



# Atrazin: Weniger Rückstände im Wasser

Alfred SEILER, Frieda SUDA und Felix MÜHLEBACH, Ciba, CH-4002 Basel

## Grundwasserfassungen und Flüsse der Schweiz wurden über Jahre auf Spuren von Atrazin untersucht. Die Resultate zeigen, dass mit angepasster Anwendung von Atrazin das Problem der Rückstände im Wasser zu lösen ist.

Atrazin war eines der ersten Herbizide, das in den 50er Jahren die selektive Unkrautkontrolle im Mais ermöglichte. Wegen seiner guten Wirkung und seines niedrigen Preises wurde das Produkt auch zur Unkrautkontrolle im nicht-landwirtschaftlichen Bereich (Bahnen, Strassenränder, Plätze) oft und in hohen Dosierungen eingesetzt. Im Mais wurde Atrazin im Herbst zur Queckenbekämpfung mit Dosierungen bis 5 kg Aktivsubstanz pro Hektar (kg AS/ha) und im Frühling zur Kontrolle diverser Unkräuter mit Dosierungen von 1 bis 3 kg AS/ha ausgebracht. Zur Unkrautbekämpfung im nicht-landwirtschaftlichen Bereich (v.a. Bahnbereich) waren Aufwandmengen bis zu 9 kg AS/ha die Regel. 1979 wies das Kantonale Laboratorium Fribourg in der Grundwasserfassung der Gemeinde Courtepin Atrazin nach und sperrte das Wasser vorsorglich für den Gebrauch als Trinkwasser. Bis anhin hatte man Trinkwasser kaum auf Atrazin untersucht, da man keine Rückstände von Pflanzenschutzmitteln erwartete. Zu Beginn der 80er Jahre wurden vermehrt Untersuchungen angestellt, und die Empfindlichkeit der Analysemethoden wurde verbessert. Die Resultate der Untersuchungen zeigten, dass die bis anhin üblichen Anwendungen von Atrazin zu Rückständen im Grundwasser führten (Bosshardt 1989). 1987 wurden in der Schweiz Anwendungseinschränkungen für Atrazin erlassen: Im Maisanbau wurde Atrazin ab Herbst 1987 auf 1,5 kg AS/ha beschränkt. Im Bahnbereich wurde 1988 die Aufwandmenge um 50 % gesenkt, und seit 1989 darf Atrazin im Bahnbereich überhaupt nicht mehr angewendet werden. Ciba-Geigy AG und die Zulassungsbehörden verfolgen zusammen das Ziel, Atrazinrückstände im Wasser zu minimieren. Deshalb wurde 1989 beschlossen, entsprechend Ciba's «Guter Landwirtschaftlicher Praxis für Atrazin» dieses

Herbizid nur noch in der Landwirtschaft und dort mit folgenden Beschränkungen einzusetzen:

- Anwendung nur im Maisanbau
- Aufwandmenge: 1 bis 1,5 kg AS/ha und Jahr
- Anwendung nur im Nachauflauf, aber vor dem 30. Juni.

Seit 1994 beträgt die maximale Aufwandmenge im Mais 1 kg AS/ha für Atrazin allein, oder 0,8 kg AS/ha in Kombipräparaten. Um die Wirksamkeit dieser Anwendungseinschränkungen zu überprüfen, und um die Ursachen der Atrazinrückstände im Grundwasser abzuklären, sind umfangreiche Untersuchungsprogramme durchgeführt worden. Diese Arbeit fasst die Ergebnisse zusammen.

## Atrazinwerte im Grundwasser ...

In den meisten Fällen nehmen die Atrazinkonzentrationen als Folge der Anwendungseinschränkungen deutlich ab (Abb. 1), und zwar sowohl ausgehend von relativ hohen, als auch ausgehend von niedrigen Konzentrationen zu Beginn der Beobachtungszeit (Tab. 1). Wo die Konzentrationen im Beobachtungszeitraum nicht oder nur wenig abnehmen, sind sie in den meisten Fällen schon zu Beginn der Messperiode relativ niedrig, das heisst unter 0,5 µg/l. Zusätzlich zu Atrazin wurde oft auch das Abbauprodukt Desethylatrazin gemessen.

**Tab. 1. Die 78 untersuchten Wasserfassungen, gruppiert nach der Atrazinkonzentration zu Beginn der Beobachtungszeit und nach der Konzentrationsabnahme in % der Anfangskonzentration**

Atrazinkonzentration zu Beginn der Beobachtungszeit 1987 - 89	Reduktion während der Beobachtungszeit in % der Anfangskonzentration			
	0-25 %	25-50 %	50-75 %	75-100 %
mehr als 1,0 µg/l	2		1	3
0,5 - 1,0 µg/l	1		2	3
0,1 - 0,5 µg/l	10	14	15	9
weniger als 0,1 µg/l	15	2	1	

Enthält eine Probe neben Atrazin etwa gleich viel oder sogar mehr Desethylatrazin, bedeutet dies, dass Atrazin in der Zeit zwischen Anwendung und Probenahme zum Teil abgebaut wurde. Dies ist oft bei Grundwasser der Fall (Abb. 2).

**Wasserfassungen im Bereich von Bahnanlagen:** Bei jenen Wasserfassungen, die im Bereich von Bahnanlagen liegen, haben die Atrazinkonzentrationen in der Folge der Anwendungseinschränkungen zwischen 1987 und 1990 deutlich abgenommen (Abb. 3). Seit 1991 liegen die Werte regelmässig um oder unter 0,15 µg/l. Besonders hohe Werte (ca. 20 µg/l) wurden Ende 1989 im Grundwasser von Kaltenstein (Küsnacht, Kanton ZH) gemessen. Nach systematischer Untersuchung der möglichen Ursachen (Verwendung von Atrazin zur Unkrautkontrolle im Bahnbereich, an Strassenrändern und in der Landwirtschaft), wurde der Einsatz im Bahnbereich als Hauptursache identifiziert. In den ersten drei Jahren, nachdem Atrazin nicht mehr angewendet wurde, reduzierte sich die Konzentration im Grundwasser um ca. 90 % (Abb. 4). Seit 1992 ist die Abnahme stark verlangsamt, was wahrscheinlich durch Rückstände bedingt ist, die noch im Boden vorhanden sind. Bodenproben haben gezeigt, dass in einer Tiefe von 7 bis 12 m Atrazingehalte von 15 bis 20 µg/kg Erde vorkommen (Dr. von Moos AG 1992).

**Wasserfassungen im Bereich der Landwirtschaft:** Zwei Wasserfassungen liegen in rein landwirtschaftlichem Gebiet. Auch in diesen Fällen nahmen die Atrazinkonzentrationen in der Folge der An-

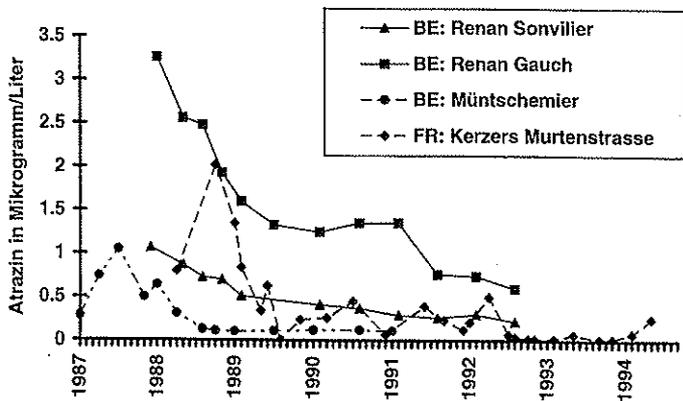


Abb. 1. Grundwasserfassungen mit deutlich abnehmenden Atrazinkonzentrationen, ausgehend von Werten über 1 µg/l.

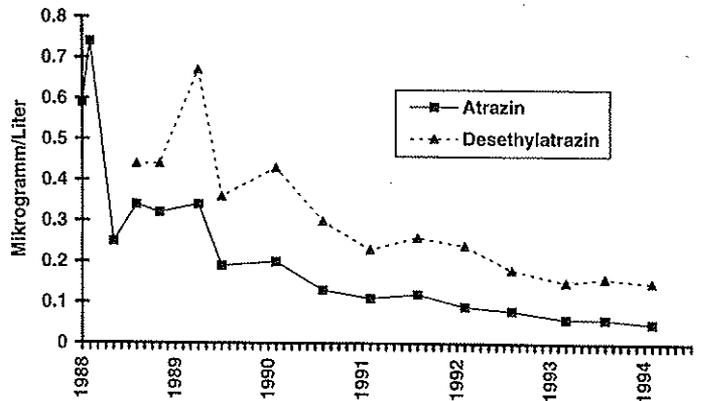


Abb. 2. Grundwasser von Belprahon BE: Gehalt an Atrazin und Desethylatrazin.

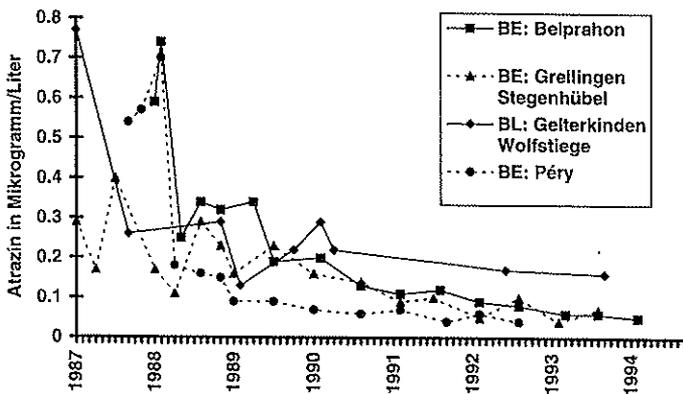


Abb. 3. Grundwasserfassungen im Einflussbereich von Bahnen. Ab 1988: halbe Dosierung, ab 1989: keine Anwendung von Atrazin im Bahnbereich.

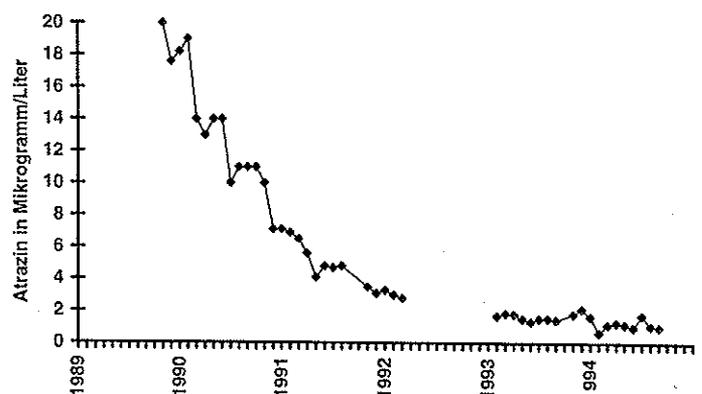


Abb. 4. Grundwasserfassung im Einflussbereich der Bahn bei Kaltenstein (Küsnacht ZH).

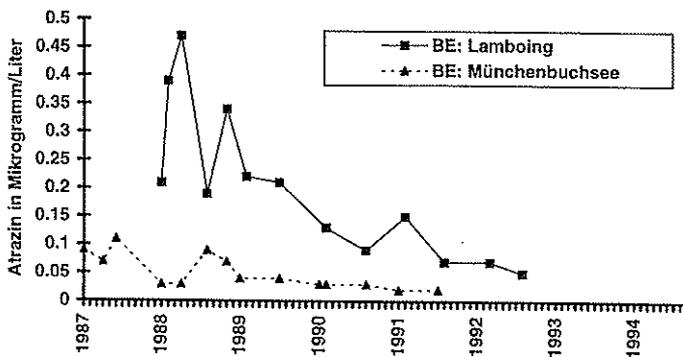


Abb. 5. Grundwasserfassungen im Einflussbereich der Landwirtschaft.

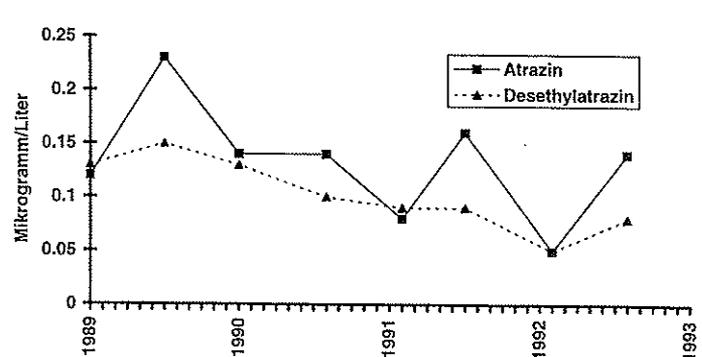


Abb. 6. Grundwasser von Liesberg BE (Karstgebiet): Gehalt an Atrazin und Desethylatrazin.

wendungseinschränkungen von 1987 deutlich ab (Abb. 5).

**Wasserfassungen in Karstgebieten:** Einige Wasserfassungen in Karstgebieten weisen im Sommer regelmässig höhere Atrazinkonzentrationen auf als im Winter, wie zum Beispiel Liesberg (Abb. 6). Auch in diesen Fällen kann eine stetige Abnahme beobachtet werden. Die jährlichen Schwankungen und die Tatsache, dass die höheren Werte im Sommer nur bei Atrazin, aber viel weniger beim Abbauprodukt Desethylatrazin festgestellt werden, lassen vermuten, dass in diesem Gebiet die Anwendung von Atrazin noch im gleichen Sommer zu Rückständen im Grundwasser führt.

## ... und Oberflächenwasser haben stark abgenommen

**Atrazinrückstände im Rhein:** Ciba's Rheinwasserüberprüfung wurde seit 1985 einerseits oberhalb der ehemaligen Produktionsstätte Schweizerhalle (Messungen bei Augst und Laufenburg) und andererseits unterhalb von Schweizerhalle (Messungen bei Birsfelden und Kembs) durchgeführt. Die Messdaten belegen eine starke Abnahme der Atrazinrückstände von 1985 bis 1988 (Abb. 7). In Birsfelden und Kembs ist diese Abnahme zum Teil dadurch bedingt, dass seit 1987 in Schweizerhalle kein Atrazin mehr produziert

wird. Dass aber auch die Werte abgenommen haben, die oberhalb Schweizerhalle gemessen wurden, kann als Erfolg der «Guten Landwirtschaftlichen Praxis für Atrazin» verstanden werden. Typisch für Oberflächengewässer sind die erhöhten Werte im Sommer, die in den letzten Jahren beobachtet werden können, und die erfahrungsgemäss von Oberflächenabfluss und Erosion herrühren (siehe «Atrazinrückstände in der Ergolz»). Vergleicht man die hochgerechnete Atrazinfracht im Rhein mit den Atrazinemengen, die im Einzugsgebiet des Rheins eingesetzt werden (Basis: Verkaufszahlen in der Schweiz), lässt sich errechnen, dass

## Datenbasis

**Untersuchungen der Kantonalen Laboratorien:** Die Kantonalen Laboratorien der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern, Fribourg, Solothurn und Tessin haben mit einem Teil ihrer Messdaten der Jahre 1987 bis 1994 zu dieser Publikation beigetragen. Die 78 Probenahmeorte wurden mit der Schweizerischen Gesellschaft für Chemische Industrie (SGCI) vereinbart. Zusätzlich zu den Grundwasserdaten haben die Kantonalen Laboratorien BL und SO Atrazin-Messwerte von Oberflächengewässern beigetragen, die in dieser Arbeit verwendet wurden.

**Atrazin im Grundwasser - eine Modellstudie:** Im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich (AGW) und unter Mitwirkung der Gemeinde Küsnacht ZH und der Ciba-Geigy AG, Basel, führte 1992 die Firma Dr. von Moos AG, Zürich, eine Modellstudie durch, um die Ursachen der Grundwasserbelastung mit Atrazin im Pumpwerk Kaltenstein der Gemeinde Küsnacht ZH (Rick, 1993) zu finden. Seit 1993 wird das Wasser dieses Pumpwerks weiter auf Atrazinrückstände untersucht.

**Rheinwasseruntersuchung:** Seit 1985 misst Ciba jeden Monat die Atrazinkonzentrationen im Rhein bei Laufenburg, Augst, Birsfelden und Kembs.

**Aussagekraft der Messwerte:** In den Konzentrationsbereichen um den in der Schweiz gültigen Toleranzwert von  $0,1 \mu\text{g/l}$  für Pflanzenschutzmittel im Trinkwasser sind trotz analytischer Schwankungen von 10 bis 20 % repräsentative Aussagen möglich. Da eine kontinuierliche Überprüfung der Atrazinkonzentration einer Wasserfassung nur mit grossem Aufwand durchführbar ist, muss die Beurteilung auf der Basis einer Reihe von Einzelwerten erfolgen. Jeder Einzelwert gibt zwar den Atrazingehalt im Moment der Probenahme wieder, wird jedoch stark durch die momentanen klimatischen Bedingungen beeinflusst. Beispielsweise können Pflanzenschutzmittel durch starke Niederschläge nach der Applikation in Oberflächengewässer und tiefere Bodenschichten verfrachtet werden. Finden solch kurzfristige Einträge zwischen einzelnen Probenahmen statt, können sie unter Umständen unerfasst bleiben. In diesem Sinne wurde den Einzelwerten nicht allzuviel Bedeutung beigemessen, sondern die Daten werden entsprechend den Trends über den Beobachtungszeitraum interpretiert.

ca. 1,5 % der ausgebrachten Menge durch Abschwemmung verloren geht. Dieser Wert ist nicht spezifisch für Atrazin, sondern gilt für die Mehrzahl der Pflanzenschutzmittel und ist mit Daten der internationalen Literatur vergleichbar (Logan *et al.* 1993; Pantone *et al.* 1992; Sudo und Kunimatsu 1992; Wauchope 1978).

**Atrazinrückstände in der Ergolz:** Das Kantonale Laboratorium Basel-Landschaft hat 1989 und 1991 Atrazinmessungen in der Ergolz, einem Seitenfluss des Rheins, durchgeführt. Die Atrazin-Grundlast der Ergolz betrug ca.  $0,1$  bis  $0,2 \mu\text{g/l}$ . Am 6. Juli 1989 wurden an allen Messstellen stark erhöhte, zum Teil über  $2,0 \mu\text{g/l}$  lie-

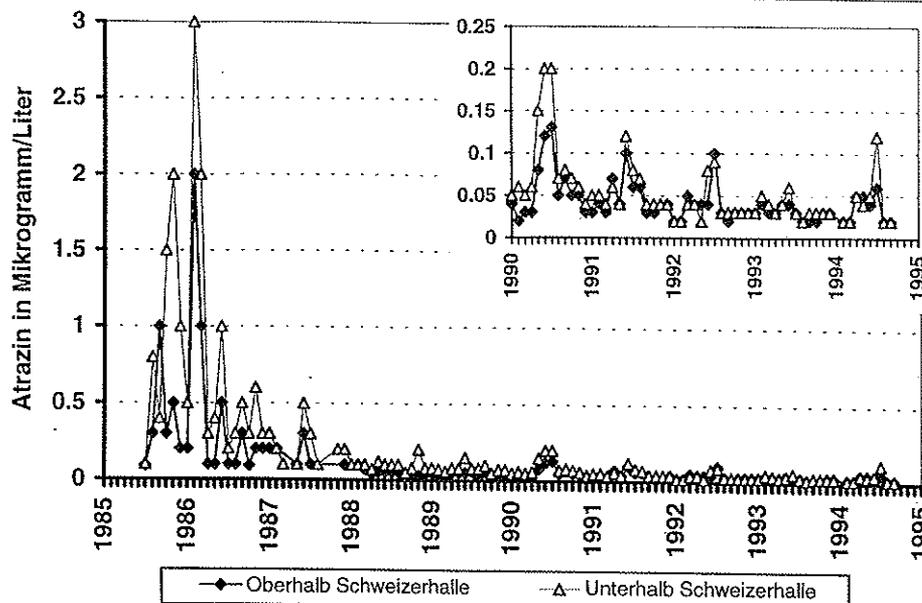


Abb. 7. Atrazin im Rhein bei Basel.

gende Werte gemessen (Abb. 8). Geringer sind die Spitzenwerte im Sommer 1990. Die kurzfristig stark erhöhten Werte von 1989 sind mit grosser Wahrscheinlichkeit einem Erosionsereignis zuzuschreiben, das durch die intensiven Niederschläge ( $66,3 \text{ mm}$ ) am 1. Juli 1989 im Einzugsgebiet der Ergolz ausgelöst wurde. Bestärkt wird diese Hypothese dadurch, dass vor allem hohe Werte von Atrazin gemessen wurden und weit weniger hohe des Abbauproduktes Desethylatrazin.

## Die Qualität des Trinkwassers

Für die Qualität des Trinkwassers sind in der Schweiz die Wasserwerke verantwortlich. Zusätzlich überwachen die Kantonschemiker mit ihren Kantonalen Laboratorien die Trinkwasserqualität regelmässig. Falls nötig ordnen sie geeignete Massnah-

men zur Verbesserung der Trinkwasserqualität an. In der Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Verordnung SR 817.022) ist der Toleranzwert für Pflanzenbehandlungsmittel (PBM) im Trinkwasser definiert:  $0,1 \mu\text{g/l}$  für ein einzelnes PBM und  $0,5 \mu\text{g/l}$  für die Gesamtheit aller PBM. Mit dem Toleranzwert legt der Gesetzgeber das Mass für die Reinheit von Trinkwasser fest und trägt damit den berechtigten Erwartungen der Konsumentinnen und Konsumenten Rechnung.

Wird der Toleranzwert im Trinkwasser eingehalten, so ist dieses Wasser bezüglich PBM als Lebensmittel im Sinn des Gesetzes rein und qualitativ vollwertig. Findet ein Kantonschemiker im Trinkwasser mehr als  $0,1 \mu\text{g/l}$  eines PBM, so muss er dieses Wasser beanstanden. Es bleibt bei Atrazin jedoch bis zur Konzentration von  $2,0 \mu\text{g/l}$ , dem toxiologischen

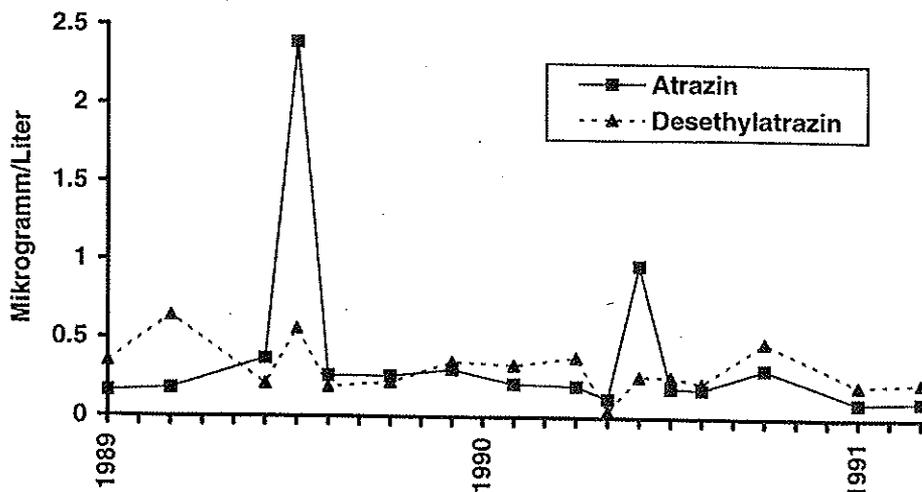


Abb. 8. Rückstände von Atrazin und Desethylatrazin in der Ergolz BL bei Anwil/Talweiher.

begründeten Richtwert der Weltgesundheitsorganisation für Atrazin (WHO 1993), gesundheitlich unproblematisch. Dennoch sind Massnahmen zu ergreifen mit dem Ziel, den gesetzlich festgelegten Toleranzwert einzuhalten.

## Folgerungen

Die Anwendungseinschränkungen für Atrazin haben bei fast allen untersuchten Grundwasserfassungen zu einer merklichen Abnahme der Atrazinkonzentration geführt. Die Abnahme ist in den Jahren nach Einführung der Anwendungseinschränkungen (1986 - 89) am deutlichsten und wird anschliessend langsamer.

Die Anwendung hoher Atrazinmengen im Bahnbereich führte zu hohen Atrazintrückständen im Grundwasser. Seit dem Anwendungsverbot kann in einer ersten Phase eine deutliche Konzentrationsabnahme beobachtet werden. Die früheren Anwendungen führten jedoch auch zu Rückständen im Boden, die nun möglicherweise sukzessive ausgewaschen werden und dazu beitragen könnten, dass die Atrazinkonzentrationen im Grundwasser in einer zweiten Phase nur noch langsam abnehmen.

Die Untersuchungen von Wasserfassungen in Karstgebieten lassen vermuten, dass auf solchen Böden die Anwendung von Atrazin in der Landwirtschaft noch in der gleichen Saison zu Einträgen von Rückständen ins Grundwasser führt (Schudel 1994).

## Empfehlungen für die Praxis

Aufgrund der mit Atrazin gemachten Erfahrungen kann für die Mehrzahl der Pflanzenschutzmittel im allgemeinen und für Atrazin im speziellen eine weitere Reduktion der Rückstände im Wasser durch folgende Massnahmen erreicht werden:

Verhinderung von Erosion:

Viele Untersuchungen zeigen, dass sich Erosionsvorgänge und die damit verbundenen Einträge von Erde, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in die Oberflächengewässer durch anbautechnische Massnahmen stark verringern lassen (Ammann *et al.* 1994; Ammon 1993; Ammon und Gut 1994; Ciba Corp. 1992; Glenn und Angle 1987; Jones 1993; Rüegg 1994). Die reduzierte Bodenbearbeitung oder sogar lebende Untersaaten sowie bepflanzte Pufferstreifen entlang von Gewässern können Bodenerosion und

die damit verbundenen Einträge in Gewässer stark reduzieren.

**Standortgerechte Landwirtschaft:** An Hanglagen oder auf stark durchlässigen Böden (zum Beispiel Karstgebieten) sollte kein intensiver Ackerbau betrieben werden, weil er oft zu Rückständen von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln in Gewässern oder im Grundwasser führt. In solchen Fällen ist der Verzicht auf Agrarchemikalien und hohe Düngergaben im Sinne einer standortgerechten Landwirtschaft angebracht. Im herrschenden agrarpolitischen Umfeld werden Landwirte noch ökonomisch benachteiligt, die sich nach diesen Forderungen richten. Standortgerechte Landwirtschaft bedarf der Unterstützung und Förderung durch die Landwirtschaftspolitik, um in den «empfindlichen Gebieten» geeignete umweltverträgliche Bewirtschaftungsformen zu fördern.

## DANK

Die Autoren danken den Kantonschemikern der Kantone Aargau (P. Grütter), Basel-Landschaft (W. Stütz), Bern (U. Müller), Fribourg (H. Walker), Solothurn (P. Kohler) und Tessin (M. Jäggli), dass sie ihnen die Resultate der Atrazin-Untersuchungen für diese Arbeit überlassen haben.

## LITERATUR

Ammann H., Ammon H.U., Bohren C., Mouchet P.A., Stauffer W. und Sturmy W., 1994. Maisanbau à la carte. *Sonderdruck UFA-Revue* 3/94.

Ammon H.U., 1993. Von der Unkrautbekämpfung zur Regulation der Grünbedeckung im Mais. *Landwirtschaft Schweiz* 6 (11-12), 649-660.

Ammon H.U. und Gut D., 1994. Entwicklung der Belastung des Grund- und Oberflächenwassers mit Herbiziden und neue Anwendungsvorschriften für Triazinpräparate. Bericht der: 13. Tagung über Unkrautbekämpfung im Feldbau, 11-12.

Bosshardt H.-P., 1989. Atrazin in der Umwelt. In: *Schriftenreihe Umweltschutz* (BUWAL) 109, 1-4.

Ciba-Geigy Corporation, 1992. Best Management Practices to Reduce Runoff of Pesticides into Surface Water: A Review and Analysis of Supporting Research. Technical Report: 9-92, Environmental and Public Affairs Department, Greensboro, NC 27419-8300.

Glenn S. und Angle S.J., 1987. Atrazine and Simazine in Runoff from Conventional and No-till Corn Watershed. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18, 273-280.

Jones R.L., 1993. Role of Field Studies in Assessing Environmental Behaviour of Herbicides. *BCPC-Weeds*, 1275-1282.

Logan T.J., Eckert D.J. und Beak D.G., 1993. Tillage, Crop and Climatic Effects on Runoff and Tile Drainage Losses of Nitrate and four Herbicides. *Soil & Tillage Research* 30, 75-103.

Dr. von Moos AG, Geotechnisches Büro, 8037 Zürich, 1992. Atrazin im Grundwasser. Modellstudie Kaltenstein. Hydrogeologische und chemisch-analytische Untersuchung, Nr. 5147/CG. 1.Dez.92.

Pantone D.J., Young R.A., Bühler D.D., Eberlein C.V., Koskinen W.C. und Forcella F., 1992. Water Quality Impacts Associated with Preemergence and Postemergence Applications of Atrazine in Maize. *J. Environ. Qual.* 21 (4), 567-573.

Rick B., 1993. Atrazin im Grundwasser - eine Modellstudie. *GasWasserAbwasser* 73 (6), 438-446.

Rüegg W., 1994. Verfügbarkeit von Stickstoff für Silomais bei Mulchsaat in abgestorbene Zwischenfruchtbestände. Dissertation ETH Nr. 10708.

Schudel P., 1994. Pestizide im Grundwasser von Büren, Hochwald und Nuglar-St.Pantaleon. Bericht Nr.10, Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn, Amt für Umweltschutz.

Sudo M. und Kunitatsu T., 1992. Characteristics of Pesticides Runoff from Golf Links. *Wat.Sci.Tech.* 25 (11), 85-92.

Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln vom 27.2.1986 (SR 817.022). EDI, Bern.

Wauchope R.D., 1978. The Pesticide Content of Surface Water Draining from Agricultural Fields - A Review. *J. Environ. Qual.* 7 (4), 459-472.

WHO, 1993. Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization, Geneva, 77-78.

## RÉSUMÉ

### Atrazine: Moins de résidus dans l'eau

En 1987, une limitation de l'utilisation de l'herbicide atrazine a été introduite en Suisse. Depuis, de nombreuses analyses effectuées ont révélé le succès de cette mesure. Dans la plupart des cas, les concentrations d'atrazine dans les eaux de surface et dans la nappe phréatique ont considérablement diminué de telle sorte que les valeurs actuelles correspondent maintenant largement aux exigences de l'«Ordonnance sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires» concernant les résidus d'atrazine. Les valeurs extrêmes sont discutées et des solutions proposées.

## SUMMARY

### Atrazine: Less residues in water

Since use limitations on the herbicide atrazine were introduced in Switzerland in 1987, extensive monitoring has been carried out to investigate the success of these measures. In most cases, the concentrations of atrazine in surface water and in ground water have significantly decreased, so that the latter now mostly complies with the requirements of the Swiss «Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln» (Ordinance concerning contaminants and components of foodstuffs) concerning residues of atrazine. Exceptions are discussed and proposals for solutions given.

**KEY WORDS:** Atrazine, Switzerland, ground water, surface water, good farming practice programme