

# 1 Einleitung

## 1.1 Überblick

Die Übertragung isolierter Gene mit Hilfe der Gentechnik in eine Empfängerpflanze auch über Artgrenzen hinweg und der Anbau solcher transgener Pflanzen wird kontrovers diskutiert. Die Befürworter der „grünen“ Gentechnik versprechen sich eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion, eine qualitative Verbesserung der Feldfrüchte, eine Erhöhung der Resistenz gegen Schadorganismen, eine Verringerung der Herbizidaufwandmengen und eine geringere Umweltbelastung durch den Einsatz ökologisch weniger bedenklicher Herbizide. Die Risiken der genetisch veränderten Organismen (GVO) werden vor allem in unerwarteten Sekundäreffekten gesehen, denn die eingeschleusten DNA-Fragmente können die Ausbildung mehrerer Merkmale steuern oder beeinflussen (Pleiotropie). Dies könnte auch zu einer besseren geschlechtlichen Kompatibilität mit verwandten Wildpflanzen führen. Risiken bestehen darüber hinaus in der Übertragung und Etablierung der Transgene in verwandte Arten (vertikaler Gentransfer) oder in Bakterien (horizontaler Gentransfer) (BRANDT 1995, WÖHRMANN et al. 1999, SCHÜTTE et al. 2001).

Vor der Freisetzung und des Inverkehrbringens transgener Pflanzen ist deren Umweltverträglichkeit zu prüfen (Richtlinie 2001/18/EG). Eine Risikoabschätzung soll dazu beitragen, mögliche schädliche Wirkungen von GVO auf die menschliche Gesundheit und auf die Umwelt zu minimieren (vgl. DAELE et al. 1996, SCHIEMANN 2000). Eine Zulassung zur Freisetzung von GVO wird nach 2001/18/EG nur dann erteilt, wenn weder direkte, noch indirekte schädliche Auswirkungen zu erwarten sind. Da Langzeitwirkungen und auch indirekte Wirkungen aber weitgehend unbekannt sind, können Fernfolgen, die aus der Freisetzung und aus dem Inverkehrbringen von GVO resultieren, heute kaum abgeschätzt werden. Weltweit sind derzeit weniger als 1 % der Freisetzungen mit ökologischer Begleitforschung verbunden (s. SCHÜTTE et al. 2001). Daraus leitet sich die Forderung nach einer stärkeren Einbindung von ökologischer Begleitforschung in Freisetzungen ab.

In Europa sind 14 GVO mit Auflagen zum Inverkehrbringen zugelassen (SCHÜTTE et al. 2001), darunter auch männlich steriler Raps mit gentechnisch induzierter Herbizidresistenz als Marker<sup>1</sup>. Bisher erfolgten jedoch keine Sortenzulassungen, so dass transgene Pflanzen für den uneingeschränkten Anbau in Deutschland und Europa nicht zur Verfügung stehen. Vorteile des herbizidresistenten Rapses werden in der besseren Umweltverträglichkeit und in der Möglichkeit einer verringerten Herbizidausbringung durch die gezielte Unkrautbekämpfung nach Schadensschwellen gesehen (PETERSEN & HURLE 1998, METZ et al. 1998). Als weiterer Vorteil wird ein bodenschonender Anbau genannt, da nach der Aussaat des Rapses zunächst auf eine Herbizidanwendung verzichtet wird und Wildkräuter als Erosionshemmer auflaufen können. Nach PALLUTT & HOMMEL (1998a) sind diesen Vorteilen allerdings Grenzen gesetzt.

Das breite Wirkungsspektrum von Totalherbiziden (Glufosinat, Glyphosat) wird wie jede andere ackerbauliche Maßnahme zu einer Veränderung in der Artenzusammensetzung in der Raps-Begleitflora führen. Aufgrund der fehlenden Persistenz des Kontaktherbizids im Boden können bei transgenem Rapsanbau auch bestimmte Ackerunkräuter im Bestand zunehmen (vgl. PETERSEN & HURLE 1998, HOMMEL & PALLUTT 2002).

Im Gegensatz zu transgenen Nutzpflanzen wie Mais, Tomate, Kartoffel oder Tabak, bei denen das Risiko einer interspezifischen Auskreuzung aufgrund des Fehlens geeigneter Kreuzungspartner in Europa in der Regel gering ist, ist der Raps mit einigen verwandten Wildpflanzen kreuzbar und dadurch das Risiko einer Auskreuzung des Transgens gegeben (CRAWLEY et al. 1993, BARBER 1999, SCHÜTTE et al. 2001). Die veränderten Genotypen, die aus der Übertragung neuer Gensequenzen in verwandte Arten resultieren, können nicht vorhersehbare ökologische oder ökonomische Probleme mit sich bringen (vgl. WÖHRMANN et al. 1999). Ein Risiko wird beispielsweise in der Entstehung ökologisch bedenklicher

---

<sup>1</sup> Die Begriffe Herbizidresistenz und Herbizidtoleranz werden in der Literatur häufig synonym verwendet. In der vorliegenden Arbeit wird der Ausdruck Herbizidresistenz bevorzugt, da sich in den Zellen der transgenen Pflanze mit der enzymatischen Veränderung des Herbizidwirkstoffs Glufosinat ein aktiver Prozess abspielt.

Phänotypen („Super-Unkräuter“) gesehen, die zur Verdrängung bzw. Ausrottung heimischer Pflanzenarten beitragen (SUKOPP & SUKOPP 1993, KLING 1996).

Die Kreuzung zwischen transgenem Raps und verwandten Arten führt in der Regel zu Nachkommen mit verminderter Fitness. Durch den wiederholten Migrationsprozess von Genen aus Populationen der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in benachbarte Wildkrautpopulationen kann sich jedoch ein Migrations-Selektions-Gleichgewicht aufbauen, wobei das Resistenzgen in geringer Häufigkeit in der Wildkrautpopulation verbleibt. Bei veränderten Umweltbedingungen kann sich das Transgen dann im Genotyp stark ausbreiten und den Trägern einen Selektionsvorteil bringen (vgl. DALE 1994, TOMIUK et al. 1996). Das Transgen kann auch von einer Hybridpopulation auf nicht-transgene Kulturpflanzen transferiert werden und sich dort etablieren (GLIDDON 1994).

Auch Samenverluste bei der Ernte und beim Transport von transgenem Raps sind wichtige Faktoren für einen ungewollten Gentransfer. Die Samen können in nachfolgenden Feldkulturen als Ausfall- oder Durchwuchsraps Probleme bereiten. Im Rapsdurchwuchs wurde bereits die Entstehung multipler Resistenzen gegen mehrere Herbizide (z.B. Glufosinat und Glyphosat) beobachtet, höchstwahrscheinlich als Resultat eines Pollentransfers zwischen benachbarten Feldern mit unterschiedlichen herbizidresistenten Kulturen (DOWNEY 1999, HALL et al. 2000).

Transgener Raps kann auch abseits von Produktionsflächen Wildpopulationen gründen. Da die Herbizidresistenz nur bei Herbizidapplikation einen Selektionsvorteil darstellt, ist die Verwilderung des transgenen Rapses in unbehandelten Habitaten eher unwahrscheinlich. Aber beispielsweise auf Schuttplätzen oder an Feldrändern wird Glufosinat häufig eingesetzt. Das bringt einen deutlichen Selektionsvorteil für herbizidresistente Hybride mit sich (WILKINSON et al. 1993).

Die Samen sind sogar in der Lage, über viele Jahre im Boden zu überdauern (SCHLINK 1995, METZ et al. 1997, GRAY & RAYBOULD 1998, FÖRSTER et al. 1998, PEKRUN et al. 1998).

Für die Pflanzenfamilie Brassicaceae ist die Insektenbestäubung charakteristisch. Verschiedene Insektengruppen sind dafür mehr oder weniger gut geeignet. Bereits LOEW (1895) unterteilte blütenbesuchende Insekten hinsichtlich ihres Anpas-

sungsgrades an die Blütenmorphologie und ihrer Bestäubungsfunktion. Allotrope Blütenbesucher sind demnach Arten, die keine Anpassungen an eine Bestäubung zeigen, jedoch beim Blütenbesuch rein zufällig Pollen übertragen können (z.B. viele Pflanzenwespen, Fliegen und Käfer). Die eigentlichen Bestäuber sind Insekten mit morphologischen oder ethologischen Anpassungen an einen Blütenbesuch (hemi- und eutrope Blütenbesucher, letztere mit besonders ausgeprägten Spezialisierungen, darunter viele Bienen- und Schmetterlingsarten). Entsprechend lassen sich auch die Blüten in allotrop (bestäubungsbiologisch nicht spezialisiert) und eutrop (eng an einen bestimmten Bestäubertyp gebunden) einteilen.

Allgemein gilt, dass die Familie Apidae (solitäre Wildbienen, Hummeln, Honigbiene) für insektenblütige landwirtschaftliche Nutzpflanzen die wichtigste Bestäubergruppe ist (CORBET 1992, WILLIAMS 1996). Das trifft auch auf Raps und andere Kreuzblütlerkulturen zu. Weitere Insektengruppen, insbesondere die Schwebfliegen, spielen ebenfalls eine Rolle (PROCTOR et al. 1996). Durch den beim Blütenbesuch am GVO-Raps diffus am Körper anhaftenden Blütenstaub werden Bienen und andere Insekten zum Überträger des Transgens. Die Pollenkörner können bei nachfolgenden Blütenbesuchen auf die Narben von konventionellem Raps oder rapsverwandten Kreuzblütlern übertragen werden. Dabei kann es zur Auskreuzung der Herbizidresistenz von den Eltern auf die Folgegeneration kommen (sexueller oder vertikaler Gentransfer).

## 1.2 Zielsetzung

Grundlage für die hier vorgestellten Untersuchungen sind Feldexperimente der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für integrierten Pflanzenschutz (Kleinmachnow bei Berlin) mit Glufosinat-resistentem Winter-raps. Im Rahmen einer Risikobewertung wird das Auskreuzungsverhalten des Transgens auf konventionellen Raps untersucht (s. PALLUTT & HOMMEL 1998a, b, HOMMEL & PALLUTT 2000a, b, 2002). Die vorliegende Studie schließt daran an. Da der von einer Rapspflanze emittierte Pollen nicht nur zur Bestäubung derselben bzw. benachbarter Rapspflanzen, sondern auch zur Bestäubung verwandter Brassicaceen zur Verfügung steht, ergeben sich mehrere Versuchsfragen:

- Welche Insektenarten besuchen Raps und andere synchron blühende Brassicaceen? Wie werden die Blütenbesucher ökologisch und biologisch charakterisiert? Welche Arten zeichnen sich durch Stenökologie, Seltenheit und/oder Gefährdung aus und sind damit möglicherweise von einer Veränderung der Ackerwildkrautgesellschaften durch die Entstehung neuer Wildkraut-Genotypen besonders betroffen?
- Welche räumliche und zeitliche Verteilung der blütenbesuchenden Insekten liegt vor? Wie verteilen sich die Arten auf einzelne Teilhabitate (Habitatstrukturen) oder auf Strukturkomplexe? Welche Arten sind dominant?
- Welchen Anteil haben Insekten und welchen Anteil hat der Wind am Transfer des Rapspollens? Über welche Distanzen ist ein Pollentransport und damit eine Auskreuzung möglich?
- Kommt es tatsächlich zur Auskreuzung der Herbizidresistenz und zur Entwicklung von Hybriden?
- Wie sind die Hybride molekulargenetisch, cytologisch und morphologisch zu charakterisieren? Welche Aussagen zur Fitness sind möglich?

Zu der hier vorgestellten Thematik wurde bereits im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens im Auftrag des BMBF gearbeitet (F & E-Vorhaben 0311744, Projektträger Biologie, Energie, Ökologie [BEO] des BMBF, Forschungszentrum Jülich GmbH, vgl. SAURE 2000a). Einzelne Teilaspekte sind bereits publiziert worden (SAURE 2000b, SAURE et al. 2000a, b, HOMMEL et al. 2000, SAURE et al. 2001).

## 1.3 Die Organismen

### 1.3.1 Bienen (Hymenoptera Aculeata: Apidae)

Innerhalb der Ordnung Hymenoptera wird zweifellos bei den Bienen der höchste Grad der Anpassung an Blüten erreicht. In dieser Gruppe ernähren sich sowohl die Imagines, als auch die Larven von Blütenprodukten. Der proteinreiche Pollen dient vorrangig als Brutnahrung. Er wird von den Bienenweibchen mit Mandibeln

und Vorderbeinen aufgesammelt und mit Hilfe spezieller Transporteinrichtungen zum Nest gebracht. Die meisten mitteleuropäischen Bienenarten transportieren den Pollen in der dichten Behaarung der Schienen und Schenkel ihrer Hinterbeine („Beinsammler“, z.B. Arten der Gattungen *Halictus*, *Lasioglossum*, *Andrena*, *Dasyglossa*). Die Honigbiene und nestbauende Hummeln besitzen an der Außenseite der Hinterschienen ein von borstenförmigen Haaren umgrenztes Körbchen (*Corbicula*), das den mit Nektar angefeuchteten Pollen aufnimmt. Andere Arten sind mit einer Haarbürste auf der Unterseite ihres Hinterleibs ausgestattet („Bauchsammler“, z.B. der Gattungen *Osmia* und *Megachile*) oder verschlucken den Pollen und transportieren ihn im Kropf zum Nest („Schlucksammler“, z.B. Gattung *Hylaeus*). Etwa zwei Drittel der nestbauenden Arten sind Generalisten, die an Blüten unterschiedlicher Pflanzenfamilien Pollen sammeln können (Polylektie). Die übrigen Arten sind auf bestimmte Pflanzenfamilien oder –gattungen spezialisiert (Oligolektie). Oligolektische Arten können beim Fehlen der notwendigen Pollenquelle nicht oder nur in geringem Maß auf andere Pflanzen ausweichen (WESTRICH 1989, MÜLLER et al. 1997).

Zur Eigenversorgung dient den Imagines vorrangig der zuckerhaltige Nektar. Kurzrüsselige Bienen sind auf Blüten mit leicht zugänglichem Nektar angewiesen. Langrüsselige Arten, z.B. der Gattungen *Anthophora* und *Bombus* können auch Nektar am Grunde von tiefen Kelch- und Röhrenblüten erreichen. Sie sind sogar oftmals die einzig möglichen Bestäuber solcher Blüten (z.B. KUGLER 1970, WESTRICH 1989).

Als charakteristische Bewohner des Offenlandes können Wildbienen in historisch gewachsenen Agrarlandschaften beträchtliche Artenfüllen erreichen. Eine Vielfalt an Kleinstukturen bietet günstige Nistmöglichkeiten und eine artenreiche Ackerbegleitflora gewährleistet eine optimale Nahrungsversorgung. Allerdings sind stenotope Wildbienenarten in den vergangenen Jahrzehnten in der Agrarlandschaft mit zunehmender Intensivierung und Eutrophierung deutlich zurückgegangen (SCHWENNINGER 1992, BANASZAK 1996, HERRMANN 2000).

Wildbienen legen ihre Nester in der Regel an sonnenexponierten und trockenen Stellen an. Etwa jede zweite mitteleuropäische Art gräbt Nester im Erdboden.

Einige wenige Arten nagen Brutzellen in markhaltige Pflanzenstängel und morsches Holz oder errichten freistehende Nester aus Mörtel oder Baumharz. Andere Arten nutzen vorgefundene Hohlräume in Totholz, dürren Stängeln, Felsspalten oder leeren Schneckenhäusern. Hummeln errichten Wachszellen in größeren Hohlräumen, z.B. in Kleinsäugerbauen oder in Baumhöhlen. Etwa ein Viertel der mitteleuropäischen Arten schmuggeln ihre Eier in die Brutzellen anderer Bienen ein, wo sich deren Larven von dem Pollenvorrat des Wirtes ernähren („Kuckucksbienen“) (WESTRICH 1989).

Die meisten einheimischen Bienen durchlaufen innerhalb eines Jahres einen vollständigen Entwicklungszyklus (univoltine Arten). Einige Arten bilden eine Frühjahrs- und eine Sommergeneration aus (bivoltine Arten), die zweite Generation manchmal nur in klimatisch günstigen Sommern (partiell bivoltin). Meist baut und verproviantiert ein einzelnes Weibchen ein Nest. Das Gegenteil dieser solitären Lebensweise ist die soziale Lebensweise, die in ihrer höchst organisierten Stufe, der Eusozialität, bei der Honigbiene, bei Hummeln und bei wenigen Furchenbienenarten ausgebildet ist. Die eusozialen Arten weisen eine Differenzierung in eine Königinnen- und Arbeiterinnenkaste auf, die jeweils gemeinsam in einem ein- oder (bei der Honigbiene) mehrjährigen Staat leben. Zwischen solitärer und sozialer Lebensweise bestehen mehrere Übergangsstufen (vgl. WESTRICH 1989, MÜLLER et al. 1997).

Aus Deutschland sind gegenwärtig 550 Bienenarten bekannt (DATHE 2001). Im Land Brandenburg kommen 383 Arten vor (DATHE & SAURE 2000).

### 1.3.2 Schwebfliegen (Diptera Brachycera: Syrphidae)

Schwebfliegen gehören neben den Bienen zu den wichtigsten Blütenbesuchern und Blütenbestäubern. Die Familie Syrphidae ist in Deutschland nach SSYMANK et al. (1999) mit 440 Arten vertreten. Im Berliner Raum wird die Artenzahl von WOLFF (1998) auf 280 geschätzt, so dass in Brandenburg sicherlich mehr als 300 Schwebfliegenarten zu erwarten sind.

Adulte Schwebfliegen ernähren sich ganz überwiegend von Nektar und Pollen. Da diese Blütenprodukte essentielle Aminosäuren enthalten, die für die Ovarien- und

Eireifung unverzichtbar sind (BASTIAN 1986), wird das Vorkommen von Schwebfliegen in der Landschaft ganz entscheidend vom Blütenangebot mitbestimmt. Nektar und Pollen werden von den adulten Schwebfliegen artspezifisch in unterschiedlichen Gewichtsanteilen aufgenommen. Beispielsweise zählen *Episyrphus balteatus*, *Melanostoma mellinum* und *Syrphus ribesii* zu den Arten, die sich hauptsächlich von Pollen ernähren. *Eristalis arbustorum* und *E. tenax* nehmen hingegen bevorzugt Nektar auf (GILBERT 1981). Die meisten Schwebfliegenarten besitzen einen kurzen Rüssel, mit dem sie nur Nektar aus Blüten mit leicht zugänglichen Nektarien entnehmen können. Häufig werden Apiaceen, Asteraceen, Rosaceen und Ranunculaceen besucht. Schwebfliegen mit langem, spitz zulaufendem Rüssel (Gattungen *Volucella* und *Rhingia*) sind in der Lage, auch aus engen Röhren- oder Kelchblüten Nektar zu saugen (KUGLER 1970, PROCTOR et al. 1996, SSYMANK 2001).

Die Ernährungsweise der Larven ist deutlich vielfältiger als die der Imagines. Die Larven leben artspezifisch von pflanzlichen oder tierischen, von gesunden oder faulenden Substanzen. Im Wesentlichen lassen sich phytophage Larven (Pflanzenfresser), zoophage Larven (Räuber) und saprophage Larven (Fäulnisbewohner) unterscheiden. Phytophage Larven (im engeren Sinne) leben als Minierer in verschiedenen Teilen lebender Pflanzen, meist in Blättern, in Stängeln oder in Wurzeln. Etwa ein Viertel der mitteleuropäischen Arten gehören diesem Ernährungstyp an (z.B. Arten der Gattungen *Eumerus* und *Cheilisia*) (RÖDER 1990).

Die Larven von etwa jeder dritten Schwebfliegenart sind zoophag, d.h. sie ernähren sich räuberisch von anderen Insekten, vor allem von Blattläusen (aphidiphag) (u.a. *Syrphus*, *Eupeodes*, *Scaeva*, *Sphaerophoria*). Viele dieser Arten sind als effektive Blattlausvertilger auch ökonomisch von großer Bedeutung und werden seit Mitte der 90er Jahre als Nützlinge im Unterglasanbau zur Blattlausbekämpfung eingesetzt. Jede Larve kann im Laufe ihrer ein- bis zweiwöchigen Entwicklung bis zu 350 Blattläuse vertilgen (BANKOWSKA et al. 1978).

Mehr als ein Drittel der mitteleuropäischen Arten gehören zu den Fäulnisbewohnern im weiteren Sinne (saprophage Ernährungsweise). Einige Larven fressen zerfallendes Pflanzenmaterial (schizophytophage Larven), andere Mist oder Kuh-

dung (coprophage Larven, z.B. *Syritta*- und *Rhingia*-Arten). Auch Holzmulmfresser (xylophage Arten) werden hierher gestellt. Andere Schwebfliegen leben im Larvenstadium von Baumsäften. Sehr charakteristisch sind die Rattenschwanzlarven, die als Schlammfresser oder Filtrierer in Gewässern mit verfaulender Vegetation, in Schlamm, in Jauche oder auf morastigen Wiesen und Weiden leben (z.B. Arten von *Eristalis*, *Helophilus*). Das zu einem Schnorchel ausziehbare Hinterleibsende befähigt die Larven, in einem extrem sauerstoffarmen Milieu zu überleben (RÖDER 1990).

Viele Schwebfliegen besiedeln gehölzreiche, schattige und feuchte Lebensräume und sind an Gebüsch, an Waldrändern oder auf frischen bis feuchten Wiesen anzutreffen. In solchen Lebensräumen, in denen die heliophilen Bienen seltener zu beobachten sind, ist die Effizienz der Schwebfliegen als Bestäuber besonders groß. Nur ca. 10 % der heimischen Syrphidae sind wärmeliebende Arten des Offenlandes (RÖDER 1990).

Manche Schwebfliegenarten durchlaufen einen oder zwei Entwicklungszyklen im Jahr, viele Arten bilden aber auch mehrere Generationen im Jahr aus. Den blattlausfressenden Arten mit mehreren jährlichen Generationen steht nicht das ganze Jahr über an einem Ort ausreichend Nahrung zur Verfügung, da Blattlauspopulationen im Jahresverlauf z.B. durch Wirtswechsel ausgeprägten Schwankungen unterliegen. Viele aphidiphage Arten müssen deshalb in ihren Lebenszyklus Wanderphasen integrieren, um ausreichend Larvennahrung zu erschließen. Auch die Imaginalüberwinterer zählen zu den wandernden Arten. Sie ziehen im Frühjahr nach Norden in ihre Reproduktionsgebiete und im Herbst wieder nach Süden in die Überwinterungsgebiete (GATTER & SCHMID 1990).

### 1.3.3 Kreuzblütler (Brassicaceae)

Die Kreuzblütler sind eine vielgestaltige Pflanzenfamilie mit weltweit ca. 2000 Arten. Schwerpunkte ihrer Verbreitung sind der Mittelmeerraum sowie Südwest- und Zentralasien. Zu den Kreuzblütlern zählen Gemüse- und Futterpflanzen wie Kohl und Rettich, Öl- und Gewürzpflanzen wie Raps und Senf, Zierpflanzen wie Goldlack und Silberblatt, aber auch Ackerbegleitpflanzen wie Gemeines Hirtentä-

schel, Acker-Hellerkaut und verschiedene Raukearten. Für blütenbesuchende Insekten sind zahlreiche Arten als ergiebige Nektar- und Pollenquellen von großer Bedeutung. Kreuzblütler sind durch einen einheitlichen Blütenbau charakterisiert. Vier kreuzweise gestellte Kelchblätter alternieren mit vier Kronblättern. Das Zentrum der Blüte bildet ein meist gestielter Fruchtknoten. Zwischen Fruchtknoten und Kronblättern befinden sich zwei Paar lange und ein Paar kurze Staubgefäße, die an ihrer Basis Nektardrüsen (Nektarien) aufweisen. Die Frucht ist meist eine Schote (DENFTER et al. 1971). Die folgenden Angaben zu den einzelnen Arten sind vorwiegend HOFMEISTER & GARVE (1986) sowie ROTHMALER (1990) entnommen.

**Raps** [*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (METZG.) SINSK., Chromosomensatz  $2n = 38$ , Genomformel AACCC]: Raps ist ein amphidiploider Bastard, der höchstwahrscheinlich aus der Kreuzung von Gemüse-Kohl (*Brassica oleracea* L.,  $2n = 18$ , CC) und Rübsen (*Brassica rapa* L.,  $2n = 20$ , AA) hervorgegangen ist (DOWNEY et al. 1980). Die alte Kulturpflanze, welche als Öl-, Gemüse- und Viehfutterpflanze angebaut wird, ist heute die Ölpflanze mit der größten landwirtschaftlichen Verbreitung auf der nördlichen Erdhalbkugel (FÖRSTER et al. 1998). Die ein- bis zweijährige krautige Pflanze blüht von April bis September. In Deutschland wird ganz überwiegend Winterraps angebaut, der im August gesät wird und im folgenden Jahr im April und Mai blüht. Auf frischen Ruderalstellen und Wegrändern trifft man gelegentlich auf verwilderten Raps.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Brassicaceen weist Raps die Tendenz zur Selbstbestäubung auf, d.h. die Narben einer Pflanze werden vom Pollen derselben Pflanze belegt. Da in einer Rapsblüte die Narbe vor den Antheren reift (Protogynie), ist dabei die Bestäubung innerhalb einer Einzelblüte weniger wahrscheinlich als die Bestäubung einer Narbe mit dem Pollen aus einer benachbarten Blüte (Nachbarschaftsbestäubung) (PROCTOR et al. 1996). Die Fremdbestäubung macht beim Raps nach DOWNEY et al. (1980) nur etwa 20 % aus, kann aber auch bei entsprechender Bestäuberdichte einen höheren Wert erreichen. Nach OLSSON (1960) schwankt die Fremdbestäubungsrate beim Raps in Abhängigkeit vom Ge-

notyp und vom Wetter zwischen 5 % und 95 %, nach FÖRSTER et al. (1998) zwischen 5 % und 36 %.

Der Freisetzungsversuch der Biologischen Bundesanstalt (Institut für integrierten Pflanzenschutz, Kleinmachnow) wird mit transgenem Raps der Firma Aventis mit der Bezeichnung „FALCON/GS40/90/*pat*/35S-CaMV“ durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine noch nicht in Verkehr gebrachte herbizidresistente Rapsorte, in deren Genom ein artfremdes Gen aus dem Bodenbakterium *Streptomyces viridochromogenes* eingeschleust wurde. Dieses sogenannte *pat*-Gen codiert das Enzym Phosphinothricin-Acetyltransferase, welches den Breitbandherbizidwirkstoff Phosphinothricin (Glufosinat) chemisch verändert und somit unwirksam macht. Die transgenen Pflanzen überstehen dadurch im Gegensatz zur konventionellen Rapspflanze oder anderen nicht-transgenen Pflanzen die Applikation des Herbizids. Die Wirkung des Herbizids beruht auf der Hemmung der Glutaminsynthese durch die Bildung einer nicht abbaubaren Enzym-Wirkstoff-Verbindung. Dabei akkumulieren in den pflanzlichen Zellen Ammoniumionen, die zu irreversiblen Zellschädigungen führen. Nach Literaturangaben ist der Wirkstoff Glufosinat für Bienen nicht toxisch und wird als „nicht bienengefährlich“ eingestuft (DORN et al. 1992). Allerdings beruht diese Meldung ausschließlich auf Untersuchungen an Honigbienen.

**Sareptasenf** [*Brassica juncea* (L.), 2n = 36, AABB]: Wie der Raps ist Sareptasenf, auch Ruten-Kohl genannt, eine hybridogene Pflanze. Sie ist sehr wahrscheinlich aus der Kreuzung von Schwarzem Senf (*Brassica nigra* (L.), 2n = 16, BB) und Rübsen (*B. rapa* L., 2n = 20, AA) hervorgegangen. Die Kulturpflanze ist einjährig und blüht von Juni bis September. Sie wird als Gewürzpflanze sowie als Futter- und Gründüngerpflanze angebaut. Sareptasenf kommt verwildert auf trockenen Ruderalstellen und an Wegrändern vor. Auch bei dem amphidiploiden Sareptasenf soll die Fremdbestäubung nach DOWNEY et al. (1980) nur etwa 20 % ausmachen, bei entsprechender Dichte von Bestäuberinsekten aber auch einen höheren Wert erreichen.

**Schwarzer Senf** [*Brassica nigra* (L.), 2n = 16, BB]: Diese alte Kulturpflanze wurde seit der Römerzeit großflächig als Öl- und Gewürzpflanze angebaut. Heute

wird sie nur noch gelegentlich als Futter- und Gründüngerpflanze ausgesät. Die einjährige, krautige Pflanze blüht von Juni bis September. Verwilderter Schwarzer Senf ist an feuchten, periodisch überschwemmten Ufern, auf Äckern sowie auf Schuttflächen anzutreffen.

**Hederich** [*Raphanus raphanistrum* L.,  $2n = 18$ , RrRr]: Hederich ist eine einjährige, krautige Pflanze, die von Mai bis September blüht. Die Pflanze kommt bevorzugt auf sandig-lehmigen Äckern und auf frischen Ruderalstellen vor.

**Weißer Senf** [*Sinapis alba* L.,  $2n = 24$ , SaSa]: Weißer Senf ist eine einjährige Kulturpflanze mit einer Blühzeit von Juni bis September. Sie wird als Öl-, Gewürz- und Futterpflanze angebaut. Gelegentlich trifft man sie auf mäßig trockenen bis frischen Ruderalstellen verwildert an.

**Gemeines Hirtentäschel** [*Capsella bursa-pastoris* (L.),  $2n = 32$ ]: Die ein- bis zweijährige krautige Pflanze blüht von Februar bis in den November hinein. Sie besiedelt frische Ruderalstellen, Brachflächen, Gärten und Äcker. Die Pflanze wird in China als Gemüse angebaut.

**Acker-Hellerkraut** [*Thlaspi arvense* L.,  $2n = 14$ ]: Die einjährige Pflanze kommt auf nährstoffreichen Äckern und auf frischen Ruderalstellen vor. Die Blütezeit reicht von April bis August.