

# Ökobilanz der Unkrautregulierung im Ackerbau

Gérard GAILLARD und Edward IRLA, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon  
Auskünfte: Gérard Gaillard, e-mail: gerard.gaillard@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 31 31

**Die zunehmende Besorgnis über die Umweltwirkungen für Wasser und Boden bedingt durch den Pestizideinsatz in der Pflanzenproduktion führte in den letzten Jahren dazu, dass alternative Methoden zur Unkrautbekämpfung entwickelt und verbreitet wurden. Diese neuen Verfahren bilden die Grundlage der Unkrautregulierung bei umweltorientierten Produktionsformen wie der Integrierten Produktion oder dem Biolandbau. Das Hauptziel besteht darin, durch die Entwicklung und den Einsatz neuer Verfahren den Herbizideinsatz zu beschränken oder zu vermeiden.**

Im Vordergrund stehen dabei mechanische Verfahren wie Hacken und Striegeln, die sich in der Integrierten Produktion nötigenfalls mit einem reduzierten Herbizideinsatz kombinieren lassen. Die mechanische Unkrautregulierung zeichnet sich gegenüber dem chemischen Verfahren durch eine geringere Boden- und Wassertoxizität aus, ist jedoch infolge von vermehrtem Traktoreinsatz mit einem erhöhten Treibstoffbedarf verbunden. Die Fragen der Belastungen für das Klima und die Luft sowie einer erhöhten Bodenbeanspruchung sind noch offen. Zudem ist unklar, ob die Umweltwirkungen für alle betroffenen Kulturen und Herbizide gesamthaft bestimmt werden können oder ob fallweise eine individuelle Beurteilung notwendig ist.

## Mechanisch, chemisch oder kombiniert?

Zur Klärung dieser Fragen wurde eine Ökobilanz der mechanischen und mechanisch-chemischen Methoden der Unkrautregulierung bei Speisekartoffeln, Körnermais, Winterraps und -weizen erstellt und mit chemischen Verfahren verglichen.

Die Ökobilanzierung kann Bestandteil einer umfassenden Beurteilung sein, bei der im Hinblick auf die Förderung einer nachhaltigen Unkrautbekämpfung auch die technische Machbarkeit sowie wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Ziel der Studie war es daher,

■ die Umweltwirkungen neuer Verfahren zur Unkrautbekämpfung im Ver-

gleich zu konventionellen chemischen Verfahren zu bewerten und zu beurteilen,

■ womöglich allgemeine Trends aufgrund der Berechnung ausgewählter Beispiele abzuleiten und Empfehlungen auszuarbeiten.

## Methodische Ansätze

Die vorliegende Ökobilanz stützt sich auf ISO Standard (1997) und berücksichtigt methodische Ansätze, die in den letzten

Jahren im Bereich Landwirtschaft entwickelt worden sind (Audsley *et al.* 1997; Gaillard *et al.* 1997b). Für jede untersuchte Kultur wurden drei verschiedene Verfahren analysiert. Diese gelten jeweils als repräsentativ für die chemische, die mechanisch-chemische und die mechanische Unkrautbekämpfung.

Aus folgenden Gründen dient die Fläche (1 ha) als **funktionelle Einheit** (Bezugsgrösse):

■ Die Auswirkungen der untersuchten Verfahren zur Unkrautbekämpfung auf die Ernte sind nur teilweise nachgewiesen. In entsprechenden Fällen betragen die beobachteten Ertragsabweichungen maximal 10 %. Somit macht es wenig Sinn, die Ertragsmenge als alternative Bezugsgrösse zu wählen.

■ Bei der Wahl des geeigneten Verfahrens zur Unkrautbekämpfung stehen nicht nur die umweltgerechte Produktion, sondern auch Aspekte des Bodenschutzes im



**Abb. 1.** Für die Unkrautregulierung im Mais reicht ein zweimaliger Einsatz des Sternhackgerätes nach einer Herbizidbandspritzung oder einem Striegeln aus.



Abb. 2. Mit Striegeleinsätzen lassen sich im Weizen eine genügende Unkrautverminderung und eine wirksame Bodenpflege erreichen.

Vordergrund, welche flächenbezogen anzusehen sind.

■ Ein Vergleich zwischen den gewählten Kulturen ist möglich.

Bei der **Definition der Systemgrenzen** wurden folgende vorgelagerte Prozesse berücksichtigt: Abbau beziehungsweise Förderung von Rohstoffen, Herstellung und Bereitstellung von Diesel, Bau und Unterhalt von Traktoren, Maschinen und Gebäuden, Produktion von Pestiziden (für weitere Details zum Thema, siehe Gaillard und Hausheer 1999). Die **Daten** aus dem Bereich Feldtechnik stammen von Irla (1988, 1989, 1994 und 1995) sowie von Irla und Ammon (1991). Sie umfassen neben dem Dieserverbrauch und der Menge der ausgebrachten Wirkstoffe auch den Einsatz der jeweiligen Maschinen und Geräte. Die **Berechnung** des Energiebedarfs sowie der mit der Energiebereitstellung und der Produktion von Inputs zusammenhängenden Emissionen basieren auf Gaillard *et al.* (1997a). Die Abschätzung des Herbizideintrags in den Boden, die Oberflächengewässer und das Grund-

wasser erfolgte gemäss dem von Gaillard *et al.* (1997b) vorgeschlagenen Vorgehen. Folgende **Wirkungskategorien** wurden nach Gaillard *et al.* (1997b) untersucht: Ausschöpfung nicht erneuerbarer Energieressourcen, Deponieabfälle, Treibhauseffekt, Ozonbildung, Versauerung, Eutrophierung, Toxizität (Luft, Boden, Oberflächengewässer und Grundwasser). Fehlende zuverlässige Informationen über Herbizidrückstände in Nahrungsmitteln verunmöglichten die Berücksichtigung der Wirkungskategorie «Humantoxizität», wobei die Angaben zur Toxizität der Luft und des Grundwassers erste wichtige Informationen liefern. Die Umweltwirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und die Biodiversität konnten mangels einer geeigneten Methode nicht beurteilt werden.

Die **Auswertung** erfolgte nach zwei verschiedenen, sich gegenseitig ergänzenden Vorgehen:

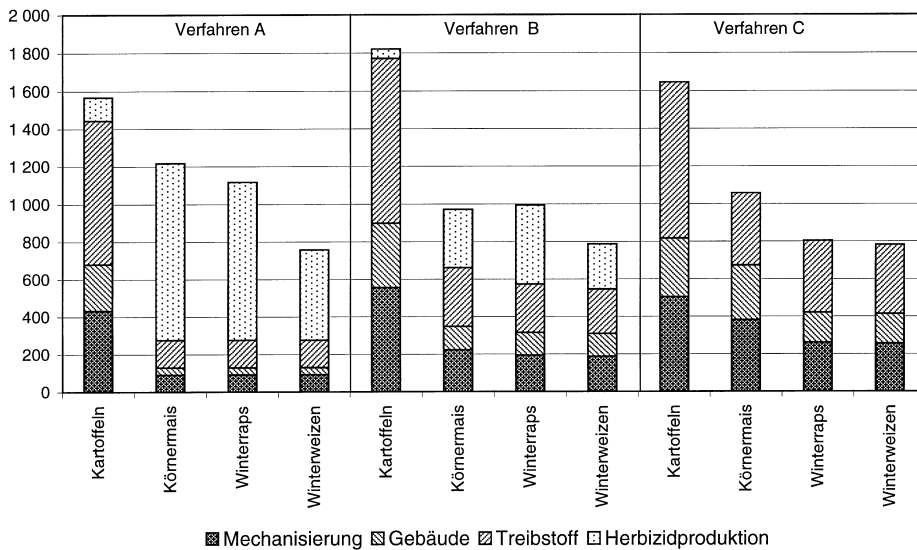
■ Vergleich der verschiedenen Verfahren für alle Kulturen und für jede einzelne Wirkungskategorie.

■ Beurteilung der ökologischen Vor- und Nachteile der mechanisch-chemischen und mechanischen Verfahren gegenüber der rein chemischen Variante unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten bei der Berechnung der Umweltwirkungen.

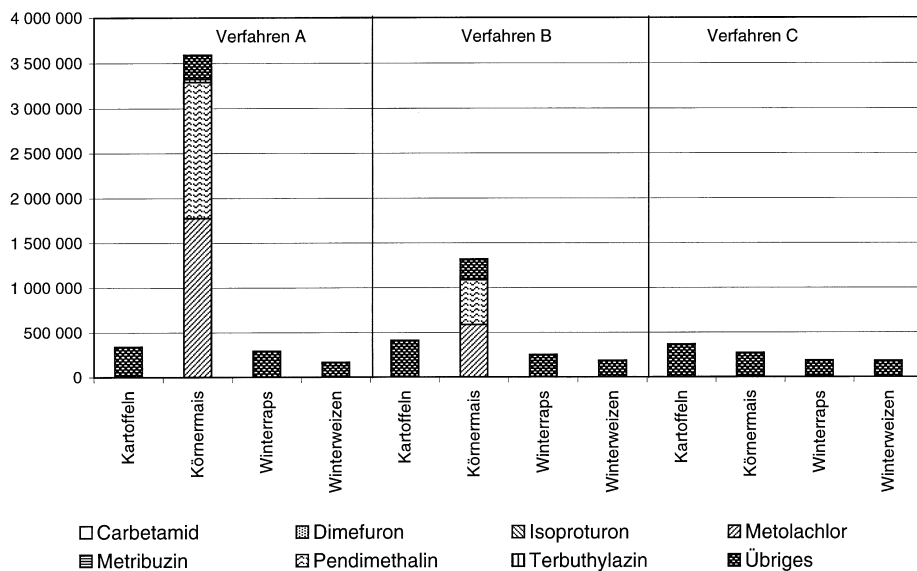
### Energiebedarf und Toxizität der Oberflächengewässer

Abbildungen 3 und 4 illustrieren Ergebnisse für zwei bestimmte Wirkungskategorien gemäss dem ersten Auswertungsansatz. Der Energiebedarf und die Toxizität der Oberflächengewässer wurden wegen ihrer Wichtigkeit für das Thema gewählt, wobei eine solche Analyse für alle untersuchten Wirkungskategorien erfolgte.

Abbildung 3 verdeutlicht die grossen Unterschiede in den Resultaten. Je nach Verfahren, Maschinenwahl und Kultur spielen die Positionen Mechanisierung, Gebäude, Treibstoffverbrauch und Pestizidherstellung eine ziemlich unterschiedliche Rolle. Zudem können die Unterschiede



**Abb. 3. Nicht erneuerbare Energieressourcen: Energiebedarf (MJ/ha) bei den chemischen (A), mechanisch-chemischen (B) und mechanischen (C) Verfahren für die untersuchten Kulturen.**



**Abb. 4. Toxizität der Oberflächengewässer: Belastungspotenzial (m³ Tag Equ./ha) bei den chemischen (A), mechanisch-chemischen (B) und mechanischen (C) Verfahren für die untersuchten Kulturen.**

de zwischen den Kulturen für ein bestimmtes Verfahren grösser sein als die Unterschiede zwischen verschiedenen Verfahren für eine bestimmte Kultur. Abbildung 4 zeigt, dass lediglich einzelne Wirkstoffe (im vorliegenden Fall Metolachlor und Pendimethalin) ein grosses toxisches Potenzial beinhalten können. Andere wiederum üben keine nennenswerte Wirkung aus, spielen sogar eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu dem mit dem Energieverbrauch verbundenen Schwermetalleintrag.

### Zusammenstellung aller Wirkungskategorien

Tabelle 1 zeigt am Beispiel von Körnermais die Auswertung der Ergebnisse nach

dem zweiten Vorgehen. Für jede Kultur ergibt sich aus den Berechnungen ein spezifisches, entweder besseres oder schlechteres Gesamtbild, so dass die Angaben der Tabelle 1 keineswegs verallgemeinert werden dürfen. Einzige Konstante der Wirkungsbilanz ist, dass die mechanischen sowie die mechanisch-chemischen Verfahren bezüglich ihrer toxischen Wirkung für alle Kulturen vorteilhaft sind, dies jedoch in unterschiedlichem Ausmass. Bei den anderen Wirkungskategorien sind die Folgerungen je nach betrachteter Kultur sehr unterschiedlich. Die zum Teil etwas schlechteren Ergebnisse der untersuchten mechanischen Verfahren sind meistens geringen Ausmasses. Nur eine Ökobilanz der gesamten Kultur könnte Hinweise über deren Relevanz

bringen. Ohne weitere Analyse wird festgestellt, dass das mechanische Verfahren beim Winterweizen angesichts mehrerer negativer Umweltwirkungen auf viele Kategorien (in erster Linie auf die Eutrophierung) ausser im toxischen Bereich ein eher weniger günstiges Bild anbietet. Hingegen soll das Fazit für Winterraps vorteilhafter Natur sein.

### Differenziertes Fazit

Berücksichtigt man die Tatsache, dass die Resultate je nach Produktionsstandort unterschiedlich sein können und dass sie in dieser Studie auf ausgewählten Verfahren für vier verschiedene Feldkulturen beruhen, gelten folgende Folgerungen:

- Die Einflussfaktoren (Treibstoffverbrauch, Mechanisierung, Herbizidherstellung, Emissionen usw.) auf die untersuchten Umweltwirkungen variieren je nach Verfahren und Kultur. Beispielsweise ist der Energieverbrauch in den einzelnen Verfahren insgesamt sehr ähnlich, er ist aber zwischen den Kulturen sehr unterschiedlich. Eine allgemeine Regel kann nicht definiert werden.

- Mechanische oder mechanisch-chemische Verfahren tragen zur Reduktion des toxischen Potenzials bei, wobei der Umfang dieser Reduktion stark vom in der chemischen Variante eingesetzten Wirkstoff abhängt. Für die anderen Umweltkategorien lässt sich keine allgemeine Aussage machen.

- Bei den untersuchten Kulturen, Techniken und Wirkstoffen sollten mechanische Verfahren gefördert werden, besonders bei Körnermais und Winterraps. Bei Speisekartoffeln spielt die Wahl des Verfahrens zur Unkrautregulierung eher eine untergeordnete Rolle, weil der Dammaufbau ohnehin den Einsatz eines Pflegegerätes erfordert. Auch der Anbau von Bioweizen ist auf mechanische Pflegemassnahmen angewiesen.

### LITERATUR

- Audsley E., Alber S., Clift R., Cowell S., Crettaz P., Gaillard G., Hausheer J., Jolliet O., Kleijn R., Mortensen B., Pearce D., Roger E., Teulon H., Weidema B. and van Zeijts H., 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture, Schlussbericht, 101 S. und Anhänge.

- Gaillard G., Crettaz P. und Hausheer J., 1997a. Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau, Schriftenreihe der FAT 46, 45 S., FAT-Tänikon.

**Tab. 1. Zusammenstellung der Ergebnisse aller untersuchten Wirkungskategorien beim Körnermais.** Die mechanisch-chemischen (B) und mechanischen (C) Verfahren stehen im Vergleich zum chemischen Verfahren (A).

Umweltindikator	B Mechanisch/chemisch	C Mechanisch
Ausschöpfung nicht erneuerbarer Energieressourcen		
Abfälle		
Treibhauseffekt (100 Jahre)		
Treibhauseffekt (500 Jahre)		
Ozonbildung		
Versauerung		
Terrestrische Eutrophierung		
Wassereutrophierung		
Gesamteutrophierung		
Lufttoxizität		
Toxizität der Oberflächengewässer		
Grundwassertoxizität		
Bodentoxizität		

Sehr günstig			günstig					Sehr ungünstig

■ Gaillard G., Dinkel F., Waldeck B., Grub A., Hausheer H., Menzi H., Prasuhn V., Stauffer W., Studer K., Walther P. und Weisskopf P., 1997b. Ressourcenbedarf und ökologische Wirkungen von Stoffflüssen. In Wolfensberger U. und Dinkel F., Beurteilung nachwachsender Rohstoffe, FAT, Carbotech, FAL und IUL, Tänikon, Basel, Zürich und Bern, S. 37-88 und Anhänge.

■ Gaillard G. und Hausheer J., 1999. Ökobilanz des Weizenanbaus, *Agrarforschung* 6 (1), 37-40.

◆ Irla E., 1988. Hack- und Bandspritzgeräte für Reihenkulturen, *FAT-Berichte* 335.

■ Irla E., 1989. Bandspritzung und Hacken in Zuckerrüben und Mais, *FAT-Berichte* 359.

■ Irla E., 1994. Vergleich Unkrautbekämpfungsverfahren im Raps, *FAT-Berichte* 453.

■ Irla E., 1995. Pflorgetechnik und mechanische Unkrautregulierung in Kartoffeln, *FAT-Berichte* 462.

■ Irla E. und H.-U. Ammon, 1991. Vergleich mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfungsverfahren im Getreide, *FAT-Berichte* 398.

■ ISO, 1997. Ökobilanz: Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 14 S.

## RÉSUMÉ

### Bilan écologique du contrôle des adventices en grandes cultures

Un bilan écologique a été établi pour les méthodes mécaniques et mécaniques-chimiques de contrôle des adventices pour les pommes de terre de consommation, le maïs-grain, le colza et le blé d'automne, et comparé à celui des techniques chimiques. Avec les hypothèses retenues, les conclusions suivantes peuvent être tirées:

■ Les facteurs d'influence (consommation de carburant, mécanisation, fabrication d'herbicides, émissions, etc.) sur les impacts environnementaux varient en fonction des procédés et des cultures. Une règle générale ne peut pas être définie.

■ Les méthodes mécaniques et mécaniques-chimiques contribuent à la réduction du potentiel toxique. L'étendue de celle-ci dépend fortement de la matière active utilisée dans la variante chimique. Pour les autres catégories environnementales, aucune conclusion générale ne peut être tirée.

■ S'agissant des cultures, des techniques et des matières actives étudiées, les méthodes mécaniques devraient être encouragées, notamment pour le maïs-grain et le colza d'automne.

## SUMMARY

### Life cycle assessment of weed control in field crops

An environmental life cycle assessment of mechanical and mechanical-chemical weed control methods was established for ware potatoes, grain maize, winter rape and winter wheat, and compared to that of chemical techniques. Given the assumptions defined, the following conclusions can be drawn:

■ The factors (fuel consumption, mechanisation, herbicide production, emissions, etc.) influencing the environmental impacts strongly differ according to the specific technique and crop. No general rule can be defined.

■ Mechanical and mechanical-chemical methods contribute to the reduction of the toxic potential. This reduction strongly depends on the active ingredient used in the chemical variant. For the other environmental categories, no general conclusion can be drawn.

■ For the crops, the techniques and the active ingredients considered, mechanical methods are to be promoted, in particular for grain maize and winter rape.

**KEY WORDS:** life cycle assessment, weed control, mechanical, mechanical-chemical and chemical techniques, potatoes, grain maize, winter rape, winter wheat