

4 Diskussion

4.1 Artenbestand

4.1.1 Bienen

Ein Vergleich von Studien, in denen Bestandserhebungen von Bienen in Agrarlandschaften durchgeführt wurden, ist prinzipiell nur eingeschränkt möglich. Fangzeiträume, Nachweismethoden und Flächengrößen sind zwar beeinflussbar, naturräumliche und (mikro)klimatische Unterschiede können jedoch nicht manipuliert werden. Um die eigenen faunistischen Ergebnisse besser in einen Gesamtkontext einordnen zu können, sollen dennoch Vergleichsuntersuchungen zur Bienenfauna in Agrargebieten im Allgemeinen und zur Bienenfauna am Raps im Besonderen herangezogen werden (vier Studien wurden bereits in Kap. 3.2.3 vorgestellt):

- Im Rahmen eines Gutachtens zu den ökologischen Auswirkung der Herbizidresistenz-Technik bei Raps und Mais im Land Brandenburg erfolgten auch Erfassungen von Bienen (ZALF 1998). In der zweijährigen Untersuchung konnten durch Handfänge und Gelbschalenfänge an Winterraps- und Sommerrapsfeldern sowie in deren Umgebung (Gelbschalen bis zu 1250 m vom Feld entfernt) insgesamt 36 Bienenarten nachgewiesen werden, davon 30 am Winterraps und 19 am Sommerraps².
- In Westpolen wurden bei mehrjährigen Untersuchungen an sechs Winterrapsfeldern 33 Bienenarten nachgewiesen (BANASZAK & CIERZNIAK 1994).
- SCHWENNINGER (1992) kartierte die Wildbienenfauna in neun unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Agrargebieten im Kraichgau (Baden-Württemberg) in einem Zeitraum von drei Jahren. Es wurden ausschließlich Netzfänge durchgeführt. Der Autor stellte in Abhängigkeit vom Strukturangebot zwischen 19 und 70 Arten je Gebiet fest.

² Die Publikation enthält zwar eine Liste der erfassten Arten, diese wurde aber aufgrund von Determinationsmängeln nicht zum Vergleich mit den eigenen Ergebnissen herangezogen (Kap. 3.2.3). So ist die angeblich am Winterraps festgestellte Wespenbiene *Nomada fuscicornis* eine charakteristische Hochsommerart, deren Flugzeit erst im Juli beginnt.

- STEFFAN-DEWENTER (1998) analysierte die Habitatwahl von Wildbienen in der Agrarlandschaft im Kraichgau. Auf 20 selbstbegrüntem Ackerbrachen konnte er in einer Vegetationsperiode per Kescherfang insgesamt 115 Wildbienenarten (exkl. Honigbiene) nachweisen.
- HERRMANN (2000) untersuchte Bienen und Wespen in einer extensiv genutzten Agrarlandschaft im Süden Baden-Württembergs nahe der Schweizer Grenze. In einem Zeitraum von drei Jahren gelang ihm durch Kescherfänge und durch den Einsatz von Farbschalen und Nisthilfen der Nachweis von 162 Bienenarten.
- In einer Studie zur Bienenfauna auf Acker-Stillegungsflächen in Brandenburg (Uckermark) konnten auf elf Flächen in zwei Untersuchungsjahren durch Kescherfänge 152 Bienenarten festgestellt werden (SAURE 2002).

Berücksichtigt man den in beiden Untersuchungsjahren nur kurzen Fangzeitraum von etwa Mitte April bis Mitte Juni, dann ist die auf der Versuchsfeldanlage bei Dahnsdorf erreichte Anzahl an Bienenarten groß. Das ist einerseits auf die Attraktivität des blühenden Rapses zurückzuführen, der Blütenbesucher auch über größere Entfernungen anlockt (Kap. 3.2 u. 3.5). Andererseits sind auf dem kleinstrukturierten Versuchsfeld Nistmöglichkeiten für bodennistende Arten vorhanden. Potenzielle Nistplätze befinden sich an den Rändern der Versuchsäcker und der Wirtschaftswege sowie auf Brachflächen. Auch BANASZAK (1982) und BANASZAK & CIERZNIAK (1994) stellten fest, dass die Anzahl der Wildbienenarten am Raps mit der Länge der Grenzlinie zwischen Feld und Umgebung sowie mit dem Vorkommen geeigneter Habitatstrukturen am Feldrand zunimmt.

Zur Entwicklung einer artenreichen Bienen-Zönose reicht das kurzfristige Nahrungsangebot, das die Rapsblüte bietet, nicht aus. Neben Niststrukturen sind deshalb in erreichbarer Entfernung weitere Blütenpflanzen unabdingbar, die den solitären Bienen und den Hummeln vor bzw. nach der Rapsblüte Nektar und Pollen bieten (WESTRICH 1989, WALTHER-HELLWIG & FRANKL 2000). So sind beispielsweise die Sandbiene *Andrena suerinensis* und die Mauerbiene *Osmia brevicornis*

darauf angewiesen, nach der Rapsblüte weitere Brassicaceen als Pollenquellen in ausreichenden Bestandsdichten vorzufinden (Kap. 3.2.2).

Der Anteil oligolektischer Arten an der Gesamtzahl der pollensammelnden Bienenarten ist mit 10 % vergleichsweise gering (Kap. 3.2.2). Das steht im direkten Zusammenhang mit der im Vergleich zu naturnahen Habitaten geringen Anzahl annueller und perennierender Kräuter. Da die Untersuchung auf den Frühjahrsaspekt beschränkt wurde, wird erwartet, dass in den Sommermonaten weitere Nahrungsspezialisten anzutreffen sind.

Einige der erfassten Bienenarten sind überregional bemerkenswert, darunter sechs in Deutschland stark im Bestand gefährdete Arten (Kap. 3.2.1). Der Naturraum Fläming und insbesondere die Umgebung von Niemeck wurden noch vor 40 bis 50 Jahren als ein besonders wertvoller Lebensraum für Bienen und Wespen in Deutschland beschrieben (z.B. OLBERG 1972). Trotz der intensiven Landwirtschaft in den vergangenen Jahrzehnten ist es offensichtlich einigen anspruchsvollen Arten gelungen, in Refugien bis heute zu überdauern. Dadurch erklärt sich das aktuelle Auftreten von bundesweit seltenen Spezies wie beispielsweise *Andrena chrysopyga*, *A. niveata*, *Bombus distinguendus* und *B. muscorum*. Dennoch bleibt festzustellen, dass durch Ausräumung, Nivellierung und Nährstoffbelastung in den vergangenen Jahrzehnten die Anzahl und Häufigkeit insbesondere der spezialisierten Wildbienenarten in der Agrarlandschaft zurückgegangen ist (DORN 1986, WESTRICH 1989, OSBORNE et al. 1991, SCHWENNINGER 1992, BANASZAK 1996, HERRMANN 2000).

Im Jahr 1999 wurden mit 85 spp. deutlich mehr Bienenarten erfasst als 1998 (63 spp.). Trotz des hohen Untersuchungsaufwandes konnte mit 54 Arten nur etwa jede zweite Spezies sowohl 1998, als auch 1999 nachgewiesen werden (Kap. 3.2.1). Die Gründe dafür sind einerseits methodisch bedingt (der Untersuchungszeitraum 1999 war zwölf Tage länger als im Jahr zuvor), andererseits dürften auch natürliche Populationsschwankungen der Arten eine wichtige Rolle spielen. Untersuchungen über einen Zeitraum von zwei vollständigen Vegetationsperioden sind deshalb selbst in intensiv genutzten Agrarlandschaften für eine Artenerfas-

sung der Apiden als Minimum anzusehen (vgl. SCHMID-EGGER 1995, HAESELER & RITZAU 1998, WEBER 1999).

4.1.2 Fächerflügler

Neben der im Untersuchungsgebiet verbreiteten Art *Stylops melittae* s.l. (14 stylo-
pisierte Andrenen wurden erfasst) konnte auch *Halictoxenos arnoldi* nachgewiesen
werden. Diese Art ist neu für Brandenburg. Damit erhöht sich die Anzahl der bei
Hymenopteren parasitierenden Fächerflügler (Strepsiptera: Stylopidae) im Groß-
raum Berlin-Brandenburg auf sieben Arten, also mehr als 50 % der aus Mitteleuro-
pa bekannten 13 Arten (KINZELBACH 1978, POHL & MELBER 1996). In Tab. 36
werden die Arten Brandenburgs mitsamt ihren Wirten vorgestellt.

Der Fächerflügler *Halictoxenos arnoldi* parasitiert nach KINZELBACH (1978) die
Furchenbienen *Lasioglossum xanthopus*, *L. costulatum*, *L. leucozonium* und *L.*
quadrinotatum. Die zuletzt genannte Wirtsart ist auf dem Versuchsfeld bei Dahns-
dorf häufig (während der Untersuchung wurden allein 36 Weibchen gefangen und
zahlreiche weitere beobachtet), der Nachweis eines stylo-
pisierten Individuums ge-
lang aber nicht. Auch landesweit ist die verbreitete Furchenbienenart bisher nicht
stylo-
pisiert aufgefunden worden. Dass trifft auch auf die in Berlin und Brandenburg
häufige *L. leucozonium* zu. Die Art *L. xanthopus* fungiert damit offensichtlich als
Hauptwirt von *Halictoxenos arnoldi*.

Tab. 36: Nachweise von Fächerflüglern im Land Brandenburg.

Stylopidae	Wirtsgruppe	Nachweise stylopisierter Stechimmen in Brandenburg
<i>Xenos vesparum</i> ROS- SI, 1793	<i>Polistes</i>	<i>Polistes dominulus</i> : mehrere aktuelle Funde (SAURE 1994, SAURE unpubl.)
<i>Pseudoxenos heydeni</i> (SAUNDERS, 1852)	Vespidae (Eu- meninae)	<i>Ancistrocerus gazella</i> : drei aktuelle Funde (SAURE 1994, SAURE unpubl.) <i>Ancistrocerus trifasciatus</i> : ein alter Fund: Fürstenberg/Mark (SZÉKESSY 1959)

Stylopidae	Wirtsgruppe	Nachweise stylopisierter Stechimmen in Brandenburg
<i>Paraxenos spheccidarum</i> (DUFOR, 1837)	Spheccidae s.str.	<i>Ammophila sabulosa</i> , <i>A. campestris</i> , <i>A. pubescens</i> : mehrere aktuelle Funde, vor allem in Südbrandenburg (SAURE unpubl.) <i>Podalonia hirsuta</i> : ein alter Fund: Buckow/Märkische Schweiz (ULRICH 1930)
<i>Halictoxenos arnoldi</i> PERKINS, 1918	<i>Lasioglossum</i> (<i>Lasioglossum</i>)	<i>Lasioglossum xanthopus</i> : ein aktueller Fund: Dahnsdorf; Erstnachweis für Brandenburg
<i>Halictoxenos spencei</i> NASSONOW, 1893	<i>Lasioglossum</i> (<i>Evylaeus</i>)	<i>Lasioglossum punctatissimum</i> , <i>L. brevicorne</i> , <i>L. parvulum</i> : vier aktuelle Funde (SAURE 1994, SAURE unpubl.)
<i>Halictoxenos tumulorum</i> PERKINS, 1918	<i>Halictus</i> , <i>Lasioglossum</i> (<i>Evylaeus</i>)	<i>Halictus tumulorum</i> : ein alter Fund: Groß Machnow (HOFENEDER & FULMEK 1952) <i>Halictus</i> sp.: ein alter Fund: Berlin (KINZELBACH 1978)
<i>Stylops melittae</i> KIRBY, 1802	<i>Andrena</i>	<i>Andrena apicata</i> , <i>A. bicolor</i> , <i>A. bimaculata</i> , <i>A. fulva</i> , <i>A. helvola</i> , <i>A. minutula</i> , <i>A. mitis</i> , <i>A. nigroaenea</i> , <i>A. nitida</i> , <i>A. ovatula</i> , <i>A. pilipes</i> , <i>A. praecox</i> , <i>A. scotica</i> , <i>A. synadelpha</i> , <i>A. vaga</i> , <i>A. ventralis</i> , <i>A. wilkella</i> : zahlreiche aktuelle Funde (SAURE 1994, SAURE unpubl.) <i>Andrena eximia</i> , <i>A. nycthemera</i> , <i>A. subopaca</i> (leg. BISCHOFF in ULRICH 1956) Als Wirte kommen auch andere <i>Andrena</i> -Arten in Betracht. Angaben in der Literatur sind aber ungeprüft nicht immer verwendbar, da sie teils auf Determinationsfehler zurückgehen (vid. SAURE)

4.1.3 Schwebfliegen

Auch für Schwebfliegen gilt, dass ein direkter Vergleich der eigenen Untersuchung mit anderen Studien nur bedingt möglich ist (vgl. Kap. 4.1.1). Zur besseren Einordnung der erzielten faunistischen Ergebnisse werden im Folgenden einige Untersuchungen zur Syrphidenfauna in Agrargebieten zu Vergleichszwecken herangezogen:

- Bei Freisetzungsversuchen mit gentechnisch verändertem Raps im Freistaat Sachsen wurden auf einer Versuchsfeldanlage mitsamt Umland im Zeitraum der Rapsblüte in zwei Untersuchungsjahren 78 Schwebfliegenarten nachgewiesen (PELLMANN et al. 1998). Die Nachweise erfolgten durch Kescherfänge sowie durch den Einsatz von Malaisefallen und zahlreichen Gelbschalen.
- GROSSER & KLAPPERSTÜCK (1977) studierten die Schwebfliegenfauna zweier Agrarflächen in der Umgebung von Halle (Saale). In dem einjährigen Projekt stellten sie auf einem Winterweizenfeld und in einer Apfelplantage durch Gelbschalenfänge zusammen 46 Arten fest.
- In einer Studie zur Wirkung von Ackerrandstreifen in der Agrarlandschaft (Naturraum Eifel und Niederrheinische Bucht) untersuchten RASKIN et al. (1992) neben anderen Tiergruppen auch Schwebfliegen. Auf vier Weizen- und Roggenfeldern mitsamt den Ackerrandstreifen und den angrenzenden Feldrainen konnten sie in einer Vegetationsperiode durch Kescher- und Gelbschalenfänge 42 Arten nachweisen.
- SALVETER & NENTWIG (1993) erforschten im Berner Seeland (Schweiz) die Syrphiden eines Wintergerstefeldes mit Wildkrautstreifen und angrenzenden Biotopstrukturen. Durch Kescherfänge und Gelbschalen stellten sie in dem einjährigen Projekt insgesamt 38 Arten fest.
- KRAUSE (1997) untersuchte drei Jahre lang Syrphiden in einer reichhaltig strukturierten und in einer „ausgeräumten“ Agrarlandschaft im Raum Göttingen und Hannover. Dabei kamen Farbschalen, Malaisefallen und die Kescherfangmethode zum Einsatz. Da viele Tiere nur bis zur Gattung determiniert wurden, sind die tatsächlich erfassten Artenzahlen unsicher, es handelt sich je-

doch um mindestens 52 Arten in der vielfältig strukturierten und um 35 Arten in der strukturarmen Landschaft.

In Relation zum kurzen Fangzeitraum und zur geringen Fallenzahl ist die im Untersuchungsgebiet nachgewiesene Anzahl von 48 Arten vergleichsweise groß. Das beruht teils auf der Attraktivität des blühenden Rapses als Nahrungshabitat für Schwebfliegen. Darüber hinaus bietet die kleinstrukturierte Feldanlage und der naheliegende Waldrand zusätzliche Nahrungs- und Eiablageplätze (vgl. RUPPERT 1993, SSYMANK 1993, KRAUSE 1997, PELLMANN et al. 1998).

In Kulturlandschaften sind Schwebfliegenarten mit zwei oder mehr Generationen im Jahr und mit Wanderneigung überproportional häufig vertreten (SSYMANK 2001). Für Agrarbiotope charakteristisch ist weiterhin eine große Anzahl von Arten mit zoophagen, vor allem aphidiphagen Larven (vgl. BANKOWSKA 1980, RASKIN et al. 1992, NENGEL 1993, KRAUSE 1997, SSYMANK 1993). Das trifft auch für das Untersuchungsgebiet zu. Dort sind Schwebfliegen mit zoophagen Larven mit 73 % vertreten, im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von 37 % (nach RÖDER 1990). Offensichtlich profitieren aphidiphage Arten besonders von den spezifischen Gegebenheiten in der Agrarlandschaft. Gerade auf landwirtschaftlichen Nutzflächen kommt es regelmäßig zum Massenaufreten von Getreideblattläusen oder anderen Aphiden. Dadurch werden deren Antagonisten angelockt, zu denen neben Marienkäfern und Florfliegen vor allem auch die Schwebfliegen mit räuberischen Larven zählen.

Für Arten mit (terrestrisch-)saprophagen und phytophagen Larven ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass ihre Nahrungsquelle über Jahre am gleichen Ort verfügbar ist. Das trifft für zoophage Arten nicht zu. Die räumlich und zeitlich unvorhersehbare Präsenz von Beutetieren macht es insbesondere für Blattlausfresser notwendig, saisonale Wanderungen in ihren Lebenszyklus zu integrieren. Dementsprechend sind die meisten der im Untersuchungsgebiet festgestellten Wanderarten aphidiphag. Unter den 17 Arten mit starker Wanderneigung befinden sich mit *Eristalis tenax* und den beiden *Helophilus*-Arten *H. pendulus* und *H. trivittatus* sogar nur drei nicht-zoophage Arten. Die starke Wanderneigung und der rege

Blütenbesuch macht viele Schwebfliegenarten zu bedeutenden Pollenüberträgern auch über größere Distanzen.

Die Anzahl der in der Roten Liste Deutschlands als nicht ungefährdet eingestuft Arten ist gering (vier von 48 nachgewiesenen Spezies). Das ist nicht zuletzt ein Resultat der hohen Anzahl an aphidiphagen Arten, denn für diese wurde aufgrund ihrer ausgeprägten Mobilität ein besonders strenger Maßstab bei der Aufnahme in die Rote Liste angelegt (SSYMANK & DOCZKAL 1998).

4.2 Räumliche Verteilung der Bienen und Schwebfliegen

4.2.1 Artenverteilung auf Habitatstrukturen

Bienen sind am artenreichsten im Grünland vertreten. Das ist auf das dort vorhandene Angebot an Nist- und Nahrungsplätzen zurückzuführen. Diejenigen Arten, die im Bereich der Versuchsfeldanlage auf den intensiv gepflegten Feldwegen und in Ackerrandbereichen noch geeignete Nistplätze vorfinden, sind größtenteils euryöke Arten. Dagegen nutzen Arten mit engeren ökologischen Valenzen die Versuchsfeldanlage in der Regel nur als Nahrungshabitat und nisten außerhalb, beispielsweise am Waldrand. Obwohl das Nahrungsangebot für Wildbienen am Waldrand gering ist, wurden hier dennoch zahlreiche Spezies nachgewiesen und die zweithöchste (Fallenfang) bzw. vierthöchste Artenzahl (Kescherfang) erreicht.

Schwebfliegen wurden am artenreichsten am Waldrand (in Fallen) und an der Raps-Produktionsfläche (in Fallen) erfasst. Die hohen Artenzahlen in zwei strukturell so unterschiedlichen Habitaten weisen auf den Einfluss der Fangmethode hin (Kap. 4.2.3). Aber auch die Anzahl der durch Kescherfänge am Waldrand erbeuteten Arten ist vergleichsweise groß. SSYMANK (2001) stellt ebenfalls eine hohe Artenzahl im Übergangsbereich vom Wald zum Offenland fest und führt dieses auf die bei vielen Schwebfliegen vorliegende Doppelbindung an Wald- und Offenlandhabitats zurück („edge-effect“).

Der Grad der Übereinstimmung von Artengemeinschaften (Bienen und Schwebfliegen) ist zwischen den Kreuzblütlerbeständen des Versuchsfeldes mit bis zu 68,9 % Artenidentität sehr groß. Es sind zu einem beträchtlichen Teil dieselben Arten, die den transgenen Raps, den konventionellen Raps der Mantelsaat und die Kreuzblütler in den Habitatinseln besuchen. Dadurch wird eine insektenbedingte Pollenübertragung von Raps auf andere Brassicaceen wahrscheinlich. Die Blühphase der Kreuzblütler in den Habitatinseln setzt jedoch nach dem Beginn der Rapsblüte ein. Deshalb ist eine Pollenübertragung vom Raps auf verwandte Wildkräuter durch blütenbesuchende Insekten unter den gegebenen Versuchsbedingungen erst in den letzten Tagen der Raps-Vollblüte bzw. gegen Ende der Rapsblüte wahrscheinlich. Aber auch unter natürlichen Bedingungen beginnt die Blütezeit möglicher Pollenakzeptorpflanzen (*Brassica*- und *Sinapis*-Arten, *Raphanus*) in Deutschland in der Regel nicht vor Mai oder Juni. Die Wahrscheinlichkeit eines Pollentransfers vom Raps auf die Blüten verwandter Brassicaceen steigt damit zum Ende der Winterrapsblüte an.

4.2.2 Individuenzahlen und Dominanzstrukturen

Apidae: Die Zählung der blütenbesuchenden Bienen am Raps ergab am konventionellen Raps der Mantelsaat höhere Arten- und Individuenzahlen als in den transgenen Rapsparzellen. Die attraktive Rapsblüte der Mantelsaat kann somit offensichtlich einen Teil der Blütenbesucher, die von außen in das Versuchsfeld einfliegen, davon abhalten, bis zum transgenen Raps vorzudringen. Da Bienen eine starke Tendenz aufweisen, nach einem Blütenbesuch die Blüten benachbarter Pflanzen aufzusuchen (LEVIN & KERSTER 1974, SCHAAL 1980, CRESSWELL 1994, CRESSWELL et al. 1995), werden sie häufig in der Mantelsaat verbleiben und nach der Nektar- oder Pollenaufnahme zu ihrem Nisthabitat (z.B. zum Waldrand) zurückkehren.

Für Bienen, welche die Mantelsaat überfliegen und den GVO-Raps besuchen, stellt die Mantelsaat beim Rückflug zum Nest aber sicherlich keine Barriere dar. Der von Bienen und anderen Insekten transportierte transgene Pollen verbleibt

aller Voraussicht nach nur dann auf dem Versuchsfeld, wenn sich die Larvalhabitate der Arten innerhalb der Mantelsaat befinden. Das Entweichen von transgenem Rapspollen auf biotischem oder auch abiotischem Weg (Windverdriftung) kann durch eine Mantelsaat zwar eingeschränkt, aber nicht verhindert werden. Damit die Mantelsaat überhaupt eine Funktion als Abfangvorrichtung für transgenen Rapspollen besitzt, müssen nach PAUL et al. (1995) die Fangpflanzen die gleiche phänologische Phase wie die transgenen Pflanzen aufweisen. In der Mantelsaat sollte daher die isogene Sorte der transgenen Sorte angebaut werden.

Schwebfliegen wurden bei Blütenbesuchszählungen am Raps und in den Habitatinseln im Vergleich zu den Bienen in deutlich niedrigeren Arten- und Individuenzahlen festgestellt. Die Bedeutung der Apiden als Bestäuber von Raps und verwandten Pflanzen ist somit ganz offensichtlich größer als die der Syrphiden (s.u.). Das deckt sich mit Literaturangaben, nach denen Raps und verwandte Kreuzblütler melitophile Pflanzen darstellen, die vorwiegend von Bienen bestäubt werden (z.B. KUGLER 1970, WESTRICH 1989, PROCTOR et al. 1996, WESTERKAMP 1999).

Die Honigbiene trat bei Blütenbesuchszählungen im Jahr 1998 am transgenen und konventionellen Raps „nur“ als zweithäufigste und in den Habitatinseln als dritthäufigste Art in Erscheinung (relative Häufigkeit von 15,0 % bis 16,2 %). Im Jahr 1999 dagegen war sie an den Habitatstrukturen jeweils die eudominante Art mit relativen Häufigkeiten von 58,2 % im transgenen Raps, 64,0 % im konventionellen Raps und 38,1 % in den Habitatinseln. Der deutliche Unterschied zwischen den Jahren beruht bei gleicher Anzahl der Bienenvölker auf der abweichenden Distanz des Bienenstandes vom Versuchsfeld (1500 m resp. 800 m, s. Kap. 3.4.2). Die Häufigkeit von Honigbienen am Raps ist somit über die Standortwahl der Völker leicht zu beeinflussen. Bei euryöken Wildbienen, die wie *Bombus terrestris* oder *Andrena nigroaenea* in hohen Individuenzahlen am Raps vorkommen können, ist das nicht der Fall. Diese spielen daher als Pollenüberträger vom (transgenen) Raps auf verwandte Wildkräuter in der offenen Landschaft sicherlich eine große Rolle. Andere Autoren führen ebenfalls die Distanz vom Bienenstand zum Rapsfeld (BANASZAK 1982) oder zu kleinen Kreuzblütlerbeständen

(STEFFAN-DEWENTER & TSCHARNTKE 1999) als maßgeblich für die Honigbiendichte am Feld bzw. an den Habitatinseln an.

In einer vierjährigen Untersuchung auf Produktionsflächen in Westpolen stellte BANASZAK (1982) *Apis mellifera* mit 87,1 % als eudominante Bienenart am Winterraps fest. Er konnte weitere 46 Bienenarten nachweisen, darunter *Bombus terrestris*, *Andrena haemorrhoa* und *A. nigroaenea* als dominante Arten. Während *B. terrestris* und *A. nigroaenea* auch in der eigenen Untersuchung zu den dominanten Rapsbesuchern zählen, spielt *A. haemorrhoa* auf der Versuchsfeldanlage bei Dahnsdorf nur eine untergeordnete Rolle.

Eine andere mehrjährige Studie zur Bienenfauna auf sechs Raps-Anbauflächen in Westpolen stellten BANASZAK & CIERZNIAK (1994) vor. Von 33 erfassten Arten ist *Apis mellifera* mit 91,3 % eudominant und auf Rang zwei bis fünf folgten ausschließlich *Andrena*-Arten (*A. haemorrhoa*, *A. scotica*, *A. nigroaenea*, *A. fulva*). Artenzahlen und Individuendichten der Wildbienen hängen nach BANASZAK & CIERZNIAK (1994) nicht zuletzt von der Länge der Grenzlinie zwischen Rapsfeld und benachbarten Habitaten ab, welche Nistplätze und Nahrungsquellen über die Rapsblüte hinaus bieten. Auch die vergleichsweise hohen Arten- und teils auch Individuenzahlen auf der Versuchsfeldanlage bei Dahnsdorf lassen sich auf die langen Grenzlinien zu benachbarten Habitaten zurückführen, die aus der mosaikförmigen Struktur der Versuchspartellen resultieren. So wurden am konventionellen Raps der Mantelsaat mit 38 Bienenarten fast zweimal so viele Arten wie an der Raps-Produktionsfläche nachgewiesen (21 spp.) (die Zahlen geben allerdings nur eine Tendenz an, ein direkter Vergleich ist aufgrund unterschiedlicher Fangmethoden nicht möglich).

In den Fallen am Rapsfeld erreichten nur *Apis mellifera* als eudominante und *Andrena nigroaenea* als dominante Spezies hohe Aktivitätsdichten. Die fünf in der Dominanzhierarchie folgenden Arten sind wiederum Sandbienen der Gattung *Andrena* (Abb. 13). Obwohl Honigbienen am Rapsfeld dominieren ist anzunehmen, dass sie aufgrund ihrer hohen Blütenstetigkeit für den Pollentransfer auf andere

Pflanzenarten keine größere Rolle spielen als die Sandbienenarten der Gattung *Andrena*.

LEHMANN (1961) stellte in Gelbschalen am Winterraps ebenfalls *Apis mellifera* als häufigste und *Andrena nigroaenea* als zweithäufigste Bienenart fest. In der Dominanzhierarchie folgten weitere *Andrena*-Arten (*A. bicolor*, *A. flavipes*, *A. haemorrhoea*, *A. nitida*). Die Untersuchung von LEHMANN (1961) unterstreicht die eigenen Ergebnisse, dass nämlich neben der Honigbiene vor allem Sandbienen der Gattung *Andrena* in Fallen am Winterraps hohe Aktivitätsdichten erreichen. Das entspricht auch den Ergebnissen, die durch Kescherfänge am Winterraps gewonnen wurden (s.o.). Auch Hedtke (ZALF 1998) kommt zu diesem Ergebnis.

Syrphidae: Bei den Blütenbesuchszählungen wurden Schwebfliegen nur in geringen Arten- und Individuenzahlen erfasst. In den Gelbschalen und Malaisefallen waren Syrphiden hingegen artenreich und einige Arten auch individuenreich vertreten. An der Raps-Produktionsfläche ist *Sphaerophoria scripta* mit 77,8 % die eudominante Art. Als Wanderart mit starker Wanderneigung ist sie sicherlich als Pollenüberträger auch über größere Entfernungen von Bedeutung. Die zweithäufigste Art in den Fallen am Rapsfeld (*Melanostoma mellinum*) ist mit einer relativen Häufigkeit von 5,1 % schon wesentlich individuenärmer. Verschiedene Autoren konnten zeigen, dass sich intensiv genutzte Agrarlandschaften durch das Vorkommen weniger dominanter Schwebfliegenarten auszeichnen (RASKIN et al. 1992, WEISS & NENTWIG 1992, NENGEL 1993, KRAUSE 1997, SALVETER & NENTWIG 1993, SSYMANK 1993, 2001). Das wird durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. BANKOWSKA (1980) fand bei umfangreichen Untersuchungen in Polen *Sphaerophoria scripta* als häufigste Art auf Ackerflächen. Diese und fünf weitere dominante Arten in der Untersuchung von BANKOWSKA (*Melanostoma mellinum*, *Platycheirus clypeatus*, *Eristalis arbustorum*, *Eupeodes corollae*, *Eumerus strigatus*) zählen auch am Rapsfeld bei Dahnsdorf zu den häufigsten Arten. Trotz geografischer und klimatischer Unterschiede der Standorte zeigen die Schwebfliegen (den Bienen entsprechend, s.o.) eine überraschend hohe Übereinstimmung der dominierenden Arten in den Agrarlandschaften Mitteleuropas.

4.2.3 Methodendiskussion

Apidae: Für die Erfassung der Bienen erwies sich die Methode des gezielten Sicht- und Kescherfangs am erfolgreichsten. 87 % der Arten wurden auf diese Weise nachgewiesen. Auch andere Autoren kommen zum Ergebnis, dass Fänge mit Farbschalen oder Flugfallen höchstens als Ergänzung zu den Handfängen oder bei bestimmten Fragestellungen nötig bzw. sinnvoll sind (SCHMID-EGGER 1993, 1995, SCHWENNINGER 1994, WEBER 1999). Nur der Sichtfang erlaubt die direkte Beobachtung von Individuen an ihren Nist- und Nahrungsplätzen und vermittelt dadurch Erkenntnisse zur Bodenständigkeit und zur Ressourcennutzung der Arten (SCHWENNINGER 1994, SCHMID-EGGER 1995). Weder die Handfänge, noch die Fallenausbeuten geben die realen Häufigkeitsverhältnisse der Arten in der Natur wieder, sondern liefern Aktivitätsabundanzen (SCHMID-EGGER 1995, HAESELER & RITZAU 1998). Die Fängigkeit der Fallen hängt wesentlich von ihrem Aufstellungsort und von der Flugaktivität der Insekten ab.

Im Gegensatz zu Malaisefallen besitzen Gelbschalen eine anlockende Wirkung auf blütenbesuchende Insekten. Nach LEHMANN (1961) büßen Gelbschalen im Rapsfeld während der Rapsblüte jedoch ihre selektive Fängigkeit ein. Nach GOOS et al. (1976) sind in Raps- und Zuckerrübenkulturen weiße Farbschalen für Bienen attraktiver als gelbe. Auch HAESELER (1972) kommt zum Ergebnis, dass die Attraktivität von Farbschalen auf Bienen sehr stark von dem Blütenangebot in der Umgebung der Fallen abhängt. Ob Bienen und andere Insekten Gelbschalen im gelbbühenden Rapsfeld tatsächlich nicht sehen können, hängt entscheidend von der UV-Reflexion der Falle ab. Aufgrund der spektralen Empfindlichkeit des Insektenauges wirken Objekte, die für das menschliche Auge gelb erscheinen, auf Bienen in verschiedenen Farbtönen (MENZEL 1987). Rapsblüten erscheinen beispielsweise für Honigbienen nicht gelb, sondern „bienenpurpur“ (DAUMER 1958). Je nach UV-Reflexion kann sich eine gelbe Farbschale daher von Rapsblüten deutlich abheben.

Syrphidae: Auch bei den Schwebfliegen wurden die meisten Arten durch den Sicht- und Kescherfang nachgewiesen. Ihr Anteil an der Gesamtartenzahl ist aller-

dings mit 75 % geringer als bei den Bienen. Für die Erfassung der Syrphidenfauna ist die Kombination verschiedener Fangmethoden zweckmäßig (vgl. KENTNER & SCHRADE 1991, KRAUSE 1997, SSYMANK 2001). Die Vorteile der Fallen beruhen auf dem kontinuierlichen Fang, wesentliche Nachteile sind das Fehlen von Informationen zum Verhalten der Arten im Gelände und die zum Teil großen Beifangmengen.

Die Fangeffizienz der Gelbschalen war im Untersuchungsgebiet allerdings gering. Am Waldrand wurden nur neun Schwebfliegenarten in zwölf Individuen erfasst, am blühenden Rapsfeld ebenfalls neun Arten in 19 Individuen. Nach HEESE (1972) und GROSSER & KLAPPERSTÜCK (1977) sollen Farbschalen eine geringere Fangeffizienz für Syrphiden aufweisen, wenn ein reiches Blütenangebot in ihrer Nähe vorhanden ist. Das können die eigenen Untersuchungen nicht bestätigen.

Schwebfliegen, die sich von Gräserpollen ernähren, sollen nur bedingt auf Farbmerkmale reagieren und deshalb seltener von Farbschalen angelockt werden (CLAUSSEN 1982). Das wird durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. Arten der Gattungen *Melanostoma* und *Platycheirus* waren viel häufiger in Malaisefallen als in Gelbschalen nachzuweisen (vgl. Tab. 24).

Nach KRAUSE (1997) lassen sich die als Larve zoophagen Schwebfliegen besser in Malaisefallen, Schwebfliegen der anderen trophischen Gruppen eher in Gelbschalen erfassen. Das trifft auch für die eigene Untersuchung zu. Die 16 Arten in Gelbschalen waren jeweils zur Hälfte zoophage und nicht-zoophage Arten. Dagegen dominierten in den Malaisefallen die zoophagen Arten mit 83,3 % (25 von 30 spp., vgl. Tab. 48 u. 50).

In Gelbschalen überwogen zumeist die großen Arten (*Eristalis* spp.) und in Malaisefallen die kleinen Arten (*Sphaerophoria* spp., *Melanostoma* spp., *Platycheirus* spp.). Dieser Befund deckt sich mit Literaturangaben, nach denen Schwebfliegen ab einer bestimmten Körpergröße in der Lage sind, die stationären Malaisefallen zu umfliegen (KENTNER & SCHRADE 1991). Dagegen stellen SALVETER & NENTWIG (1993) eine geringe Anlockung von Arten der Unterfamilie Eristalinae (*Eristalis*, *Helophilus* u.a.) durch Farbschalen fest und begründen das mit der

Flucht der großen Individuen aus der Farbschale vor dem Eintauchen in die Fangflüssigkeit. Ob das tatsächlich zutrifft, bleibt fraglich, da nach den eigenen Untersuchungen selbst große und kräftige Bienen (*Apis mellifera*, *Andrena nigroaenea*, *A. nitida* u.a.) in großen Individuenzahlen mit Gelbschalen gefangen wurden. Nur Hummeln (im Untersuchungszeitraum größtenteils Königinnen) befanden sich in nennenswerten Individuenzahlen weder in Gelbschalen, noch in Malaisefallen. Sie sind offensichtlich in der Lage, sich aus den Fallen zu befreien (Farbschalen) bzw. den Fallen auszuweichen (Malaisefallen).

4.3 Übertragung von Rapspollen durch Bienen

Die gelbe Blütenfarbe, die Blütenform („Stieltellerblüte“), die große Nektar- und Pollenmenge einer Rapsblüte und der vergleichsweise hohe Zuckergehalt im Nektar üben auf Bienen eine hohe Anziehung aus (vgl. KUGLER 1970, FREE 1993). Bienen besuchen Blüten aus vielerlei Gründen, wobei der Nahrungserwerb das Hauptmotiv ist (VOGEL 1975, WESTRICH 1989, WESTERKAMP 1999). Beim Blütenbesuch bleiben in dem zumeist stark entwickelten Haarkleid der Bienen in der Regel Pollenkörner haften. LUKOSCHUS (1957) zählte in der Körperbehaarung einer Honigbiene nach dem Besuch von Rapsblüten bis zu 15.000 Rapspollen, RAMSAY et al. (1999) fanden sogar 60.000 Rapspollen im Haarkleid einer Honigbiene. Eine Kontamination der Körperoberfläche mit Pollen geschieht vorrangig beim Besuch einer Blüte zur Nektaraufnahme. Nektar als universelle Energiequelle wird nicht nur von nestbauenden Bienenweibchen, sondern auch von männlichen Bienen und von parasitischen Bienenarten aufgenommen (s.u.). Der diffus an den Tieren haftende Pollen steht zur Bestäubung von Blüten zur Verfügung.

Suchen Bienen aber Blüten mit dem Ziel auf, Pollen als Brutnahrung zu sammeln, dann erfolgt in der Regel keine Kontamination der Körperoberfläche mit Blütenstaub. Beim Pollensammeln kommen nur ganz bestimmte Körperteile zum Einsatz. Im Haarkleid haftende Pollen werden sorgfältig ausgekämmt und in die Transporteinrichtungen verfrachtet. Der dort gelagerte und oft mit Nektar oder

Blütenöl angefeuchtete Pollen steht für eine Bestäubung nicht mehr zur Verfügung. Da auch das Haarkleid gesäubert wurde, besteht für ein pollensammelndes Bienenweibchen beim Blütenbesuch nur eine geringe Möglichkeit, Pollen auf die Narbe zu übertragen (WESTERKAMP 1991, 1996, 1997). Nur Bienen sammeln aber Pollen in größeren Mengen (abgesehen von der artenarmen Gruppe der Honigwespen, Vespidae: Unterfamilie Masarinae, z.B. BELLMANN 1984). Die Notwendigkeit des Pollensammelns zwingt Bienen zu sehr vielen Blütenbesuchen, wodurch wiederum die Bestäubungswahrscheinlichkeit zunimmt (WESTERKAMP 1999).

PELLMANN et al. (1998) untersuchten Pollenkörner, die aus der Körperbehaarung von sechs solitären Wildbienen und einer Schwebfliege entnommen wurden, auf das *pat*-Gen. Die Insekten wurden an transgenen Rapsparzellen bzw. in der umgebenden Mantelsaat am konventionellen Raps gefangen. In allen Proben wurde das Transgen nachgewiesen.

Die eigenen Untersuchungen konnten zeigen, dass Hummeln Pollen am transgenen Raps zur Brutversorgung sammeln. Ob die Fütterung der Nachkommen mit transgenem Pollen Auswirkungen auf deren Entwicklung hat, ist nicht bekannt. Hedtke untersuchte die Entwicklung von Honigbienenvölkern und die Überlebensrate von Versuchsbienen, die in Flugzelten im Raps gehalten wurden (ZALF 1998). Er konnte keine signifikanten Unterschiede in der Fitness der Honigbienen bzw. in der Brutleistung der Bienenvölker zwischen den im transgenen und den im nicht-transgenen Raps gehaltenen Bienen feststellen. Das war bei der Herbizidresistenz auch nicht zu erwarten. Wenn aber zukünftig insektenresistenter Raps angebaut wird, und damit ist aufgrund des Schadinsektenbefalls zu rechnen, dann sind die am herbizidresistenten Raps gesammelten Erfahrungen für die Risikobewertung des insektenresistenten Rapses sehr bedeutsam.

Experimente zum Wiederfang markierter Bienen ergaben eine erstaunlich niedrige Fangrate von 5,7 %. Dieser niedrige Wert kann ein Hinweis darauf sein, dass Bienen auf der Suche nach geeigneten Nisthabitaten die Rapsbestände nur kurzfristig zum „auftanken“ mit dem Betriebsstoff Nektar anfliegen, um dann anschließend

ihren Suchflug fortzusetzen. Dabei kann der in der Körperbehaarung haftende Rapspollen auch über größere Distanzen transportiert werden. Das trifft sicherlich auf einen Teil der *Bombus*-Königinnen zu. Landwirtschaftliche Intensivnutzflächen mit der Dominanz einer oder weniger Kulturpflanzen können im Allgemeinen nur als temporäre Nahrungshabitate fungieren (WALTHER-HELLWIG & FRANKL 2000). Bienen können Aktionsradien von mehreren hundert Metern bis wenigen Kilometern aufweisen. WESSERLING & TSCHARNTKE (1995) fanden bei Bienen (und Grabwespen) mit geringer Körpergröße Aktionsradien von ca. 200 m und bei größeren Arten bis ca. 800 m. Auch CHAMBERS (1968) konnte bei Sandbienen Flugdistanzen von bis zu 800 m beobachten. Nach WITT (1992) können Weibchen von *Andrena barbilabris* problemlos Distanzen von 500 bis 750 m überbrücken. WALTHER-HELLWIG & FRANKL (1998, 2000) untersuchten die Sammelradien von Hummeln in der Agrarlandschaft. Einige Hummelarten, z.B. *Bombus terrestris* können ein temporäres Nahrungshabitat in einer Entfernung von etwa 2 km vom Nest nutzen. HEDTKE (1994, 1996) konnte wiederholt markierte Hummeln in einer Entfernung von 3 bis 4 km vom Nest beobachten. Einzelne Hummeln sind in der Lage, Gebiete von über 10.000 m² zu überbrücken (HEINRICH 1976). Der normale Sammelradius der Honigbienen beträgt 1 bis 2 km, es werden gelegentlich aber auch Flugstrecken von bis zu 5 km (RAMSAY et al. 1999) oder sogar 14 km zurückgelegt (EICKWORT & GINSBERG 1980). Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Mantelsaat aus konventionellem Raps, die als Fangstreifen für den transgenen Pollen dienen soll, sowie der auf die Mantelsaat folgende Isolationsabstand von 150 m leicht von Bienen (und anderen Insekten) überflogen werden kann. Eine gewisse Bedeutung besitzen Mantelsaat und Isolationstreifen aber offensichtlich beim Abfangen von zufliegenden Insekten, die das dort vorhandene Blütenangebot als Nahrungsressource nutzen. Das Futterangebot verringert die Nahrungswege, schränkt das Vordringen der Insekten zu den zentralen Parzellen mit transgenem Raps ein und verringert die Verfrachtung von transgenem Pollen (vgl. Kap. 4.2.2 und METZ et al. 1997).

Bei Honigbienen ist die Blütenstetigkeit (die Kontinuität, mit der ein Individuum auf einem Sammelflug nur eine Pflanzenart besucht) sehr ausgeprägt (WESTRICH 1989). Honigbienen fliegen bevorzugt große und ergiebige Blütenfluren an, beispielsweise ein blühendes Rapsfeld. Das Risiko einer Pollenübertragung vom transgenen Raps in benachbarten konventionellen Raps (z.B. in eine Mantelsaat) ist groß. Weitere im Gebiet vorkommende Pflanzenarten werden von Honigbienen im nennenswerten Umfang erst bei nachlassender Rapsblüte besucht, so dass das Auskreuzungsrisiko auf rapsverwandte Kreuzblütler zum Ende der Rapsblüte zunimmt. Hummeln und andere Wildbienen sind weniger blütenstet als die Honigbiene. Hedtke fing 30 Wildbienen am Raps und untersuchte deren Pollenladungen (ZALF 1998). 18 Pollenproben enthielten mehr als einen Pollentyp. Aufgrund der Blütenunstetigkeit sind Wildbienen (aber auch Schwebfliegen, vgl. PELLMANN et al. 1998) im stärkeren Maß als Honigbienen Pollenüberträger vom Raps auf verwandte Pflanzenarten.

4.4 Übertragung von Rapspollen durch Schwebfliegen

Auch für Schwebfliegen besitzen Kreuzblütler eine hohe Anziehungskraft (PROCTOR et al. 1996). Nach WEISS & NENTWIG (1982) werden frühblühende Brassicaceen (z.B. *Thlaspi arvense*, *Capsella bursa-pastoris*) in der Agrarlandschaft gut von Syrphiden besucht und CONNER et al. (1995) geben Syrphiden als wichtige Bestäubergruppe für *Raphanus raphanistrum* an. Beim Hederich korreliert die Blütenbesuchsfrequenz von Schwebfliegen mit der Größe der Blütenkrone und der Anzahl der Blüten (CONNER & RUSH 1996).

Rapspflanzen sind bereits aufgrund ihrer 100 bis 600 Einzelblüten (FREE 1993) für Syrphiden attraktiv. Hinzu kommt, dass bei sehr vielen Schwebfliegenarten eine Gelbpräferenz vorhanden ist (SSYMANK 2001). Auf dem Versuchsfeld bei Dahnsdorf wurden am konventionellen Raps 15 Arten und am transgenen Raps 11 Arten festgestellt (Tab. 50), darunter einige Arten auch in großen Individuenzahlen, vor allem *Sphaerophoria scripta*. Diese Art besucht ein breites Spektrum von bevor-

zugt hochwüchsigen Pflanzenarten, die zumindest lokal hohe Blütendichten erreichen sollten (SSYMANK 2001). Die Häufigkeit von *S. scripta* am blühenden Raps überrascht somit nicht.

Für den Pollentransfer und dem damit verbundenen Auskreuzungsrisiko sind die Saisonwanderer unter den Schwebfliegen von großer Bedeutung. Die flugtauglichsten Arten sind in der Lage, mehr als hundert Kilometer in wenigen Tagen zurückzulegen (GATTER & SCHMID 1990). Auch die häufig nachgewiesene *S. scripta* zählt zu den Arten mit starker Wanderneigung. SALVETER & NENTWIG (1993) kommen sogar zum Ergebnis, dass die meisten aphidiphagen Schwebfliegen auf der Suche nach idealen Eiablageplätzen, Nahrungs- und Übernachtungsstätten andauernd ihren Standort wechseln. Dabei besteht ein hohes Übertragungspotenzial von Pollen, der am Körper der Fliegen haftet, auf die Narben der angeflogenen Blüten.

Auch PELLMANN et al. (1998) heben die Bedeutung der Schwebfliegen für den Transport von Rapspollen hervor. Nach Ansicht der Autoren soll der größte Teil der Arten aus dem entfernteren Umland in den Feldbereich einwandern, da die Larvalhabitate im Wald bzw. in Waldrandnähe liegen. Das begünstigt den Pollentransport zwischen Feldkulturen und Umland.

4.5 Übertragung von Rapspollen durch andere Insekten

Neben Bienen und Schwebfliegen wurden zahlreiche Vertreter weiterer Insektengruppen an Rapsblüten, in Fallen am Rand des Rapsfeldes sowie an Blüten in den Habitatsinseln nachgewiesen. Beim Besuch einer Blüte besteht in Abhängigkeit vom Verhalten und vom Körperbau des Insektes eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit, dass sich Pollenkörner diffus am Körper der Tiere verfangen. Bei anschließenden Blütenbesuchen steht dieser Pollen zur Bestäubung zur Verfügung.

Viele **Pflanzenwespen** sind Blütenbesucher, die aufgrund ihres kurzen Labio-Maxillar-Komplexes überwiegend Blüten mit offenem Blütenbau aufsuchen, d.h. Blüten mit leicht erreichbarbarem Pollen und Nektar (allotrope Blüten, z.B. Pflanzen

der Familien Apiaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Asteraceae) (PROCTOR et al. 1996). Während die Larven in der Regel oligophag an bestimmten Pflanzengattungen oder –familien sind (TAEGER et al. 1998), ist für Imagines eine solche Spezialisierung nicht bekannt. Auf einige Arten (z.B. *Elinora* spp., Cephidae) wirken aber gelbe Blüten anziehend, beispielsweise *Ranunculus* spp., verschiedene Korbblütler oder großblütige Brassicaceen. Nach PROCTOR et al. (1996) besteht eine deutliche Tendenz der adulten Wespen, die Blüten der Nahrungspflanzen ihrer Larven zu besuchen. Das lässt sich zumindest für *Elinora flaveola* bestätigen. TAEGER et al. (1998) erwähnen allerdings, dass die Imagines vieler Arten zur Eigenversorgung Pflanzen aufsuchen, die nicht mit den Futterquellen ihrer Larven übereinstimmen.

Eine gezielte Bestäubung einzelner Pflanzenarten ist für Pflanzenwespen nicht bekannt (BLANK 1999). Es ist aber durchaus wahrscheinlich, dass durch die Bevorzugung eines bestimmten Blütentyps bzw. einer Blütenfarbe in Abhängigkeit vom lokal vorhandenen Blütenangebot eine Bestäubung erfolgt, da am Körper von Pflanzenwespen nicht selten größere Mengen an Pollen anhaften (vgl. die häufig nachgewiesene *Elinora flaveola*, s. Kap. 3.6).

Auch **aculeate Wespen** sind mit ihren in der Regel kurzen Mundwerkzeugen auf Blüten mit offenliegenden Nektarien angewiesen. Deshalb werden Doldenblütler (Apiaceae) und Korbblütler (Asteraceae) bevorzugt aufgesucht (z.B. SCHMIDT & SCHMID-EGGER 1991, SCHMID-EGGER & WOLF 1992). Nach PROCTOR et al. (1996) kommt den Weg- und Grabwespen (Pompilidae, Sphecidae, Crabronidae) zumindest zeitweise eine wichtige Funktion bei der Bestäubung von Doldenblütlern zu. Auch größere Faltenwespen (Vespidae) sorgen durch im Haarkleid verfangene Pollenkörner für eine Bestäubung (WITT 1998). Da die Flugzeit der meisten Wespenarten in die Sommermonate fällt, sind a priori nur wenige Arten am Winterraps zu erwarten (Kap. 3.6). Am Sommerraps können Wespen dagegen bei entsprechend hohen Populationsdichten als Pollenüberträger wirken, insbesondere soziale Faltenwespen der Gattung *Vespula*.

Marienkäfer ernähren sich als Larve und als Imago vorwiegend von Blattläusen und anderen Kleinarthropoden (68 % der mitteleuropäischen Arten sind aphidiphag; KLAUSNITZER & KLAUSNITZER 1997). Studien zur Nahrungszusammensetzung von *Adalia bipunctata* (HEMPTINNE & DESPRETS 1986) und *Coccinella septempunctata* (TRILTSCH 1997, 1999) zeigen, dass adulte Marienkäfer in bestimmten Phasen ihres Lebenszyklus auch größere Mengen an Blütenpollen verzehren. Auf diese Weise kann ein jahreszeitlich bedingter Mangel an Aphiden und anderen Kleinarthropoden ausgeglichen werden, möglicherweise ist der Pollen aber auch essentieller Nahrungsbestandteil (KLAUSNITZER, schriftl. Mitt). Auch eigene Darmuntersuchungen an Marienkäfern der Art *Coccinella septempunctata*, die am Raps gefangen wurden, bestätigen die Aufnahme von Blütenpollen (Kap. 3.6). Nach TRILTSCH (1999) verzehrt *C. septempunctata* Pollen vor allem in den Monaten Mai und September, also auch im Zeitraum der Winterrapsblüte.

Beim Besuch von Rapsblüten besteht die Möglichkeit, dass Pollen am Körper der Marienkäfer haften bleiben und bei späteren Blütenbesuchen übertragen werden. Diese Übertragung ist auch über größere Entfernungen möglich. Bei Marienkäfern sind Flüge über längere Distanzen bekannt, einerseits zum Aufsuchen von Überwinterungsquartieren, andererseits bei Massenvermehrung zum Erschließen neuer Nahrungsquellen (s. KLAUSNITZER & KLAUSNITZER 1997).

Die in Rapsblüten häufig anzutreffenden **Glanzkäfer** der Gattung *Meligethes* wechselten am Ende der Rapsblüte auf andere Kreuzblütler über (Kap. 3.6). Dabei ist eine Pollenübertragung wahrscheinlich. Auch JENKINSON & GLYNNE-JONES (1953) geben *Meligethes* als Pollenüberträger an. Hedtke konnte pollentragende Individuen von *Meligethes* sogar noch in 800 m Entfernung von einem Rapsfeld in Gelbschalen nachweisen. Bei Pollenzählungen stellte er durchschnittlich 90 Rapspollen je Individuum fest (ZALF 1998). Auch **Rüsselkäfer** der Gattung *Ceutorhynchus* wechselten nach dem Abblühen der Rapskulturen auf andere blühende Pflanzenbestände und sind somit potenzielle Pollenüberträger (Kap. 3.6). Angaben zu den enormen Aktivitätsdichten der *Meligethes*- und *Ceutorhynchus*-Arten am Raps liefert Hedtke in ZALF (1998). In Gelbschalen am Winterraps wa-

ren demnach *Meligethes* spp. mit 32,1 % und *Ceutorhynchus* spp. mit 16,3 % an der Fallenausbeute beteiligt.

Adulte **Florfliegen** der Sammelart *Chrysoperla carnea* s.l. verzehren neben Honigtau auch regelmäßig Blütenpollen (STELZL 1991, DUELLI 1999). Auf dem Versuchsfeld wurden Florfliegen in Blüten von Raps und anderen Brassicaceen beobachtet, häufig auch an vegetativen Pflanzenteilen (Kap. 3.6). ICKERT (1968) konnte zeigen, dass die Imagines gelbe und orange Blüten bevorzugt anfliegen. Die gelben Raps- und Senfblüten scheinen somit für Florfliegen attraktiv zu sein. Da *Chrysoperla*-Arten in der Agrarlandschaft nicht lange an einer Futterquelle verweilen, sondern Nacht für Nacht weiterwandern (DUELLI 1980, 1984), besteht ein Übertragungspotenzial von anhaftenden Rapspollen auch über größere Entfernungen.

Auch **Haarmücken** der Gattung *Bibio* ernähren sich von Nektar und Pollen und können dabei als Bestäuber fungieren (ZISKA 1999). Im dichten Haarkleid der Tiere verfangen sich leicht Pollenkörner und regelmäßig wurden am Raps völlig gelb bestäubte Individuen beobachtet. Dieser Pollen steht zur Bestäubung zur Verfügung. Haarmücken, insbesondere die Art *B. marci*, traten im Zeitraum der Untersuchung auf dem Versuchsfeld in enormen Individuenzahlen auf (Kap. 3.6). Es ist wahrscheinlich, dass *Bibio*-Arten eine Rolle bei der Übertragung von Rapspollen spielen.

Tagfalter sind mit ihren langen Saugrüsseln hochgradig an Blüten angepasst (eutrope Blütenbesucher). Über die Bedeutung von Tagfaltern für die Pflanzenbestäubung bestehen aber noch erhebliche Wissenslücken (EBERT & RENNWALD 1991). Eine Bestäubung dürfte am ehesten bei offenen Blüten mit leicht zugänglichem Nektar der Fall sein. Solche Blüten werden aber auch sehr effektiv von anderen Insekten bestäubt (s.o.). Dennoch scheinen Tagfalter auch in der Familie Brassicaceae als Bestäuber zu fungieren (Kap. 3.6). CONNER et al. (1995) untersuchten die Bestäuberleistung verschiedener Insekten an *Raphanus raphanistrum*. Als wichtigste Bestäuber geben sie neben Bienen und Schwebfliegen auch den

Weißling *Pieris rapae* an, der nach ihren Untersuchungen sogar eine vierfach höhere Bestäubungseffizienz an Hederichblüten besaß als die Honigbiene.

4.6 Übertragung von Rapspollen durch Wind

MCCARTNEY & LACEY (1991) führten an, dass die von einem Raps Schlag emittierte Pollenmenge von Tag zu Tag fluktuiert und an trockenen, warmen und windigen Tagen ihren Höchststand erreicht. Die eigenen Ergebnisse bestätigen den Zusammenhang zwischen Pollenkonzentration, Niederschlagsmenge und Tagestemperatur. Sowohl am Rand der Rapsparzellen, als auch an den Habitatsinseln wurden im trocken-warmen Messzeitraum 1998 (07. – 13. Mai) in den Pollenfallen deutlich weniger Pollen nachgewiesen als im eher feuchten und kühlen Untersuchungszeitraum 1999 (07. – 19. Mai) (Kap. 3.7). Trockenheit und Wärme führten dazu, dass der leichte Rapspollen mit der Luftzirkulation weiter im Luftraum verteilt wird.

Auch Hedtke registrierte einen deutlichen Zusammenhang des Pollenaustrags mit der Niederschlagsmenge, daneben auch mit der Sonnenscheindauer (ZALF 1998). Dagegen sollte die Windstärke nach Hedtke nur einen geringen Einfluss auf die emittierte Pollenmenge haben. Die Pollenkonzentration in der Luft unterliegt außerdem einer deutlichen Tagesperiodizität und ist zwischen 11⁰⁰ und 13⁰⁰ Uhr (TIMMONS et al. 1995) bzw. 12⁰⁰ und 14⁰⁰ Uhr am höchsten (MCCARTNEY & LACEY 1991).

Die Auswertung der Pollenfallen auf dem Versuchsfeld bei Dahnsdorf zeigte einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Pollenkörner und der Windrichtung. Dabei nahm die Konzentration der Rapspollen in der Luft bereits in geringer Entfernung von den Rapsbeständen deutlich ab und betrug in 10 m Entfernung nur noch 4,5 % (1998) oder 37,1 % (1999) der am Raps gemessenen Pollenmenge (s. Tab. 30). Die Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen bestätigen diesen Sachverhalt. Nach MESQUIDA & RENARD (1982) geht bereits 6 bis 10 m von einem Versuchsfeld entfernt die Rapspollenkonzentration auf 50 % zurück. MCCARTNEY & LACEY (1991) gaben an, dass die Pollenkonzentration in 6 m Entfernung von einer

40 m² -Parzelle im Mittel um 77 % und in 10 m Entfernung um 90 % zurückgeht, und zwar in Windrichtung. Jüngere Untersuchungen an größeren Rapsbeständen zeigen jedoch, dass auch in einiger Entfernung von Rapsfeldern noch vergleichsweise hohe Pollenkonzentrationen messbar sind. TIMMONS et al. (1995) untersuchten die Pollenverdriftung an 3 ha und 10 ha großen Rapsschlägen. Sie konnten in 360 m Entfernung noch 10 bis 12 % und in 2500 m Entfernung noch 1 bis 2 % der am Feldrand gemessenen Pollenmenge feststellen. Hedtke (in ZALF 1998) registrierte noch 2000 m von einem 38 ha großen Rapsfeld entfernt eine hohe Anzahl an Pollen (650 Pollen je m² und Stunde). Dieser Autor hält eine Langstrecken-Übertragung von Transgenen aus einem Rapsfeld auf andere Rapsbestände oder auf verwandte Pflanzenarten für wahrscheinlich. THOMPSON et al. (1999) konnten eine Bestäubung von männlich sterilen Rapspflanzen in 4 km Distanz zur Pollenquelle (konventionelles Rapsfeld) nachweisen. Da die Pollenfallen zur Messung des windbedingten Pollenflugs an diesem Standort kaum Pollenkörner enthielten, kamen die Autoren zum Schluss, dass für die Bestäubung über lange Strecken Insekten als Vektoren fungieren.

Auch PFEILSTETTER et al. (1998a, b) stellten fest, dass bei einem großflächigen kommerziellen Anbau von transgenem (herbizidresistentem) Raps eine wirkungsvolle Eingrenzung der Pollenverbreitung kaum möglich ist. Große Pflanzenbestände emittieren größere Pollenmengen als kleine Bestände (nach WILLIAMS 1984 wurden z.B. im Luftraum direkt über einem Rapsfeld bis zu 5300 Pollenkörner pro m³ gemessen). Die Auskreuzungswahrscheinlichkeit von Produktionsflächen auf kleine Ausfallflächen oder Wildkrautpopulationen (z.B. Habitatinseln) ist deshalb groß (vgl. ELLSTRAND et al. 1989).

Welchen Anteil der Wind und welchen Anteil Insekten an der Fremdbestäubung des Rapses und verwandter Arten haben, ist schwer zu beurteilen. Sicher ist, dass beide Faktoren eine Rolle spielen und sich gegenseitig ergänzen (DOWNEY et al. 1980, WILLIAMS 1984, WILLIAMS et al. 1987, SQUIRE et al. 1999, THOMPSON et al. 1999). NAMAI & OHSAWA (1987) untersuchten die Bestäubung von Raps durch Insekten resp. Wind in geografisch weit entfernten Feldkulturen (Kanada, Japan,

Polen, Deutschland). Dabei zeigte sich, dass in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren, insbesondere von den Arten- und Individuendichten blütenbesuchender Insekten, die Fremdbestäubung auf einem Rapsfeld vorrangig windbedingt, auf einem anderen dagegen vorrangig insektenbedingt sein kann. Weitere Faktoren, die den Pollenflug beeinflussen sind klimatische Gegebenheiten, Vegetationsdichte und -struktur in der Umgebung eines Feldes sowie überlappende Blühzeiträume von Pollendonor- und Pollenakzeptorpflanzen (vgl. GLIDDON 1999).

4.7 Auskreuzungsuntersuchungen

Biotests und molekulargenetische Charakterisierung der Hybriden: Die für Untersuchungen zur Auskreuzung vom transgenen Raps in Sareptasenf, Schwarzen Senf und Hederich geernteten Samen (Habitatinseln) sowie Samenproben von Weißem Senf (Waldrand), Hirtentäschel und Acker-Hellerkraut (Versuchsfeldanlage) wurden angekeimt und einer Resistenzbonitur unterzogen. Von den getesteten Jungpflanzen überlebten nur beim Sareptasenf einzelne Pflanzen die Herbizidapplikationen (Kap. 3.8). Eine Auskreuzung der Resistenz vom transgenen Raps auf Schwarzen Senf, Weißem Senf, Hederich, Hirtentäschel oder Acker-Hellerkraut konnte unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht festgestellt werden.

Auch in der Literatur gibt es keinerlei Hinweise auf eine mögliche Auskreuzung von Raps auf Hirtentäschel und Acker-Hellerkraut. Dagegen gelang die Hybridisierung von Raps (konventionell) mit *Sinapis alba* durch artifizielle Labormethoden wie Protoplastenfusion oder mit Embryokulturen (RIPLEY & ARNISON 1990, LELIVELT & HOOGENDOORN 1993, LELIVELT et al. 1993, CHÈVRE et al. 1994). Eine erfolgreiche Freiland-Hybridisierung von Raps mit Weißem Senf wurde jedoch bisher nicht festgestellt (vgl. NOTHNAGEL et al. 1997, SCHÜTTE et al. 2001, FÖRSTER et al. 2001).

Auch die Hybridisierung zwischen Raps und Schwarzem Senf gelang bisher nur künstlich im Labor und im Gewächshaus, unter Freilandbedingungen ist sie noch nicht bekannt geworden. HEYN (1977), ROUELLE & EBER (1983), DIEDERICHSEN

& SACRISTAN (1988) und JAHIER et al. (1989) erzeugten Hybride zwischen *Brassica nigra* und konventionellem Raps unter Einsatz von Labortechniken. KERLAN et al. (1992, 1993) kreuzten transgenen Raps mit *Brassica nigra* unter Gewächshausbedingungen, die Kreuzung gelang allerdings nur mit Schwarzem Senf als Pollendonator.

Mehrere Forschergruppen konnten nachweisen, dass Hederich und Raps erfolgreich kreuzbar sind. BARANGER et al. (1996) wiesen auf Hybride von Hederich und konventionellem Raps unter Feldbedingungen hin. LEFOL (1993) und KERLAN et al. (1992, 1993) kreuzten Hederich mit transgenem Raps im Labor bzw. im Gewächshaus, CHÈVRE et al. (1997, 1999) fanden Hybride von Hederich und transgenem Raps in einem Freilandversuch.

Auch auf die Hybridisierungsfähigkeit von Raps mit Sareptasenf wird in der Fachliteratur mehrfach hingewiesen. Der amphidiploide Charakter beider Kreuzungspartner mit dem gemeinsamen Besitz des AA-Genoms (Kap. 1.3.3) erleichtert eine Bastardisierung. Unter künstlichen Laborbedingungen oder im Rahmen von Gewächshausversuchen gelang verschiedenen Arbeitsgruppen die Kreuzung von *Brassica juncea* mit konventionellem Raps (HEYN 1977, ROUSSELLE & EBER 1983, MATHIAS 1985, BAJAJ et al. 1986, PRAKASH & CHOPRA 1988, PINDER et al. 1999). Erfolgreiche Hybridisierungen im Freiland erzielten ROY (1978, 1984) und FÖRSTER et al. (2001).

Neben den genannten Arten kommen in Mitteleuropa als Hybridisierungspartner des (transgenen oder konventionellen) Rapses weitere Brassicaceen in Betracht. Eine Hybridisierung mit den folgenden Kreuzungspartnern gelang meist nur mit artifiziellen Labormethoden und nur zum Teil auch unter natürlichen Freilandbedingungen:

- Rübsen (*Brassica rapa*): JØRGENSEN & ANDERSEN (1994), MIKKELSEN et al. (1996), LANDBO & JØRGENSEN (1997), SCOTT & WILKINSON (1998), PINDER et al. (1999), SNOW & JØRGENSEN (1999), FÖRSTER et al. (2001)
- Gemüse-Kohl (*Brassica oleracea*): KERLAN et al. (1992, 1993)

- Acker-Senf (*Sinapis arvensis*): INOMATA (1988), KERLAN et al. (1992, 1993), LEFOL (1993), LEFOL et al. (1996a), Gewächshaus, CHEVRE et al. (1999)
- Öl-Rauke (*Eruca sativa*): HEYN (1977)
- Grausenf (*Hirschfeldia incana* = *Brassica adpressa*): KERLAN et al. (1992, 1993), LEFOL et al. (1996b), CHEVRE et al. (1999)

Eine Hybridbildung zwischen Raps und Raukearten (*Descurainia sophia*, *Sisymbrium* spp.) konnte dagegen noch nicht nachgewiesen werden (vgl. FÖRSTER et al. 1998, 2001).

Die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Hybridisierung zwischen Raps und verwandten Brassicaceen hängt von vielen Faktoren ab, u.a. von dem Verwandtschaftsgrad der Hybridisierungspartner (Pollen-Narben-Kompatibilität), von deren phänologischer Übereinstimmung, vom Raps als Pollendonator oder – akzeptor, von der Menge des übertragenen Pollens, unter Freilandbedingungen auch von der Topografie und schließlich von der Fertilität der Hybriden (Ploidiegrad) (vgl. DARMENCY 1994, CHÈVRE et al. 1999, JØRGENSEN 1999, SCHÜTTE et al. 2001). Es ist auch vorstellbar, dass durch Sekundäreffekte der gentechnischen Veränderung die geschlechtliche Kompatibilität zwischen den möglichen Kreuzungspartnern begünstigt wird.

SCHEFFLER & DALE (1994) gruppierten potenzielle Kreuzungspartner nach ihrer Hybridisierungsfähigkeit mit Raps in neun Gruppen. Danach nehmen Rübsen und Sareptasenf die Ränge 1 und 2 ein, Schwarzer Senf folgt auf Rang 5, Hederich und Grausenf auf Rang 6 und Weißer Senf auf Rang 8. Nach SCHEFFLER & DALE (1994) kann als gesichert gelten, dass *Brassica rapa* (Rang 1), *Brassica juncea* (Rang 2), *Hirschfeldia incana* (= *Brassica adpressa*) und *Raphanus raphanistrum* (beide Rang 6) unter Feldbedingungen erfolgreich von Rapspollen befruchtet werden. Nach SUKOPP & SUKOPP (1993) ist eine Verwilderung der Kulturpflanzen Raps, Rübsen, Gemüse-Kohl und Ruten-Kohl durch eine Hybridisierung mit den Wildpflanzen Hederich, Acker-Senf, Grausenf, Schwarzer Senf und Wild-Kohl möglich. Nach PETERSEN & HURLE (1998) ist bei *Brassica rapa* die Wahrscheinlichkeit zur Hybridisierung mit Raps am größten, da Rübsen relativ häufig in

Rapsbeständen vorkommt und mit Raps eng verwandt ist. Die Autoren führen an, dass ein Kreuzungsereignis von Raps mit *Brassica juncea* und *Hirschfeldia incana* sehr unwahrscheinlich ist, da diese Arten sehr selten in Ackerbaukulturen vorkommen. Als Problem wird die Möglichkeit einer Hybridisierung von Raps mit *Raphanus raphanistrum* und *Sinapis arvensis* gesehen, allerdings aufgrund der Blühphänologie vor allem beim Sommerraps (PETERSEN & HURLE 1998).

Die mittlere Auskreuzungsrate von transgenem Raps auf Sareptasenf beträgt in der eigenen Untersuchung 0,26 % (21 Hybride unter 7931 gezählten Pflanzen). Dieser Wert ist überraschend groß im Vergleich zur Auskreuzung vom transgenen Raps auf den konventionellen Raps der Mantelsaat am gleichen Versuchsstandort. HOMMEL & PALLUTT (2000a, b) stellten dabei eine Auskreuzungsrate von maximal 0,15 % fest (Mittelwert: 0,09 %). TIRKOT (2001) fand jedoch Auskreuzungsraten vom transgenen auf konventionellen Raps von bis zu 0,32 % in einer Distanz von 10 – 20 m. Im Vergleich dazu ist die Auskreuzungsrate vom transgenen Raps auf Sareptasenf aufgrund der genetischen Distanz dieser Kreuzungspartner bemerkenswert. FÖRSTER et al. (2001) ermittelten bei Untersuchungen zur Auskreuzung der Glufosinatresistenz von transgenem Raps auf *Brassica juncea* in geringer Entfernung sogar eine Auskreuzungsrate von 0,38 % (67 herbizidresistente Pflanzen unter 17.718 aus dem Erntegut angezogenen Pflanzen). Die Auskreuzungsrate von transgenem Raps in konventionellen Raps oder in rapsverwandte Kräuter ist vom Pollendruck und damit von der Größe und der Distanz der Pollendonator- und Pollenakzeptorbestände abhängig (vgl. Kap. 3.7 u. 4.6). Bei Versuchen zur Auskreuzung in der Umgebung einer 80 m² -Parzelle transgenen Rapses fanden SCHEFFLER et al. (1993) Auskreuzungsraten auf konventionellen Raps von 0,016 % in 12 m und 0,00034 % in 47 m vor. Nimmt die Parzellengröße des Pollenspenders zu und verringert sich die Entfernung zwischen Spender- und Empfängerpflanzen, dann steigen die Auskreuzungsraten. FÖRSTER et al. (1998) fanden im Erntegut von konventionellem Raps, der an GVO-Raps grenzte, 3 - 17 % transgener Samen. Nach HOMMEL & PALLUTT (2000a) beträgt die Auskreuzungsrate vom GVO-Raps auf unmittelbar angrenzenden nicht-

transgenen Raps bis zu 5 %, nach TRIKOT (2001) bis zu 2,58 %, jeweils bezogen auf die Zahl der angekeimten Pflanzen. PELLMANN et al. (1998) stellten Auskreuzungsraten vom transgenen in konventionellen Raps aus einem Versuchsfeld von weniger als 1 ha Größe in 50 m Entfernung von 0,3 - 2 % und in 100 m Entfernung von 0,5 % fest (gemessen an der Anzahl von Keimlingen). PFEILSTETTER et al. (1998a, 1998b) fanden in der Umgebung eines 10 ha-Schlages Auskreuzungsraten von bis zu 21 % in der inneren Mantelsaat (ca. 6 m Entfernung vom GVO-Raps) und von bis zu 1,8 % in der äußeren Mantelsaat (ca. 13 m Entfernung). Sie stellten auch noch in 200 m Entfernung eine Auskreuzungsrate von 0,017 % im ersten Untersuchungsjahr und von 0,06 % im zweiten Jahr fest, allerdings wurden dabei die Auskreuzungsraten aus der Anzahl der Samen berechnet. DOWNEY (1999) fand mittlere Auskreuzungsraten zwischen 16 bis 64 ha großen Feldern von *Brassica rapa* von durchschnittlich 0,28 % bei 4 m Abstand, von 0,02 % bei 250 m Abstand und ebenfalls von 0,02 % bei 600 m Distanz (gemessen an Keimlingen).

Nach PFEILSTETTER et al. (1998b) werden die Auskreuzungsverhältnisse beim Raps im Freiland von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören neben der GVO-Parzellengröße auch die klimatischen Bedingungen, die Lage des Versuchsfeldes in Relation zur Hauptwindrichtung, die Breite der Mantelsaat, Arten- und Individuenzahlen von Bestäuberinsekten und die Genotypen der beteiligten Rapsorten. Diese Faktoren sind auch bei der Auskreuzung von Raps in Sareptasenf auf dem Versuchsfeld bei Dahnsdorf zu berücksichtigen.

Ob die Hybride das Ergebnis einer windbedingten, oder einer insektenbedingten Pollenübertragung sind, ist nicht eindeutig festzustellen. Die Ergebnisse des Jahres 1998 deuten eher auf eine windbedingte Pollenübertragung vom GVO-Raps auf Sareptasenf hin (Hauptwindrichtung WSW), da die geringste Anzahl an Hybriden in der Habitatinsel West (5) im Vergleich zu den Habitatinseln Nord (17), Ost (20) und Süd (16) ermittelt wurden. HOMMEL & PALLUTT (2000a) stellten aber 1998 die höchsten Auskreuzungsraten vom transgenen in konventionellen Raps der Mantelsaat in westlicher und östlicher Himmelsrichtung fest (0,15 % bzw. 0,10 %).

Im nördlichen Teil der Mantelsaat wurden keine Auskreuzungsereignisse nachgewiesen.

Die trockene und warme Witterung während der Raps-Vollblüte 1998 (25. April – 12. Mai) mit einer Niederschlagssumme von 7,6 mm und einer Tagesdurchschnittstemperatur von 14,7°C führte zur Freisetzung großer Pollenmengen mit weiträumiger Verteilung im Luftraum. Die Pollendichte in den Rapsbeständen und in den Habitatsinseln (Tab. 29) war gering. Die Erträge bei Raps (konventionell, transgen) und Sareptasenf, also bei Arten mit einer Tendenz zur Autogamie, fielen deshalb 1998 geringer aus als im folgenden Jahr (Tab. 31, vgl. auch HOMMEL & PALLUTT 2002). Die geringe Dichte des sorteneigenen Pollens bei Raps und Sareptasenf verbesserte die Wahrscheinlichkeit, dass transgener Rapspollen Blüten von konventionellem Raps (s. HOMMEL & PALLUTT 2000a) und vor allem von Sareptasenf befruchten konnte; entsprechend hoch fiel die Anzahl von Hybriden bei Sareptasenf aus (58 Hybridpflanzen, Tab. 33, 34).

1999 wurden im Zeitraum der Raps-Vollblüte (1. – 18. Mai) eine Niederschlagssumme von 25,2 mm und eine mittlere Temperatur von 11,7°C gemessen. Die eher feucht-kühle Witterung hatte eine kleinräumigere Verfrachtung des Pollens zur Folge. Der Pollen verblieb weitgehend innerhalb der Parzellen und Habitatsinseln und erreichte damit höhere Dichten als im Jahr zuvor (Tab. 29). Das zeigte sich im Ertrag, der 1999 bei Raps und Sareptasenf deutlich über dem Ertrag des Vorjahres lag (Tab. 31 und HOMMEL & PALLUTT 2002). Die hohe Dichte des sorteneigenen Pollens bei Raps und Sareptasenf verminderte die Wahrscheinlichkeit, dass der transgene Rapspollen andere Sorten und Arten befruchten konnte. Das resultierte in einer deutlich kleineren Anzahl von nur sechs *Brassica juncea* x *B. napus*-Hybriden im Vergleich zu 1998 (Tab. 33, 34). Auch die Anzahl von Auskreuzungsereignissen in der Mantelsaat lag unter derjenigen in 1998 (HOMMEL & PALLUTT 2000a). Für die Auskreuzung sind offensichtlich die aktuelle Witterung und blütenbesuchende Insekten, vor allem wärmeliebende Wildbienen, von großer Bedeutung, da beide das Verhältnis des sorteneigenen und –fremden Pollens pro Blüte maßgebend beeinflussen (vgl. Kap. 4.6).

Cytogenetische Charakterisierung der Hybriden: Neben der Zählung von Chromosomen in mitotischen Zellen des Griffelgewebes wurde die Chromosomenpaarung in meiotischen Zellen (Pollenmutterzellen) aus den Antheren überprüft. Durch beide Verfahren ließen sich die Hybridpflanzen eindeutig charakterisieren. Die Eltern *Brassica juncea* und *B. napus* zeigten einen normalen Meioseverlauf mit 18 resp. 19 Bivalenten in der Metaphase I. In den Pollenmutterzellen der Hybridpflanzen wurden durchschnittlich 13 Bivalente und zwölf Univalente gezählt. Dieses Ergebnis weicht von Literaturangaben ab. SASAOKA (1930) fand bei der Kreuzung zwischen Raps und Sareptasenf zwar ebenfalls einen unregelmäßigen Verlauf der Meiose vor, zählte aber 10 Bivalente und 17 Univalente. Das gilt auch für Untersuchungen von ROUSSELLE & EBER (1983), die im Mittel neben 10 Bivalenten noch 17 Univalente feststellten. Eventuell sind die unterschiedlichen Genotypen der verwendeten Sareptasenf- und Rapssorten die Ursache für die Abweichungen in der Chromosomenpaarung während der Meiose.

Phänotypische Charakterisierung der Hybriden: Die untersuchten Blätter der Hybridpflanzen zeigten nach dem bisherigen Kenntnisstand väterliche (Raps) und mütterliche Merkmale (Sareptasenf). Aufgrund der großen Variabilität der Blattmorphologie bei Raps und verwandten Brassicaceen erscheinen jedoch umfangreichere Untersuchungen notwendig zu sein, um dieses vorläufige Ergebnis abzusichern. Auch in der Fachliteratur wurde eine intermediäre Blattform zwischen Raps und Kreuzungspartnern beschrieben, und zwar bei einer *Brassica napus* x *Sinapis alba*-Hybride (RIPLEY & ARNISON 1990).

Fertilität der Hybriden: Nur eine von 64 Hybridpflanzen bildete Schoten aus. Diese enthielten nur wenige Samen mit unregelmäßig runzeliger Oberflächenstruktur. Bereits SASAOKA (1930) erwähnt die Samenentwicklung einer *Brassica juncea* x *B. napus*-Hybride und beschreibt die Form der Samenkörner ebenfalls als sehr unregelmäßig.

OLSSON (1949) führte an, dass zwar die Kreuzung zwischen Raps und Sareptasenf leicht möglich ist (insbesondere mit Raps als Pollendonator), die Hybriden aber steril sind. In der vorliegenden Studie produzierte dagegen eine Hybridpflanze 43

Samenkörner, aus denen sich sechs Pflanzen der F₂ –Generation entwickelten. Die Samenreifung ist entweder auf eine Selbstbestäubung oder auf eine Fremdbestäubung durch im Gewächshaus synchron blühende *B. juncea*-Pflanzen zurückzuführen. Insgesamt bildeten 1,6 % der F₁-Hybride keimfähigen Samen aus. PINDER et al. (1999) erhielten bei der Rückkreuzung von *B. juncea*-Hybriden mit dem Vater *B. napus* F₂-Hybride, von denen zwischen 2 und 25 % keimfähigen Samen produzierten. In Abhängigkeit von den Genotypen der Eltern kann somit eine beträchtliche Schwankungsbreite in der Viabilität der Hybriden vorliegen.