Weinbau stark, das heisst respektive für 32 % und 10 % der gesamten Landwirtschaftsfläche. Dieses starke Risikoniveau ist das Ergebnis von Bodenverbesserungen, durch die viele Strassen und Wege geschaffen sowie die Parzellen vergrössert wurden, um die Mechanisierung zu erleichtern. Fünf Prozent, das heisst 39 ha, der gesamten Landwirtschaftsfläche, fallen in die Klasse «sehr starkes Risiko». Dies sind 4 % der Ackerbaufläche (20 ha) und 19 % der Weinbaufläche (19 ha). Die temporären und permanenten Wiesenflächen sowie das Brachland wurden immer als risikolos klassifiziert.

Diese Methode ermöglicht es, auch die problematischen Parzellen auf der Synthesekarte zu lokalisieren und die ursächlichen Faktoren zu identifizieren. Der Kartenauszug (Abb. 8) zeigt vier besondere Fälle. Die Parzelle 1

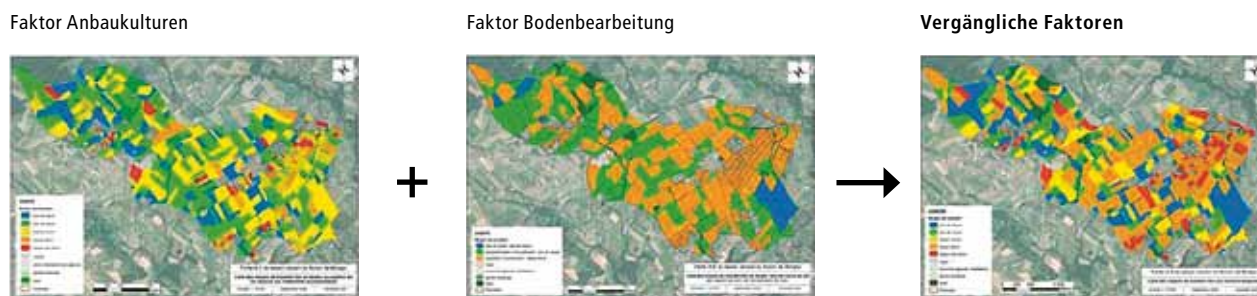


Abb. 5 | Erstellung der Karte der vergänglichen Faktoren.

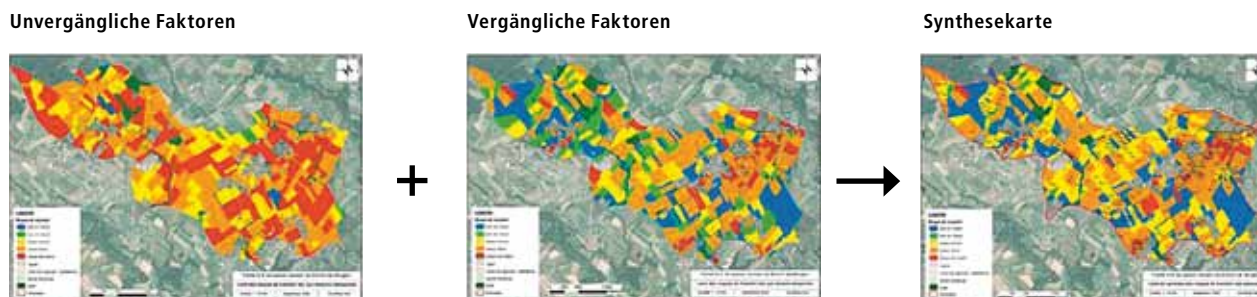


Abb. 6 | Erstellung der Synthesekarte.

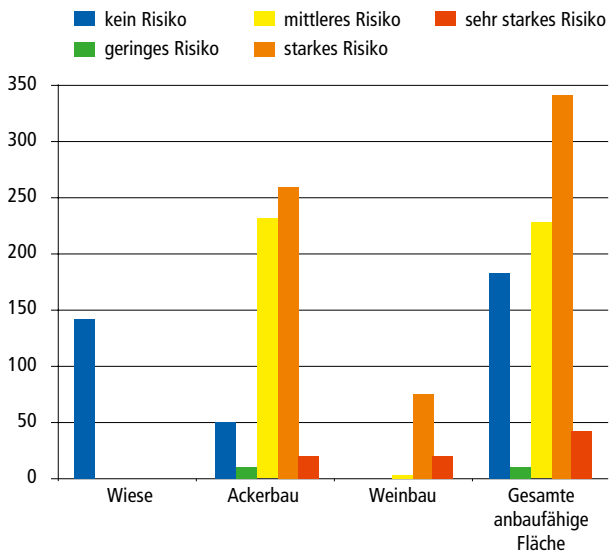


Abb. 7 | Histogramm der Risikoklassen von Wiesen, Ackerbau, Weinbau und der gesamten Landwirtschaftsfläche.

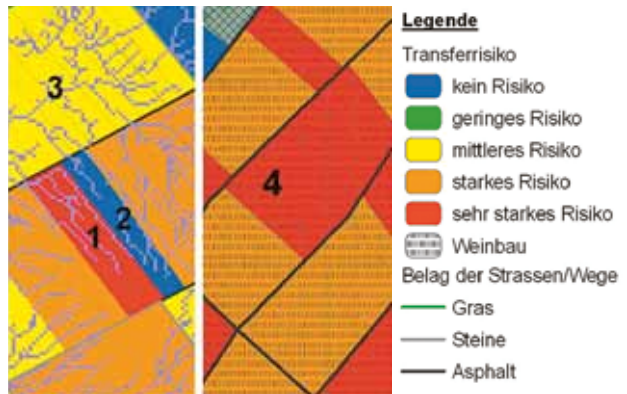


Abb. 8 | Auszüge aus der Synthesekarte der Transferrisiken von Pestiziden (blaue Linie = Wasserflussrichtung).

weist ein sehr starkes Risiko auf, denn diese ist lang und wird in Fließrichtung des Wassers bearbeitet, welches auf eine Strasse fließt. Die Nachbarparzellen 2 und 3 besitzen dieselben Eigenschaften, haben aber ein anderes Risiko. Parzelle 2 wurde in die Klasse kein Risiko eingestuft, weil es eine temporäre Wiese ist und Parzelle 3 in die Klasse mittleres Risiko, weil das Wasser auf andere Parzellen fließt. Die Weinbauparzelle 4 zeigt ein sehr starkes Risiko, weil die Hangneigung mehr als 20% beträgt, sich eine Strasse am unteren Ende der Parzelle befindet, und die Reihen parallel zum Hang bearbeitet sind.

Die Methode ermöglicht es ebenfalls, gezielte Massnahmen für risikoreiche Parzellen zu empfehlen, da die ursächlichen Faktoren bekannt sind. Es gilt den Wasserabfluss von den Parzellen auf Strassen und Wege einzuschränken oder zu vermeiden. Jedoch sind die möglichen Massnahmen mitunter schwer anzuwenden. Für die Parzelle 2 (Abb. 7) zum Beispiel ist eine Bearbeitung quer zum Hang in Anbetracht der langen Form der Parzelle schwer zu verwirklichen. Sie aufzuteilen, würde die Bearbeitung erschweren und wäre für den Bauern nicht akzeptabel. Dagegen wäre die Anlage eines Grünstreifens eine denkbare Massnahme (Gouy und Gril 2001). Man könnte ebenfalls vorsehen, die Fruchtfolge zu ändern, zum Beispiel, indem man in den Risikozonen kein

Gemüse anbaut oder Direktsaat anwendet. Diese Praktiken vermindern die Belastung des Bodens, begrenzen die Bodenverschlammung und ebenfalls den Oberflächenabfluss (Labreuche et al. 2007). In den Weinbergen (Parzelle 4) sind die Möglichkeiten für Massnahmen beschränkt. Um den Transfer zu limitieren, wäre eine Begrünung zwischen den Reihen zu erwägen.

Die Faktoren, welche bei der vorgestellten Methode in Betracht gezogen wurden, sind diejenigen, die allgemein als verantwortlich für den Transfer von Pestiziden durch Oberflächenabfluss und Erosion angesehen werden. Der Beitrag dieser Methode, im Vergleich zu anderen auf Parzellenebene entwickelten Methoden (Arousseau et al. 1998; Laubier 2001), ist die Benutzung eines DGM mit einer hohen Auflösung, die spezielle Beachtung des steilsten und des mittleren Hangabschnittes, die Berücksichtigung der Strassen und Wege und das Einbeziehen der phytosanitären Behandlungen der Kulturen vor Ort. Insbesondere die Berücksichtigung des steilsten und des mittleren Hangabschnittes erlaubt eine bessere Risikoeinschätzung für Parzellen mit unregelmässigen Hängen, als wenn man nur die mittlere Hangneigung betrachten würde. Die Berücksichtigung der Strassen und Wege erlaubt im Übrigen, den direkten Transfer zu den Oberflächengewässern zu berücksichtigen. >

gen. Sie tragen sicher massgeblich dazu bei, dass stark mit Feinerdepartikeln und Pestiziden belastetes Wasser bis zu den Oberflächengewässern weiter geleitet wird.

Schlussfolgerungen

Die angewandte Methode erlaubt:

- Die Transferrisiken von Pestiziden in Oberflächengewässern auf Parzellenebene zu definieren;
- Die ursächlichen Faktoren für diesen Transfer zu bestimmen;
- Gezielte Massnahmen vorzuschlagen, um den Transfer zu begrenzen;
- Risikokarten zu erstellen und die verantwortlichen Faktoren zu erkennen, welche ein optimales Management des gesamten Einzugsgebietes und die Beratung der Bauern erlauben. ■

Literatur

- Arousseau P., Gascuel-Oudou C. & Squidant H., 1998. Eléments pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides. *Etude et Gestion des Sols* 5 (3), 143–156.
- Bakker M., Govers G., von Doorn A., Quetier F., Chouvardas D. & Rounsevell M., 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. *Geomorphology* 98, 213–226.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.-P. & Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol – Conséquences agronomiques et environnementales. Ed. France Agricole, Paris. 637 S.
- CORPEN (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), 2001. Diagnostic de la pollution des eaux par les produits phytosanitaires. Base pour l'établissement de cahiers des charges des diagnostics de bassins versants et d'exploitations. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 32 S.
- Gouy V. & Gril J.-J., 2001. Diagnosis of pesticide diffuse pollution and management practices to reduce transfer to water. *Ingénieries eau agriculture territoires n° spécial*, 81–90.
- Haeberli R., 1971. Carte écologique-physiographique des sols du canton de Vaud. Office Cantonal Vaudois de l'Urbanisme. *Cahier de l'aménagement régional* 12, 119 S.
- Hani F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M., 1990. Protection des plantes en production intégrée – Grandes cultures. Centrale des moyens d'enseignement agricole, Zollikofen, 334 S.
- Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J. F., Real B., Germon J. C., de Tourdonnet S. (coordinateurs), 2007. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour en France. ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOMIFVV, 400 S.

Riassunto**Metodo di valutazione dei rischi di trasferimento di pesticidi attraverso le acque che scorrono in superficie**

Questo studio illustra un metodo di stima dei rischi di passaggio dei pesticidi nelle acque superficiali attraverso il trasporto di superficie (erosione, ruscellamento) in una parte del bacino imbrifero del *Boiron de Morges* (Vaud, Svizzera). Tale metodo abbina osservazioni sul terreno e l'utilizzo di sistemi d'informazione geografico (SIG), considerando fattori perenni e fattori temporanei. Una griglia di valutazione permette di classificare i diversi fattori secondo l'intensità del rischio generato. La loro combinazione permette in seguito la realizzazione di una mappa di sintesi dei rischi dovuti al passaggio di pesticidi nell'insieme della zona studiata. Il metodo permette di identificare le parcelle a elevato rischio, di individuare i fattori all'origine del fenomeno e di proporre delle misure mirate per limitare l'erosione di terra e il conseguente trasferimento di pesticidi.

Summary**Assessment of risks of pesticides transfer by surface runoffs**

This work presents a method for assessing pesticides transfer risks to the surface water by erosion and runoff. It was developed in a part of the watershed of the Boiron de Morges (Vaud, Switzerland). This method combines observations in the field with the use of Geographic Information Systems (GIS). It considers timeless and timely factors. An evaluation grid permits to classify the different factors by the risk severity they generate. Their combination then allows to produce a synthetic map showing the transfer risks of pesticides in the whole zone examined. This method makes not only possible to identify the plots with an inherent risk of high transfer, but also the factors responsible for it. Once the plots have been identified, targeted measures can be envisaged to limit the soil loss and the pesticides transfer.

Key words: erosion, runoff, GIS, pesticides, DEM, transfer.

- Laubier F., 2001. The diagnosis of the risk of pesticides transfer in superficial waters: the bases and the implementation of the method developed in Bretagne Region (France). *Ingénieries eau agriculture territoires n° spécial*, 91 – 98.
- Liess M., Schluz R., Liess M. H.-D., Rother B. & Kreuzig R., 1999. Determination of insecticide contamination in agricultural headwater streams. *Water Research* **33** (1), 239–247.
- Ludwig B., Le Bissonnais Y., Souchère V., Cerdan O. & Jetten V., 2004. Intégration des pratiques agricoles dans la modélisation du ruissellement et de l'érosion des sols: les modèles LISEM et STREAM. *In: Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux.* (Ed. P. Monestiez., S. Lardon., B. Seguin), INRA Editions, Paris, 43–62.
- Mosimann T. & Rüttimann M., 1996. Erosion, clé d'appréciation du risque. *Sols cultivés de Suisse romande.* SRVA (Service de vulgarisation agricole), Lausanne, 27 S.
- Mosimann T., Maillard A., Musy A., Neyroud J.-A., Rüttimann M. & Weisskopf P., 1991. Lutte contre l'érosion des sols cultivés. Guide pour la conservation des sols. Programme national de recherche «Utilisation du sol en Suisse», Berne-Liebefeld, 187 S.
- Schriever C. A., von der Ohe P. C. & Liess M., 2007. Estimating pesticide runoff in small streams. *Chemosphere* **68**, 2161–2171.
- SIGALES (Etude de Sols et Terroirs), 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois. Géo-pédologie. Prométere-Office de conseil viticole, Lausanne, 124 S.