

Bewertung von herbizidresistenten Kulturpflanzen in Bezug auf das Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz – Auswertung eines 8-jährigen Dauerversuchs mit Glufosinat-resistentem Raps und Mais

B. HOMMEL^{1*}, J. STRASSEMAYER², B. PALLUTT¹

¹ Institut für integrierten Pflanzenschutz, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow, E-Mail: b.hommel@bba.de

² Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

* korrespondierender Autor

Zusammenfassung

Ergebnisse aus einem 8-jährigen Langzeitversuch mit Glufosinat-resistentem Winterraps und Mais wurden hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Reduktion von Intensität und ökotoxikologischem Risiko der chemischen Unkrautbekämpfung bewertet. Hierfür erfolgte die Berechnung der Behandlungsindizes (BI) und der SYNOPS-Risikopotenziale für das biologische Risiko. Der BI im herbizidresistenten Mais stieg gegenüber der konventionellen Variante kontinuierlich während der Versuchsjahre an (1,2 vs. 0,9). Der BI im herbizidresistenten Winterraps hingegen blieb von Beginn an unterhalb der konventionellen Vergleichsvariante (0,9 vs. 1,3). Beachtlich war in beiden herbizidresistenten Kulturen die Verringerung der SYNOPS-Risikopotenziale für die aquatischen Referenzorganismen. Insgesamt muss hervorgehoben werden, dass der Anbau herbizidresistenter Mais- und Winterrapsorten und die damit mögliche Anwendung von Glufosinat im frühen bis späten Nachauflauf die chemische Unkrautbekämpfung um eine Option erweitern würde, die mit wesentlichen Zielen des deutschen *Reduktionsprogrammes chemischer Pflanzenschutz* konform geht.

Stichwörter: Herbizidresistenz, Glufosinat, Mais, Winterraps, Behandlungsindex, Gewässerschutz

Summary

Assessment of herbicide resistant crops in reference to Germany's Reduction Program in Chemical Plant Protection – Analysis of an 8-year experiment with glufosinate resistant oilseed rape and maize

Results of a long-term experiment with glufosinate resistant oilseed-rape and maize were analysed regarding their importance for reduction of intensity and ecotoxicological risks of herbicide use. For this purpose, the treatment indices (BI) and SYNOPS risk potentials for biological risk were calculated. The BI in herbicide resistant maize increased in comparison with the conventional variant (1.2 vs. 0.9). In herbicide resistant oilseed rape, the BI was below the conventional variant right from the start (0.9 vs. 1.3). In both herbicide crops, SYNOPS risk potentials for aquatic organisms were reduced. In conclusion, herbicide resistant oilseed rape and maize in linkage with early or late post-emergence uses of glufosinate could be a future option that can meet main goals of Germany's *Reduction Program in Chemical Plant Protection*.

Keywords: Herbicide resistance, glufosinate, maize, oilseed rape, treatment index, water conservation

Einleitung

Beim Anbau von Mais und Winterraps in Deutschland verzichten nur etwa 1 bzw. 6 % der Betriebe auf die Anwendung von chemischen Herbiziden in der Unkrautbekämpfung (ROßBERG *et al.* 2002). Das bestätigt, dass nicht-chemische Verfahren der Unkrautbekämpfung in diesen Kulturen nur eine geringe Bedeutung haben. Daher sollten ökologische Verbesserungen in der Unkrautbekämpfung fast ausschließlich auf der Optimierung der vorhandenen Herbizidstrategien und Applikationstechniken sowie der Entwicklung neuer, aber Herbizide berücksichtigender Verfahren beruhen. Ob die Nutzung der Herbizidresistenz diesem Anspruch gerecht werden kann, wurde am Beispiel der Glufosinatresistenz bei Mais und Winterraps untersucht. Grundlage für die Bewertung sind die im *Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz* fixierten Ziele und Maßnahmen (BMVEL 2005).

Das *Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz* berücksichtigt die im europäischen Dokument *Hin zu einer thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung von Pestiziden* (KOM 2002) verankerten Ziele für die zukünftige Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln in der Europäischen Gemeinschaft. Hierzu zählen die „Minimierung der mit der Verwendung von Pestiziden verbundenen Gefahren und Risiken“ und die „Verringerung der Menge schädlicher Wirkstoffe, einschließlich durch Substitution der gefährlichsten Wirkstoffe durch unbedenklichere“.

Glyphosat- und Glufosinat-resistente Sorten, die mit gentechnischen Methoden entwickelt wurden, stehen für die großen Kulturen Soja, Baumwolle, Mais und Raps zur Verfügung. Seit dem Beginn der Kommerzialisierung im Jahr 1996 stieg der Anbau solcher Sorten bis heute stark an (JAMES 2004). Im Jahr 2004 betrug der weltweite Anbau herbizidresistenter Kulturen 58,6 Mio. ha, davon allein 48,4 Mio. ha Soja, 4,3 Mio. ha Raps und etwa 6 Mio. ha Mais und Baumwolle. In der Europäischen Gemeinschaft findet bisher kein kommerzieller Anbau von herbizidresistenten Kulturpflanzen statt.

Material und Methoden

Der Langzeitversuch wurde auf dem Versuchsfeld der Biologischen Bundesanstalt in Dahnendorf (Land Brandenburg, Landkreis Potsdam-Mittelmark) mit der Rapsaussaat 1996 begonnen und nach 2 Fruchtfolgerotationen mit der Maisernte 2004 beendet (Abb. 1). Die Glufosinat-resistenten Sorten für Mais und Winterraps gingen auf die Konstrukte T25 bzw. GS40/90 zurück und standen in einer randomisierten Blockanlage mit 4 Wiederholungen (360 m² pro Block). Die Fruchtfolge umfasste Winterraps, Winterroggen, Mais und Winterweizen. Im Mais und Raps wurden drei Herbizidstrategien geprüft: Variante 1 (V_1) mit standortüblicher Herbizidanwendung, Variante 2 (V_2) mit „sicherer“ Glufosinatanwendung (früher Termin, niedrige Aufwandmenge und zwei Anwendungen) und Variante 3 (V_3) mit „riskanter“ Glufosinatanwendung (später Termin, hohe Aufwandmenge und eine Anwendung). Für die Unkrautbekämpfung im Winterweizen und Winterroggen wurden keine speziellen Varianten angelegt. Im Winterroggen wurde in 7 von 8 Jahren überhaupt auf die Anwendung von Herbiziden verzichtet. Weitere Informationen zum Standort und den Herbizidstrategien wurden bereits von PALLUTT und HOMMEL (1998) und HOMMEL und PALLUTT (2000) in dieser Zeitschrift publiziert.

Der Behandlungsindex (BI) berechnet sich aus der verwendeten Aufwandmenge des Herbizids geteilt durch die zugelassene Aufwandmenge (ROßBERG *et al.* 2002). Eine ebenfalls im BI zu berücksichtigende Teilflächenbehandlung erübrigte sich aufgrund der geringen Größe der Teilflächen (120 m²). Da bisher für Winterraps noch keine Zulassung für Glufosinat besteht, wurde ein Wert von 4 l/ha LIBERTY (Glufosinat) angesetzt. Für Mais wurde die im Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 1 2002 (BBA 2002) für LIBERTY ausgewiesene Zulassung von 4,5 l/ha berücksichtigt.

Für die Bewertung der Risikopotenziale der Herbizidstrategien wurde das Modell SYNOPSIS angewandt (GUTSCHE und ROßBERG 1997). Die Berechnung des akuten und chronischen Risikos berücksichtigte die Referenzorganismen Regenwürmer für den Boden sowie Fische, Daphnien und Algen für das Gewässer. Die aquatischen Risikopotenziale wurden für ein Standardgewässer (1 m breiter und 0,3 m tiefer Graben) mit einem Abstand von 1 m zum Feld berechnet. Für die Abschätzung der Risikopotenziale wurden die in der Zulassung enthaltenen Abstandsauflagen nicht berücksichtigt. Während sich das akute Risiko über die Kurzzeitkonzentration des Wirkstoffes und der LC₅₀ definiert, wird beim chronischen Risiko das Verhältnis

von Langzeitkonzentration zur NOEC – die Konzentration, ab der keine Wirkungen mehr beobachtet werden – bestimmt.

Die varianzanalytische (ANOVA) und weitere statistische Auswertungen der Ergebnisse erfolgten unter SigmaStat Windows Version 3.10 (Systat Software, Inc.).

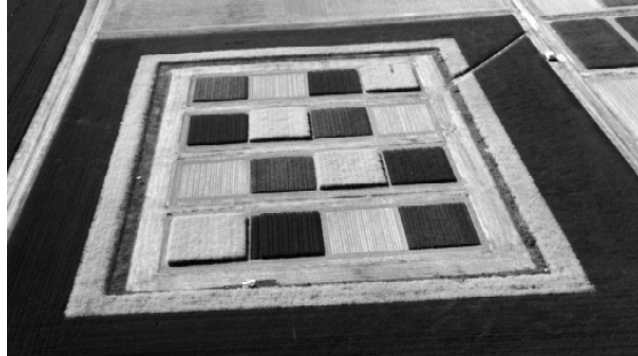


Abb. 1: Langzeitversuch in Dahnsdorf: Randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen und einer Rapsmantelsaat zum Abfangen des transgenen Pollens (Foto: BBA/Baier, 05/2001).

Fig. 1: Long-term experiment in Dahnsdorf: Randomized block design with 4 replicates and a border of non-transgenic oilseed rape to absorb transgenic pollen (Photo: BBA/Baier, 05/2001).

Ergebnisse

Die unterschiedlichen Herbizidstrategien im Raps und Mais hatten keine signifikanten Effekte auf die Erträge (Tab. 1). Auch wurden keine späteren Effekte auf die Erträge der Nachfrüchte gefunden. Die oft hohen jährlichen Ertragsunterschiede manifestieren sich in der Standardabweichung (SD). So lag der Maisertrag (Sorte Chardon LL) im Trockenjahr 2003 um etwa die Hälfte unterhalb des Jahres 2002 mit dem höchsten Ertrag (452 dt/ha). Ebenso bei Winterraps, wo 2004 fast ein Drittel mehr geerntet wurde als im Jahr zuvor. Ähnlich waren die Beobachtungen beim Weizen und Roggen.

Die Unterschiede in der Futterqualität von Grünmais zwischen den 3 Varianten waren für eine statistische Sicherung zu gering (Tab. 2). Auffällig war allerdings, dass bei 3 von 4 Parametern die niedrigsten Mittelwerte und die höchsten Standardabweichungen in den Varianten mit Glufosinat-anwendung auftraten. Das dürften Hinweise dafür sein, dass eine von der Witterung abhängige Neuverunkrautung, insbesondere mit *Chenopodium album*, die Heterogenität der Maisbestände und die Reinheit des Erntegutes beeinflusst haben. Gerade deshalb, weil im Vergleich dazu der konventionelle Maisbestand stets einen sehr niedrigen Unkrautdeckungsgrad aufwies. Die gemessenen Nitrat-Gehalte blieben in allen Varianten unter 700 mg/kg Trockensubstanz. Der Trockensubstanzgehalt, das Rohprotein und die Energiekonzentration (ME und NEL) für Grünmais sind in allen Varianten als gut einzuschätzen.

Die Nutzung von herbizidresistentem Raps und Mais reduzierte erwartungsgemäß die Anzahl der in der jeweiligen Kultur angewandten Herbizide (Tab. 3). Im herbizidresistenten Raps musste in keinem Jahr das Komplementärherbizid durch andere Wirkstoffe ergänzt werden. Im Mais hingegen erforderte der Glufosinat-resistente Durchwuchsrap während der 2. Fruchtfolgerotation in 2 von 4 Jahren eine zusätzliche Behandlung mit einem weiteren Herbizid (Nicosulfuron bzw. Rimsulfuron).

Der über zwei Fruchtfolgerotationen gemittelte Behandlungsindex (BI) erhöhte sich mit der Versuchsdauer in der herbizidresistenten Maisvariante gegenüber der konventionellen Variante um 0,3 (Tab. 3). Eine separate Betrachtung der jährlichen Indizes im Mais lässt erkennen, dass dieser Anstieg insbesondere mit Beginn der zweiten Rotation einsetzte. In der herbizidresistenten Rapsvariante konnte hingegen der BI als Folge der breiten Wirkung von Glufosinat von Beginn an verringert werden, weil insbesondere eine separate Behandlung von Getreidedurchwuchs nicht notwendig war. Eine statistische Sicherung der Differenzen (t-Test) im BI wurde knapp verfehlt ($P_{\text{Raps}} = 0,074$ bzw. $P_{\text{Mais}} = 0,051$).

Beachtlich war die Reduktion der Wirkstoffmengen (a.i. in g/ha): Im herbizidresistenten Mais wurden im Mittel der 8 Jahre 850 g/ha gegenüber 1900 g/ha in der konventionellen Variante und im herbizid-

resistenten Raps 618 g/ha gegenüber 894 g/ha im konventionellen Raps ausgebracht. Hinsichtlich des Termins für die 1. Anwendung unterschieden sich die Maisvarianten wenig. Beim herbizidresistenten Raps lag dieser Termin etwa 28 Tage nach der Aussaat gegenüber 14 Tagen im konventionellen Raps.

Tab. 1: Mittlere Erträge (\pm Standardabweichung) unter Berücksichtigung gleicher Sorten auf den Teilstücken ohne (V_1) und mit Glufosinatanwendung (V_2, V_3).

Tab. 1: Mean yields (\pm standard deviation) with considering same cultivars on plots without (V-1) and with use of glufosinate (V_2, V_3).

| Kultur | Ertrag V_1 [dt/ha] | | Ertrag V_2 [dt/ha] | | Ertrag V_3 [dt/ha] | |
|---------------------|--------------------|-------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | MW | SD | MW | SD | MW | SD |
| Raps ¹ | 30,2 | 5,54 | 30,7 | 6,39 | 31,2 | 5,87 |
| Raps ² | 27,4 | 8,36 | 26,8 | 6,56 | 25,9 | 7,54 |
| Roggen ³ | 90,4 | 15,59 | 87,43 | 11,77 | 87,7 | 11,03 |
| Roggen ⁴ | 82,8 | 13,17 | 82,1 | 13,79 | 83,2 | 12,89 |
| Mais ⁵ | 424,6 | 64,94 | 408,1 | 102,76 | 449,2 | 73,25 |
| Mais ⁶ | 357,1 | 81,36 | 325,9 | 109,95 | 345,9 | 121,60 |
| Weizen ⁷ | 64,0 | 16,89 | 64,3 | 18,10 | 65,2 | 16,89 |

¹ Sorte Falcon in V_1, transgene Linie Falcon GS40/90 GAC in V_2 und V_3 (1996/97-1998/99); ² Sorten Artus und Avalon in V_1 bzw. V_2 und V_3 (1999/00-2003/04); ³ Sorten Marder (1996/97) und Esprit (1997/98); ⁴ Sorte Avanti (1998/99-2003/2004); ⁵ Sorte Anjou 285 LL (1997-2000); ⁶ Sorte Chardon LL (2001 - 2004); ⁷ Sorte Pegassos

Tab. 2: Mittlerer Futterwert (\pm Standardabweichung) für Rind von Grünmais der Sorte Chardon LL bei konventioneller Herbizidstrategie (V_1) und bei zwei Strategien mit Glufosinatanwendung (V_2, V_3).

Tab. 2: Mean feed value (\pm standard deviation) for cattle of green maize of the cultivar Chardon LL under conventional herbicide use (V_1) and two variants with use of glufosinate (V_2, V_3).

| Variante | TS [%] | | Rohprotein [g/kg TS] | | ME [MJ/kg TS] | | NEL [MJ/kg TS] | |
|----------|--------|------|----------------------|------|---------------|------|----------------|------|
| | MW | SD | MW | SD | MW | SD | MW | SD |
| V_1 | 31,8 | 2,74 | 79,2 | 1,03 | 11,1 | 0,52 | 6,7 | 0,35 |
| V_2 | 32,2 | 3,10 | 78,3 | 6,68 | 10,7 | 0,70 | 6,5 | 0,49 |
| V_3 | 31,8 | 2,54 | 76,9 | 6,04 | 10,8 | 0,68 | 6,5 | 0,47 |

Die Abschätzung der ökotoxikologischen Risikopotenziale der jeweiligen Herbizidstrategien im Mais und Winterraps erfolgten mit dem Modell SYNOPS ohne Berücksichtigung der Gewässerabstandsauflagen (Tab. 4). Im Mais reduzierte die Anwendung von Glufosinat im Vergleich zur konventionellen Strategie das akute und das chronische Risiko in 16 von 18 Fällen um weit über 95 %. Im herbizidresistenten Winterraps führte im Vergleich zur konventionellen Herbizidstrategie die Anwendung von Glufosinat ebenfalls zu einer wesentlichen Reduzierung der unter SYNOPS berücksichtigten Risiken. Die insgesamt niedrigen Werte für den terrestrischen Referenzorganismus sind damit zu erklären, dass alle berücksichtigten Wirkstoffe über keine nennenswerte Toxizität für Regenwürmer verfügen.

Tab. 3: Pflanzenschutzrelevante Parameter (Mittelwert von 1996 bis 2004; \pm Standardabweichung) in der konventionellen Variante (KON) und der im jeweiligen Jahr intensivsten herbizidresistenten Variante (HR).

Tab. 3: *Plant protection related parameters (mean over 1996 to 2004; \pm standard deviation) in the conventional variant (KON) and in the most intensive herbicide resistant variant (HR).*

| Kultur | Variante | Anzahl der Wirkstoffe | | Anzahl der Mittel | | Behandlungsindex (BI) | |
|--------|----------|-----------------------|------|-------------------|------|-----------------------|------|
| | | MW | SD | MW | SD | MW | SD |
| Mais | KON | 2,4 | 0,52 | 1,4 | 0,52 | 0,9 | 0,16 |
| | HR | 1,3 | 0,46 | 1,3 | 0,46 | 1,2 | 0,33 |
| Raps | KON | 2,1 | 1,36 | 1,6 | 0,74 | 1,3 | 0,48 |
| | HR | 1,0 | 0,00 | 1,0 | 0,00 | 0,9 | 0,23 |

Tab. 4: Reduktion der SYNOPSIS-Risikopotenziale (Mittelwert von 1996 bis 2004) in den Varianten 2 und 3 bei Mais und Raps bezogen auf die konventionelle Herbizidstrategie in Variante 1.

Tab. 4: *Reduction of SYNOPSIS risk potentials (mean over 1996 to 2004) in variants 2 and 3 of maize and oilseed rape in relating to the parameters of the respective herbicide strategy in variant 1.*

| Kultur | Variante | akutes Risiko [%] | | | | chronisches Risiko [%] | | | |
|--------|----------|-------------------|---------|-------|-------|------------------------|---------|-------|-------|
| | | Regenwurm | Daphnia | Fisch | Alge | Regenwurm | Daphnia | Fisch | Alge |
| Mais | V_2 | 74,74 | 97,50 | 99,55 | 99,99 | 97,23 | 99,12 | 99,82 | 99,99 |
| | V_3 | 73,60 | 96,98 | 99,45 | 99,99 | 96,96 | 98,90 | 99,77 | 99,99 |
| Raps | V_2 | 0 | 96,43 | 98,39 | 99,98 | 72,72 | 96,53 | 98,60 | 99,97 |
| | V_3 | 35,57 | 97,31 | 98,78 | 99,98 | 87,00 | 98,14 | 99,25 | 99,99 |

Diskussion

Signifikante Steigerungen im Ertrag sind durch den Anbau von herbizidresistenten Winterraps- und Maissorten in Verbindung mit der Anwendung von Glufosinat oder Glyphosat in Deutschland nicht zu erwarten, da viele der verfügbaren Herbizidstrategien bereits sehr effizient sind. Der nachhaltigste Vorteil ist eine Reduktion der Kosten für die Unkrautbekämpfung (BROOKES und BARFOOT 2005).

Sowohl bei Mais als auch bei Raps wurden in den herbizidresistenten Varianten durch die Anwendung von Glufosinat die Anzahl der Wirkstoffe, die Anzahl der Mittel und die Wirkstoffmenge pro Hektar im 8-jährigen Mittel reduziert. Diese Effekte waren im Mais stärker ausgeprägt als im Winterraps. Die 3-jährigen Ergebnisse der *Farm Scale Evaluation* (FSE) in Großbritannien zeigen analoge Entwicklungen (CHAMPION *et al.* 2003). In der konventionellen FSE-Maisvariante mit der Dominanz von Atrazin lagen Wirkstoffanzahl und Wirkstoffmenge pro ha deutlich über den Werten in der Variante mit Glufosinat (2,2 vs. 1,3 bzw. 1684 g/ha vs. 965 g/ha). Bei Sommerraps blieben hingegen die Reduktionseffekte durch Glufosinatanwendung marginal (2,2 vs. 1,7 bzw. 1376 g/ha vs. 1334 g/ha). Während die Änderung der Behandlungshäufigkeit in der FSE weniger deutlich ausfiel als im eigenen Versuch, so ergaben sich beim Termin für die 1. Behandlung höhere Zeitspannen. In den konventionellen Mais- und Rapsvarianten der FSE lag die 1. Behandlung bereits 1 Woche nach der Aussaat, aber die Anwendung von Glufosinat in Mais und Sommerraps erfolgten erst 36-42 bzw. 43-49 Tage nach der Aussaat.

Erhebungen zu den Einspareffekten beim kommerziellen Anbau von herbizidresistenten Kulturen in den USA demonstrieren, dass sowohl die Wirkstoffmenge pro ha als auch die Kosten für die Unkrautbekämpfung deutlich reduziert wurden (SANKULA und BLUMENTHAL 2004, BROOKES und BARFOOT 2005). Nach SANKULA und BLUMENTHAL (2004) lag bei Glufosinat-resistentem Raps (Canola) die Wirkstoffmenge im wichtigsten Anbaugbiet Nord-Dakota für 2003 bei 368 g/ha (Glufosinat + Quizalofop) und war damit 2,8-mal niedriger als bei konventionellem Raps (Ethafluralin + Quizalofop + Clopyralid). Der geldwerte Vorteil der Herbizidresistenz bei Raps erreichte in diesem Fall etwa 19 Dollar pro ha. Beim Anbau von Glyphosat-resistentem Raps waren zwar die Aufwandmengen fast identisch (919 g/ha vs. 1020 g/ha), aber die Kosten blieben um etwa 28 Dollar pro ha niedriger. Für Glyphosat-resistenten Mais berechneten SANKULA und BLUMENTHAL (2004) eine Reduzierung der Herbizidmenge auf 65 % der Menge in der konventionellen Anwendung und einen geldwerten Vorteil von etwa 20 Dollar pro ha. BENBROOK (2003) schlussfolgert im Gegensatz dazu in seiner mehrjährigen Analyse zum Anbau von Glyphosat-resistentem Mais in den USA, dass sich die Differenz in den Wirkstoffmengen pro ha zwischen herbizidresistenten und konventionellen Sorten seit 1996 stetig verringert hat und sich seit 2002 diese Entwicklung zu ungunsten der Herbizidresistenz umkehrt. Ein notwendiger Bezug der quantitativen Entwicklungen der Herbizidanwendungen zu den zugelassenen Höchstmengen in den USA (z.B. über den Behandlungsindex) wird ebenso in den oben genannten USA-Studien vermisst wie qualitative Kennziffern zur Umweltverträglichkeit der verglichenen Herbizide. Eine Ausnahme ist die Studie von BROOKES und BARFOOT (2005), die über den *Environmental Impact Quotient* (EIQ) die Vorteilswirkung von Herbizidresistenzsystemen gegenüber den konventionellen Vergleichssystemen demonstrieren.

Die für Mais und Winterraps von ROBBERG *et al.* (2002) in der NEPTUN-Studie angegebenen Behandlungsindizes für Herbizide im Jahr 2000 liegen für ganz Deutschland (34 Boden-Klima-Regionen) bei 1,22 bzw. 1,18. Bezogen auf die Boden-Klima-Region „Westbrandenburger Ebenen“, zu der die Versuchsflächen in Dahnsdorf gehören, verringern sich diese Werte auf 1,04 bzw. 1,15. Damit liegen die 8-jährigen Mittelwerte des eigenen Versuchs in den konventionellen Varianten mit 0,9 bzw. 1,3 auf vergleichbarem Niveau. In den herbizidresistenten Varianten mit der Anwendung von Glufosinat kam es bei Mais zur Erhöhung des BI um 0,3 und bei Winterraps zur Verringerung um 0,4. Wesentliche Ursachen für die Erhöhung des BI im Mais waren eine oft notwendige zweite Glufosinatanwendung aufgrund der fehlenden residualen Wirkung von Glufosinat und die in der 2. Rotation zusätzliche Anwendung eines selektiven Herbizids zur Bekämpfung von Glufosinat-resistentem Durchwuchsraps in 2 von 4 Jahren. Auffällig war, dass der Anstieg des BI hauptsächlich auf die Anwendungen in der zweiten Fruchtfolgerotation von 2001 bis 2004 basierte. Gründe dafür waren die größeren eigenen Erfahrungen beim Handling des Systems und die gegenüber der ersten Rotation veränderte Unkrautartendiversität und -dichte. *Chenopodium album* und *Polygonum*-Arten traten in den Varianten mit Glufosinatanwendung ab 2001 häufiger auf (HOMMEL und PALLUTT 2002, 2003). Das Problem von herbizidresistentem Durchwuchsraps im ebenfalls herbizidresistenten Mais wurde von HOMMEL und PALLUTT (2004) ausführlich beschrieben und festgestellt, dass im Sinne der guten fachlichen Praxis in Fruchtfolgen mit herbizidresistentem Raps keine weitere Kultur mit der selben Herbizidresistenz angebaut werden sollte.

Die Verringerung des BI bei Raps unter 1,0 ist beachtlich, da in der NEPTUN-Analyse von ROBBERG *et al.* (2002) nur in 7 von 34 Boden-Klima-Regionen der BI kleiner als 1 war. Wesentlich für die Reduktion war der Verzicht auf eine 2. Applikation gegen Getreidedurchwuchs, da Glufosinat eine breitere Wirkung hat und etwas später eingesetzt werden konnte als die Herbizide in der konventionellen Variante.

Die ökotoxikologischen Vorteilswirkungen bei der Anwendung von Glufosinat gegenüber den Herbiziden in den konventionellen Mais- und Winterrapsvarianten wurden bereits von HOMMEL und PALLUTT (2000) diskutiert. Die meisten Wirkstoffe in den konventionellen Mais- und Winterrapsvarianten werden im Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 1 2005 (BVL 2005) für die aquatischen Referenzorganismen als giftig ausgewiesen (NW261, 262, 263 und 264). Glufosinat ist als giftig für Fische (NW261) eingestuft worden. DORN *et al.* (1992) weisen allerdings auf eine sehr geringe Toxizität für Fische hin, was sich auch in den SYNOPSIS-Werten manifestiert. Alle angewandten Wirkstoffe werden als nicht toxisch für Regenwürmer ausgewiesen (ARMAN *et al.* 2002) und damit ist ihr Vergleich untereinander ohne Bedeutung. Die häufig im konventionellen Mais- und Rapsanbau angewandten Wirkstoffe

S-Metolachlor und Terbutylazin bzw. Metazachlor und Quinmerac verfügen über ein hohes Potential für Abschwemmung und Auswaschung (ARMAN *et al.* 2002). Im Gegensatz dazu werden der im Raps gegen Durchwuchsgetreide angewandte Wirkstoff Fluazifop-P, die im Mais gegen herbizidresistenten Durchwuchsrapss eingesetzten Wirkstoffe Rimsulfuron und Nicosulfuron sowie Glufosinat mit einem niedrigen Gefährdungspotenzial für Abschwemmung und Auswaschung eingestuft. Um Schäden durch Herbizide vom Naturhaushalt abzuwenden, erfolgt die Zulassung fast aller o.g. Wirkstoffe in Abhängigkeit ihrer Risikopotenziale mit Abstandsauflagen (BVL 2005). Glufosinat hat im Ackerbau hierbei moderatere Auflagen als andere. Die ökotoxikologische Vorteilswirkungen von Glufosinat und Glyphosat wurden für die USA von FERNANDEZ-CORNEJO und MCBRIDE (2002) heraus gestellt, da im konventionellen Maisanbau eher kritische Wirkstoffe wie Atrazin, S-Metolachlor und Acetochlor dominieren und ihre Anwendung durch die Ausweitung des Anbaus von herbizidresistentem Mais eingeschränkt werden kann. Die Vorteilhaftigkeit von Glufosinat und Glyphosat liegt aber nicht allein an den Eigenschaften der Mittel selbst und ihrer fehlenden Residualwirkung, sondern auch im breiteren Anwendungszeitraum im Vergleich zu den im Mais und Raps dominierenden Herbiziden.

Aus ökologischer Sicht ist der Neuaufbau im Mais nach der letzten Glufosinatanwendung als Folge der fehlenden Bodenwirkung des Herbizids positiv zu bewerten. Auch in anderen langjährigen Studien mit Glyphosat- und Glufosinat-resistenten Kulturen wurde die „Neuverunkrautung“ als Beitrag zur Verbesserung der Biodiversität betont (PERRY *et al.* 2004, PURICELLI und TUESCA 2005).

Die Bewertung der Glufosinat- und Glyphosatresistenz bei Kulturpflanzen für die Ziele des *Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz* sollte berücksichtigen, dass eine Verringerung des Behandlungsindex langfristig nicht generell bei allen Kulturen möglich ist, insbesondere weil aufgrund der fehlenden Residualwirkung oft zwei Anwendungen notwendig sind. Eine Verringerung der Herbizidmenge pro Hektar ist bezogen auf die im Mais- und Rapsanbau in Deutschland dominierenden Wirkstoffe S-Metolachlor und Terbutylazin bzw. Metazachlor und Quinmerac möglich. Anzustreben wäre generell, die Behandlungsfläche mit diesen Wirkstoffen durch weniger schädliche Herbizide zu verringern. Von erheblicher Bedeutung für die Ziele des Reduktionsprogramms stellen sich daher sowohl die geringe Toxizität von Glufosinat und Glyphosat für aquatische Organismen und die schnelle Abbaubarkeit als auch das geringe Potential für Abschwemmung und Auswaschung dar. Diese Vorteile des Verfahrens könnten aber langfristig geringer werden, da SCHULTE (2005) darauf hinweist, dass bei der Weiterentwicklung der Herbizidresistenzverfahren stärker auf Kombinationspräparate gesetzt werden wird, um die sich auftuenden Bekämpfungslücken zu schließen. Das im Zentrum des Reduktionsprogramms stehende *notwendige Maß der Pflanzenschutzmittelanwendung* ließe sich in herbizidresistenten Kulturen aufgrund des weiten Anwendungszeitraums und der breiten Mittelwirkung sowie der damit besseren Nutzung von Schadensschwellen in vielen Fällen vorteilhafter umsetzen.

Nicht zu unterschätzen ist der Einfluss der Herbizidresistenz bei Mais, Raps und auch Zuckerrüben auf die Optimierung und den weiteren Ausbau der konservierenden Bodenbearbeitung in Deutschland. Es müssen daher weitergehende Indikatoren als ausschließlich pflanzenschutzrelevante Parameter und Risikokennziffern in die Bewertung der Herbizidresistenz aufgenommen werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Frau Anne Metke und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Versuchsfeldes der Biologischen Bundesanstalt in Dahnendorf für den großen Einsatz bei der Durchführung des Versuchs sowie bei den Saatgutfirmen für die Überlassung des transgenen Saatgutes.

Literatur

- ARMAN, B., N. BILLEN, G. HÄRING, S. SPRENGER: Vorbeugen ist besser als Spritzen. Projektgruppe Kulturlandschaft Hohenlohe, Arbeitsgruppe Ressourcenschonende Ackernutzung, Universität Hohenheim, 2002 (www.uni-hohenheim.de/kulaholo).
- BBA: Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 1 2002. 50. Auflage, Saphir Verlag, Ribbesbüttel, 2002.

- BENBROOK, C.M.: Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use in the United States: The First Eight Years. BioTech InfoNet, Technical Paper Nr. 6, 2003 (www.biotech-info.net).
- BMVEL: Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz. Nachhaltige Landwirtschaft – Vorsorgender Verbraucherschutz – Schutz des Naturhaushaltes. 58 S., Berlin, 2005 (www.bba.de).
- BROOKES, G., P. BARFOOT: GM crops: the global socio-economic and environmental impact – the first nine years 1996-2004. PG Economics Ltd, UK, 2005 (www.pgeconomics.co.uk).
- BVL: Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 1 2005. 53. Auflage, Saphir Verlag, Ribbesbüttel, 2005.
- CHAMPION G.T., M.J. MAY, S. BENNETT, D.R. BROOKS, S.J. CLARK, R.E. DANIELS, L.G. FIRBANK, A.J. HAUGHTON, C. HAWES, M.S. HEARD, J.N. PERRY, Z. RANDLE, M.J. ROSSALL, P. ROTHERY, M.P. SKELLERN, R.J. SCOTT, G.R. SQUIRE, M.R. THOMAS: Crop management and agronomic context of the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **358**, 1801-1818, 2003 (www.pubs.royalsoc.ac.uk/philtransb.shtml).
- DORN, E., G. GÖRLITZ, R. HEUSEL, K. STUMPF: Verhalten von Glufosinat-ammonium in der Umwelt – Abbau im und Einfluss auf das Ökosystem. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XIII, 459-468, 1992.
- FERNANDEZ-CORNEJO, J., W.D. MCBRIDE: Adoption of Bioengineered Crops. Agricultural Economic Report Nr. AER810, 67 S., Washington, 2002 (www.ers.usda.gov/publications/aer810/aer810.pdf).
- GUTSCHE, V., D. ROßBERG: Die Anwendung des Modells SYNOPSIS 1.2 zur synoptischen Bewertung des Risikopotentials von Pflanzenschutzmittelwirkstoffgruppen für den Naturhaushalt. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **49**, 273-285, 1997.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT: Bewertung von Glufosinat-resistentem Durchwuchsrapr im Rahmen der Fruchtfolge. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XIX, 887-894, 2004.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT: Evaluation of transgenic herbicide-resistant oilseed rape and maize with respect to integrated pest management strategies. In: *Proceedings of the BCPC International Congress – Crop Science & Technology 2003*. 10.11.-12.11.2003, Glasgow, **2**, 1087-1092, 2003.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT: Bewertung der Glufosinatresistenz bei Raps und Mais aus Sicht des integrierten Pflanzenschutzes – Ergebnisse eines 1996 begonnenen Langzeitversuchs unter besonderer Berücksichtigung von Veränderungen in der Ackerbegleitflora. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVIII, 985-994, 2002.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT: Bewertung der Herbizidresistenz für den integrierten Pflanzenschutz im System einer 4-feldrigen Fruchtfolge mit Glufosinat-resistentem Raps und Mais. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVII, 411-420, 2000.
- JAMES, C.: Preview: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2004. ISAAA Briefs No. 32. ISAAA: Ithaca, NY, 2004 (www.isaaa.org).
- KOM: Hin zu einer thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung von Pestiziden. *Mitteilungen der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Wirtschafts- und Sozialausschuss vom 1.7.2002*, Nr. 349, 2002 (www.europa.eu.int/index_de.htm).
- PALLUTT, B., B. HOMMEL: Konzept und erste Ergebnisse zur Bewertung von Glufosinat-tolerantem Raps und Mais im Rahmen einer 4-feldrigen Fruchtfolge. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVI, 427-433, 1998.
- PERRY, J.N., L.G. FIRBANK, G.T. CHAMPION, S.J. CLARK, M.S. HEARD, M.J. MAY, C. HAWES, G.R. SQUIRE, P. ROTHERY, I.P. WOLWOOD, F.D. PIDGEON: Ban on triazine herbicides likely to reduce but not negate relative benefits of GMHT maize cropping. *Nature* **428**, 313-316, 2004.
- PURICELLI, E., D. TUESCA: Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences. *Crop Protection* **24**, 533-542, 2005.
- ROßBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN, M. WICK: NEPTUN 2000 – Erhebungen von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, Heft 98, 2002.
- SANKULA, S., E. BLUMENTHAL: Impacts on US Agriculture of Biotechnology-Derived Crops Planted in 2003 - An Update of Eleven Case Studies. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington, 2004 (www.ncfap.org).
- SCHULTE, M.: Transgene herbizidresistente Kulturen. *Gesunde Pflanzen* **57**, 37-46, 2005.