



BUNDESMINISTERIUM
FÜR GESUNDHEIT

Ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch verändertem Weizen

Identifizierung von wesentlichen Aspekten
und Konzeptentwicklung



Impressum

Herausgeber, Medieninhaber und Hersteller
Bundesministerium für Gesundheit, Sektion II
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Für den Inhalt verantwortlich
Dr. Ulrich Herzog

Autorin
Kathrin Pascher

Institut für Naturforschung und Ökologie GmbH – „V.I.N.C.A.“
Gießergasse 6/7, 1090 Wien

Druck
Kopierstelle des BMG, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verfügbar unter
www.bmg.gv.at

Erscheinungstermin
Dezember 2013

ISBN 978-3-902611-72-7

Verzeichnis

Verzeichnis	1
Zusammenfassung	2
Summary	5
Einleitung	7
Stand der weltweiten Entwicklung, der Freilandtestung und der Einführung von GV Weizen	8
Analyse der Pressemeldungen zu den aktuellen Funden von gentechnisch verändertem Weizen in den USA.....	8
Biologische und landwirtschaftliche Eckdaten von Weizen	10
Österreichspezifische Agrardaten zu Weizen	11
Das Auskreuzungspotential von Weizen	11
Pollenflug und Befruchtung von Weizen	11
Intraspezifische Auskreuzung bei Weizen auf andere Weizensorten	13
Interspezifische Hybridisierung von Weizen mit anderen Kulturpflanzenarten	14
Interspezifische Hybridisierung von Weizen mit anderen Arten der Familie der <i>Poaceae</i>	14
Vorkommen von verwandten Arten von Weizen in Österreich	17
Durchwuchspotential von Weizen	17
Verwilderungspotential von Weizen	19
Identifizierung von Aspekten, die für die ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch verändertem Weizen relevant sind	20
Das Auskreuzungspotential von Weizen	20
Import und Verarbeitung von Weizen	21
Die Einschätzung von GV Weizen durch die kanadischen Landwirte	22
Entwicklung eines Konzepts für die ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch verändertem Weizen und Handlungsempfehlungen	23
Literatur	26

Zusammenfassung

In einem konventionellen Weizenfeld im nördlichen Bundesstaat Oregon in den USA wurden im Mai 2013 Pflanzenindividuen von Roundup Ready Weizen (RRW) der Sorte MON 71800, die von Monsanto entwickelt wurde, registriert. Gentechnisch veränderter (GV) Weizen ist in den USA jedoch nie zur Kommerzialisierung gekommen. Die Freilandversuche dieser Sorte endeten in Oregon bereits 2001. 2004 verzichtete Monsanto aufgrund der mangelnden Akzeptanz der Konsumenten auf die Markteinführung dieses Produkts. Diese 2013 überraschenden Funde von GV Weizen auf einem amerikanischen Weizenfeld erfordern gerade aufgrund des Nichtvorhandenseins von aktuellen GV Weizenpollenquellen eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung und tiefgehende Analyse des artspezifischen Verhaltens von Weizen, um das ökologische Risikopotential von GV Weizen besser einschätzen zu können.

Weizen (*Triticum aestivum*) gehört zur Familie der Süßgräser *Poaceae* (Tribus *Triticeae*). Diese Kulturpflanze ist weltweit die am dritthäufigsten angebaute Getreideart mit einer jährlich weltweiten Produktion von insgesamt etwa 675 Mio. t (2012; FAOSTAT: www.faostat.fao.org). Der heute zur Anwendung kommende hexaploide Saatweizen ist ein Produkt aus Kreuzungen mehrerer Getreide- und Wildgrasarten, sein Ursprungsgebiet ist der Vordere Orient. Vor allem beim Weichweizen werden genetische Veränderungen beispielsweise bezüglich Herbizidresistenz, Produktqualität, Resistenz gegenüber dem Pilz *Fusarium*, Ertragshöhe und Toleranz gegenüber biotischem und abiotischem Stress durchgeführt. Die Anwendung der Gentechnik zur Entwicklung von mit aktuell erwünschten Eigenschaften ausgestatteten Weizensorten ist grundsätzlich jedoch nicht erforderlich, da die Modifikationen auch auf dem Weg der konventionellen Züchtung erreicht werden können. Für die Zukunft angedacht sind Krankheitsresistenz, Trockenresistenz und ein geringer Glutengehalt. Weizen ist eine großteils selbstbefruchtende Gräserart. Der Fremdbefruchtungsanteil kann jedoch dennoch bis über 5% betragen. Trotz der vergleichsweise niedrigen Fremdbefruchtungsrate – eine grundlegende Voraussetzung für erfolgreiche Hybridisierung – kann Genfluss von GV Weizen in konventionellen Weizen oder in wild vorkommende verwandte Arten laut wissenschaftlicher Untersuchungen dennoch beträchtlich sein. Äußere Umweltbedingungen wie etwa Temperatur und Feuchtigkeit beeinflussen die Pollenvitalität entscheidend und damit auch den Fremdbefruchtungserfolg. Weizen ist anemophil (windverbreitet). Der Weizenpollen kann laut Literatur bis zu einer bereits bestätigten **Distanz von 1.000 m** beziehungsweise **2.750 m** von der Pollenquelle übertragen werden. In einer Studie über eine transgene Glyphosat resistente Variante von Kriech-Strausgras (*Agrostis solonifera*), ebenfalls eine Gräserart aus der Familie der *Poaceae*, konnte Genfluss sogar über eine Distanz von maximal 21 km nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse lassen die Vermutung zu, dass auch der Weizenpollen unter idealen Bedingungen größere als die bis dato wissenschaftlich bestätigten Distanzen überwinden kann.

Sowohl **intraspezifische als auch interspezifische Hybridisierung** ist bei Kulturweizen unter natürlichen Bedingungen grundsätzlich möglich. Die Kreuzung zwischen verschiedenen Weizensorten ist in wissenschaftlichen Studien bereits mehrfach belegt. In Abhängigkeit von der Distanz zwischen Pollendonator und Pollenrezeptor wurden Auskreuzungsraten von bis zu **6,7%** nachgewiesen. Interspezifische Hybridisierung ist bei Weizen prinzipiell mit Roggen und vor allem mit Gräsern der Gattung *Aegilops* möglich. Zwischen Weizen und *Aegilops cylindrica* (Zylindrischer Walch) wurde in Europa eine Hybridisierungsrate von bis zu **7%** festgestellt, in Oregon (USA) bis **8%**. Eigenschaften der Kulturpflanze Weizen können nach nur zwei Rückkreuzungen in das Genom von *Ae. cylindrica* transferiert werden, was bedeutet, dass Gentransfer unter natürlichen Bedingungen wahrscheinlich ist. Die gebildeten Hybriden können sich selbständig reproduzieren und lebensfähige Samen herstellen. Die mediterrane Art *Ae. cylindrica* wurde voraussichtlich ab Ende des 19. Jahrhunderts in die USA wiederholt eingeschleppt. Diese in Österreich adventiv

vorkommende Art kommt nur selten an sehr wenigen Standorten vor. Auch mit *Aegilops geniculata* sind Kreuzungen mit Weizen prinzipiell möglich.

Durchwuchs ist bei Weizen ein vorrangiger Aspekt, der in einer ökologischen Risikoanalyse intensiver Berücksichtigung bedarf. In den USA und in Kanada ist Durchwuchsweizen bereits seit 25 Jahren auf den Feldern präsent und rangiert dort **mit einer durchschnittlichen Dichte von sechs Pflanzen/m² (Maximum bis zu 280 Pflanzen/m²) an Stelle 12 der häufigsten Beikrautarten**. Weizen besitzt zudem mit einer etwa fünf-jährigen Keimfähigkeit der Samen im Boden eine vergleichsweise langlebige Bodensamenbank. Bei einer Kommerzialisierung von transgenem Weizen würden Durchwuchspflanzen eine große Herausforderung für die Sortenreinheit von nicht GV Sorten darstellen, da Durchwuchs einen wesentlichen Beitrag zur Transgen-Übertragung durch Pollen oder Samen liefert. Zudem wird Weizen beispielsweise in Westkanada als wesentliche Komponente in der Fruchtfolge für die Beikrautkontrolle eingesetzt.

Transgene von Weizen können demzufolge einerseits erfolgreich durch den Pollen verbreitet werden, andererseits können diese jedoch auch erst nach der Ernte einer Kulturpflanze in Form von Durchwuchs in das Agroökosystem entfliehen und in den folgenden Jahren wiederholt unerwünscht aufscheinen. Durchwuchspflanzen dienen auf diese Weise über mehrere Jahre hindurch als potentielle zukünftige Quelle für Transgene. Transgene können aber auch durch menschliche Aktivitäten im Zuge von Transport und Handel über sehr große Distanzen verbreitet werden. Auch wenn das Entfliehen von Transgenen *per se* in einigen Fällen nicht sofort und direkt als Schaden identifiziert werden kann, erhöht dieser Prozess die Möglichkeit eines ökologischen Risikos. Die intraspezifische Verbreitung von Transgenen innerhalb der Landwirtschaft basiert auf Metapopulationen. Diese inkludieren die angebauten Kulturpflanzen, Durchwuchspflanzen, eventuell verwilderte Subpopulationen, als auch latente Populationen bestehend aus lebensfähigen Samen, die unauffällig und unkontrolliert in Agroökosystemen und landwirtschaftlichen Produktions- und Versorgungsketten vorkommen können. Durch den Anbau, den anschließenden Transport und die Verarbeitungsprozesse von GV Weizen könnte die Erhaltung der Sortenreinheit bei nicht GV Weizen in hohem Maße gefährdet sein. Wenn Roundup Ready Weizen (RRW) in den Anbaugebieten von Roundup Ready Raps parallel kultiviert würde, könnte laut Literatur beim Anbau ein besonderes ökologisches Problem von kumulativen Effekten entstehen. Unter dieser Situation könnten besonders konkurrenzkräftige Glyphosat-resistente Beikräuter hervorgehen und das bereits bestehende Beikrautproblem noch zunehmend verstärken, da aufgrund der dann erforderlich werdenden Anwendung weniger umweltverträglicher Alternativherbizide oder aufgrund von fehlenden effektiven Alternativkontroll-Möglichkeiten indirekt das Ökosystem betroffen wäre. Diese kumulativen Effekte werden in der ökologischen Risikoanalyse jedoch bis dato nicht berücksichtigt, da die GV Kulturpflanzen auf einer case-by-case-Basis evaluiert werden.

Die effektivste Maßnahme zur Vermeidung von GV Weizenkontaminationen in der Lebensmittelkette und in der Umwelt wäre, GV Weizen erst gar nicht zu kultivieren. Die hohe Wahrscheinlichkeit von interspezifischen und intraspezifischen Kreuzungen mit verwandten Grasarten und das massive Aufkommen von Durchwuchs verdeutlichen die ökologische Problematik von transgenem Weizen. Als Genfluss-begrenzende Maßnahmen beim Anbau von GV Weizen werden die Einrichtung von räumlichen Isolationszonen zwischen GV Weizen- und konventionellen Weizenfeldern, die zeitliche Isolation in Form einer Minimierung synchroner Blühfenster zwischen GV und konventionellem Weizen, eventuell der Anbau von kleinwüchsigen Weizensorten im Vergleich zu den großwüchsigen Durchwuchspflanzen, um gleichzeitiges Blühen zu vermeiden, und eine effektive Durchwuchskontrolle diskutiert. Zudem sollten das umfassende landwirtschaftliche Wissen der Landwirte, deren Beobachtungen am Feld, sowie deren Einschätzung vermehrt in die Risikodiskussion miteinfließen.

Für die nähere Zukunft gilt der Anbau von GV Weizen auch in den USA als nach wie vor unwahrscheinlich. Australien plant eine Kommerzialisierung von GV Weizen frühestens ab 2020. Da die Inverkehrbringung von GV Weizen in der Europäischen Union und in Österreich ebenfalls nicht in näherer Zukunft zu erwarten ist, muss eine aktuelle ökologische Risikoanalyse für Österreich vor allem auf den **Weizenimporten** aus den Ländern, die in der Vergangenheit Freilandversuche mit GV Weizen durchgeführt haben oder potentiell den Anbau von GV Weizen planen, fokussieren. Hierbei ist es wesentlich, die in Österreich zur Anwendung kommenden strengen Regelungen hinsichtlich der Sortenreinheit rechtzeitig auf GV Weizen zu adaptieren. Im Falle von Nachweisen von GV Kontamination in importierten Weizenchargen müssten insbesondere eventuelle GV Samenverluste entlang von Transportrouten, in Verladungsstellen, Lagerhäusern, in Bereichen, in denen Sortenmischungen durchgeführt werden, sowie in Verarbeitungsstellen wie Mühlen genau untersucht werden, um rechtzeitig das Eindringen von transgenem Weizen in die Umwelt identifizieren und erste begrenzende Maßnahmen setzen zu können.

Summary

In the Northern US State Oregon plant individuals of herbicide tolerant Roundup Ready wheat (RRW) were identified in a commercially grown wheat field by a farmer in May 2013. The plants were attributed to the transgenic variety MON 71800 which was developed by Monsanto. However, genetically modified (GM) wheat was never commercialised in the USA. Field trials of this variety already discontinued in Oregon in 2001. Due to the consumers' lacking acceptance Monsanto disclaimed the introduction of that GM product on the market in 2004. The Oregon farmer's surprising discovery of herbicide tolerant wheat, even though a current source of GM wheat pollen was lacking, calls for an intense scientific dispute as well as a penetrative analysis of the species-specific behaviour of wheat in order to assess the ecological risk potential of GM wheat in more detail.

Wheat (*Triticum aestivum*) is a member of the family of the *Poaceae* (tribe *Triticeae*). Worldwide, this crop is the third frequent grown grain species with an annual production of altogether around 675 Mio. tons (2012; FAOSTAT: www.faostat.fao.org). The today cultivated hexaploide seed wheat is a crossing product of several grain species and wild grass species. Its origin is the Near East. Especially soft wheat is genetically modified. The modifications focus on herbicide resistance, product quality, resistance against the fungus *Fusarium*, harvest extent as well as tolerance against biotic and abiotic stress. The application of genetic methods for the development of wheat varieties provided with the current requested traits is not necessarily required because breeding aims can also be achieved with conventional methods. In future, genetic traits such as disease resistance, drought resistance, and low gluten levels are expected to be incorporated into wheat varieties. Wheat is mainly autogamous. However, allogamy can account for more than 5%. Despite the comparable low rate for allogamy which is a basic requirement for a successful hybridisation, gene flow from GM wheat into commercial wheat or into wild occurring related species can be extensive according to scientific findings. Climatic preconditions such as temperature or moisture have a crucial influence on pollen vitality and on the success of allogamy. Wheat is an anemophile grass species. According to scientific evidence wheat pollen is spread over an already confirmed **distance of 1,000 m and 2,750 m**, respectively from the pollen source. In a study dealing with creeping bentgrass (*Agrostis solonifera*) which is also a member of the *Poaceae*, gene flow was identified even over a distance of 21 kilometres. From these results it might be assumed, that under optimal conditions also wheat pollen could be spread over larger distances as scientifically confirmed at present.

In principle, **intraspecific as well as interspecific hybridisation** of cultivated wheat is possible under natural conditions. Crossing between various wheat varieties has already been repeatedly confirmed in scientific studies. According to the distance between pollen donor and pollen receptor, outcrossing rates of up to **6.7%** have been proved. Interspecific hybridisation of wheat is generally possible with rye and especially with species of the genus *Aegilops*. In Europe the hybridisation rate between wheat and *Aegilops cylindrica* (jointed goatgrass) accounted for **7%**, in Oregon (USA) up to **8%**. Traits of the crop wheat can be transferred to the genome of *Ae. cylindrica* only after two backcrosses. This means that gene transfer under natural conditions is probable. The formed hybrids are able to reproduce independently and produce viable seeds. The Mediterranean species *Ae. cylindrica* was repeatedly introduced into the USA probably since the end of the 19th century. This adventive species occurs in Austria rarely on only a few sites. Hybridisation of wheat is also possible with the species *Aegilops geniculata* (ovate goatgrass).

Wheat volunteers are a prior concern in an ecological risk assessment and need special consideration. In the USA as well as in Canada volunteers have already been present on the fields for 25 years. With an **average frequency of six plant individuals/m² (maximum reaching up to**

280 plants/m²) they range **on position 12 of the most frequent weed species**. Moreover, with an approximately five-year lasting germination rate of the seeds in the soil, the seed bank of wheat is comparatively long-lived. If wheat would be commercialized, volunteers would pose a big challenge for the purity of non GM varieties because volunteers mainly account for transgene transfer induced by pollen or seeds. Additionally, wheat is applied as a main component in the crop rotation for weed control in Western Canada.

Hence, transgenes are spread either via pollen or via seeds. Additionally, they can escape into the agroecosystem not before the harvest of a crop as volunteers and repeatedly appear unrequested on the fields during the proceeding years. In this way, volunteer plants serve as potential future source for transgenes over several years. However, transgenes can also be transferred over very large distances via humans due to transport and processing activities. Even though the escape of transgenes *per se* can not immediately and directly be identified as harm in several cases, this process increases the possibility for an ecological risk. The intraspecific dispersal of transgenes within agriculture is based on meta populations. These include the cultivated crop, the volunteer plants, potentially feral subpopulations, as well as latent populations consisting of viable seeds which occur inconspicuously and uncontrolled in agroecosystems and supply chains. Due to cultivation, proceeding transport activities and processing activities of GM wheat, the preservation of variety purity of non GM wheat might be at risk. If Roundup Ready wheat (RRW) would be cultivated in the same growing regions as Roundup Ready oilseed-rape, crucial ecological problems in cultivation attributed to cumulative effects might arise. Under these preconditions, particularly very competitive Glyphosat resistant weeds could be formed which would increasingly reinforce the already existing weed problem. The ecosystem would indirectly be affected by requiring the use of less environmentally friendly alternative herbicides or because there are no effective alternative control options. However, these cumulative effects are still not considered in an ecological risk assessment because of the usually executed case-by-case evaluation of the GM crop.

Non cultivation of GM wheat would be the most effective measurement to avoid GM wheat contamination in the supply chain as well as in the environment. The comparably high probability of intraspecific as well as interspecific hybridisation with closely related grass species of the *Poaceae* and the intense appearance of volunteers on the fields clarify the ecological concern of transgenic wheat. The establishment of regional isolation distances between fields of GM wheat and non GM wheat, temporal isolation which minimises blossoming synchronism between GM wheat and commercial wheat fields, optionally cultivation of short growing wheat varieties in comparison to the higher volunteer plants, to prevent simultaneously blossoming as well as an effective volunteer control are discussed as effective measurements to limit gene flow during cultivation of GM wheat. Above all, the extensive agricultural knowledge of farmers, their observations in the field, and their distinct evaluation should be incorporated and considered in the risk discussion.

Cultivation of GM wheat is not expected to become realized in the USA in the near future. Australia is planning commercialisation of GM wheat 2020 at the earliest. Since putting on the market of GM wheat in the European Union and in Austria is also not realistic in the next years, a current ecological risk assessment for Austria should be focussed **on wheat imports** from countries which have already conducted field trials in the past or which prospectively are planning cultivation of GM wheat in the future. In that case it is essential that the strict regulations concerning varietal purity currently applied in Austria should be adopted for GM wheat immediately. In case of detection of GM contamination in imported wheat charges, potential GM seed spillage along transport routes, in loading areas, at storehouses, in locations where several wheat varieties are mixed, as well as in processing areas such as mills would have to be investigated carefully in order to identify the ingression of transgenic wheat into the environment at once. Moreover, preventing effective measurements could be applied immediately.

Einleitung

Weizen ist ein wichtiges, weltweit für die Ernährung zum Einsatz kommendes Grundnahrungsmittel. Global wurden im Jahr **2012 675 Mio. t** Weizenkörner geerntet (FAOSTAT: faostat.fao.org). Nach Mais und Reis ist Weizen das weltweit am dritthäufigsten angebaute Getreide. Hauptproduzenten sind China, Indien, Russland, die Vereinigten Staaten, Frankreich, Australien und Kanada. Die USA produzierten im Jahre 2011 etwa 54,4 Mio. t beziehungsweise 2012 61,8 Mio. t. Sie sind mit etwa 32,8 Mio. t (2011) der weltweit größte Weizenexporteur gefolgt von Frankreich, Australien und Kanada (FAOSTAT: faostat.fao.org). Kanada produzierte im Jahr 2011 etwa 27 Mio. t (2012) und exportierte davon 16,3 Mio. t an 70 Länder. Hiermit kommt Kanada ebenfalls eine bedeutende Rolle am Weltmarkt zu (HUYGEN et al. 2003). Mit einem Anbauumfang von ungefähr 38% der kanadischen Kulturpflanzen-Anbaufläche im Jahr 2006 war hexaploider Weizen sogar die am großflächigsten angebaute Kulturpflanze von Kanada (WILLENBORG & VAN ACKER 2008). In Westkanada ist *Triticum aestivum* die zweitwichtigste Kulturpflanze mit einem jährlichen Kultivierungsumfang von 3,0 bis 5,7 Millionen Hektar (Statistics Canada: 1992-2001).

Anlassfall für das vorliegende Gutachten waren Pressemeldungen zu einem im Frühling 2013 erfolgten Fund von gentechnisch veränderten (GV) Weizenpflanzen der Sorte **MON 71800, der eine Resistenz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Glyphosat (Roundup)** besitzt, in einem konventionellen Weizenfeld im amerikanischen Bundesstaat Oregon. Dieser Nachweis war überraschend, da GV Weizen in den USA lediglich für Versuchszwecke bis 2001, aufgrund des großen Widerstandes der amerikanischen Konsumenten und Produzenten jedoch nicht kommerziell angebaut wurde.

Ziel des Gutachtens ist es nun, die weizenspezifischen Aspekte zu identifizieren und näher zu beleuchten, die in einer ökologischen Risikoanalyse von GV Weizen vorrangig zu berücksichtigen und evaluieren sind. Dazu gehören beispielsweise die Identifizierung von wilden verwandten Arten, mit denen Hybridisierungen grundsätzliche möglich wären, das Auskreuzungspotential auf konventionelle Weizensorten und die verwandten wild vorkommenden Arten und deren Verbreitung in den USA und in Europa, sowie die Abschätzung der Durchwuchsproblematik und die Abklärung eines eventuell existierenden Verwildierungspotentials von Kulturweizen. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte soll ein Konzept für eine ökologische Risikoabschätzung von GV Weizen entwickelt und erste Empfehlungen für Österreich abgegeben werden.

Stand der weltweiten Entwicklung, der Freilandtestung und der Einführung von GV Weizen

Die Entwicklung, die Freisetzungsversuche und die geplante Einführung von GV Weizen in Nordamerika wurden stets sehr kontrovers diskutiert und veranlassten einige der damit näher Befassten dazu, die Legitimierung von wissenschaftlich begründeter Regulation betreffend Agrarbiotechnologie zu hinterfragen (MAURO et al. 2009). Obwohl Roundup Ready Weizen (RRW) vom Konzern Monsanto von der Kommerzialisierung zurückgezogen wurde, werden vor allem in letzter Zeit erneute Interessen für RRW laut, basierend auf der Motivation, die Getreideversorgung im Zusammenhang mit der globalen Ernährungskrise zu erhöhen.

Transgener Weizen war ursprünglich für den großflächigen Anbau geplant, bis dato gab es jedoch noch keine kommerzielle Freisetzung (WILLENBORG et al. 2009). Die Kommerzialisierung von Glyphosat-resistentem GM Weizen in Westkanada wurde in den Jahren um 2003 wahrscheinlich anfänglich unter einem Protokoll einer Identitätserhaltung in Erwägung gezogen (FRIESEN et al. 2003). Eine Reihe von erwünschten Merkmalen wurde bereits erfolgreich mit Hilfe von rekombinanter DNA Technologie in Weizen eingebracht. Auch die Transformation mit Chloroplasten ist in Weizen kürzlich bereits erfolgreich geglückt (CUI et al. 2011). Aktuell befasst sich die Forschung der Gentechnik bei Weizen mit der Herbizidtoleranz, Virusresistenz, Pilzresistenz, Trockentoleranz, der Salztoleranz, Ertragssteigerungen und mit veränderten Produkteigenschaften wie etwa einem verringerten Glutengehalt (WILLENBORG & VAN ACKER 2008). Freilandversuche mit GV Weizen wurden bereits weltweit durchgeführt: EU: insgesamt 37: davon in Großbritannien 13, Spanien 10, Italien 5, Deutschland 6, Belgien 2, Ungarn 1 -, USA: insgesamt 478; Kanada, Argentinien, Japan, China, Australien, Ägypten, Schweiz, Indien – für die acht letztgenannten Länder werden keine näheren Angaben zur jeweiligen Anzahl der bereits durchgeführten Freilandversuche gemacht (Transparenz Gentechnik: Zulassungen, www.transgen.de). Die Zulassung einer herbizidresistenten GV Weizensorte als Lebens- und Futtermittel gab es allerdings nur in den USA und in Kolumbien. Weltweit wird aktuell kein GV Weizen angebaut, kurzfristig zeichnet sich auch keine Markteinführung ab. In Australien könnte allerdings trockenoleranter GV Weizen ab 2020 auf den Markt kommen (bioSicherheit: Interview mit G. SPANGENBERG).

Analyse der Pressemeldungen zu den aktuellen Funden von gentechnisch verändertem Weizen in den USA

Die amerikanische Landwirtschaftsbehörde APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) hat offiziell die Funde von GV Weizen auf einem konventionellen Feld im nordwestlichen US-Bundesstaat Oregon bestätigt (www.bloomberg.com/news/2013-06-06/scientists-unswayed-by-monsanto-findings-on-rogue-wheat.html),

<http://www.guardian.co.uk/environment/2013/jun/05/gm-wheat-oregon-field>,

<http://www.reuters.com/article/2013/06/05/wheat-korea-us-idUSL3N0EH0FK20130605>,

www.n-tv.de/wirtschaft/Neuer-Skandal-um-Monsanto-article10775276.html). Es handelt sich um einen Ende der 1990er Jahre von Monsanto entwickelten GV Weizen der Sorte **MON 71800, der eine Resistenz gegenüber Herbiziden mit dem Wirkstoff Glyphosat (Roundup) besitzt** (ISAAA: GM Approval Database, <http://www.isaaa.org>). Die Freilandversuche mit dieser Sorte endeten nach Unternehmensangaben aber bereits 2001 in Oregon und 2004 in insgesamt 17 beziehungsweise 16 Bundesstaaten (JONES 2013). Roundup Ready Weizen (Toleranz gegenüber Glyphosat) stand seit 1997 in Entwicklung von Monsanto (STOCKSTAD 2004). Aus Angst vor mangelnder Akzeptanz der Konsumenten - der Weizen war für den direkten Konsum durch den Menschen vorgesehen - wurde die geplante Kommerzialisierung des GV Weizens 2004 eingestellt. Das Zulassungsverfahren wurde abgebrochen. Die Europäische Union und Japan, die die Hauptabnehmer von Hard Red Frühlingsweizen sind, gaben bekannt, dass sie im Falle eines GV Weizenanbaus in den USA alle amerikanischen Weizenlieferungen boykottieren würden. Syngenta ist nach Monsanto das zweitgrößte Früchte- und Gemüsesaatgut-Unternehmen der Welt und entwickelte ebenfalls eine GV Weizensorte, die stabilere Samen besaß und Resistenz gegenüber dem Pilz *Fusarium* („head blight“), der Mykotoxine produziert, aufwies. Beide Unternehmen Monsanto und Syngenta gaben bekannt, dass sie erst bei einer steigenden Akzeptanz der Konsumenten dazu bereit wären, GV Weizen zu kommerzialisieren.

Kurz nachdem die USDA (United States Department of Agriculture) den Nachweis des GV Weizens in Oregon bekannt gegeben hatte, stoppten die Käufer in Japan, Südkorea, Taiwan und der Europäischen Union die Importe des amerikanischen „western white“ Weizens (JONES 2013). Die EU, Südkorea und Japan gaben zudem bekannt, dass sie jede aus den USA importierte Weizen-Verschiffung auf GV Weizen testen würden. Die amerikanischen Weizenpreise fielen daraufhin. Rechtsstreite tauchten bereits in der ersten Juniwoche auf. Ein Landwirt aus Kansas eröffnete den ersten Rechtsstreit gegen Monsanto mit der Behauptung, dass die Nachlässigkeit des Konzerns die amerikanischen Weizenfarmer durch die gefallen Preise und durch das Schließen einiger ausländischer Märkte geschädigt hätte. Ein Landwirt aus Washington State und das „Center for Biological Diversity“ brachten ähnliche Rechtsklagen vor. Monsanto testete daraufhin 30.000 Samenproben in Oregon und Washington State, um eventuelle weitere Kontaminationen nachzuweisen. Die USDA berichtete nach der Testung, dass keine weiteren Funde gemacht wurden.

Es stellte sich dann die Frage, auf welchem Weg die GV Weizenkontaminationen in das einzelne Weizenfeld in Oregon gelangt waren? Durchwuchs aus dormanten Samen nach so vielen Jahren und anschließende Keimung wurden als unwahrscheinlich angesehen (JONES 2013). Monsanto besaß in der direkten Umgebung des betroffenen Feldes während der Freilandversuche kein Testfeld. Die nachgewiesenen GV Weizenpflanzen waren Winterweizensorten, Montanos Feldstudien wurden laut JONES (2013) mit weißen Frühlingsweizensorten durchgeführt. Kreuzbestäubung auf konventionelle Sorten wurde in der genannten Publikation als unwahrscheinlich erachtet, Sabotageakte jedoch als mögliche Option. Im Gegensatz dazu werden in anderen Internet-Pressemitteilungen (siehe oben) allerdings Kreuzungen von GV Weizen mit konventionellem Weizen oder aber auch Saatgutverluste von Lastwägen während des Transports als Ursachen für das Auftreten von GV Weizen verantwortlich gemacht. Laut dieser Pressemeldungen ist nach wie vor noch nicht endgültig abgeklärt, ob die in Oregon gefundenen GV Weizenpflanzen Einzelfälle waren.

Nach Durchführung einer Recherche im Internet bezüglich der zufälligen Funde von GV Weizen in den USA im Mai 2013 existieren nach Einschätzung der Studienautorin vor allem Pressemeldungen zum Vorfall, jedoch so gut wie keine wissenschaftlichen Artikel, die die Sachlage wissenschaftlich objektiv darstellen und diskutieren.

Biologische und landwirtschaftliche Eckdaten von Weizen

Weizen (*Triticum aestivum*) gehört zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*) und zwar zum Tribus *Triticeae*. Dieser ist nach Mais und Reis weltweit die am dritt-häufigsten angebaute Getreideart, wobei Weizen weltweit mit circa 217 Millionen ha (2010) den größten Flächenverbrauch beansprucht und eine jährliche Produktion von insgesamt etwa 675 Mio. t (2012) verzeichnet (www.transgen.de). Ungefähr 95% dieser Erntemenge macht hexaploider Weichweizen (*Triticum aestivum*) aus, die restlichen 5% tetraploider Hartweizen *T. urgidum* ssp. *durum* (FRAGASSO et al. 2013). Weizen wird auf allen Kontinenten der Welt kultiviert. Ackerbaulich wichtige Weizenarten sind neben Weich- und Hartweizen Dinkel, Einkorn und Emmer. Der heutige Saatweizen ging aus der Kreuzung mehrerer Getreide- und Wildgrasarten hervor (DIEPENBROCK et al. 2012). Die ersten kultivierten Weizenarten waren Einkorn (*Triticum monococcum*) und infolge der Emmer (*Triticum dicoccum*), der durch spontane Einkreuzung mit wild vorkommenden Gräserarten der Gattung *Aegilops* entstanden ist (FISCHER et al. 2005). Das Herkunftsgebiet dieser Weizenarten ist der Vordere Orient. Die ältesten Nacktweizenfunde sind für die Zeit zwischen 7.800 und 5.200 v. Chr. datiert. Weltweit rangiert Weizen nach Gerste auf Platz zwei der ältesten Getreidearten. Weizen breitete sich infolge nach Nordafrika und Europa aus. Mit der „Eroberung“ dieser neuen Kontinente erlangte Weizen weiter an Bedeutung als Grundnahrungsmittel.

Getreide sind im Pflanzenbau vergleichsweise wenig intensive Kulturen, das heißt, der Arbeitseinsatz und die Betriebsmittel sind für die Kultivierung von Weizen relativ gering (REINER 2006). Aufgrund seiner Domestizierung im Nahen Osten zeichnet sich diese Getreideart grundsätzlich durch Trockenresistenz aus. Man unterscheidet zwei Anbauformen: der Winterweizen wird bereits im Oktober angebaut, der Sommerweizen im März. Standort und Stickstoffdüngung bestimmen den Erfolg des Weizenanbaus. Weizen wird für viele Lebensmittel (Mehl, Brot, Kleingebäck, Backwaren, Teigwaren, Bier, Stärke) und Futtermittel verwendet. Vor allem seine Verwendung als Brot macht ihn zu einem Grundnahrungsmittel mit besonderer Symbolik und Relevanz. Weizen kommt darüber hinaus auch als Energiepflanze und nachwachsender Rohstoff zur Anwendung.

Der hexaploide Saatweizen besitzt drei doppelte Chromosomensätze mit je $2n = 14$ Chromosomen: AA, BB und DD. Insgesamt weist Weizen 42 Chromosomen auf (siehe dazu auch REINER 2006). Das Genom des Weizens ist mit 16.000 M bp das größte unter allen Getreidearten, ein Faktum, das die genetische Handhabung des Weizens schwierig macht. Da Weizen ein sehr altes Getreide ist, ist seine Züchtung bereits weit entwickelt. Die Sorten sind regional angepasst. Auch in **Österreich** existiert eine eigene Züchtung (z.B. Saatzucht Donau, Saatzucht Edelhof). Weizensorten wurden für bestimmte Anwendungen optimiert und gezüchtet und in sogenannten Weizenklassen zusammengefasst. Diese Produkte sind Qualitätsrichtlinien folgend einheitlich für eine große Vermarktungsregion festgelegt. In Österreich wurde der österreichische Qualitätsweizen entwickelt, der ebenfalls diesen Richtlinien entspricht.

Da Brot eine mehrere Jahrtausende alte Geschichte in sich vereinigt und als Grundnahrungsmittel gilt, sind die meisten Konsumenten bezüglich der Anwendung von Gentechnik für die Lebensmittelproduktion grundsätzlich sensibel und skeptisch (REINER 2006). Aufgrund dieser mangelnden Akzeptanz der Konsumenten aber auch der Produzenten (HUYGEN et al. 2003), wie eine Befragung von kanadischen Bauern deutlich gezeigt hat (MAURO et al. 2009), wurde der GV Weizen von den amerikanischen Konzernen Monsanto und Syngenta wieder zurückgezogen.

Sofern genetische Veränderungen beim Weizen durchgeführt würden, betreffen diese vor allem den Weichweizen (Winterweizen unserer Breiten und den in Nordeuropa, England und Kanada verbreiteten Sommerweizen; REINER 2006). Modifikationen fokussieren vor allem auf der Resistenz gegenüber Herbiziden, der Produktqualität, der Resistenz gegenüber *Fusarium*, der Ertragshöhe, einer erhöhten Toleranz gegenüber biotischem und abiotischem Stress und zukünftig auf einem niedrigen Glutengehalt (vergl. dazu auch WILSON et al. 2003). Hybriden haben sich bei Weizen generell noch nicht durchgesetzt. Aus diesem Grund werden auch transgene Hybridsysteme nicht mit Nachdruck verfolgt.

Österreichspezifische Agrardaten zu Weizen

Österreich besitzt 1,36 Mio. ha Ackerland (www.lebensministerium.at). Der **Getreideanbau** ist mit einer Anbaufläche von etwa 900.000 ha **Schwerpunkt in der österreichischen Pflanzenproduktion**. Weizen benötigt spezielle Anbaubedingungen, die in Österreich vorgefunden werden. Aufgrund dieser günstigen Wachstumsvoraussetzungen ist **Weizen hier die Hauptkulturart**, an zweiter Stelle ist Mais gereiht. Die österreichischen Qualitätsweizengebiete finden sich im mittleren und östlichen Niederösterreich, sowie im nördlichen und mittleren Burgenland. Vor allem in der Kornkammer im Pannonikum herrschen besonders geeignete Anbaubedingungen für den Weizen vor.

Weichweizen wird in Österreich auf einer Fläche von 285.000 ha mit Durchschnittserträgen von über 4,2 t/ha angebaut. Dies entspricht einer jährlichen Produktion von etwa **1,7 Mio. t** (2011/2012; Statistik Austria, erstellt am 26.4.2013: www.statistik.at). Die jährliche Produktion von **Hartweizen** beträgt etwa **80.000 t** (2011/2012; Statistik Austria, erstellt am 26.4.2013: www.statistik.at).

Die **Einfuhr** von Weizen einschließlich der Verarbeitungsprodukte in Getreideäquivalent betrug 2011/2012 **710.815 t**, die **Ausfuhr** **798.522 t**. Österreich besitzt bezüglich Weizen einen hohen Selbstversorgungsgrad.

Das Auskreuzungspotential von Weizen

Pollenflug und Befruchtung von Weizen

Bei Weizen findet überwiegend Selbstbefruchtung meist in der noch geschlossenen Blüte statt. Obwohl viele Kulturpflanzen als rein selbstbefruchtend eingeschätzt werden, existieren nur wenige unter diesen, die dies tatsächlich in komplettem Ausmaß sind, da ein geringer Anteil an Genfluss generell fast immer ermittelt werden kann (DEYNZE & BRADFORD 2011). Dieser Fremdbefruchtungsanteil liegt bei Weizen bei etwa **ein bis drei Prozent** (DIEPENBROCK et al. 2012), maximal auch **über fünf Prozent** (HUCL 1996). Zur Verhinderung oder Begrenzung des dadurch möglichen Genflusses sind demzufolge Maßnahmensetzungen auch bei großteils selbstbefruchtenden Kulturarten erforderlich. Eine einzelne Weizen-Anthere produziert zwischen 1.750 und 3.900 Pollenkörner (JOPPA et al. 1968). Der Großteil der Pollenverstreuerung von Winterweizen erfolgt während einer kurzen Periode von nur ein bis zwei Tagen. Der Tag der maximalen Pollenausschüttung liegt den Autoren VIRMANI & EDWARDS (1983) zufolge zwischen Tag zwei und Tag drei nach der Anthese (Vorgang des Blühens), manchmal auch am Tag eins nach der Anthese. Die Weizenpollen werden durch den Wind verbreitet. Der Pollen ist im Vergleich zu anderen windbestäubten Arten relativ schwer und im Freiland **30 Minuten bis maximal zwei Stunden befruchtungsfähig**. Hohe Temperatur und relative niedrige oder auch sehr hohe Feuchtigkeit sind die wesentlichsten Faktoren, die die Weizenpollenlebensfähigkeit negativ

beeinflussen. Fremdbefruchtung bei Weizen wird generell durch gemäßigtes trockenwarmes Klima begünstigt. Niedrige Feuchtigkeit und hohe Stressbedingungen fördern chasmogames Blühen (offene Blüten, Normalfall bei Fremdbefruchtung), wodurch wiederum das Potential für Auskreuzung erhöht ist (WAINES & HEDGE 2003). Das Paarungssystem dieses Getreides lässt auch partielles Kreuzen („Intermating“) mit <1% zu. Dadurch können off-Typen von Auskreuzungen entstehen (PRAKASH & SINGHAL 2003), die als Zusatzfaktor die erwünschte genetische Sortenreinheit von Weizen trotz der grundsätzlich primären Natur der Selbstbestäubung dieser Kulturpflanze kompromittieren können.

Trotz des vergleichsweise geringen Fremdbefruchtungsanteils von Weizen darf das Risiko einer Hybridisierung bei Weizen jedoch nicht vernachlässigt werden, wie die im Folgenden näher beleuchteten Studien mehrfach gezeigt haben. Kreuzungen von Weizen mit wild vorkommenden verwandten Gräsern können unter Laborbedingungen prinzipiell einfach durchgeführt und zur Übertragung von Resistenzen genutzt werden. Obwohl Weizen, wie bereits ausgeführt, eine großteils selbstbefruchtende Kulturpflanze ist, wurde bereits mehrfach bestätigt, dass der Genfluss zwischen verschiedenen Weizensorten dennoch beträchtlich sein kann (GAINES et al. 2007, WILLENBORG & VAN ACKER 2008). In den Untersuchungen von SCHOENENBERGER (2005) wurde eine Flugdistanz der Weizenpollen von nur 25 m festgestellt. Eine ältere Studie von JENSEN (1968) in WILLENBORG et al. (2010) gibt für 90% der Weizenpollenkörner ebenfalls geringe Flugdistanzen innerhalb von 6 m an. Weizenpollen wurden jedoch bereits **bis zu einer Distanz von 1.000 m** (VIRMANI & EDWARDS 1983) beziehungsweise laut einer anderen Studie **bis zu 2.750 m** (MATUS-CÁDIZ et al. 2007) von der Pollenquelle nachgewiesen. Auskreuzung zwischen untersuchten Weizensorten wurde in der Studie von HUCL & MATUS-CÁDIZ (2001) wiederum bis zu einer Distanz von nur 27 m beobachtet. Auskreuzung im Bereich von $\leq 0,01\%$ erfolgten in einer anderen Studie in einer Entfernung von 80-100 m, in Einzelfällen bis zu 300 m im Bereich von 0,005% (MATUS-CÁDIZ et al. 2004). Gemessene maximale Genflussraten von 0,11-0,19% wurden bei diesem Experiment in einer Distanz von 1 m festgestellt.

In der Studie von GUADAGNUOLO et al. (2001) werden Literaturhinweise gegeben, die den Pollenflug von *Poaceae* im Bereich von wenigen Metern beziehungsweise von 60 m für Gerste (WAGNER & ALLARD 1991) ansetzen. In einer aktuelleren Studie von WATRUD et al. (2004) wurde jedoch bei einer GV Variante von Kriech-Straussgras (*Agrostis stolonifera*) Genfluss in einer Distanz von über 21 km festgestellt, was darauf hindeutet, dass Gräserpollen im Gegensatz zu den Erkenntnissen von älteren Studien auch über sehr weite Distanzen transportiert werden können. Ähnlich wie Weizen weist auch *Agrostis stolonifera* eine nur sehr kurze Pollenlebensfähigkeit von bis zu drei Stunden auf (Fei & Nelson 2003). Dennoch wurden Auskreuzungsereignisse dieser Art in großen Entfernungen nachgewiesen. Demzufolge könnte es bei Weizen ebenfalls möglich sein, dass die bis dato maximal nachgewiesene Flugdistanz von 1.000 m (VIRMANI & EDWARDS 1983) beziehungsweise 2.750 m (MATUS-CÁDIZ et al. 2007) des Weizenpollens als zu gering eingeschätzt sein könnte und der Pollen unter idealen Wetterbedingungen größere Entfernungen überbrücken könnte.

Bei Weizen existiert eine Reihe von Studien zur Abschätzung des Ausmaßes des Pollenflugs und der Fremdbefruchtung, die teilweise aktuell sind oder aber auch bereits vor vielen Jahren durchgeführt wurden. Diese kommen teilweise zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Pollenverbreitungsstudien haben generell eine beschränkte Aussagekraft für die Abschätzung von Fremdbefruchtung, da die aktuelle Pollenkonkurrenz, sowie Pollenfertilität in den Studien oftmals nicht im Detail berücksichtigt wurden, diese jedoch, wie oben erwähnt, das Ausmaß der Auskreuzung wesentlich beeinflussen können. Wie PASCHER & DOLEZEL (2005) für Mais und Raps bereits aufgezeigt haben, fehlt auch in der wissenschaftlichen Literatur für Weizen die Bestätigung der Distanz, bei der die Auskreuzungsrate von 0% erreicht ist. Wie bei Mais und Raps werden auch bei Weizen in den meisten Studien zur Auskreuzung Fremdbefruchtungsraten zumeist nur über kurze Distanzen untersucht und gemessen. Neben den verschiedenartigen Versuchsdesigns

nehmen die Topographie, die Landschaftsstruktur, die Felderstruktur, die Feldgröße, etc. einen wesentlichen Einfluss auf die unterschiedlichen Ergebnisse der gemessenen Fremdbefruchtungsraten in den jeweiligen Studien. Auch die in der Koexistenzstudie identifizierte unterschiedlich gewählte Bezugsgröße als Maß für die gemessene Kontaminationsrate – Sortenverunreinigung oder %-GVO-DNA-Gehalt – könnte auch bei den unterschiedlichen Weizenergebnissen einen Effekt zeigen. Darüber hinaus wurden in den durchgeführten Studien zumeist Einzelversuche angelegt, die die reale Anbausituation mit den multiplen Effekten mehrerer GV Felder allerdings nicht widerspiegeln. Das heißt, aufgrund dieser bis dato noch nicht berücksichtigten Effekte von mehrfachen GV Weizenpollenquellen könnten unter Koexistenzbedingungen mit Weizen voraussichtlich höhere Auskreuzungsraten auftreten.

Es muss mit großer Wahrscheinlichkeit damit gerechnet werden, dass Transgene über ihre eigentlich vorgesehenen Destinationen verbreitet werden (MARVIER & VAN ACKER 2005). In diesen Fällen ist es sehr unwahrscheinlich, dass einmal entkommene Transgene wieder zurückgenommen werden könnten. Transgene können mit dem Pollen oder dem Samen verbreitet werden. Samentransport findet auf sehr unterschiedliche Weise statt und kann durch landwirtschaftliche Maschinen, während Verladungs- und Verarbeitungsprozessen, durch Güter, entlang von Wasserwegen, aber auch durch Tiere und den Menschen erfolgen. So wurden beispielsweise Weizensamen, die beim Versuch von DE CORBY et al. (2007) nach der Ernte auf der Bodenoberfläche liegen blieben, von Wasserzugvögeln, kleinen Nagern und von Wild gefressen. Die Vitalität der Weizensamen konnte auch noch nach der Konsumation und damit der Passage des Darmtrakts der Tiere bereits bestätigt werden.

HUCL & MATUS-CÁDIZ (2001) ziehen bezüglich des großen Auskreuzungspotentials von Weizen sogar Vergleiche mit Raps. Weizen besitzt ähnlich wie Raps eine vergleichsweise relativ langlebige Bodensamenbank, in der die Samen bis zu etwa fünf Jahren keimfähig bleiben. In Westkanada wird Weizen in der Fruchtfolge sogar noch häufiger als Raps angebaut. Damit wird die Bodensamenbank laufend mit Weizensamen aufgefüllt. Die Autoren behaupten zudem, dass das Ausmaß an Kontaminationen von konventionellem Weizen durch Verluste von GV Weizensamen, die mit Glyphosat-Resistenz ausgerüstet sind, ähnlich oder sogar größer sein könnte, als es bei Raps bereits nachgewiesen ist. Sie befürchten, dass der großflächige parallele Anbau von zwei kommerziellen Glyphosat-resistenten Kulturpflanzen Raps und Weizen zu verstärkten kumulativen Effekten führen könnte. Durch das dadurch induzierte Entstehen von „Super-Weeds“ (Beikräuter mit Mehrfachresistenzen) und das Herausbilden von mehreren Glyphosat-resistenten Beikrautarten könnten verstärkt Probleme bei einer erfolgreichen Beikraut-Bekämpfung entstehen, die wirksamere, noch weniger umweltfreundliche Herbizide erforderlich machen und damit erhöhte Kosten für die Landwirte verursachen könnten.

Intraspezifische Auskreuzung bei Weizen auf andere Weizensorten

In der Studie von MARTIN (1990) wurden Auskreuzungsraten innerhalb verschiedener Genotypen von zwölf Winterweizensorten zwischen **0,1% bis 5,6%** innerhalb eines Jahres festgestellt. HUCL (1996) errechnete Auskreuzungsraten zwischen zehn kanadischen Frühlingsweizensorten zwischen **0% und 6,7%**, mit einer durchschnittlichen Rate von **0,88%**. HUCL & MATUS-CÁDIZ (2001) berichteten von einer abnehmenden Genflussrate von Frühlingsweizen von einer 25m² großen Pollenquelle ausgehend von **3,8%** – die direkt benachbart zur Pollenquelle gemessen wurde – bis **0,2%** in einer Distanz von **30 m**. Bei einer 0,25 ha großen Pollenquelle nahm die Auskreuzungsrate von **0,44%** auf eine sehr niedrige Rate in einer Distanz von **über 60 m** ab (MATUS-CÁDIZ et al. 2004). Jedoch konnte Genfluss auch noch bis zu einer Distanz von **300 m** festgestellt werden. Nachfolgende Untersuchungen bestätigten Pollen vermittelten Genfluss (PMGF) bis zu einer Distanz von **2.750 m** ausgehend von einer 33 ha großen Pollenquelle (MATUS-CÁDIZ et al. 2007). WILLENBORG et al. (2010) beobachteten Genflussraten von bis zu maximal **0,26%** und nach den

Voraussagen des entwickelten Modells von bis zu **0,40%** zwischen den Artgenossen von Weizen. Auch in diesen Untersuchungen wurden unterschiedliche Versuchsdesigns wie etwa die Größe der Pollenquelle (25 m² bis 33 ha) verwendet, die für die Erklärung der unterschiedlichen Ergebnisse mit ausschlaggebend sind. Wie die unterschiedlichen Studienergebnisse zeigen, kann geschlossen werden, dass eine größere Pollenquelle (größere GV Weizenfelder) prinzipiell die Wahrscheinlichkeit, das Ausmaß und auch die räumliche Reichweite von Pollenflug erhöht (ZAPIOLA & MALLORY-SMITH 2012).

Interspezifische Hybridisierung von Weizen mit anderen Kulturpflanzenarten

Interspezifischer Genfluss von Weichweizen (*Triticum aestivum*) auf Hartweizen (*Triticum durum*) ist prinzipiell möglich und nahm in der Studie von MATUS-CÁDIZ et al. (2004) von **0,04%** auf **0,02%** und von **0,03%** auf **0,01%** in einer Distanz von **1 bis 5 m** von der Pollenquelle in zwei verschiedenen Jahren ab. Auch Roggen (*Secale cereale*) hat prinzipiell das Potential, mit Weizen zu hybridisieren (HEDGE & WAINES 2004).

Interspezifische Hybridisierung von Weizen mit anderen Arten der Familie der *Poaceae*

Die Gattung *Aegilops*

Die Gattung *Aegilops* umfasst 22 wild vorkommende annuelle Arten und ist mit kultiviertem Weizen aufgrund seiner genetischen Beteiligung in der Entwicklung und Entstehung von polyploidem Weizen nahe verwandt. Man nimmt an, dass *Aegilops* vermutlich zwei der drei Genome von Brotweizen beigetragen hat. Folglich sind Kreuzungen von Weizen mit der Gattung *Aegilops* in besonderem Maße wahrscheinlich.

Aegilops cylindrica

Aegilops cylindrica (Zylindrischer Walch) ist ein weitverbreitetes mediterranes, westasiatisches und boreales Beikraut, das vor allem in Winterweizenfeldern in den USA Probleme verursacht. Es wurde voraussichtlich Ende des 19. Jahrhunderts in die USA wiederholt eingeschleppt. Neben seinen Ursprungsregionen im mediterranen Raum und im Mittleren Osten, wo es häufig vorkommt, ist diese Art auch in Norditalien, Frankreich und anderen Ländern von Europa vertreten. Die Schweiz ist die nordwestliche Grenze ihrer Verbreitung (GUADAGNUOLO et al. 2001). In ihrem natürlichen Verbreitungsraum kommt *Ae. cylindrica* hauptsächlich in ruderalen Habitaten, in brachliegenden Flächen entlang von Straßen und Bahngleiskörpern, im trockenen Grasland, auf Berghügeln und nahe zu oder innerhalb von kultiviertem Land vor. In Ungarn wurde ihr Vorkommen in der Nähe von Weizenfeldern beobachtet. In Westeuropa und vor allem in der Schweiz wird diese Art als seltene Adventiv-Art betrachtet und ist in der Roten Liste Gefährdeter Arten der Schweiz gelistet und in der IUCN als verwundbar („vulnerable“) klassifiziert. Obwohl *Ae. cylindrica* ein erfolgreicher Einwanderer ist, hat sich diese Art aus populationsgenetischer Sicht als sehr wenig divers herausgestellt (SCHOENENBERGER 2005). Folglich spiegelt die genetische Differenzierung der Populationen nicht unbedingt die geographische Verbreitung wider. Die in der Studie von SCHOENENBERG (2005) getesteten italienischen Populationen waren den nordamerikanischen ähnlicher als denen der Schweiz. Der genetische Vergleich der Populationen deutet darauf hin, dass *Ae. cylindrica* den Atlantischen Ozean mehrfach gekreuzt haben muss, voraussichtlich sogar in beide Richtungen, zusammen mit dem Menschen oder mit Güterverkehr. Zudem waren die amerikanischen Populationen nicht weniger divers als die europäischen (SCHOENENBERGER 2005), was bedeutet, dass sich auch die Populationen in den USA bereits differenziert haben.

Aegilops cylindrica besitzt eine starke Neigung zur Verunkrautung. Dadurch kann diese Art signifikante Ernteverluste verursachen. Ihre effektive Kontrolle in Weizenfeldern unter Anwendung von Herbiziden ist aufgrund ihrer genetischen Ähnlichkeit zu Weizen schon heute unmöglich. Folglich kann das aufgrund der Introgression von Transgenen, v.a. der Herbizidresistenz, zu erwartende ansteigende Verunkrautungspotential der Wildpopulation im Zusammenhang mit GV Weizen bei der Beikrautkontrolle zu verstärkten Problemen führen (HEDGE & WAINES 2004). Spontane Hybridisierung zwischen *Ae. cylindrica* und allohexaploidem Weizen ist unter natürlichen Bedingungen möglich (GUADAGNUOLO et al. 2001), weil beide dieser Arten die Ausgangsform des D Genoms besitzen. Mindestens 12 Arten der Gattung *Aegilops*, die als weiblicher Elternteil fungieren, bilden natürliche Hybride mit hexaploidem Weizen (vergl. SCHOENENBERGER et al. 2005). Diese Arten besitzen jedoch nicht alle ein gemeinsames Genom mit Weizen. SCHOENENBERGER et al. (2006) führten Experimente zur natürlichen Introgression von transgenem Weizen in *Ae. cylindrica*, der hierbei der weibliche Elternteil war, durch. Die Experimente zeigten, dass natürliche Hybridisierung und Rückkreuzung zwischen *Ae. cylindrica* und Weizen zur Introgression von Weizen-DNA in die wild vorkommende Art führen können. Die weibliche Fertilität der F1 Generation rangierte hierbei zwischen **0,03 und 0,6%**. Die hohe Keimungsrate der F1 Hybriden mit circa **90%** war vergleichbar mit dem natürlichen Ausmaß der Keimung von *Ae. cylindrica*. Die Keimungsrate der Rückkreuzung 1 war allerdings viel niedriger. Wiederum ähnlich zu der von *Aegilops* fiel dann die Keimungsrate der folgenden Generation aus. Der negative Fitnessseffekt der Hybridisierung scheint nach Rückkreuzung wiederum aufgehoben zu sein. Hybride zwischen *Ae. cylindrica* und Weizen konnten in einer anderen Untersuchung in einer Distanz von nur **1 m** vom Weizenfeld entfernt mit **0,29%** beobachtet werden (SCHOENENBERGER et al. 2005).

In den amerikanischen Weizenfeldern wurde *Ae. cylindrica* als dominierender weiblicher Elter und Weizen als männlicher Elter der F1 Hybriden festgestellt. In einer amerikanischen Studie in Oregon wurden Hybridisierungsereignisse dieser zwei Arten in Weizenfeldern in Abhängigkeit von der Lokalität des jeweiligen Feldes zwischen **0% bis 8%** identifiziert (MORRISON et al. 2002). Die Situation in Europa und in Regionen, in denen Fruchtfolge praktiziert wird, scheint hiermit nicht vergleichbar zu sein. Die Hybriden würden hier voraussichtlich innerhalb der *Ae. cylindrica* Population mit geringem Pollendruck von der Kulturpflanze wachsen. Die erste Rückkreuzungsgeneration würde mit *Ae. cylindrica* als Pollenelter produziert (GUADAGNUOLO et al. 2001). In dieser Schweizer Untersuchung variierten die gemessenen Hybridisierungsraten von verschiedenen Populationen der wilden Art zwischen den Individuen stark und zwar zwischen **1%** für zwei mehr als 90 Jahre alte Populationen und **7%** für eine neu entdeckte Population. Die große Variation hinsichtlich der Auskreuzungsrate ist voraussichtlich durch die genetischen Unterschiede der Populationen zu erklären. Die meisten der Hybriden waren in diesem Experiment steril, fünf von 13 Samen produzierten jedoch fruchtbare Hybriden durch Rückkreuzung mit *Ae. cylindrica*. Zwölf Samen keimten und generierten lebensfähige und teilweise fertile Pflanzen. Eine größere externe Pollenmenge ist voraussichtlich für die erfolgreiche Bildung von Hybriden erforderlich.

Aegilops geniculata

Aegilops geniculata ist im mediterranen Raum und in Westasien heimisch. Diese Art kommt häufig in Südeuropa und Nordafrika vor, im östlichen Teil ihres Verbreitungsgebiets in Libyen, Ägypten und in der Türkei ist sie seltener anzutreffen. Adventive Vorkommen der Art konnten in Nordeuropa nachgewiesen werden. Zusammen mit *Aegilops triuncialis* besitzt diese Art die weiteste Verbreitung in ihrer Gattung. Hybridbildung zwischen beiden *Aegilops* Species mit Weichweizen sowie mit Hartweizen sind dort möglich, wo die Elternarten gemeinsam vorkommen, zum Beispiel in Süditalien und Sizilien (VAN SLAGEREN 1994). DAVID et al. (2004) fanden Hybridisierungsraten von **0,21%**.

In den Untersuchungen von SCHOENENBERGER (2005) wurde bei 52 *Ae. geniculata* Individuen, die innerhalb eines Winterweizenfeldes gepflanzt wurden, eine Hybridisierungsrate von durchschnittlich **0,94 % (0% bis 6,06%)** zwischen diesen beiden Arten in Abhängigkeit von der Feldlokalität festgestellt. Die Fertilität der Hybriden gemessen an der Produktionsrate der ersten Rückkreuzung war 2,17%. Die Fertilität der *Ae. geniculata*-Hybriden war höher als die der *A. cylindrica*-Hybriden. Dies deutet darauf hin, dass der Genfluss von Weizen bei dieser Art wahrscheinlicher ist und damit auch häufiger auftritt. *Aegilops geniculata* ist eine der am häufigsten vorkommenden Arten ihrer Gattung und ist im mediterranen Raum weit verbreitet. Aufgrund der größeren Verbreitung von *Ae. geniculata* und der bestätigten höheren Fertilitätsrate der Hybriden hätte eine eventuelle Kultivierung von GV Weizen in Südeuropa auf diese Art voraussichtlich einen wesentlich größeren Einfluss als auf *Ae. cylindrica*.

Hybridisierung mit anderen Arten der Familie der Poaceae als Veranschaulichung und Vergleich mit der Situation von Weizen

ZAPIOLA & MALLORY-SMITH (2012) gelang der experimentelle Nachweis einer erfolgten spontanen intergenerischen *in situ* Hybridisierung zwischen zwei anderen Grasarten *Agrostis stolonifera* und *Polypogon monspeliensis* der Familie *Poaceae* (Tribus *Poeae*). Die Ergebnisse liefern den ersten Nachweis über eine transgene intergenerische Hybride, die *in situ* mit einem transgenen Event produziert wurde. Hiermit wird die Wichtigkeit der Berücksichtigung aller möglichen Pfade für Transgenverbreitung auf Landschaftsebene in einer ökologischen Folgenabschätzung von GVO unterstrichen, bevor eine transgene Kulturpflanze überhaupt auf Feldern freigesetzt werden kann. Auch im Falle von *Agrostis stolonifera*, eine Grasart, die häufig auf Golfplätzen angepflanzt wird, wurde bereits eine Glyphosat resistente transgene Variante entwickelt. Die Autoren der Studie sind der Ansicht, dass diese Erkenntnisse auch für die Risikoanalyse von GV Weizen herangezogen werden können, da hierbei die spezielle Problematik von Gräsern beleuchtet wird. Intergenerische Hybriden gehen oftmals mit variablen und oft unvorhersagbaren plastischen Phänotypen einher, die nach optischen Gesichtspunkten eine rasche eindeutige Identifizierung der Hybride besonders bei Gräsern prinzipiell schwierig machen.

In einer anderen Studie von PEREZ-JONES et al. (2010) wurde die Übertragung eines nicht GV herbizidresistenten Gens – eine Imidazolinon-Resistenz (IR) – auf Weizen übertragen. Die durchschnittliche Samenmenge der Ähren der ersten Filialgeneration (F1) belief sich in diesem Experiment auf 3,3%, die durchschnittliche Keimungsrate der ersten Rückkreuzungsgeneration (BC1) betrug 52%. Alle getesteten Pflanzen der Tochtergeneration (F1) und der ersten Rückkreuzung trugen das *Imi 1* Gen (Basis der Imidazolinon Resistenz). Obwohl die Rückkreuzungsrate der F1 Hybriden mit *Aegilops* in diesem Experiment sehr gering war, verdeutlicht dieses das bestehende Potential für Introgression von *Imi 1* von IR Winterweizen in *Aegilops* unter natürlichen Feldbedingungen. *Imi 1* ist im homologen D-Genom lokalisiert. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für Gentransfer und Gen-Retention in Hybridnachkommenschaften höher (SCHOENENBERGER et al. 2005). Imidazolinon-resistenter Weizen ermöglicht die selektive Kontrolle von *Ae. cylindrica* mit dem Wirkstoff Imazamox. Da der Weizen, wie bereits ausgeführt, mit *Ae. cylindrica* intergenerische Hybride bilden kann, könnte eine spontane Hybridisierung dieser zwei Arten die Wirksamkeit dieser Technologie bedrohen. Dieses Szenario ist auch für die Übertragung von Resistenzgenen aus GV Weizen vorstellbar und sollte daher auch in der Risikobewertung von GV Weizen berücksichtigt werden. Wenn ein Transgen einmal freigesetzt ist, ist es zudem nicht mehr möglich, seine Verbreitung über Hybriden genau vorherzusagen und zu kontrollieren.

Vorkommen von verwandten Arten von Weizen in Österreich

In der österreichischen Exkursionsflora von FISCHER et al. (2005) sind Vertreter der Gattung *Aegilops* nicht gelistet. Die bereits detailliert dargestellte mediterrane Art *Ae. cylindrica* (Zylindrischer Walch) wurde in Österreich bis dato nur in den Bundesländern Wien, Niederösterreich, Steiermark und Kärnten sehr selten und unbeständig nachgewiesen (WALTER et al. 2002). Der Erstnachweis dieser Art wurde allerdings bereits 1891 erbracht (BECK 1893 in MELZER et al. 1992). ESSL & STÖHR (2006) haben das Vorkommen dieser auffälligen Süßgrasart an zwei weiteren bis dato unbekanntenen Stellen nachgewiesen, und zwar östlich der Südautobahn auf Höhe Traiskirchen (2004), sowie auf einer Ruderalflur im Böhmischem Prater im 10. Wiener Gemeindebezirk (2004). Laut der Autoren könnten die beiden Fundorte möglicherweise auf eine Verschleppung mit Saatgut zurückgehen, da beide Flächen 2001 mit einer Saatgutmischung desselben Lieferanten eingesät wurden. Die Pflanzen haben sich voraussichtlich an beiden Fundorten über einige Jahre gehalten. Auch in Deutschland ist das Adventivvorkommen der genannten Art (GARVE & HARING 1988) belegt. Auch hierfür wird eine unbeabsichtigte Einfuhr von Diasporen mit Saatgut, z. B. als Verunreinigung im Getreide, als wichtiger Einfuhrweg angenommen.

Durchwuchspotential von Weizen

Durchwuchsweizen ist ein immer größer werdendes Problem in den Northern Great Plains von Nordamerika (HARKER et al. 2005). Auch in Westkanada ist Durchwuchsweizen bereits seit 25 Jahren auf den Feldern zu finden und **mit einer durchschnittlichen Dichte von sechs Pflanzen/m² an Stelle 12 der häufigsten Unkrautarten** gereiht. In einer Studie von CLARKE (1985), bei der Ernteverluste – natürlichen und mechanischen Ursprungs – in Sommerweizen in Swift Current SK in Kanada untersucht wurden, stellte der Autor einen Ernteverlust von 35 bis mehr als 800 Samen/m² fest, wenn die Ernte zu einem verspäteten Zeitpunkt durchgeführt wurde. In Großbritannien wurde ein Weizenernteverlust am Feld von durchschnittlich 2% berechnet, was etwa **240 Samen/m²** bedeutet (ANDERSON & SOPER 2003).

Die Kommerzialisierung von nicht GV Imidazolinon herbizid-resistentem Weizen in Nord-Amerika hat die Durchwuchsproblematik weiter verschärft. In diesem Zusammenhang wesentlich sind vor allem das Erscheinen und die Persistenz von Durchwuchsweizen in einjährigen Anbausystemen. Die Rekrutierung („recruitment“) von Weizensamen einer Samenbank, die sich im vorangegangenen Herbst etabliert hat, wurde in einer Flachskultur auf zwei Feldstandpunkten in Süd-Manitoba in Kanada von 2003 bis 2004 untersucht (DE CORBY et al. 2007). Samen (500 Samen/m²) von acht kanadischen Western Hard Red Frühlingsweizensorten wurden im Herbst in den Boden eingebracht. Vier verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten bei der Durchführung von Herbst- und/oder Frühlingspflügungen wurden getestet. Ein kumulatives Erscheinen von Durchwuchsweizen wurde bei allen vier Varianten beobachtet und rangierte von **0,9 bis 13,1%**, mit einem Gesamtdurchschnitt von **4,3%**. Im zweiten Untersuchungsjahr 2004 variierte die Zahl an Durchwuchspflanzen zwischen 1,7 und 6,0 Pflanzenindividuen/m². Zwischen 0,2 bis 53,6/m² Samen wurden produziert, die eine generell gute Keimungsrate von 70 bis 90% aufwiesen, die anschließend in Petrischalen überprüft wurde. Es ist anzunehmen, dass die Weizen-Durchwuchspflanzen in der Folgekultur noch vor der Kulturpflanzenreife heranreifen und folglich eine relativ hohe Samenausschüttung der Durchwuchspflanzen zu erwarten ist. Eine Samenausschüttung von 30 Samen/m² könnte in einer Weizendurchwuchspflanze/m² im folgenden Frühling resultieren, was einer Samenlebensfähigkeit von 80% und eine Rekrutierung (Nachwuchs) von 4% bedeuten würde. Die verschiedenen Bodenbearbeitungstypen nahmen auf den Nachwuchs von Weizen keinen Einfluss. Weizensamen, die nicht rekrutiert wurden, wurden im Boden rasch abgebaut und hatten eine Beständigkeit von maximal zwölf Monaten. Die

Ergebnisse sind vorrangig auf Gebiete anwendbar, in denen der Niederschlag vergleichsweise höher ist, und Bodenfeuchte früh im Frühling generell keinen limitierenden Faktor für die Samen-Rekrutierung darstellt. Feuchtigkeit wirkt sich positiv auf die Samen-Rekrutierung aus (HARKER et al. 2005). Es traten auch einige großwüchsige Durchwuchspflanzen auf, die trotz intensiver Kontrollmechanismen (Bodenbearbeitung, Glyphosat behandelte Vorsaaten („preseed“), Herbizidanwendung in Flachs mit „sethoxydim“) überlebten. Diese Durchwuchspflanzen produzierten lebensfähige Samen. Wieder aussamende Durchwuchspflanzen scheinen den Untersuchungen von DE CORBY et al. (2007) zufolge ein wichtigerer Persistenzmechanismus zu sein als die mehrjährige Persistenz der Weizen-Samenbank, die mit einer Lebensdauer von etwa fünf Jahren angegeben wird (BECKIE 2001 in DE CORBY et al. 2007). Laut Angaben von ANDERSON & SCOPER (2003) und HARKER (2005) beläuft sich die Persistenz von Weizendurchwuchs auf nur zwei Jahre. Jedoch weisen die Autoren ebenfalls auf die Möglichkeit des Auftretens von außergewöhnlichen Samenschüttungsereignissen unter idealen Bedingungen hin. Bei Weizen hat Bodenbearbeitung zur Verringerung von Durchwuchspflanzen unterschiedliche Ergebnisse geliefert. In einigen Fällen förderte die Bodenbearbeitung den Untersuchungen zufolge die nachfolgenden Durchwuchsdichten von Weizen. In der Untersuchung von DE CORBY et al. (2007) war die Bodenbearbeitungsweise allerdings kein signifikanter Faktor für das prozentuelle Wiederaufkeimen der Weizensamen.

Unterschiede in der Rekrutierung und Persistenz zwischen Winter- und Frühlingsdurchwuchsweizen werden prinzipiell angenommen. WILLENBORG et al. (2010) zeigten in ihrer Studie, dass Durchwuchsweizen, der nach einer Frühlingsweizenkultur erschien, in beträchtlichen Mengen vorkam und auch eine sehr hohe Übereinstimmung in der Blühsynchronität mit der Kultur aufwies. Durchwuchsweizen ist das zwölft häufigste Beikraut in den kanadischen Agrarflächen und wurde in Dichten bis zu **280 Pflanzen/m²** beobachtet (LEESON et al. 2005 in WILLENBORG et al. 2010). Durchwuchspflanzen können aus der Frühlingsweizenkultur nicht selektiv entfernt werden und stellen demzufolge bezüglich Genfluss durch Pollenflug eine große Herausforderung für den Landwirt dar. Hierbei spielt auch die Pflanzendichte eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus hat auch die Pflanzengröße, die wichtige lebensgeschichtliche Merkmale beeinflusst, Bedeutung. Es wird angenommen, dass diese Merkmale plastisch auf Pflanzendichten antworten. Studienergebnisse zeigen, dass Konkurrenz um limitierte Ressourcen bei hoher Kulturpflanzendichte zu einer dichteabhängigen Strukturierung der Blühdynamik zwischen Frühlingsweizen und Durchwuchspopulationen führt. Dichteabhängigkeit ist eine wichtige Komponente von populationsdynamischen Modellen und sollte vor allem in Modellen berücksichtigt werden, bei denen Genübertragungen simuliert und vorhergesagt werden. Weizen kommt in diesem Zusammenhang eine doppeldeutige Funktion zu. Einerseits wird diese Kulturpflanze als **wesentliche Komponente in der Fruchtfolge für die Beikrautkontrolle** angewendet – Weizen verfügt über ein hohes Maß an Allelopathie (FRAGASSO et al. 2013) –, andererseits wäre aber auch GV Weizen **eine kritische Quelle für das Aufkommen von GV Durchwuchsweizen**.

Durchwuchspflanzen von Weizen, die nicht selektiv aus Weizenkulturen entfernt werden können, stellen auch eine große Herausforderung bei der Trennung von Prozessen im Zusammenhang mit Koexistenz dar, da sie die Weitergabe von Transgenen in konventionelle Kulturen mit großer Wahrscheinlichkeit begünstigen werden (WILLENBORG et al. 2009). Um das Verbreitungspotential von Transgenen in Weizen abschätzen zu können, müssen zuerst die verschiedenen Faktoren identifiziert und analysiert werden, die ihre Verbreitung unterstützen. Beide Hybridisierungspartner müssen zur gleichen Zeit blühen, und eine Kreuzbestäubung mit einer ausreichenden Pollenmenge muss gewährleistet sein, damit die Befruchtung und die anschließende Samenentwicklung stattfinden können. Letztendlich müssen die kreuzbestäubten Samen keimen und lebensfähige Nachkommen produzieren können. Die unterschiedliche Blühphänologie innerhalb der verschiedenen Genotypen könnte allerdings in einer Blüh-Asynchronität resultieren, was den Pollen vermittelten Genfluss minimieren würde. In der

genannten Studie wurde beobachtet, dass sich die Zeitspanne von der Kulturpflanzenaussaat bis zur ersten Blüte, die Hauptblüte und das Ende der Blüte signifikant zwischen den Genotypen unterschied. Eine anwachsende Kulturpflanzendichte resultierte in einem beschleunigten Blühen aller Genotypen der Kulturpflanze, hatte aber wenig Effekt auf die Blühsynchronität. Trotz der generellen kurzen Blühperiode von Weizen besteht zumeist dennoch ein ausreichendes Ausmaß an Blühsynchronität zwischen kultiviertem Weizen und Populationen von Durchwuchsweizen.

Durchwuchspflanzen in Folgekulturen können generell sehr konkurrenzstark und dadurch landwirtschaftlich schwierig zu kontrollieren sein (DE CORBY et al. 2007). Im Zusammenhang mit Metapopulationen von Arten kann die intraspezifische Übertragung von transgenen Merkmalen erleichtert werden. MARVIER & VAN ACKER (2005) kommen auch beim Weizen zum Schluss, dass zur Verringerung des Aufkommens von Durchwuchspflanzen vor allem **ein nahezu perfektes Management des Durchwuchsweizens** als essentiell betrachtet werden muss.

Verwilderungspotential von Weizen

Verwilderte Weizenpopulationen stellen einen weiteren potentiellen Vektor für intraspezifische Transgen-Verbreitung dar (WILLENBORG & VAN ACKER 2008), der beispielsweise bei der Kulturpflanze Raps große Relevanz besitzt. Verwilderte Populationen treten dann auf, wenn die Kulturpflanze ihre Domestikationsmerkmale verliert und sich außerhalb ihrer Kultur ohne menschliches Zutun fortpflanzen kann. Nach einer Internetrecherche zum Verwilderungspotential von Weizen kommt die Studienautorin zum Schluss, dass die Verwilderung von Weizen in der Fachliteratur nur sehr spärlich, wenn überhaupt erwähnt wird.

Zwei Studien aus den USA registrierten Roggen (*Secale cereale*), der ein wilder Verwandter von Weizen ist, in mehreren Habitaten außerhalb von Anbaubereichen im mittel-westlichen Teil der USA (STUMP & WESTRA 2000, AYAL & LEVY 2005 in WILLENBORG & VAN ACKER 2008). Aufgrund der Verwandtschaft der beiden in Kultur genommenen Pflanzen wäre es demzufolge auch denkbar, dass sich auch verwilderter Weizen theoretisch entlang von Straßen und Ruderalflächen ansiedeln und persistente Populationen ausbilden könnte (AYAL & LEVY 2005 in WILLENBORG & VAN ACKER 2008). LEESON et al. (2002) in WILLENBORG & VAN ACKER (2008) identifizierten Durchwuchsweizen als Hauptbeikraut nicht nur in Feldern, sondern auch an Felldrändern. Auf Straßenrändern konnten sie allerdings keine Weizenpflanzen feststellen. Der Invasionserfolg von verwildertem Weizen ist laut Ansicht der letztgenannten Autoren allerdings in der Fachliteratur noch nicht untersucht. Die Autoren geben an, dass ihnen verwilderte Weizenpopulationen zumindest in Kanada nicht bekannt sind.

Zur konkreten Einschätzung der Existenz und des Risikopotentials von verwildertem Weizen wären den vorangegangenen Ausführungen zufolge wissenschaftliche Studien dringend von Nöten. Zum jetzigen Zeitpunkt kann allerdings bereits festgehalten werden, dass Durchwuchs bei Weizen mit Sicherheit die höhere Relevanz in einer ökologischen Risikoanalyse zukommt als seinem Verwilderungspotential.

Identifizierung von Aspekten, die für die ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch verändertem Weizen relevant sind

Das Auskreuzungspotential von Weizen

Da Hybridisierungen sowohl zwischen verschiedenen kommerziellen Weizensorten (MATUS-CÁDIZ et al. 2007, WAINES & HEDGE 2003), aber auch mit verwandten wild vorkommenden Gräser-Arten nachweislich auftreten können, ist das regionale Auskreuzungspotential von Weizen ein wesentlicher Aspekt in der ökologischen Risikoabschätzung. Von besonderer Bedeutung bei Weizen ist die Übertragung von Transgenen auf dieselbe Art (intraspezifischer Genfluss), sowohl auf benachbarte nicht transgene Kulturpflanzen, als auch auf Durchwuchspflanzen (WILLENBORG & VAN ACKER 2008). Das Ausmaß der jeweiligen Auskreuzungsrate ist in Weizen abhängig von der Synchronität des Blühstatus zwischen Pollendonor und Pollenrezeptor und dem Vorhandensein von aufnahmefähigen Pollenrezeptoren (WILLENBORG & VAN ACKER 2008). Auch in Weizen existiert eine aktive Metapopulation, die die angebauten Kulturpflanzen, Durchwuchspflanzen, eventuell verwilderte Subpopulationen, als auch latente Populationen bestehend aus lebensfähigen Samen, die unauffällig und unkontrolliert in Agroökosystemen und landwirtschaftlichen Produktions- und Versorgungsketten vorkommen können, inkludieren. Die Voraussetzungen für Genfluss bei Weizen wurden in Westkanada als sehr ähnlich denen von Canola (Raps und verwandte Kulturpflanzen) beschrieben und identifiziert. Faktoren, die die Möglichkeit für Genfluss und dessen Ausmaß fördern, sind eine großflächige Kultivierung von Weizen, eine häufige Verwendung von Weizen in der Fruchtfolge, das häufige Auftreten und eine große Populationsdichte an Durchwuchspflanzen, sowie das Überleben dieser bis zur Blüte. Es besteht empirischer Nachweis, dass Weizen sowohl hinsichtlich seines Vorkommens in hoher Individuendichte als auch seiner Häufigkeit in den Feldern eine ähnliche Persistenz wie Canola aufweist. Weizensamen können bis zu fünf Jahre in der Bodensamenbank lebensfähig bleiben (HARKER et al. 2005). Weizendurchwuchs kommt dadurch regelmäßig in Folgekulturen wieder auf und erreicht in den meisten Fällen sogar das Blühstadium.

Die Untersuchungen von WILLENBORG et al. (2010) zum Auskreuzungsverhalten von Weizen zeigen, dass es bei GV Weizen trotz temporärer Isolation, das heißt, unterschiedlicher Blühfenster der Donor- und der Rezeptorpflanzen, nicht möglich sein wird, eine absolute GV Kontaminationsfreiheit in nicht GV Weizen zu garantieren. Basierend auf den Studienergebnissen und unter Berücksichtigung und Anwendung geeigneter zeitlicher Isolationsmaßnahmen von Durchwuchsweizen und benachbarten Kulturpflanzen schlagen MATUS-CÁDIZ et al. (2004) dennoch Toleranzschwellenwerte für GV Kontaminationen von sogar 1-5% vor, um Koexistenz überhaupt durchführen zu können. Die Einhaltung des in der EU vorgeschriebenen Schwellenwerts für GV Kontaminationen im Endprodukt von 0,9% würde demzufolge im Falle eines Anbaus von GV Weizen nicht einzuhalten sein. WILLENBORG et al. (2010) schätzen das Entkommen von Transgenen zumindest auf dem Wege des Samen vermittelten Genflusses als unvermeidbar ein. Eine Risikoanalyse des Genflusses von GV Weizen muss demzufolge nicht nur die Pollen, sondern auch die Samen und deren Beständigkeit in der Bodensamenbank berücksichtigen.

Um das ökologische Risiko der Auskreuzung von GV Weizen abschätzen zu können, müssen mehrere Faktoren beachtet werden, wie etwa die genetische Kompatibilität und die Fertilität der Hybriden, sowie die erfolgreichen Rückkreuzungen (GUADAGNUOLO et al. 2001). Auch die Persistenz

von Kulturpflanzengen in wilden Arten muss untersucht werden. Der Vorteil, den eine Wildpflanze beispielsweise durch den Erwerb eines Herbizidresistenzgens aufweisen könnte, wäre, dass dies zu einem Anwachsen ihres Verunkrautungspotentials führen könnte. Infolge würde dann als ökologische Konsequenzen dieser Transgenübertragung eine intensivere Verunkrautung der Äcker auftreten, wodurch wiederum ein verstärkter Einsatz von weniger umweltfreundlichen Herbiziden die Folge wäre. Dies könnte wiederum zu einer möglichen Beeinträchtigung für die Landwirtschaft und zur Störung des ökologischen Gleichgewichts führen, wie etwa zu einer erhöhten Konkurrenzfähigkeit von herbizid-resistenten Beikräutern gegenüber anderen Arten und daraus resultierend zu einem weiteren Verlust an Biodiversität (WILLIAMSON 1994).

Weizendurchwuchs ist vor allem in Frühlingsweizenkulturen nur schwierig zu kontrollieren. Zusätzlich zu der Maßnahme eines empfohlenen Anbaus von Frühlingsweizenkultur von **250-300 Pflanzenindividuen/m²** sollte die Heterogenität in der Blühdynamik, die innerhalb der Frühlingsweizen-Genotypen existiert, genutzt werden, um den potentiellen Genfluss begrenzen zu können (WILLENBORG et al. 2008). Wenn die Wuchshöhe der Pflanzenindividuen der gewählten Kulturform-Genotypen größer ist als die der Durchwuchspflanzen, werden voraussichtlich auch bei Weizen die angebauten Kulturpflanzen konkurrenzstärker sein, wie FARGUE et al. (2005) bereits für *Brassica napus* nachgewiesen haben.

Durchwuchs von Roundup Ready Weizen (RRW), der resistent gegenüber Glyphosat ist, könnte vermehrt auftreten, da der Selektionsdruck ansteigen könnte und RRW dadurch immer schwieriger und kostenintensiver zu kontrollieren wäre. Häufiges Ausbringen von Glyphosaten in "conservation tillage" Systemen, wie sie beispielsweise in Kanada üblich sind, könnte das RRW Merkmal in Durchwuchspopulationen in Weizen erhöhen (BRULE-BABEL et al. 2006). „Conservation tillage“ hinterlässt mindestens 30% Rückstände der Kulturpflanzen auf der Bodenoberfläche des abgeernteten Feldes oder zumindest 1,1 kg/ha kleiner Kornrückstände während der kritischen Bodenerosionsperiode. Diese Handhabung vermindert die Wasserbewegung und wirkt so der Bodenerosion entgegen. Reduzierte Bodenbearbeitung, wie sie etwa in Kanada praktiziert wird, unterstützt signifikant und messbar die ökologischen und ökonomischen Nutzen, sowie die Erhaltung von Ressourcen (MARVIER & VAN ACKER 2005).

Einige Landwirte haben bereits festgestellt, dass RR Weizen-Durchwuchs in Kombination mit RR Canola-Durchwuchs kumulative Effekte auslösen könnte, was wiederum das Potential für Glyphosat resistente Beikräuter erhöhen und damit das „conservation tillage“ System weiter untergraben könnte (MAURO et al. 2009). HOWATT et al. (2006) behaupten, dass RRW besonders gut für Regionen ausgerüstet ist, in denen auch andere RR Kulturpflanzen angebaut werden. Auch wenn die Arten kein direktes Risiko für die Umwelt darstellten, könnten jedoch beide Kulturpflanzen ein Beikrautproblem verursachen, das aufgrund der dann erforderlich werdenden Anwendung weniger umweltverträglicher Alternativherbizide oder aufgrund von fehlenden effektiven Alternativkontroll-Möglichkeiten indirekt das Ökosystem betreffen würde (DALE et al. 2002). Diese kumulativen Effekte werden in der ökologischen Risikoanalyse jedoch bis dato nicht berücksichtigt, da die GV Kulturpflanzen auf einer case-by-case-Basis evaluiert werden.

Import und Verarbeitung von Weizen

Das Vorhandensein von spezifischen Eigenschaften in zertifiziertem Weizen wurde bereits in den USA nachgewiesen (GAINES et al. 2007). Ein eingezüchtetes nicht GV Merkmal, das Toleranz gegenüber dem Herbizid Imidazolinon in Weizen vermittelt, wurde bereits zwei bis drei Jahre nach der kommerziellen Freisetzung dieser konventionellen Weizensorte in Samenladungen von zertifiziertem konventionellen Weizen bis zu einem Anteil von **11,28%** nachgewiesen. Diese unerwünschte Kontamination trat auf, obwohl zertifizierte Weizensamen unter strikten

Trennungsbedingungen angebaut und gehandhabt werden. VAN ACKER (2012) unterstreicht in diesem Zusammenhang immer wieder das Auftreten und die Unvermeidbarkeit von menschlichen Irrtümern (z. B. der „Starlink“ Fall oder der Prodigen-Fall).

Vor der Verarbeitung wird der geerntete Weizen in die Lagerhäuser transportiert. Dort wird er vorgereinigt und von Schmutz und Unkrautsamen befreit (vergl. dazu auch REINER 2006). Die gereinigte Ware wird dann in die Mühlen geliefert. Die Annahme des Weizens unterliegt in Österreich einer gründlichen Aufnahmekontrolle. Nach einer nochmaligen Reinigung des Rohstoffs werden die einzelnen Weizenpartien nach ihrem Proteingehalt und anderen Qualitätsmerkmalen Rohwarenzellen zugeordnet. Der Müller kann dann Parteien nach unterschiedlichen Herkünften und Proteingehalten abrufen und zusammenmischen. Diese **Mischvorgänge** sind auch im Rahmen der Risikoanalyse vorrangig relevant, da es auch hierbei zu unerwünschten GV Kontaminationen kommen könnte.

Da aus heutiger Sicht nicht vorherzusehen ist, dass in absehbarer Zeit GV Weizen auch in Österreich angebaut werden könnte, stellen **Weizenimporte aus potentiellen GV Weizen anbauenden Ländern wie den USA, Kanada und Australien das größte Risiko für Österreich dar** (vergl. auch REINER 2006). Österreich verfügt bezüglich Weizen aktuell über einen hohen Selbstversorgungsgrad, importiert aber dennoch Weizen aus dem Ausland (siehe Kap. Österreichspezifische Agrardaten zu Weizen). Falls kontaminierter Weizen durch Importe nach Österreich gelangen würde, könnte dieser in die österreichische Lebensmittelkette Einzug halten. Durch Samenverluste bei Transportaktivitäten und Vermischungen bei Verladungen könnte GV Weizen dann auch in Österreich unbeabsichtigt in die Umwelt freigesetzt werden. WILLENBORG & VAN ACKER (2008) weisen darauf hin, dass Samenverbreitung prinzipiell das höhere Potential als Pollen besitzt, zufälliges Vorkommen („adventitious presence“) des Transgens auf einer größeren Landschaftsebene zu verursachen. Studien wären demzufolge dringend von Nöten, die die unbeabsichtigte Verbreitung von Weizensamen im Getreide-Hantierungssystem („grain handling system“) zurückverfolgen. Darüber hinaus wäre die Entwicklung von mechanistischen Modellen erforderlich, die Vorhersagen zur Transgenverbreitung auf Landschaftsebene zulassen, um sowohl die Verbreitungswege der Transgene, als auch die kritischen Punkte für eine GV Kontamination in den verschiedenen Anbausystemen identifizieren zu können.

Die Einschätzung von GV Weizen durch die kanadischen Landwirte

In Kanada wurde erstmalig und im großem Maßstab eine Befragung von Landwirten zur Akzeptanz von Roundup Ready Weizen (RRW) durchgeführt, um deren Wissen in der *a priori* Risikoanalyse von GM Kulturpflanzen mitberücksichtigen zu können (MAURO et al. 2009). Nach Angabe der Landwirte wäre der primäre Nutzen von RRW vor allem durch eine erleichterte Beikraut-Kontrolle gegeben, im Wesentlichen durch eine effektive Kontrolle von *Avena fatua*, dem wilden Hafer, der gegenüber einer Gruppe von gräserwirksamen Herbiziden bereits resistent ist. Zwischen 1996 und 1997 war resistenter wilder Hafer in 50% der Felder der sogenannten „kanadischen Prärie“ vorhanden (BECKIE et al. 2001). Die Landwirte fanden neben der erleichterten Beikraut-Kontrolle ansonsten keine agronomischen Vorteile bezüglich Erntesteigerung, Sauberkeit des Saatguts, Erleichterung von „conservation tillage“, frühere Saatgutausbringung, größere Produktuniformität oder Kulturpflanzensicherheit. Als Risiken des GV Produkts wurden allerdings Schäden am Markt, Unternehmenskontrollen, agronomische Probleme und die Wahrscheinlichkeit von GV Kontaminationen identifiziert. Von den kanadischen Landwirten wurden die Risiken von RRW wesentlich höher eingestuft, als der zu erwartende Nutzen. 83,2% der befragten Landwirte lehnten ab, dass RRW uneingeschränkt in die Umwelt freigelassen werden sollte. Diese großteils einheitliche Haltung zeigte sich auch bei verschiedenen Gruppen, wie etwa bei Anwendern als auch nicht-Anwendern der GV Technologie, bei Biobauern, aber auch bei konventionellen Farmern. Für eine ökologische Risikoanalyse von GV Weizen wäre es wünschenswert und

essentiell, das lokale Wissen der Landwirte zukünftig in einem wesentlich höheren Ausmaß zu berücksichtigen, da es auf eigenen Erfahrungen basiert, ortsspezifisch und holistisch ist, sowie wissenschaftliche Daten bereichert und vervollständigt. Die bereits erfolgte Durchführung von RRW Freilandversuchen wurde von 65% der kanadischen Landwirte als wichtig erachtet, um die Sicherheit dieses Weizens einschätzen zu können, 68% vermerkten allerdings, dass Monsanto diese Versuche nicht auf Testfeldern, die über die gesamte „Weizenanbau-Prärie“ verstreut lagen und ohne Rücksprache mit den betroffenen Nachbarbauern nach zufälligen Kriterien festgelegt wurden, durchführen hätte sollen. So würden sich 82% der Landwirte ein verstärktes Mitspracherecht bei der Auswahl der Lokalität der Testfelder wünschen.

2007 waren 76% der Weizensamen in Kanada sogenannte „saved seed“, was bedeutet, dass die Landwirte die Samen nach der Ernte reinigen und die Samen, die von der eigenen Produktion stammen, infolge wieder erneut aussäen („saved seed“; MAURO et al. 2009). Da die Landwirte die Samen für die neue Aussaat nicht bei Firmen einkaufen, sondern sich mit den Samen selbst versorgen, bedeutet dies einen noch nicht berührten Markt für große Saatgut-Firmen. Zehn Saatgut-Firmen besaßen weltweit im Jahr 2008 allerdings bereits 55% des kommerziellen Saatguts.

Es gibt scheinbar eine Divergenz hinsichtlich der Haltung von amerikanischen und kanadischen Landwirten gegenüber GV Merkmalen im Weizen (MAURO et al. 2009). Die überraschende Uniformität in der Haltung der kanadischen Landwirte gegenüber GV Weizen, die GVO anwenden als auch derer, die GVO nicht anwenden, sowie zwischen Biobauern, konventionellen Landwirten, Anwendern von „conservation tillage“ und von GVO Landwirten unterstreicht die Fähigkeit der Bauern, zwischen verschiedenen herbizidtoleranten Kulturpflanzen und deren Varianten unterscheiden zu können. Viele der befragten Bauern kultivierten RR Raps, traten jedoch gegen die Ausbringung von RR Weizen auf.

Entwicklung eines Konzepts für die ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch veränderten Weizen und Handlungsempfehlungen

Wie bereits ausgeführt, kommen auch in Europa wilde Weizen-Verwandte des *Triticum-Aegilops*-Komplexes in Sympatrie mit kultiviertem Brotweizen (*Triticum aestivum* L.) vor. Spontane Hybridisierungsereignisse unter natürlichen Bedingungen mit Weizen sind für die meisten tetraploiden *Aegilops*-Arten bestätigt. Die Möglichkeit eines Gentransfers und einer Genretention in der Hybrid-Nachkommenschaft ist, wie bereits erwähnt, höher, wenn das Gen auf einem der gemeinsam geteilten Genome liegt. Zwölf der insgesamt 22 bekannten *Aegilops*-Arten, sowie eine *Triticum*-Art und zwar *T. monococcum* L. subsp. *aegilopoides* Thell. kommen in Europa innerhalb oder nahe von Weizenfeldern vor (ZAHARIEVA & MONNEVEUX 2006). Fünf tetraploide Arten (*Aegilops cylindrica* Host., *Ae. triuncialis* L., *Ae. geniculata* Roth., *Ae. neglecta* Req. Ex Berthol., and *Ae. biuncialis* Vis.) haben in den meisten europäischen Staaten eine weite Verbreitung. Um das Risiko der Entwicklung und der Konkurrenzfähigkeit von Hybriden und ihrer Nachkommenschaft innerhalb der einzelnen europäischen Staaten konkret abschätzen zu können, müssen **fallspezifische Untersuchungen und regionsspezifische Analysen** durchgeführt werden. *Ae. cylindrica*, ist die einzige Art der Gattung *Aegilops*, die in Österreich vorkommt. Sie tritt nur selten als Adventivart auf. Trotz ihres seltenen Vorkommens muss diese Art jedoch dennoch in einer ökologischen Risikoanalyse von GV Weizen für Österreich berücksichtigt werden, da sie aufgrund ihrer partiellen genetischen Ähnlichkeit mit Weizen ein relativ großes Hybridisierungspotential mit

Weizen besitzt. Darüber hinaus ist *Ae. cylindrica* in anderen Regionen wie etwa in Westkanada ein problematisches Beikraut auf landwirtschaftlich genutzten Feldern, das hohe Herbizideinsätze erforderlich macht. Im Falle eines Anbaus von GV Weizen in Österreich wäre allerdings die intraspezifische Hybridisierung mit nicht GV Sorten das größere Problem, als der interspezifische Austausch mit verwandten wild vorkommenden Arten wie beispielsweise *Ae. cylindrica*.

Durchwuchs ist im Falle von Weizen ähnlich wie bei Raps ein vorrangig relevanter Faktor in der ökologischen Risikoabschätzung. Pollen vermittelter Genfluss in Frühlingsweizen konnte im Experiment von WILLENBORG et al. (2010) durch temporäre Isolation und niedrige Pflanzendichten der Pollenquellen reduziert werden. Die prophezeite Genflussrate war in diesem Experiment immer unterhalb von 0,1%, wenn die Pflanzendichte des Durchwuchsweizens unterhalb von 40 Pflanzenindividuen/m² blieb. Die Genflussfrequenz erhöhte sich jedoch rasch, wenn Dichten von 40 Individuen überschritten wurden, zu einer maximal beobachteten Frequenz von 0,26% in Abhängigkeit von der zeitlichen Abstimmung des jeweiligen Erscheinens der Pflanzen. DE CORBY et al. (2007) identifizierten das Erstauftreten von Durchwuchsweizen auf den Feldern bereits früh im Frühling. Wenn ein Landwirt dieses konzentrierte frühjahreszeitliche Aufkommen der Durchwuchsweizen-Keimlinge am besten noch vor der Aussaat oder sonst in der Kultur kontrollieren würde, dann könnte Durchwuchsweizen in der Folgekultur minimiert werden. Um Durchwuchsweizen erfolgreich eliminieren zu können, sollte demzufolge **auf ein perfektes oder nahezu perfektes Management des Durchwuchsweizens** in der Fruchtfolge gleich im Anschluss an die Weizenkultur fokussiert werden.

Zudem ist der **Anbau von kleinwüchsigen Weizensorten** eine bereits in der Fachliteratur diskutierte Maßnahme, um die Blühsynchronität mit größeren Durchwuchsweizenpopulationen minimieren zu können. Die Ergebnisse einer kanadischen Studie unterstreichen jedoch diesen Zusammenhang nicht eindeutig und schränken somit eine diesbezüglich generelle Empfehlung ein (WILLENBORG et al. 2008).

Über das **Verwilderungspotential** von Weizen ist in der Fachliteratur noch wenig bekannt. Die Durchführung von Studien, die sich mit diesem für eine ökologische Risikoanalyse relevanten Aspekt beschäftigen, ist zur Klärung, ob auch Verwilderung bei Weizen als Vektor für die Verbreitung von Transgenen in die Umwelt Relevanz besitzt, essentiell. Auch bei Weizen sollte in einer Risikoanalyse das bis dato noch unbekanntes Verwilderungspotential berücksichtigt werden.

Die erforderlichen **Isolationsdistanzen**, die eingehalten werden müssen, um Introgression von Weizen auf *Aegilops*-Arten zu vermeiden, sind nach SCHOENENBERG (2005) gering, und zwar im Größenbereich von nur wenigen Metern. WILLENBORG et al. (2010) führten ein Feldexperiment durch, um die Reduktion von intraspezifischem Genfluss assoziiert mit zeitlicher Isolation des Blühens zwischen Imazamox-resistenten (IR) Durchwuchspopulationen von *T. aestivum* und einer nicht IR Frühlingsweizenpflanze zu bestimmen. Ein Hybridisierungsfenster von ungefähr 125 „growing degree days“ (GDD) wurde identifiziert. Beim Blühen außerhalb dieses Fensters wurde eine 2- bis 4- fache Reduktion der Genflusshäufigkeit beobachtet. Das Hybridisierungsfenster könnte mithelfen, die Nachbarkulturpflanzen von erfolgreichen Genflussereignissen zeitlich zu isolieren. Auch im Falle von GV Weizen in Österreich wäre **die Festlegung und Einhaltung von räumlichen Isolationsdistanzen zwischen den Feldern in Kombination mit zeitlicher Isolation (unterschiedliche Blühfenster)** eine effektive Maßnahmensetzung zur Begrenzung von Genfluss. Diese Isolationszonen müssten allerdings den Ergebnissen der Pollenflugstudien von Weizen zufolge, größere Distanzen wie die von SCHOENENBERG (2005) vorgeschlagenen, umfassen. Darüber hinaus wären allerdings noch Zusatzmaßnahmen wie etwa ein sorgfältiges Durchwuchsmanagement, Barrierepflanzungen, etc. von Nöten. Auch bei Weizen kann erst das Zusammenspiel mehrerer gesetzter Maßnahmen zur erfolgreichen Begrenzung des Pollenflugs führen.

Die Sortenreinheit in der Weizensamenproduktion ist ein wesentlicher Faktor für die agronomische Uniformität und für die Ermöglichung der potentiellen Markttrennung (GAINES & al. 2007). GV Weizen könnte diese Sortenreinheit gefährden. Österreich besitzt eine strenge Regelung zur Sortenprüfung. Im Falle von kontaminierten Weizenimporten aus potentiellen GV Weizen-anbauenden Ländern müsste die **Reinheitsprüfung der Sorten in Österreich** dementsprechend adaptiert werden. Der diesbezüglich effektivste Ansatz wäre allerdings, sofern möglich, zukünftig auf Importe von Weizen aus potentiellen GV Weizenanbauländern wie der USA, Kanada und Australien zu verzichten.

Prinzipiell kann geschlussfolgert werden, dass die Anwendung der Gentechnik für die heutigen Anforderungen, die die Kulturpflanze Weizen erfüllen muss, grundsätzlich nicht zwingend von Nöten ist, da die vorrangigen Probleme im Weizenanbau derzeit auch auf konventionellem Wege erfolgreich gelöst werden können. Im Gegenteil, die Bewahrung des Weizengenoms, das sich nach seiner Entwicklung über Jahrtausende gebildet hat, steht in diesem Zusammenhang im Zentrum. Genetische Veränderungen würden in Zukunft zu Problemen der Sortenidentität bei Weizen führen (REINER 2006).

Es ist nicht zu erwarten, dass in naher Zukunft GV Weizen in Österreich für den Anbau zugelassen wird. Da es sich bei Brot ähnlich wie bei Reis um ein Grundnahrungsmittel handelt, wird die Akzeptanz der Konsumenten und auch Produzenten GV Weizen gegenüber auch in Zukunft voraussichtlich niedrig sein.

Literatur

- AYAL, A. & LEVY, A.A. 2005: Wheat domestication and dedomestication - What are the odds? In: J. B. GRESSEL, J.B. (Ed.): Crop ferality and volunteerism. CRC Press, Boca Raton, FL.: 167-174.
- ANDERSON, R.L. & SOPER, G. 2003: Review of volunteer wheat (*triticum aestivum*) seedling emergence and longevity in soil. *Weed Technology* 17: 620-626.
- BECKIE, H.J., THOMAS, A.G. & STEVENSON, F.C. 2001: Survey of herbicideresistant wild oat (*Avena fatua*) in two townships in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* 2: 463–471.
- BRULE-BABEL, A.L., WILLENBORG, C.J., FRIESEN, L.F. & VAN ACKER, R.C. 2006: Modeling the influence of gene flow and selection pressure on the frequency of a GE herbicide-tolerant trait in non-GE wheat and wheat volunteers. *Crop Science* 46: 1704-1710. doi:10.2135/cropsci2005.11-0411ri
- CLARKE, J.M. 1985: Harvesting losses of spring wheat in windrower/combine and direct combine harvest systems. *Agronomy Journal* 77: 13-17.
- CUI, C., SONG, C.F., TAN, Y., ZHOU, X., ZHAO, W., MA, F., LIU, ., HUSSAIN, J., WANG, Y., YANG, G. & HE, G. 2011: Stable chloroplast transformation of immature scutella and inflorescences in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Biochimica et Biophysica Sinica* 43: 284-91. doi: 10.1093/abbs/gmr008
- DALE, P.J., CLARKE, B. & FONTES, E.M.G. 2002: Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology* 20: 567–574.
- DAVID, J.L., BENAVENTE, E., BRÈS-PATRY, C., DUSAUTOIR, J.-C. & ECHAIDE, M. 2004: Are neopolyploids a likely route for a transgene walk to the wild? The *Aegilops ovata* x *Triticum turgidum durum* case. *Biol. J. Linn. Soc.* 82: 503-510.
- DE CORBY, K.A., VAN ACKER, R.C., BRÛLÉ-BABEL, A.L. & FRIESEN, L.F. 2007: Emergence timing and recruitment of volunteer spring wheat. *Weed Science* 55: 60-69.
- DEYNZE, A.V. & BRADFORD, K.J. 2011: The science of gene flow in agriculture and ist role in co-existence. Meeting report, Washington, DC, September 7-8th: pp. 22.
- DIEPENBROCK, W., ELLMER, F. & LEON, J. 2012: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 3. Auflage, Ulmer UTB: pp. 364.
- ESSL, F. & STÖHR, O. 2006: Bemerkenswerte floristische Funde aus Wien, Niederösterreich, dem Burgenland und der Steiermark, Teil III. *Linzer biologische Beiträge* 38/1: 121-163.
- FARGUE, A., MEYNARD, J.M., COLBACH, N., VALLÉE, G.G. & RENARD, M. 2005: Contamination of rapeseed harvest by volunteers of other varieties: A study of intergenotypic competition. *European Journal of Agronomy* 21: 193-207.
- FEI, S. & NELSON, E. 2003: Estimation of pollen viability, shedding pattern and longevity of creeping bentgrass using artificial medium. *Crop Science* 43: 2177-2181.
- FISCHER, M.A., ADLER, W. & OSWALD, K. 2005: Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 2. Auflage, Land Oberösterreich, Biologiezentrum der OÖ Landesmuseen, Linz.: pp. 1392.
- FRAGASSO, M., IANNUCCI, A. & PAPA, R. 2013: Durum wheat and allelopathy: toward wheat breeding for natural weed management. *Frontiers in Plant Science* 4, 375: 1-8. doi: 10.3389/fpls.2013.00375
- FRIESEN, L.F., NELSON, A.G. & VAN ACKER, R. 2003: Evidence of contamination of pedigreed canola (*Brassica napus*) seedlots in Western Canada with genetically engineered herbicide resistance traits. *Agronomy Journal* 95: 1342-1347.
- GAINES, T., PRESTON, C., BYRNE, P., HENRY, W.B. & WESTRA, P. 2007: Adventitious presence of herbicide resistant wheat in certified and farm-saved seed lots. *Crop Science* 47: 751-756. doi:10.2135/cropsci2006.06.0368
- GARVE, E. & HARING, J. 1988: *Aegilops cylindrica* HOST – eine neue Adventivart für Niedersachsen. *Flor. Rundbr.* 22/1: 18-20.

- GUADAGNUOLO, R., SAVOVA-BIANCHI, D. & FELBER, F. 2001: Gene flow from wheat (*Triticum aestivum* L.) to jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica* Host.), as revealed by RAPD and microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics* 103/1: 1-8.
- HARKER, K.N., CLAYTON, G.W. & BLACKSHAW, R.E. et al. 2005: Glyphosate-resistant wheat persistence in western Canadian cropping systems. *Weed Science* 53: 846-859.
- HEDGE, S.G. & WAINES, J.G. 2004: Hybridization and introgression between bread wheat and wild and weedy relatives in North America. *Crop Science* 44: 1145-1155.
- Howatt, K.A., Endres, G.J., Hendrickson, P.E., Aberle, E.Z., Lukach, J.R., Jenks, B.M., Riverland, N.R., Valenti, S.A. & Rystedt, C.M. 2006: Evaluation of glyphosate-resistant hard red spring wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technology* 20: 706–716. doi: <http://dx.doi.org/10.1614/WT-04-219R2.1>
- HUCL, P. 1996. Out-crossing rates for 10 Canadian spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science* 76: 423-427.
- HUCL, P. & MATUS-CÁDIZ, M. 2001: Isolation distances for minimizing out-crossing in spring wheat. *Crop Science* 41: 1348–1351.
- HUYGEN, I., VEEMAN, M. & LEROHL, M. 2003: Cost implications of different GM tolerance levels: non-genetically modified wheat in western Canada. *AgBioForum* 6: 169–177.
- JENSEN, N.F. 1968: Results of a survey on isolation requirements for wheat. *Annual Wheat Newsletter* 15: 26-28.
- JONES, P. 2013: GE wheat ignites panic, while myriad scores a victory in oz and defeat at home. *ISB News Report – Agricultural and Environmental Biotechnology*: 1-3.
- JOPPA, L.R., MACNEAL, F.H. & BERG, M.A. 1968: Pollen production and pollen shedding of hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum (*T. durum* Desf.) wheats. *Crop Science* 8: 487-490.
- LEESON, J.Y., THOMAS, A.G. & HALL, L.M. 2002: 2001 Alberta Weed Survey of Cereal, Oilseed, and Pulse Crops. Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon, SK. *Weed Survey Ser. Publ. 02_1*: pp. 263.
- LEESON, J.Y., THOMAS, A.G., HALL, L.M., BRENZIL, C.A., ANDREWS, T., BROWN, K.R. & VAN ACKER, R.C. 2005: Prairie weed surveys of cereal, oilseed, pulse crop from the 1970s to the 2000s. *Weed Survey Series Publ. 05-1*. Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon Research Centre, Saskatoon.
- MARTIN, T.J. 1990: Outcrossing in twelve hard red winter wheat cultivars. *Crop Science* 30: 59-62.
- MARVIER, M. & VAN ACKER, R.C. 2005: Can crop transgenes be kept on a leash? *Reviews, The Ecological Society of America, Frontiers in Ecology and the Environment* 3(2): 99-106.
- MATUS-CADIZ, M. A., HUCL, P., HORAK, M. J. & BLOMQUIST, L.K. 2004: Gene flow in wheat at the field scale. *Crop Science* 44: 718-727.
- MATUS-CADIZ, M.A., HUCL, P., & DUPUIS, B. 2007: Pollen-mediated gene flow in wheat at the commercial scale. *Crop Science* 47: 573–581.
- MAURO, I.J., MCLACHLAN, S. & VAN ACKER, R.C. 2009: Farmer knowledge and a priori risk analysis: pre-release evaluation of genetically modified Roundup Ready wheat across the Canadian prairies. *Environmental Science and Pollution Research* 16: 689-701. doi 10.1007/s11356-009-0177-6
- MELZER, H., BREGANT, E. & BARTA, T. 1992: Neues zur Flora von Wien, Niederösterreich und dem Burgenland. *Linzer biologische Beiträge* 24/2: 725-740.
- MORRISON, L. A., RIERA-LIZARAZU, O., CRÉMIEUX, L. & MALLORY-SMITH, C. A. 2002: Jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica* Host) x wheat (*Triticum aestivum* L.) hybrids: hybridization dynamics in Oregon wheat fields. *Crop Science* 42: 1863-1872.
- PEREZ-JONES, A., MARTINS, B. & MALLORY-SMITH, C.A. 2010: Hybridization in a commercial production field between imidazolinone-resistant wheat (*Triticum aestivum*) and *Aegilops cylindrica* results in pollen-mediated gene flow of *Imi1*. *Weed Science* 58: 395–401. doi: <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-10-00027.1>
- PRAKASH, S. & SINGHAL, N.C. 2003: Natural cross-pollination in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Seed Research* 31: 22-26.

- REINER, H. 2006: Getreide und Gentechnik – Grundlagen aus Naturwissenschaft und Lebensmittelwissenschaft. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen, Sektion IV: pp. 146.
- SCHOENENBERGER, N. 2005: Genetic and ecological aspects of gene flow from wheat (*Triticum aestivum* L.) to *Aegilops* L. species. PhD thesis, University of Neuchâtel. Schweiz: pp. 77.
- SCHOENENBERGER, N., FELBER, F., SAVOVA-BIANCHI, D. & GUADAGNUOLO, R. 2005: Introgression of wheat DNA markers from A, B, and D genomes in early generation progeny of *Aegilops cylindrica* Host x *Triticum aestivum* L. hybrids. *Theoretical and Applied Genetics* 111: 1338-1346. doi 10.1007/s00122-005-0063-7
- SCHOENENBERGER, N., GUADAGNUOLO, R., SAVOVA-BIANCHI, D., KÜPFER, P. & FELBER, F. 2006: Molecular analysis, cytogenetics and fertility of introgression lines from transgenic wheat to *Aegilops cylindrica* Host. *Genetics* 174: 2061-2070. DOI: 10.1534/genetics.106.058529
- STOCKSTAD, E. 2004: Monsanto pulls the plug on genetically modified wheat. *Science* 304: 1088-1089.
- STUMP, W.L. & WESTRA, P. 2000: The seed bank dynamics of feral rye (*Secale cereale*). *Weed Technology* 14: 7-14.
- VAN ACKER, R.C. 2012: Understanding agricultural species metapopulation biology and ecology and the implications for coexistence in low level of presence scenarios. *AgBioForum* 15(1): 54-60.
- VAN SLAGEREN, M. W. 1994: Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (Jaub. & Spach) Eig (*Poaceae*). Wageningen Agricultural University Press, Wageningen; ICARDA, Aleppo.
- VIRMANI, S.S. & EDWARDS, I.B. 1983: Current status and prospects for breeding hybrid rice and wheat. *Advances in Agronomy* 36: 145-214.
- WAGNER, D.B. & ALLARD, R.W. 1991: Pollen migration in predominantly self-fertilizing plants: barley. *Journal of Heredity* 82: 302-304.
- WAINES, J.G. & HEGDE, S.G. 2003: Intraspecific gene flow in bread wheat as affected by reproductive biology and pollination ecology of wheat flowers. *Crop Science* 43: 451-463.
- WALTER, J., ESSL, F., NIKLFELD, H. & FISCHER, M.A. 2002: Gefäßpflanzen. In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.) *Neobiota in Österreich*. Umweltbundesamt: 46-173.
- WATRUD, L.S., LEE, E.H., FAIRBROTHER, A., BURDICK, C., REICHMAN, J.R., BOLLMAN, M., STORM, M., KING, G. & VAN DE WATER, P.K. 2004: Evidence for landscape-level, pollen-mediated gene flow from genetically modified creeping bentgrass with CP4 EPSPS as a marker. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 14533-14538.
- WILLENBORG, C.J. & VAN ACKER, R.C. 2008: The biology and ecology of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) and its implications for trait confinement. *Canadian Journal of Plant Science* 88 (5): 997-1013.
- WILLENBORG, C.J., LUSCHEI, E.C., BRÛLÉ-BABEL, A.L. & VAN ACKER, R.C. 2009: Crop genotype and plant population density impact flowering phenology and synchrony between cropped and volunteer spring wheat. *Agronomy Journal* 101/6: 1311-1321.
- WILLENBORG, C.J., BRÛLÉ-BABEL, A.L. & VAN ACKER, R.C. 2010: Identification of a hybridization window that facilitates sizeable reductions of pollen-mediated gene flow in spring wheat. *Transgenic Research* 19(3): 449-460. doi 10.1007/s11248-009-9322-8
- WILLIAMSON, M. 1994: Community response to transgenic plant release: predictions from British experience of invasive plants and feral crop plants. *Molecular Ecology* 3: 75–79. doi: 10.1111/j.1365-294X.1994.tb00048.x
- WILSON, W.W., JANZEN, E.L. & DAHL, B.L. 2003: Issues in development and adoption of genetically modified (GM) wheats. *AgBioForum* 6: 101–112.
- ZAHARIEVA, M. & MONNEVEUX, P. 2006: Spontaneous hybridization between bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and Its Wild Relatives in Europe. *Crop Science* Vol. 46 (2): 512-527. doi:10.2135/cropsci2005.0023
- ZAPIOLA, M.L. & MALLORY-SMITH, C.A. 2012: Crossing the divide: gene flow produces intergeneric hybrid in feral transgenic creeping bentgrass population. *Molecular Ecology* 21: 4672-4680. doi: 10.1111/j.1365-294X.2012.05627.x