



**TEST
BIOTECH**

Testbiotech e. V.
Institut für unabhängige
Folgenabschätzung in
der Biotechnologie



Transgene Escape: Gentechnisch veränderter Raps außer Kontrolle - eine globale Übersicht



Dieser Bericht wurde mit Mitteln der Gregor Louisoder Umweltstiftung finanziert.



Transgene Escape: Gentechnisch veränderter Raps außer Kontrolle - eine globale Übersicht

Ein Testbiotech-Hintergrund

von Andreas Bauer-Panskus & Christoph Then,

Titelbild: Claudia Radig-Willy

Stand September 2013

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung:	2
1. Fallstudie: Kanada.....	4
2. Fallstudie: USA.....	4
3. Fallstudie: Japan.....	5
4. Fallstudie: Australien.....	6
5. Fallstudie: Europäische Union	6
6. Fallstudie: Schweiz	8
Im Steckbrief: Raps (<i>Brassica napus</i>).....	9
Wie lassen sich die Risiken abschätzen?	11
Empfehlungen	12
Literatur	13

Zusammenfassung:

30 Jahre nachdem die ersten gentechnisch veränderten Pflanzen hergestellt wurden und im Laufe von fast zwanzig Jahren kommerziellen Gentechnik-Anbaus, sind Transgene bereits in verschiedenen Regionen der Welt vom Acker entkommen (siehe u.a. Ellstrand, 2012). Dies trifft insbesondere auf gentechnisch veränderten Raps zu.

Der vorliegende Report gibt einen Überblick über die Ausbreitung von Gentechnik-Raps in verschiedenen Ländern. Dazu wurden Publikationen aus Kanada, den USA, Japan, Australien, der Europäischen Union und der Schweiz ausgewertet. Grund zur Besorgnis gibt insbesondere die Situation in Kanada und Japan: Hier ist davon auszugehen, dass die Transgene sich bereits in Populationen von wilden verwandten Arten ausgebreitet haben.

Es gibt mehrere Gründe für die unkontrollierte Ausbreitung: Neben dem kommerziellen Anbau (wie in Kanada und den USA) und der experimentellen Freisetzung (wie in Deutschland) spielt auch der Import und Transport (z.B. nach Japan und Europa) eine große Rolle.

In der EU gab es bisher keinen kommerziellen Anbau von gentechnisch verändertem Raps. Trotzdem treten auch hier immer wieder Verunreinigungen mit transgenem Raps der Firma Bayer auf, obwohl dieser bereits 2007 seine Marktzulassung verloren hat.

Vorhersagen darüber, welche gentechnisch veränderten Pflanzen sich langfristig in der Umwelt verbreiten werden und welche Schäden dabei entstehen, sind nur begrenzt möglich. So können Umweltveränderungen wie z.B. der fortschreitende Klimawandel das invasive Potenzial von Pflanzen und deren Eigenschaften verstärken.

Um einer weiteren unkontrollierten Ausbreitung vorzubeugen, muss die Gesetzgebung verschärft und das Vorsorgeprinzip gestärkt werden. Zukünftig sollten Anträge auf Inverkehrbringung und Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen insbesondere dann nicht bewilligt werden, wenn die Rückholbarkeit der Organismen nicht gewährleistet ist.

Raps wild wachsend an einem Feldrand, blühendes Rapsfeld im Hintergrund (Foto: G. Menzel)



1. Fallstudie: Kanada

Kanada war das erste Land, in dem im Jahr 1995 herbizidtoleranter Raps zugelassen wurde. Mittlerweile wächst transgener Raps in Kanada auf über acht Millionen Hektar (ISAAA, 2013). Rapsanbau findet fast ausschließlich in den Provinzen Manitoba, Alberta und Saskatchewan statt. Die Ausbreitung von transgenem Raps wurde erstmals im Jahr 2003 öffentlich, als nachgewiesen wurde, dass fast das gesamte konventionelle Rapssaatgut transgene Konstrukte enthielt (Friesen et al., 2003). Verschiedene Studien stellten in der Folge fest, dass sich in den Anbaugebieten transgene Ruderalpopulationen an Feldrändern und entlang von Transportwegen gebildet hatten. Da ein großer Teil des angebauten Rapses exportiert wird (v.a. nach Japan), muss der Rapssamen über große Distanzen zu den großen Übersee Häfen (v.a. Vancouver) transportiert werden. Auch im Gebiet um Vancouver wurden folglich Populationen von transgenem Raps gefunden (Yoshimura et al., 2006). Knispel et al. (2008) zeigten, dass 88 Prozent der untersuchten Ruderalpopulationen in Manitoba transgenen Raps enthielten, der tolerant gegenüber dem Herbizid Glyphosat war. 81 Prozent waren tolerant gegenüber Glufosinat. Rund die Hälfte der untersuchten Pflanzen enthielten Toleranzgene gegenüber beiden Wirkstoffen. Untersuchungen ergaben, dass durch diese Hybridisierung die Fitness der Pflanzen kaum verändert wurde (Simard et al., 2005). Die Populationen erhalten sich nach Angabe der Autoren unter anderem aufgrund des großflächigen Anbaus der gentechnisch veränderten Pflanzen, durch den ein steter Nachfluss von transgenem Material entsteht. In einer Folgestudie (Knispel & McLachlan, 2010) waren bereits 93-100 Prozent der verwilderten Rapspflanzen an Feldrändern und entlang von Straßen in Manitoba gentechnisch verändert. Laut einer Studie aus dem Jahr 2006 hat sich transgener Raps auch in der Provinz Québec ausgebreitet: Zusätzlich fanden sich in allen untersuchten Populationen Hybride mit *Brassica rapa* (Rübsen) (Simard et al., 2006). Warwick et al. (2008) konnten zudem im Rahmen einer Langzeituntersuchung zeigen, dass verwilderte Hybrid-Populationen von *B. napus* und *B. rapa* in Québec zwar eine reduzierte Fitness aufwiesen, aber dennoch über einen Zeitraum von sechs Jahren persistent waren. Eine Verbreitung von Transgenen über *B. rapa* wird in Ostkanada durch den Anbau kultivierter Sorten dieser *Brassica*-Art erleichtert (Warwick et al., 2003).

2. Fallstudie: USA

Rapsanbau findet in den USA nur in wenigen Bundesstaaten statt. Insgesamt beläuft sich die Anbaufläche auf rund 1,6 Millionen Hektar, davon 1,3 Millionen Hektar im Bundesstaat North Dakota (NASS, 2012). In geringem Umfang wird Raps auch in Idaho, Minnesota, Montana, Oklahoma, Oregon und Washington angebaut. Die kommerzielle Nutzung von transgenem Raps begann in den USA im Jahr 1998, mittlerweile wachsen

auf mehr als 90 Prozent der US-Rapsfelder transgene herbizidtolerante Sorten. Im Jahr 2011 wurde erstmals eine Pilotstudie veröffentlicht, die zeigt, dass transgener Raps im Hauptanbaugebiet North Dakota weiträumig entlang von Transportrouten verbreitet wurde (Schafer et al., 2011). 80 Prozent der an Straßen wachsenden Rapspflanzen waren im Untersuchungszeitraum gentechnisch verändert. Die Hälfte der transgenen Pflanzen enthielt das cp4 epsps-Gen, das Pflanzen tolerant gegenüber Glyphosat macht, die andere Hälfte enthielt das pat-Gen, das Toleranz gegenüber glufosinathaltigen Herbiziden verleiht. Einige Pflanzen wiesen Toleranzen gegenüber beiden Wirkstoffen auf. Verstärkt fanden sich transgene Ruderalpopulationen z.B. rund um Silos und Landhandelshäuser, in geringerem Ausmaß auch an Eisenbahntrassen (Gilbert, 2010). Folgestudien zur Persistenz unter regionalen Bedingungen und zur Introgression in wilde Verwandte wie *B. rapa* fehlen. Ruderalpopulationen mit Anteilen von glyphosattolerantem Raps traten auch in Kalifornien in der Folge eines Sortenversuchs auf (Munier et al., 2012). Transgene Rapspflanzen fanden sich an Straßen und im Umkreis der Orte, an denen die Mähdrescher entladen worden waren.

3. Fallstudie: Japan

Ölraps (*B. napus*) wurde in Japan erst im 19. Jahrhundert eingeführt. Der Anbau der Pflanze hat bis heute nur geringe Bedeutung. Dagegen werden in Japan verwandte Brassicaceen teils in großem Stil angebaut, z.B. die mit Raps leicht kreuzbaren Arten *B. rapa* (Rübsen) und *B. juncea* (Brauner Senf), deren Kulturformen als Blatt- und Wurzelgemüse verwendet werden. Beide Arten treten, wie auch die *Brassica*-Art *B. Carinata* (Abbessinischer Kohl), zugleich als Wildformen auf. Ein Monitoring der Hafengebiete hat mittlerweile ergeben, dass verwilderter gentechnisch veränderter Raps rund um den Hafen Yokkaichi in großen, gemeinsamen Populationen mit *B. juncea* auftritt (Kawata et al., 2009).

Japan ist eines der wichtigsten Einfuhrländer für gentechnisch veränderten Raps. Rund 90 Prozent der derzeit jährlich importierten zwei Millionen Tonnen Raps stammen aus Kanada, wo wiederum auf mehr als 90 Prozent der Rapsanbauflächen herbizidtolerante transgene Linien wachsen. Die ersten Publikationen über die Präsenz von transgenem Raps in Japan erschienen im Jahr 2005 (Saji et al.). Transgene Rapspflanzen mit Toleranzen gegenüber Glyphosat bzw. Glufosinat fanden sich in Gebieten rund um die Überseehäfen Kashima, Chiba, Nagoya und Kobe sowie entlang der Transportwege zu Industrieanlagen, in denen Raps weiter verarbeitet wird. Aono et al. (2006) konnten im Folgejahr erste Rapspflanzen bestimmen, die sich untereinander gekreuzt hatten und damit gegen beide Herbizide tolerant waren.

In Folgestudien wurden Ruderalpopulationen entlang weiterer wichtiger Transportrouten (Nishizawa et al., 2009) und in Gebieten rund um alle übrigen

Überseehäfen (wie Shimizu, Yokkaichi, Mizushima, Hakata oder Fukushima) gefunden (u.a. Kawata et al., 2009; Mizuguti et al., 2011). In Untersuchungen von Mizuguti et al. (2011) wurden an mehreren der 19 großen Häfen Raps-Populationen gefunden, die sich über einen längeren Zeitraum selbst erhalten konnten.

Der Anteil von transgenem Raps in den Ruderalpopulationen rund um Häfen nimmt beständig zu: Im Jahr 2008 waren rund um den Hafen Yokkaichi bereits 90 Prozent der untersuchten Pflanzen transgen. Im Gebiet von Yokkaichi wurde an einem Flussufer auch eine erste transgene Hybridpflanze aus *B. napus* und *B. rapa* gefunden (Aono et al., 2011).

Möglicherweise haben sich in einzelnen Regionen durch die klimatisch ungewohnten Bedingungen die Eigenschaften der verwilderten transgenen Rapspflanzen verändert. Aus ökologischer Sicht ist insbesondere bedeutend, dass an einigen Stellen übergroße Pflanzen gefunden wurden, die einen mehrjährigen Lebenszyklus angenommen haben (Kawata et al., 2009). Raps ist üblicherweise, wie auch die restlichen in Japan vorkommenden Brassica-Arten, eine einjährige Pflanze.

4. Fallstudie: Australien

Gentechnisch veränderter Raps wird in West-Australien seit dem Jahr 2009 kommerziell angebaut. Eine Besonderheit ist, dass diese Region als sogenannte gentechnikfreie Anbauregion gilt. Deswegen darf gentechnisch veränderter herbizidtoleranter Raps nur auf wenigen Flächen angebaut werden (weniger als zehn Prozent der Rapsanbaufläche, McCauley et al., 2012). Dennoch gibt es erste, bisher nicht wissenschaftliche publizierte Berichte über transgene Ruderalpflanzen entlang von Transportrouten in dieser Region. Bei Tests durch eine Naturschutzorganisation entlang eines Highways, der als Transportroute für Raps bekannt ist, wurden im Oktober 2012 über 60 Prozent der ruderalen Rapspflanzen positiv auf Glyphosatresistenz getestet (CCWA, 2012). Eines der Hauptprobleme bei der Untersuchung von Vorkommen von verwildertem gentechnisch verändertem Raps in Australien ist laut CCWA (2012) mangelnder politischer Wille, sich mit den Nebeneffekten der kommerziellen Nutzung von gentechnisch veränderten Pflanzen zu befassen. So existiert kein offizielles Monitoringprogramm, und es gibt keine Vorgaben für das Management von ruderalen Transgenpopulationen.

5. Fallstudie: Europäische Union

In Deutschland wurden (ebenso wie in zahlreichen anderen europäischen Ländern) insbesondere in den 1990er Jahren Freilandversuche mit gentechnisch verändertem Raps durchgeführt. Die oft mehrjährigen, auf mehrere Standorte verteilten, teils

großflächigen Versuche fanden in Deutschland unter Bedingungen statt, die eine Verbreitung über die Freisetzungsf lächen hinaus sehr wahrscheinlich machen:

- es gab wenig bis keine Transparenz über die Versuchsstandorte,
- es gab kein Monitoring jenseits der Versuchsflächen,
- es wurden nur geringe Abstände zu benachbarten Rapsfeldern eingehalten (meist 100 oder 200 Meter, wenn keine Mantelsaat angelegt wurde; Arndt & Pohl, 2005),
- zum Teil gab es jährlich wechselnde Vorgaben zu Abstandsregelungen und Mantelsaat durch die zuständige Behörde (Arndt & Pohl, 2005),
- die Umsetzung von Sicherheitsmaßnahmen und Dokumentation durch die Betreiber war zum Teil mangelhaft (Arndt & Pohl, 2005),
- es wurden keine Informationen an Imker weitergegeben.

Bislang hat es in Deutschland keine systematischen Untersuchungen gegeben, um die Auswirkungen dieser Freisetzungen auf die dauerhafte Präsenz von gentechnisch verändertem Raps in der Umwelt zu erfassen. In einer stichpunktartigen Pilotstudie wurde in Süddeutschland kein gentechnisch veränderter Ruderalraps in der Nähe von einigen ausgewählten Flächen gefunden, auf denen experimentelle Freisetzungen stattgefunden hatten (Franzaring et al., 2007). Im Rahmen einer Überprüfung neuer Monitoringkonzepte wurde allerdings in Nordrhein-Westfalen gentechnisch veränderter Ruderalraps in bis zu 700 Metern Entfernung von ehemaligen Freisetzungsf lächen gefunden (Hofmann & Neuber, 2007).

In Schweden wurde 10 Jahre nach Freisetzungsversuchen noch herbizidresistenter Raps auf der Versuchsfläche entdeckt (D'Hertefeldt et al., 2008).

Laut Angaben der EU-Kommission tauchen immer wieder Kontaminationen mit gentechnisch veränderten Rapspflanzen der Firma Bayer in der Ernte auf (siehe Kasten): 2007 lief in der EU die Marktzulassung für die gentechnisch veränderten Rapsvarianten Ms1xRf1, Ms1xRf2 und Topas aus. Diese Pflanzen waren 1996 zur Saatgutproduktion zugelassen worden, aber nie großflächig angebaut worden. Für deren Entfernung aus der Umwelt musste die EU-Kommission trotzdem spezielle Regelungen erlassen: Über einen Zeitraum von fünf Jahren wurden Ernte-Kontaminationen mit den transgenen Rapspflanzen von bis zu 0,9% zugelassen. Diese Bescheide mussten 2012 für weitere fünf Jahre verlängert werden, weil auch dann immer noch Kontaminationen mit den transgenen Pflanzen von Bayer festgestellt wurden. Das Beispiel der EU zeigt, dass auch im Falle einer eher geringfügigen unkontrollierten Verbreitung lange Zeiträume kalkuliert werden müssen, bis eine Belastung mit gentechnisch verändertem Raps minimiert werden kann. Ob in Ländern wie Kanada oder USA der gentechnisch veränderte Raps jemals aus der Umwelt zurück geholt werden kann, muss bezweifelt werden.

Commission Decisions 2007/305/EC (2), 2007/306/EC (3) and 2007/307/EC (4) set out the rules for the withdrawal from the market of the GM material: Ms1xRf1 (ACS-BNØØ4- 7xACS-BNØØ1-4) hybrid oilseed rape, Ms1xRf2 (ACS- BNØØ4-7xACS-BNØØ2-5) hybrid oilseed rape and Topas 19/2 (ACS-BNØØ7-1) oilseed rape, as well as their derived products.

All three Decisions provided for a transitional period of time of years, during which food and feed containing the GM material were allowed to be placed on the market, in accordance with Article 4(2) or Article 16(2) of Regulation (EC) 1829/2003, subject to a number of conditions. The Decisions require in particular that the presence of the GM material in food and feed does not exceed a threshold of 0,9 % and that the presence of this GM material be adventitious or technically unavoidable.

Recent test results notified by stakeholders to the Commission show that at the end of this 5 year period the measures undertaken by the authorisation holder have allowed the removal of nearly all the GM material from the market. However, these results also show that minute traces (< 0,1 %) of the GM material may still be present in the food or feed chain at the end of the transitional period set out in Decisions 2007/305/EC, 2007/306/EC and 2007/307/EC.

The presence of remaining traces after the expiry date set out in these decisions, despite the measures undertaken by the notifier, can be explained by the biology of oilseed rape which can remain dormant for long periods as well as by the farm practices which have been employed to harvest the seed and resulting accidental spillage, the level of which was difficult to estimate at the date of adoption of the three above mentioned Decisions.

It was therefore considered necessary to extend the transitional period of time for another 5 years, that is until 31 December 2016. This supplementary transitional period should provide sufficient time to allow the total removal of the GM material from the food and feed chain.

Quelle: http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm

6. Fallstudie: Schweiz

Eine der wenigen empirischen Studien über Verluste beim Transport von gentechnisch verändertem Raps in Europa wurde in der Schweiz durchgeführt (Schoenenberger & D'Andrea, 2012). Entlang von knapp 80 Bahnlinien in der Schweiz wurden 2.400 Proben von verwilderten Rapspflanzen genommen. Bei 50 der Rapspflanzen wurde ein Enzym nachgewiesen, das charakteristisch für Roundup Ready-Pflanzen ist und diese gentechnisch veränderten Pflanzen tolerant gegenüber Herbiziden mit dem Wirkstoff Glyphosat machen. Die hohe Zahl der Funde bei den Proben aus den Jahren 2011 und 2012 ist bemerkenswert, da spätestens seit dem Jahr 2008 kein gentechnisch veränderter Raps (z.B. als Futtermittel) mehr in die Schweiz eingeführt wurde. Zulässig sind nur mehr Verunreinigungen von unter 0,5%. Die Funde legen den Schluss nahe, dass entlang der Bahngleise, die zur Unkrautbekämpfung offenbar regelmäßig mit glyphosathaltigen Herbiziden behandelt werden, tolerante Pflanzen über längere Zeit überdauern können, da sie unter diesen Bedingungen Selektionsvorteile besitzen. Eine Folgestudie (Hecht et al., 2013) bestätigte die Ergebnisse der ersten Untersuchung und zeigte, dass es insbesondere an Risiko-Hotspots wie Umladestationen zu einer erhöhten Konzentration von transgenen Pflanzen kommt.

Im Steckbrief: Raps (*Brassica napus*)

Familie:

Kreuzblütler (*Brassicaceae*)

Vielfaltszentrum:

Raps ist eine natürliche Kreuzung von *B. oleracea* (Weißkohl) und *B. Rapa* (Rübsen), die vor weniger als 10.000 Jahren wahrscheinlich im europäischen Mittelmeer- oder Atlantikraum entstanden ist.

Weitere verwandte Nutzpflanzenarten:

B. oleracea (Weißkohl, Chinakohl, Brokkoli, Blumenkohl, ...), *B. rapa* (Pak Choi, Rübsen, ...)

Wichtige Anbauregionen:

EU, China, Kanada, Indien (FAOSTAT, 2013)

Pollenverbreitung:

Überwiegend Insektenbestäubung, auch Wind (OECD, 2012)

Weiteste bislang gemessene Auskreuzungsdistanz über Pollenflug:

26 Kilometer bei Verwendung von männlich sterilen Pflanzen (Ramsay et al., 2003)

Überlebensfähigkeit der Pollen:

Unter natürlichen Bedingungen 4-5 Tage (OECD, 2012)

Überlebensfähigkeit der Samen / Samenbank:

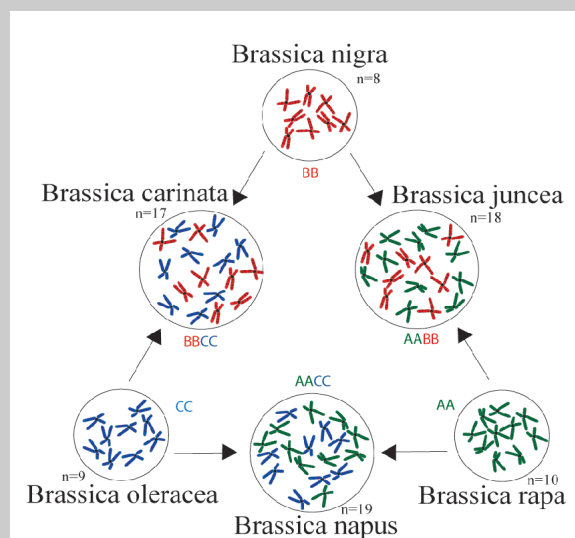
bislang empirisch nachgewiesen: über 11 Jahre (Lutman et al., 2003). Raps hat eine starke Neigung zum Durchwuchs.

Hybridisierung mit Nutzpflanzen

Raps ist mit den kultivierten Brassica-Arten

B. rapa und *B. oleracea* kompatibel, die Hybridisierungswahrscheinlichkeit mit *B. rapa* wird dabei höher eingeschätzt (Devos et al., 2009).

Die Verwandtschaftsverhältnisse von *B. napus* können im so genannten „Dreieck von U“ dargestellt werden (siehe Grafik).¹



¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Triangle_of_U

Hybridisierung mit wilden Verwandten

In Europa kann *B. napus* u.a. mit folgenden wilden/verwilderten Verwandten hybridisieren (OECD, 2012; Devos et al., 2009):

Brassica rapa

Brassica juncea

B. oleracea

Brassica nigra

Diplotaxis muralis

Diplotaxis tenuifolia

Erucastrum gallicum

Hirschfeldia incana

Raphanus raphanistrum

Sinapis alba

Sinapis arvensis

Ruderal- und Unkrauteigenschaften:

Die Kulturarten von *Brassica* treten auch als Wildformen bzw. Unkräuter auf.

Raps kann darüber hinaus verwilderte Ruderalpopulationen, u.a. an Straßen- und Feldrändern, bilden. Ruderalpopulationen können sich in Europa nach Pivard et al. (2008) in einem halb-permanenten Zustand selbst erhalten. Gentechnisch veränderter herbizidtoleranter Raps gilt nach Munier et al. (2012) als Unkraut.

Wilde Verwandte:

Verwilderte Formen von *B. rapa* und *B. oleracea*. *B. rapa* sind weltweit verbreitet und gelten als Unkraut (OECD, 2012). Auch die wilden Verwandten Ackersenf (*Sinapis arvensis*), Acker-Rettich (*Raphanus raphanistrum*), und Grausenf (*Hirschfeldia incana*) gelten auf konventionell genutzten landwirtschaftlichen Flächen als Unkräuter.

Fitnessvorteile durch gv-Konstrukte:

Hybride zwischen *B. napus* und *B. juncea* (Di et al., 2009) bzw. *B. napus* und *B. rapa* (Rose et al., 2009) wiesen in Experimenten nur geringe Fitnessverluste gegenüber der Wildart auf. In Versuchen mit Bt-Raps zeigte dieser unter Schädlingsdruck erhöhte Fitness (Mason et al., 2003). Bei Herbizideinsatz führen auch entsprechende Herbizidtoleranzen zu erhöhten Ausbreitungsmöglichkeiten. Laut Claessen et al. (2005) führen auch Transgene für modifizierten Ölgehalt (z.B. höherer Gehalt an Stearat oder Laurat) zu Fitnessvorteilen bei Raps. Auch verwandte Wildarten wie *B. rapa* und *Raphanus sativus* erhalten laut Simulationen durch die Einkreuzung von Bt-Transgenen vermutlich Fitnessvorteile (Letourneau & Hacker, 2012), ebenso *Raphanus raphanistrum* (Meier et al., 2013).

Wie lassen sich die Risiken abschätzen?

Die Folgen einer Freisetzung, die räumlich und zeitlich nicht kontrolliert werden kann, lassen sich nicht verlässlich prognostizieren. In diesem Fall müssten bei einer Risikoabschätzung evolutionäre Dimensionen berücksichtigt werden. Evolutionäre Prozesse führen unter anderem dazu, dass sich auch Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit realisieren können (siehe auch Breckling, 2013). Laut Breckling² sind hier u.a. folgende Zusammenhänge zu berücksichtigen:

„- Die evolutionäre Dynamik kombiniert viele Ereignisse auf der Ebene der Populationen mit einzelnen Vorgängen auf der molekularen Ebene.

- Auch für Ereignisse mit einer extrem niedrigen Wahrscheinlichkeit gibt es eine ernstzunehmende Chance, dass sie eintreten.

- In Abhängigkeit von bestimmten Umweltbedingungen kann sich die Fähigkeit von Organismen zur Selbstvermehrung um mehrere Größenordnungen verschieben und eine großflächige Ausbreitung ermöglichen, ohne dass man dieses vorhersagen kann.

- Die genetische Drift kann dafür sorgen, dass vor allem in kleinen Populationen bestimmte Gene durch reinen Zufall erhalten und etabliert werden.

- Die Überlebensfähigkeit der Träger der neuen Genome kann nicht in absoluten Werten berechnet werden. Sie hängt von der Umwelt und künftigen Veränderungen ab.“

Zum Zeitpunkt einer Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen können weder verlässliche Aussagen über zukünftige Umweltbedingungen noch über deren langfristiges ökologisches Verhalten und deren genetische Stabilität getroffen werden. Wenn die zeitliche und räumliche Ausbreitung nicht kontrollierbar ist, fehlen also die notwendigen Voraussetzungen für eine verlässliche Risikobewertung.

Der Klimawandel wird nach Aussagen vieler Wissenschaftler zu erheblichen Veränderungen in Fauna und Flora führen. So wird unter anderem prognostiziert, dass sich Pflanzen (und Tiere) mit invasiven Eigenschaften massiv ausbreiten könnten oder durch den Klimawandel invasive Eigenschaften erlangen. Clements & Ditommaso (2011) gehen angesichts des Klimawandels von einem „*exponentiellen Populationswachstum*“ von invasiven Pflanzenspezies aus.

Hier ergeben sich auch neue Fragen im Hinblick auf das Ausbreitungspotenzial von gentechnisch veränderten Pflanzen. Unter den Bedingungen des Klimawandels könnten Pflanzen mit gentechnischen Eigenschaften wie Dürretoleranz einen erhöhten Fitnessvorteil erlangen. Auch können sich genetische Instabilitäten im Genom zeigen, die zu einem Fitnessvorteil führen und unter bisherigen Umweltbedingungen nicht zu

² GMLS Konferenz in Bremen, 2012, <http://www.gmls.eu/>

Tage getreten sind.

Auch das Risiko von Auskreuzungen von Gentechnik-Pflanzen in wilde Verwandte kann sich unter diesen Bedingungen erhöhen. So sind bereits Fälle beschrieben, in denen Hybriden von Kultur- und Wildpflanzen unter Stressbedingungen besonders durchsetzungsstark sind (Mercer et al., 2007). Erhöhter Genfluss unter extremen klimatischen Bedingungen wurde in Versuchen mit Raps dokumentiert (Franks & Weis, 2009). In der Studie wurde eine Verschiebung und Angleichung von Blühzeitpunkten festgestellt.

Empfehlungen

In den betroffenen Ländern und Regionen müssen zeitnah wirksame Maßnahmen ergriffen werden, um die weitere Ausbreitung der gentechnisch veränderten Pflanzen so weit als möglich einzudämmen und weitere Quellen für den Eintrag in die Umwelt zu unterbinden.

Mittelfristig sollten ausreichende Regelungen geschaffen werden, um derartigen Problemen effektiv vorzubeugen. International sollten beispielsweise einheitliche Regelungen geschaffen werden, um zu verhindern, dass die Zentren der biologischen Vielfalt, die für den Erhalt und die züchterische Entwicklung unserer Nutzpflanzen entscheidend sind, unkontrolliert mit gentechnisch veränderten Pflanzen kontaminiert werden. Dies liegt nicht nur in der Verantwortung der jeweiligen Länder und Regionen, sondern aller, die die Nutzung entsprechender Technologien betreiben (wollen).

Auf der Grundlage der dokumentierten Fälle und im Hinblick auf die bestehenden Grenzen unseres Wissens über Verbreitung, Wechselwirkungen und langfristiges Verhalten von gentechnisch veränderten Organismen empfehlen wir, Importe, Freisetzungen und Inverkehrbringungen von GVOs zu untersagen, falls:

- sich gentechnisch veränderte Organismen unkontrolliert verbreiten können, so bald sie vorgesehene Sicherheitsbarrieren überwinden
- unklar ist, ob die jeweiligen Organismen sich bei Bedarf tatsächlich innerhalb planbarer Zeiträume wieder aus der Umwelt entfernen lassen,
- bereits bekannt ist, dass die Organismen sich unkontrolliert ausbreiten und persistieren können.

Literatur

- Aono, M., Wakiyama, S., Nagatsu, M., Nakajima, N., Tamaoki, M., Kubo, A., Saji, H. (2006) Detection of feral transgenic oilseed rape with multiple-herbicide resistance in Japan. *Environmental Biosafety Research*, 5: 77-87.
- Aono, M., Wakiyama, S., Nagatsu, M., Kaneko, Y., Nishizawa, T., Nakajima, N., Tamaoki, M., Kubo, A., Saji, H. (2011) Seeds of a possible natural hybrid between herbicide-resistant *Brassica napus* and *Brassica rapa* detected on a riverbank in Japan. *GM Crops*, 2(3): 201-10.
- Arndt, N., & Pohl, M. (2005) Analyse der bei Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen durchgeführten Sicherheitsmaßnahmen: Erhebungszeitraum 1998-2004. Bundesamt für Naturschutz, Skript 147. <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript147.pdf>
- Breckling, B. (2013) Transgenic evolution and ecology are proceeding. In: Breckling, B. & Verhoeven, R. (2013) *GM-Crop Cultivation - Ecological Effects on a Landscape Scale. Theorie in der Ökologie*, 17: 130-135. Frankfurt, Peter Lang. http://www.gmls.eu/beitraege/130_Breckling.pdf
- Claessen, D., Gilligan, C.A., & Van Den Bosch, F. (2005) Which traits promote persistence of feral GM crops? Part 2: implications of metapopulation structure. *Oikos*, 110(1): 30-42.
- Clements, D.R., & Ditommaso, A. (2011) Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted?. *Weed Research*, 51(3): 227-240.
- Conservation Council of Western Australia (CCWA) (2012) A survey of roadside fugitive GM (Roundup Ready) canola plants at Williams, Western Australia. <http://ccwa.org.au/content/fugitive-gm-canola-study>
- Devos, Y., De Schrijver, A., Reheul, D. (2009) Quantifying the introgressive hybridisation propensity between transgenic oilseed rape and its wild/weedy relatives. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149: 303-322.
- D'Hertefeldt, T., Jørgensen, R.B., Pettersson, L.B. (2008) Longterm persistence of GM oilseed rape in the seedbank. *Biology Letters*, 4: 314-317.
- Ellstrand, N. C. (2012) Over a decade of crop transgenes out-of-place. In: *Regulation of Agricultural Biotechnology: The United States and Canada* (pp. 123-135). Edited by Chris A. Wozniak and Alan McHughen. Springer Netherlands.
- FAOSTAT (2013) Statistical Databases. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>
- Franzaring, J., Holz, I., Fangmeier, A., & Zipperle, J. (2008) Monitoring the absence of glyphosate

and glufosinate resistance traits in feral oilseed rape and wild crucifer populations. In: Implications of GM crop cultivation at large spatial scales. *Theorie in der Ökologie*, 14: 90-92. Frankfurt, Peter Lang.

Franks, S.J., & Weis, A.E. (2009) Climate change alters reproductive isolation and potential gene flow in an annual plant. *Evolutionary Applications*, 2(4): 481-488.

Friesen, L.F., Nelson, A.G., Van Acker, R.C. (2003) Evidence of contamination of IR (*Brassica napus*) seedlots in western Canada with genetically engineered herbicide resistance traits. *Agronomy Journal*, 95: 1342-1347.

Gilbert, N. (2010) GM crops escape into the American wild, Transgenic canola found growing freely in North Dakota. *Nature News*, 6 August 2010.

Hecht, M., Oehen, B., Schulze, J., Brodmann, P., & Bagutti, C. (2013) Detection of feral GT73 transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) along railway lines on entry routes to oilseed factories in Switzerland. *Environmental Science and Pollution Research*: 1-11.

Hofmann, N., Neuber, G. (2007) Untersuchungen zur Verbreitung und Anreicherung von Transgensequenzen in der Umwelt über Auskreuzung und Bodeneintrag am Beispiel von HR-Raps, Bundesamt für Naturschutz, Skript 188.

International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) (2013) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2012. Brief 44-2012.

Kawata, M., Murakami, K., Ishikawa, T. (2009) Dispersal and persistence of genetically modified oilseed rape around Japanese harbors. *Environmental Science and Pollution Research*, 16: 120-126.

Knispel, A.L., McLachlan, S.M., Van Acker, R.C., Friesen, L.F. (2008) Gene flow and multiple herbicide resistance in escaped canola populations. *Weed Science*, 56: 72-80.

Knispel, A.L., & McLachlan, S.M. (2010) Landscape-scale distribution and persistence of genetically modified oilseed rape (*Brassica napus*) in Manitoba, Canada. *Environmental Science and Pollution Research*, 17(1): 13-25.

Letourneau, D. K., & Hagen, J. A. (2012) Plant Fitness Assessment for Wild Relatives of Insect Resistant Bt-Crops. *Journal of Botany*: 1-12.

Lutman, P.J.W., Freeman, S.E., Pekrun, C. (2003) The long-term persistence of seeds of oilseed rape (*Brassica napus*) in arable fields. *The Journal of Agricultural Science*, 141: 231-240.

Mason, P., Braun, L., Warwick, S.I., Zhu, B., Stewart, C.N. Jr (2003) Transgenic Bt-producing *Brassica napus*: *Plutella xylostella* selection pressure and fitness of weedy relatives. *Environmental Biosafety Research*, 2: 263-276.

McCauley, R., Davies, M., & Wytjje, A. (2012). The Step-wise Approach to Adoption of Genetically Modified (GM) Canola in Western Australia. *AgBioForum*, 15(1): 61-69.

Meier, M.S., Trtikova, M., Suter, M., Edwards, P.J., & Hilbeck, A. (2013) Simulating evolutionary responses of an introgressed insect resistance trait for ecological effect assessment of transgene flow: a model for supporting informed decision-making in environmental risk assessment. *Ecology and Evolution*, 3(2): 416-423.

Mercer, K.L., Andow, D.A., Wyse, D.L., Shaw, R.G. (2007) Stress and domestication traits increase the relative fitness of crop-wild hybrids in sunflower. *Ecology Letters*, 10(5): 383-393.

Mizuguti, A., Yoshimura, Y., Shibaike, H., Matsuo, K. (2011) Persistence of feral populations of *Brassica napus* originated from spilled seeds around the Kashima seaport in Japan. *Japanese Agricultural Research Quarterly*, 45: 181-5.

Munier, D.J., Brittan, K.L., Lanini, W.T. (2012) Seed bank persistence of genetically modified canola in California. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6): 2281-2284.

NASS (2012) Acreage Report. National Agricultural Statistics Service, Agricultural Statistics Board, United States Department of Agriculture (USDA), released June 29, 2012. <http://www.usda.gov/nass/PUBS/TODAYRPT/acrg0612.pdf>

Nishizawa, T., Nakajima, N., Aono, M., Tamaoki, M., Kubo, A., Saji, H. (2009) Monitoring the occurrence of genetically modified oilseed rape growing along a Japanese roadside: 3- year observations. *Environmental Biosafety Research*, 8: 33-44.

OECD (2012) Consensus Document on the Biology of *Brassica* crops (*Brassica spp.*). <http://search.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono%282012%2941&doclanguage=en>

Pivard, S., Adamczyk, K., Lecomte, J., Lavigne, C., Bouvier, A., Deville, A., Huet, S. (2007) Where do the feral oilseed rape populations come from? A large-scale study of their possible origin in a farmland area. *Journal of Applied Ecology*, 45(2): 476-485.

Ramsay, G., Thompson, C., Squire, G. (2003) Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216: An experimental and mathematical study of the local and regional scale movement of an oilseed rape transgene.

- Rose, C., Millwood, R., Moon, H., Rao, M., Halfhill, M., Raymer, P., Stewart, C.N. (2009) Genetic load and transgenic mitigating genes in transgenic *Brassica rapa* (field mustard) × *Brassica napus* (oilseed rape) hybrid populations. *BMC biotechnology*, 9(1): 93.
- Saji, H., Nakajima, N., Aono, M., Tamaoki, M., Kubo, A., Wakiyama, S., Hatase, Y., Nagatsu, M., (2005) Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides. *Environmental Biosafety Research*, 4: 217-222.
- Schafer, M.G., Ross, A.A., Londo, J.P., Burdick, C.A., Lee, E.H., Travers, S.E., Van de Water, P.K., Sagers, C.L. (2011) The Establishment of Genetically Engineered Canola Populations in the U.S.. *PLoS ONE* 6(10): e25736.
- Schoenenberger, N., & D'Andrea, L. (2012) Surveying the occurrence of subsynchronous glyphosate-tolerant genetically engineered *Brassica napus* L.(Brassicaceae) along Swiss railways. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 1-8.
- Simard, M.J., Légère, A., Séguin-Swartz, G., Nair, H., Warwick, S.I. (2005) Fitness of double vs. single herbicide-resistant canola. *WeedScience*, 53: 489-498.
- Simard, M.J., Légère, A., Warwick, S.I. (2006) Transgenic *Brassica napus* fields and *Brassica rapa* weeds in Québec: sympatry and weedcrop in situ hybridization. *Canadian Journal of Botany*, 84: 1842-1851.
- Warwick, S.I., Simard, M.J., A. Légère, Beckie, H.J., Braun, L., Zhu, B., Mason, P., Séguin-Swartz, G., Stewart, C.N. (2003) Hybridisation between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapsis arvensis* L., and *Erucastrum gallicum* (Willd.) O.E. Schulz. *Theoretical and Applied Genetics*, 107: 528-539.
- Warwick, S.I., Legere, A., Simard, M.J., James, T. (2008) Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistance transgene in a weedy *Brassica rapa* population. *Molecular Ecology*, 17(5): 1387-1395.
- Yoshimura, Y., Beckie, H.J., Matsuo, K. (2006) Transgenic oilseed rape along transportation routes and port of Vancouver in western Canada. *Environmental Biosafety Research*, 5: 67-75.