

Nach langen Auseinandersetzungen hat die Europäische Union den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) zugelassen. Dennoch bestehen weiterhin Bedenken, sie könnten Landwirtschaft, Naturschutz und Verbrauchergesundheit beeinträchtigen. Um mögliche Schäden fernzuhalten, hat der deutsche Gesetzgeber das Gentechnik-Gesetz geschaffen. Ein Kernpunkt dieser Regelung ist die Haftung bei Verunreinigungen gentechnikfreier Ernten. Wie wahrscheinlich solche Verunreinigungen über die Jahre sind, hat der Forschungsverbund GenEERA jetzt mit einem Computermodell simuliert.

## Die schleichende Ausbreitung von transgenem Raps

■ Richard Verhoeven, Broder Breckling und Michael Glemnitz



Genetically modified crops pose the potential risk of unintended environmental effects. The project GenEERA developed the first simulation approach to predict the spread of transgenes in larger areas. The results indicate that a commercial introduction of transgenic, herbicide resistant oilseed rape would persist outside cultivation longer time spans (decades) and is likely to cause the concern of crop purity issues through cross-pollination and volunteer growth in the conventional production.

Raps liefert runde, schwarze Samen von etwa einem Millimeter Größe. Ihr hoher Öl- und Eiweißgehalt findet in der Nahrungsmittelproduktion, in der Industrie und als Futtermittel Verwendung. Seine Blüten färben die fröhlichsommerliche Agrarlandschaft gelb und verbreiten einen süßen

Duft, der nach den Gülleattacken im Frühjahr die intensivste Landerfahrung für Städternasen ist. In Mitteleuropa und im Norden Amerikas zählt der Raps zu den Hauptkulturarten. Viele Landwirte außerhalb der Europäischen Union setzen auf Rapsorten, die durch eine Veränderung ihrer genetischen Eigenschaften unemp-

findlich gegen bestimmte Pflanzenschutzmittel, so genannte Total-Herbizide, sind. Nun kann der Bauer aufkommendes Unkraut auf dem Acker effektiver vernichten, während der Raps unbeeindruckt weiter sprießt.

Für den herkömmlich wirtschaftenden Bauern ist diese Errungenschaft jedoch zweifelhaft. Zur Blütezeit verbreiten Wind, Bienen und viele andere Blütenbesucher den Pollen über weite Strecken von bis zu mehreren Kilometern. Auf diese Weise überträgt sich die neue Erbinformation leicht auf Rapsfelder in der Umgebung. Nur 0,9 Prozent der konventionellen Ernte, so will es das Gesetz, darf das neue Gen enthalten. Andernfalls muss die Ölsaatz als gentechnisch verändert ausgewiesen werden und ist für die gentechnikfreie Lebensmittelproduktion tabu. Diese Formulierung im Gentechnik-Gesetz hat es in sich: Kann ein Bauer seinen konventionellen Raps nicht mehr als gentechnikfrei verkaufen, haftet der Nachbar mit dem GVP-Anbau für den Schaden.

Was in Europa bislang noch ein Gedankenspiel ist, zeichnet sich in Nordamerika immer deutlicher ab. Die Vermischung von konventionellem Rapsanbau mit den Sorten aus dem Genlabor führte in Kanada und den USA bereits zu gerichtlichen Streitigkeiten mit Schadensersatz-Forderungen von beiden Seiten. In Mitteleuropa ist die Lage jedoch weitaus prekärer. Der aus Südeuropa stammende Raps hat sich hier längst als Wildpflanze etabliert und wuchert an Straßenrändern, auf Bahnanlagen und hinter fast jedem Schuppen im Industriegebiet. Mit vielen Verwandten unter den Wildkräutern kann er Nachkommen bilden, die das neue Gen in ihr eigenes Repertoire aufnehmen



Wild wachsender Raps an einer Straßenkreuzung

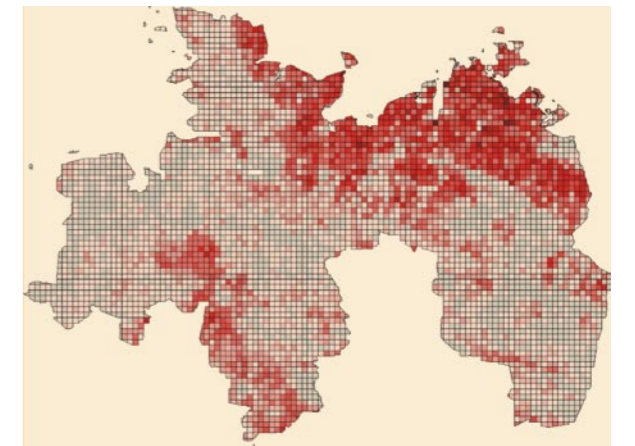
Aussaatz trägt die Eigenschaft der genetischen Veränderung und ist fortan für bestimmte Pflanzenschutzmittel unempfindlich. Für das Modell wird die Landschaft zunächst einmal in ein Raster von 10 x 10 Metern zerlegt. Jede dieser

Zellen hat Eigenschaften, die der realen Landschaft entsprechen. Straßen und Wegränder werden dabei ebenso berücksichtigt wie Siedlungen und offene Böden. Befinden sich in einer Zelle keimfähige Samen von Raps oder seinen verwandten Arten, prüft das Modell, ob Boden und Wetter eine Keimung zulassen. Die Ansprüche der verschiedenen Pflanzenarten werden dabei berücksichtigt.

### Eine Landschaft im Modell

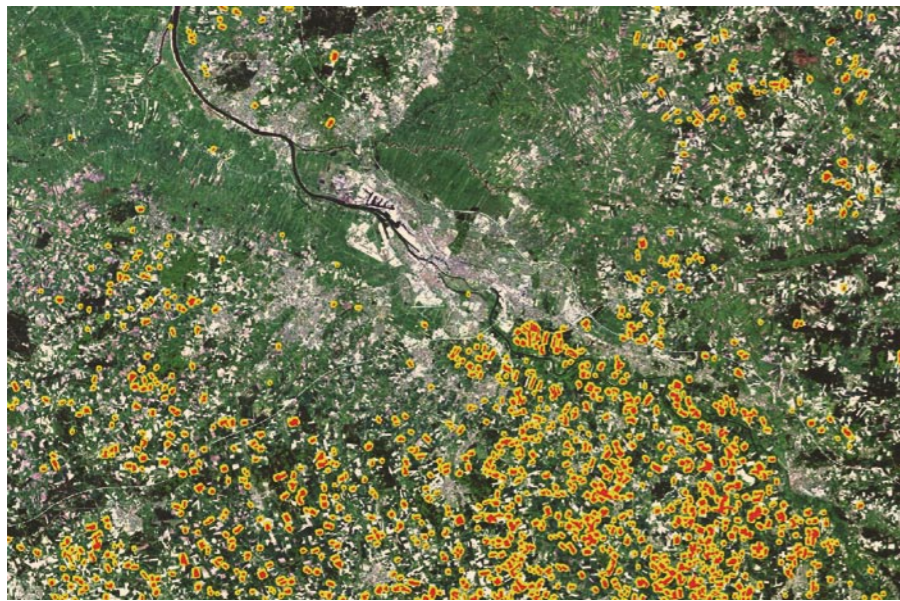
Um die mögliche Ausbreitung neuer Gene im norddeutschen Rapsanbau abzuschätzen, hat der Forschungsverbund GenEERA (Generische Erfassung und Extrapolation der Rapsausbreitung) relevante Daten gesammelt und ein Computer-Modell zur Simulation der Rapsausbreitung in Norddeutschland entwickelt. Damit ist das Projekt das einzige Vorhaben der biologischen Sicherheitsforschung, das die mögliche Wirkung gentechnisch veränderter Pflanzen im regionalen Maßstab – über die Versuchsfelder hinaus – betrachtet. Im Modell kann das Schicksal jeder einzelnen Pflanze von der Keimung über die Blüte bis zum Absterben verfolgt werden. Die Ergebnisse aus typischen Modellparzellen von einem Quadratkilometer können auf ähnliche Flächen der Region hochgerechnet werden.

Boden, Klima, ackerbauliche Maßnahmen und Pollenflug sind die wesentlichen Einflüsse, die das Leben der Pflanze im Modell bestimmen. Ein Teil der virtuellen



Bis zur Fruchtreife muss sich die Pflanze im Lauf ihres virtuellen Lebens immer wieder Prüfungen unterziehen, die ihr weiteres Schicksal bestimmen. Wenn zu viele Pflanzen an einem Standort gekeimt haben, sterben die überzähligen ab. Wildwachsende Pflanzen können zum Beispiel beim Mähen von Ackerrandstreifen zerstört werden. Schon bei der Ernte wird vom Modell festgelegt, mir welcher Folgefrucht

Samenvorrat von GV-Raps im Boden nach 10 Jahren Anbau gentechnisch veränderter Saat. Das Modell errechnet für das Untersuchungsgebiet von 0 (hellgrau) bis über 10 Millionen Samen (dunkelrot) pro Hektar. (Lücken in der Karte im Norden und Osten ergeben sich aus fehlenden Ausgangsdaten)



Sattelitenaufnahme von Bremen und Umzu. Rot eingefärbte Flächen zeigen Rapsfelder. Der gelbe Rand ist die 200-Meter-Zone, in der intensiver Pollentransport zu erwarten ist. Die Flächen liegen teilweise so eng, dass ein genetischer Austausch wahrscheinlich ist.

der Bauer seinen Acker bestellt oder ob eine Brache folgt. Verluste von Rapsamen beim Einholen der Ernte, immerhin etwa ein Zehntel des Ertrags, bleiben auf dem Acker und können beispielsweise im anschließenden Weizenanbau durchwachsen. Das Modell weiß zu jedem Zeitpunkt, wie viele Blüten zur Befruchtung bereit sind und welche Blüten Pollen spenden. Wesentlichen Einfluss auf die Pollenverbreitung haben die Windverhältnisse. Hecken und Wälder behindern den Transport von Pollen in weit entfernt gelegene Flächen. Auch die Bestäubung durch Insekten geht in das Modell ein. Nach einem Modelllauf von

zehn Jahren wächst vereinzelt GV-Raps an Ackerrändern oder auf Brachen. Deutlicher wird die ungewollte Verbreitung der Pflanzen auf den Feldern, auf denen bereits einmal GV-Raps angebaut wurde. Zahlreiche GV-Pflanzen konnten in der Folgefrucht auf einem Acker gefunden werden. Eine Gefahr stellen diese Pflanzen für den herkömmlichen Rapsanbau dar. Nur noch ein Drittel der konventionellen Rapsäcker, so berechnet das Modell, ist in Regionen mit weit verbreitetem Anbau von GV-Raps auch nach zehn Jahren noch frei von Gentechnik-Raps.

### Aktionen virtueller Pflanzen und Tiere

Solche Modelle sind immer nur so gut, wie die Datenbasis, mit der sie gespeist werden. Für viele Messgrößen bestehen langjährige Erhebungen, deren Werte in die Berechnungen eingehen. Das Modell entscheidet an vielen Stationen über die weiteren Abläufe nach der Wahrscheinlichkeit, die es aus den Eingangsgrößen berechnet. Es kombiniert dabei typische Klimavariationen, Fruchtfolgen und das Anbau-Management. Damit dieser Blick in die Glaskugel nicht zu sehr von einer zufälligen Entscheidung des Modells abhängt,

lässt man die Simulation der Zukunft viele Male ablaufen.

Mit der Modellierung von komplexen ökologischen Zusammenhängen hat die Abteilung Allgemeine und Theoretische Ökologie am UFT in den letzten Jahren einige Erfahrung gesammelt. Die größte Flexibilität bieten dabei die so genannten individuenbasierten Modelle, die die heterogene Wirklichkeit am weitesten berücksichtigen können. Wie beim Rapsmodell unterliegen alle Individuen festgelegten Eigenschaften und reagieren nach ihren Möglichkeiten „aus freien Stücken“ auf die sich ändernde Umwelt. In den 1990er Jahren setzte sich unter den Ökologen immer mehr die Erkenntnis durch, dass lokale Unterschiede und individuelle Entscheidungen einen viel größeren Einfluss auf das ökologische System haben, als die bis dahin gängigen Modelle abbilden konnten. Die Entwicklung in einem Ökosystem ist nicht das Ergebnis von Mittelwerten sondern ein selbstorganisierter Prozess aus den Aktionen einzelner Pflanzen oder Tiere.

Gerade die Populationsökologie profitiert von diesen Ansätzen. So konnten die Ursachen für die Dynamik von Mauspopulationen in Nordeuropa, über die Wissenschaftler seit Jahrzehnten streiten, im Modell ermittelt werden. Die Kleinsäuger vermehren sich in machen Jahren zu Massenpopulationen, während im Jahr darauf die Art so gut wie ausgestorben scheint. Die Entwicklung realistischer Modelle konnte die gängige These von einer Überalterung und internen Regulierung der Population als Ursache widerlegen. Statt dessen waren Hunger und jagende Tiere für 90 Prozent der Todesfälle verantwortlich.

### Vom Modell in die Landschaft

Für die Prognose der Ausbreitung von GV-Raps auf Landschaftsebene müssen die Modellergebnisse auf das 120.000 Quadratkilometer große Untersuchungsgebiet Norddeutschland hochgerechnet werden. Der Schwerpunkt des Rapsanbaus liegt aufgrund der günstigen Bodenverhältnisse entlang der Ostseeküste Schleswig Holsteins und in Mecklenburg-Vorpommern. Etwa ein Drittel der landwirtschaftlichen Flächen wird hier mit Raps bebaut. Dabei sind die Schläge im Osten mit teilweise über 100 Hektar weitaus größer, als die Felder der westdeutschen Bauern. In Schleswig Holstein wird ein Drittel des Saatguts in Deutschland hergestellt. Gerade die Saatgutvermehrung ist auf eine besonders reine Sortenauswahl angewiesen.

Die Simulation im Modell belegt die hohe Wahrscheinlichkeit einer schleichenden Ausbreitung von gentechnisch verändertem Raps im norddeutschen Raum über die Gentechnik-Anbauflächen hinaus. In Anlehnung an französische Studien wird in den ersten fünf Jahren ein Zehntel der Aussaat als GV-Raps für das Modell angenommen. Für weitere fünf Jahre wird mit einer Steigerung auf 50 Prozent gerechnet. Nach zehn Jahren Anbau von GV-Raps berechnet das Modell aufgrund von Ernteverlusten bis zu 13 Millionen GV-Samen pro Hektar, die das Gen zur Herbizidresistenz tragen. Bis zu zehn Jahren können Raps-Samen im Boden überleben.



Wild wachsender Raps im Bremer Stadtgebiet

weitere Informationen:  
[www.uft.uni-bremen.de/oekologie](http://www.uft.uni-bremen.de/oekologie)



#### Richard Verhoeven

ist Biologe und Wissenschaftsjournalist. Für das Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie (UFT) an der Universität Bremen arbeitet er in mehreren Projekten über gentechnisch veränderte Pflanzen. Nach dem Biologiestudium hat er 2001 in Bremen im Bereich Ökologie promoviert und anschließend in Hamburg eine journalistische Ausbildung absolviert.



#### Broder Breckling

arbeitet am UFT in Bremen, wo er 2000 habilitierte. Nach der Promotion 1990 in Bremen über Analyse und Simulation ökologischer Prozesse, wechselte er zunächst nach Laxenburg bei Wien und nach Kiel. Kern seiner Arbeit sind ökologische Simulationsmodelle, ökologische Theorie sowie die biologische Sicherheitsforschung bei gentechnisch veränderten Organismen. Breckling leitet den Arbeitskreis Gentechnik und Ökologie in der Gesellschaft für Ökologie.



#### Michael Glemnitz

studierte Agronomie in Gödöllő, Ungarn. Seit 1986 arbeitet er am heutigen Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) in Müncheberg. 1992 Promotion an der Humboldt-Universität Berlin über Bodenbearbeitung und Ackerunkräuter. Weitere Schwerpunkte seiner Arbeit sind Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie.

