

Gentechnik Nachrichten Spezial 9/10

Oktober 2002

unterstützt durch die **Stiftung Zukunftserbe, Zukunftsstiftung Landwirtschaft, Mahle-Stiftung, Triodos-Stichting & Hatzfeldt Stiftung**

Transgene Pflanzen im Obst- und Weinbau

INHALT

Vorwort	2
Gentechnische Methoden.....	2
Ziele im Obst- und Weinbau.....	2
Obstbau	3
Virusresistenz	3
Bakterienresistenz	4
Wurzelbildung	4
Fruchteigenschaften	4
Verkürzung der juvenilen Phase	5
Pollensterilität und Parthenokarpie	5
Differentielle Expression von Transgenen	5
Weinbau.....	6
Bakterienresistenz	6
Pilzresistenz	6
Transgene Hefen in der Weinbereitung.....	7
Risiken.....	7
Heterologe Enkapsidierung.....	8
Resistenzdurchbrechung	8
Vertikaler Gentransfer.....	8
Auswirkung auf Nicht-Zielorganismen.....	9
Weinhefen.....	9
Akzeptanz und Alternativen.....	9
Alternativen im Obst- und Weinbau.....	10
Habitatmanagement.....	10
Antagonisten.....	11
Biologische Fungizide.....	11
Induzierte Resistenz.....	11
Züchtung	12
Frühwarnsysteme	12
Literatur	12

VORWORT

In der traditionellen Pflanzenzüchtung werden durch Kreuzung und Rückkreuzung verschiedene Merkmale, z.B. guter Ertrag und Krankheitsresistenz, miteinander kombiniert. Dieses Verfahren ist zeit- und kostenaufwändig. Die entstandenen Hybridpflanzen müssen sorgfältig geprüft und selektioniert werden, da oftmals unerwünschte Eigenschaften mit eingekreuzt werden. Bei einjährigen Kulturpflanzen vergehen in der Regel 10-15 Jahre vom ersten Kreuzungsversuch bis zur Sortenzulassung. Bei den Kulturpflanzen, die im Obst- und Weinbau eine Rolle spielen, handelt es sich fast ausschließlich um mehrjährige Pflanzen. Diese besitzen eine relativ lange juvenile Phase. Bis zum ersten Ertrag und somit bis zum ersten sichtbaren Ergebnis der Kreuzung vergehen Jahre, wodurch sich das züchterische Verfahren nochmals verlängert.

In den letzten drei Jahrzehnten wurden eine Reihe von biotechnologischen Verfahren entwickelt, mit denen versucht wird, das herkömmliche Züchtungsverfahren abzukürzen. Unter anderem wird verstärkt mit Hilfe gentechnischer Verfahren versucht, einzelne Gene für erwünschte Eigenschaften direkt in das Erbgut der betreffenden Sorte zu übertragen.

Dieses Gentechnik-Nachrichten Spezial informiert über den derzeitigen Stand der Gentechnik im Obst- und Weinbau und deren Anwendungsmöglichkeiten bei der Weinherstellung, zeigt Risiken auf und betrachtet mögliche Alternativen.

GENTECHNISCHE METHODEN

Bei der gentechnischen Veränderung von zweikeimblättrigen¹ Pflanzen, wie sie im Obst- und Weinbau eine Rolle spielen, werden hauptsächlich zwei Methoden angewandt: die Agrobakterium-vermittelte und die biolistische Transformation (Perl et al., 1998; Vivier et al., 2000).

Das im Boden vorkommende Bakterium *Agrobacterium tumefaciens* ist in der Lage, einen Teil seiner DNA in Pflanzenzellen einzuschleusen und dort in das Erbgut der Pflanze einzubauen. Die übertragenen Gene werden von der Pflanze abgelesen. Die so entstandenen Proteine steuern den Pflanzenstoffwechsel zum Vorteil des Bakteriums um und führen unter anderem zur Bildung von Tumorgewebe, in dem das Bakterium leben kann. Die Gentechnik macht sich die Fähigkeit des Bakteriums zunutze, um Fremdgene in Pflanzenzellen einzuschleusen. Dazu benutzt man Bakterienstämme, die so verändert wurden, dass sie keine Krankheitssymptome mehr verursachen können. Das gewünschte Gen wird in die DNA des Bakteriums eingebaut, welches sie in die Zelle überträgt. Dort kann eine Integration in das pflanzliche Erbgut erfolgen.

Bei der biolistischen Methode werden feinste Wolfram- oder Goldpartikel mit der zu übertragenden DNA beschichtet. Zellgewebekulturen der zu verändernden Sorte werden mit diesen DNA-Partikeln "beschossen", wobei die DNA in die Pflanzenzelle eindringt. Aus dem veränderten Gewebe können vollständige Pflanzen regeneriert werden.

Die mit diesen Methoden übertragenen Gene wurden aus verschiedenen Organismengruppen isoliert, z.B. aus Pflanzen (z.B. Gene zur Pathogenabwehr aus der Gerste), Viren (Hüllproteine oder Movement-Proteine) oder Pilzen (z.B. zellwandabbauende Enzyme).

ZIELE IM OBST- UND WEINBAU

Wie im traditionellen Obst- und Weinbau konzentrieren sich die aktuellen gentechnischen Entwicklungen auf die Erzeugung von Krankheits- und Schädlings-resistenten Sorten. Viele der heute angebauten Sorten sind nur auf hohe Erträge gezüchtet. Ihre starke Krankheitsanfälligkeit führt häufig zu hohen Ertragsausfällen bzw. erfordert einen massiven Einsatz von Pestiziden.

Darüber hinaus wird daran gearbeitet, Fruchteigenschaften wie Farbe, Geschmack und Haltbarkeit zu verändern, den Blühzeitpunkt zu beeinflussen oder die Reifung zu beschleunigen. In vielen Fällen ist

¹ In der botanischen Systematik wird eine Einteilung der Pflanzen anhand der Zahl ihrer Keimblätter vorgenommen (es gibt Ein- und Zweikeimblättrige).

man vorerst dabei, die zugrunde liegenden Gene zu identifizieren.

Des Weiteren wird versucht, sterile Pflanzen zu entwickeln, da die unkontrollierte Auskreuzung von Transgenen ein intensiv diskutiertes Problem darstellt.

Obstbau

Weltweit wurden gentechnische Versuche schon mit Steinobst, Kernobst, Strauch- und Erdbeeren sowie mit Walnüssen durchgeführt. Transgene Papayas, Pflaumen, Erdbeeren und Himbeeren wurden bereits unter Freilandbedingungen getestet. In den USA werden seit einiger Zeit transgene Papayas angebaut und vermarktet.

Im Obstbau konzentriert sich die gentechnische Forschung vor allem auf die Erzeugung von Resistenzen gegenüber viralen und bakteriellen Krankheitserregern. Im Bereich Herbizidresistenz wird an Glyphosat-resistenten Erdbeeren gearbeitet (Gianessi et al., 2002).

Virusresistenz

Die Erzeugung von Virusresistenz mittels gentechnischer Methoden ist recht weit fortgeschritten. Viren stellen vor allem beim Anbau von Steinobst ein großes Problem. In Europa und Amerika ist das "Plum Pox" Virus (PPV) weit verbreitet. Als der Verursacher der sogenannten Sharka-Krankheit hat es große Einbußen beim Anbau von Steinobst zu verantworten. Symptome der Sharka-Krankheit sind ringförmige Flecken auf den Blättern und Deformationen der Früchte. Am ARS (Agricultural Research Service) des US-Amerikanischen Landwirtschaftsministeriums wurden **Pflaumenbäume** (*Prunus domestica*) mit einem Resistenzgen gegen das "Plum Pox" Virus (PPV) versehen. Scorza et al. (1994) schleusten mit Hilfe der Agrobakterium-Methode ein Hüllprotein (coat protein, CP) des Virus in die Zellen ein. Die in der Pflanze exprimierten Hüllproteine können die Pflanze vor einer Infektion durch das vollständige Virus schützen². Mit den derart veränderten Pflaumenbäumen gab es Freisetzungsversuche in den USA, Spanien, Rumänien und Polen.

Die gentechnisch erzielte Resistenz wurde bereits innerhalb weniger Jahre wieder gebrochen. In einem Experiment, bei dem die transgenen Bäume gezielt mit einem bestimmten Isolat des Virus infiziert worden waren, wiesen zuvor resistente Bäume wieder Symptome der Krankheit auf (Malinowski et al., 1998).

Auch virusresistente Beeren wurden schon mittels Gentechnik zu erzeugen. Laborversuche wurden mit der **Moosbeere** ("Cranberry", *Vaccinium oxycoccus*), der **Ackerbeere**³ (*Rubus arcticus* L.) und der **Himbeere** (*Rubus idaeus*) durchgeführt. Transformierte Himbeeren, die gegen das "Raspberry Bushy Dwarf Virus" (RBDV) resistent sein sollen, werden zur Zeit in den USA im Freiland getestet (AGNET Meldung 18.04.2001). Die Ergebnisse könnten auch zur Erzeugung virusresistenter Brombeeren (*Rubus fruticosus*) verwendet werden.

Papayas (*Carica papaya*) sind mehrjährige, bis zu 6 m hohe Stauden, die in tropischen Ländern angebaut werden. Der Anbau der USA findet hauptsächlich auf Hawaii statt. Da ein Teil der dortigen Papaya-Anlagen stark durch das "Papaya Ringspot Virus" (PRSV) bedroht war und keine natürlichen virusresistenten Sorten bekannt waren, arbeiteten Forscher der Universität von Hawaii und der Cornell Universität seit 1987 an deren gentechnischer Erzeugung. Mit Hilfe der biolistischen Methode wurde ein Konstrukt mit einem veränderten Hüllprotein des Virus in Papayazellen übertragen (Gonsalves et al., 1998). 1992 fanden die ersten Feldversuche statt. Die transgenen Papayas zeigten zu nahe 100% eine Resistenz gegen das Virus. Etwa zur gleichen Zeit trat das Virus in den bisher befallsfreien Anbaugebieten Hawaiis auf. Das Verfahren zu einer Marktzulassung der transgenen Papayas wurde

² Der Schutz beruht vermutlich auf Co-Suppression (Kempken & Kempken, 2000). Bei diesem Mechanismus kommt es zu einer starken Abnahme der vom Transgen abgeschriebenen RNA, so dass kein Protein gebildet werden kann. Die Produktion von Hüllproteinen eindringender Viren wird in der transgenen Pflanze ebenfalls unterdrückt.

³ Eine mit der Himbeere verwandte, in Skandinavien vorkommende Beerenart.

daraufhin vorangetrieben und 1997 genehmigt (Pane, 1996). Ab 1998 wurden die transgenen Papayapflanzen der Sorten "SunUp" und "Rainbow" angebaut, im Jahr 2000 beliefen sich die Bestände schon auf ca. 50% der Gesamtanbaufläche Hawaiis (Gianessi et al., 2002). Die Vermarktung ist auf die USA beschränkt. Das Hauptexportland Japan hat noch keine Zulassung für den Verkauf der transgenen Früchte ausgesprochen.

Momentan werden Papayasorten für Jamaika entwickelt, die gegen die dort vorkommenden Virusstämme resistent sein sollen. Bereits jetzt fürchten jamaikanische Hersteller, aufgrund einer Ablehnung seitens der Verbraucher Absatzmärkte in Europa zu verlieren, wenn wie geplant ab 2003 genmanipulierte Papayas zum Anbau bereit stehen sollten (Plant Breeding News – Edition 129, September 30, 2001).

Bakterienresistenz

Verschiedene Arbeitsgruppen in Großbritannien, Schweden, den Niederlanden, Deutschland und den USA arbeiten an einer gentechnisch vermittelten Resistenz von Apfelbäumen gegen bakterielle Erreger. Dabei steht die Resistenz gegen das Bakterium *Erwinia amylovora* im Vordergrund, dem Erreger des Feuerbrands. Bei dieser Krankheit sterben die grünen Teile von infizierten Bäumen ab und sehen wie verbrannt aus. Im Rahmen verschiedener gentechnischer Ansätze zur Entwicklung von Feuerbrand-resistenten Sorten werden Gene für lytische (=zellwandauflösende) Proteine übertragen, von denen bereits bekannt ist, dass sie gegen das Bakterium wirksam sind. Dazu zählen z.B. Lysozym aus Hühnereiweiß und Cecropin, ein Protein, das ursprünglich aus der Seidenraupe stammt (Liu et al., 2001). Das gemeinsame Wirkungsprinzip dieser Proteine ist die Durchlöcherung der Bakterienwand, wodurch das Bakterium abgetötet wird. Cecropin kann in geringerem Ausmaß auch Pflanzen- oder tierische Zellen angreifen und weist Ähnlichkeit zu dem im Bienengift enthaltenen Stoff Melittin auf. Melittin kann bei Allergikern schwere Schockreaktionen auslösen. Daher stellt die Expression von Cecropin in Früchten ein potentiell Gesundheitsrisiko dar, z.B. für Personen mit einer Melittin-Allergie. Auch Rebpflanzen wurden bereits mit dem Cecropin-Gen transformiert (mehr dazu im Abschnitt Wein).

Bei den in Deutschland laufenden Versuchen der Bundesanstalt für Züchtungsforschung wurde ein Gen aus einem Bakteriophagen (ein Bakterien befallendes Virus) in Apfelpflanzen übertragen. Das Gen kodiert für eine Depolymerase, ein Enzym, das die Bestandteile der Bakterienhülle abbauen kann (Hanke, 2000). Dadurch soll das Bakterium nicht mehr in der Lage sein, die Pflanze zu besiedeln.

Wurzelbildung

Obstbäume werden hauptsächlich vegetativ, also über Ableger vermehrt. Dabei stellt sich häufig das Problem, dass die Stecklinge schlecht Wurzeln schlagen. Mit dem Ziel, die Wurzelfähigkeit zu verbessern, transformierten Welander et al. (1998) die Apfelunterlage M26 mit einem Gen aus dem pflanzenpathogenen Bakterium *Agrobacterium rhizogenes*. Charakteristisch für die von diesem Bakterium verursachte Krankheit ist, dass befallene Pflanzen übermäßig viele, feine Wurzeln bilden. Bei der Übertragung des verantwortlichen *rolB* Gens ist dieser Effekt erwünscht. Im Versuch konnte eine bessere Wurzelbildung der von transformierten Pflanzen gewonnenen Stecklinge erzielt werden. Bei ähnlichen Versuchen von italienischen und amerikanischen Forschern wurde eine verbesserte Wurzelbildung bei Kirschbäumen erreicht (Gutierrez-Pesce et al., 1998).

Fruchteigenschaften

An einer Veränderung von Fruchteigenschaften wird besonders bei Beeren gearbeitet, da sie nach der Ernte nur noch eine kurze Lagerungsphase überstehen und schnell matschig werden. Jiménez-Bermúdez et al. (2002) stellten transgene Erdbeeren her, bei denen die Aktivität des Pektin-Lyase Gens durch Antisense-Technik herunterreguliert wurde, welches besonders in reifen Erdbeeren exprimiert wird. Die Pektin-Lyase ist ein Enzym, das vermutlich für das Matschigwerden mitverantwortlich ist. Während der Reifung produzierten die transgenen Erdbeerlinien festere Früchte

Wenn Sie die Gentechnik-Nachrichten unterstützen möchten, freuen wir uns über steuerabzugsfähige Spenden an das Öko-Institut bei der Sparkasse Freiburg, Konto 2063447, BLZ 680 501 01, Stichwort „Gentechnik-Nachrichten“

als die unveränderten Erdbeeren. Nach viertägiger Lagerung der geernteten Früchte war der Unterschied zwischen beiden Linien nicht mehr so deutlich, obwohl ein geringerer Anteil der transgenen Beeren matschig wurde. Die transgene Veränderung ging jedoch bei den meisten Linien mit einer unerwünschten Ertragsminderung einher.

Auch gentechnisch erzeugte Anti-Matsch-Himbeeren wurden bereits auf ihre Haltbarkeit beim Transport getestet (GENET News 28.02.2000). Dabei sollen sie besser abgeschnitten haben als unveränderte Himbeeren. Die Firma Agritope strebte bereits nach einer weiteren, für 2000 geplanten Testrunde eine Zulassung zur Vermarktung an. Bis heute sind jedoch keine transgenen Himbeeren auf dem Markt erhältlich.

Verkürzung der juvenilen Phase

Gerade bei Obstgehölzen ist ein Verkürzung der Wartezeit auf die ersten Erträge ein wichtiges wirtschaftliches Ziel. Bisher gelang es beim Zitrusbaum, durch die Expression eines Ackerschmalwand-Gens, das den Blühzeitpunkt kontrolliert, die Bäume bereits im ersten Jahr nach der Keimung zum Blühen zu bringen (Pena et al., 2001). Hierüber wurde schon ausführlich im Gentechnik-Nachrichten Spezial Nr.7 berichtet.

Pollensterilität und Parthenokarpie

Um dem Problem der Auskreuzung von Transgenen zu begegnen, versucht man häufig, die Entwicklung von Pollen zu verhindern (Pollensterilität). Außerdem gibt es Ansätze, die Entwicklung von Früchten zu erreichen, ohne dass eine vorangegangene Befruchtung nötig ist. Dieses Phänomen wird in der Biologie als Parthenokarpie bezeichnet. Die Früchte enthalten keine Samen, weshalb aus herabgefallenen oder von Tieren verbreiteten Früchten keine neuen Keimlinge entstehen können. Beide Ansätze werden zur Zeit am Institut für Obstzüchtung der Bundesanstalt für Züchtungsforschung mit Apfelbäumen verfolgt (<http://www.biosicherheit.de/projekte/26.proj.html>). Es werden sowohl transgene, Feuerbrand-resistente Apfelsorten als auch herkömmliche Apfelsorten verwendet. Erste Freisetzungsversuche sind für 2003 geplant.

Sterilität kann z.B. durch die Transformation mit dem Barnase-Gen erzielt werden, das für eine RNase kodiert. RNasen sind Enzyme, die RNA-Moleküle abbauen. Die transgen exprimierte Barnase baut die RNA in spezialisierten Zellen des Pollensacks ab und verhindert so die Entwicklung von Pollen (Kempken & Kempken, 2000).

Differentielle Expression von Transgenen

Mit den bisher verwendeten Genkonstrukten findet die Expression eines Fremdgens häufig in der gesamten Pflanze statt. Gewöhnlich wird in der Gentechnik der Blumenkohlmosaikvirus 35S Promotor⁴ benutzt, der ein sehr starker Promotor ist und dazu führt, dass das transgene Protein ständig in großen Mengen in allen Zellen produziert wird. Aus marktstrategischen und Sicherheits-Gesichtspunkten wäre jedoch eine auf einzelne Teile der Pflanze beschränkte, sogenannte differentielle Expression wünschenswert, nicht aber eine Expression in den zum Verzehr bestimmten Früchten.

Durch den Einsatz eines Promotors, der vorwiegend in einem bestimmten Gewebe aktiv ist, wird versucht, die Produktion des Proteins auf diese Pflanzenteile zu beschränken. Mit Apfelbäumen wurden bereits Versuche durchgeführt, bei denen bestimmte Promotoren benutzt wurden, die eine Transgenexpression vorwiegend in grünen Pflanzenteilen erlauben sollen (Gittins et al., 2000). Die Autoren fanden heraus, dass die Promotoren stark in Blättern, aber in geringem Maße auch in den Wurzeln und Stielen aktiv sind. Leider wurden Früchte in der Studie nicht untersucht.

⁴ Promotoren sind die Regulationselemente von Genen.

Die Gentechnik-Nachrichten sind im Internet zu finden: <http://www.oeko-institut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html> oder www.biogene.org/index.html. Sie können auch per e-mail abonniert werden (mail an listserv@oeko.de, OHNE Betreff, Text: subscribe-gen-news@oeko.de).

Weinbau

Bis 1999 waren weltweit 42 Freisetzen von transgenen Reben gemeldet (OECD 1999). Diese fanden überwiegend in den USA, aber auch in Frankreich, Italien, Deutschland, Kanada und Australien statt. Weitere Arbeitsgruppen gibt es in Südafrika, Japan und Spanien. Die meisten der freigesetzten Reben trugen Resistenzgene gegen bakterielle oder pilzliche Erreger (Reisch et al, 1996). Weltweit bereiten die Pilzkrankheiten Echter und Falscher Mehltau und Grauschimmel große Probleme im Weinbau. In den USA ist vor allem die durch Bakterien verursachte Pierce-Krankheit von Bedeutung. Sie hat dort in den letzten Jahren schwere Schäden in den Weinbergen angerichtet.

Neben der Krankheitskontrolle gewinnen in der Biotechnologie zunehmend Ansätze an Bedeutung, Eigenschaften der Trauben zu verändern. Dazu zählen Aspekte wie z.B. Zuckergehalt, Farbe, Kernlosigkeit von Tafeltrauben und höherer Fruchtertrag (Pretorius et al., 2000; Vivier & Pretorius, 2000). In Kanada wird an der Erzeugung von kältetoleranten Weinstöcken gearbeitet.

Für die *Weinbereitung* werden transgene Weinhefen entwickelt, um bestimmte Aspekte des Gärprozesses besser kontrollieren zu können. Ziele sind u.a. eine Verkürzung der Gärzeiten, verbesserte Gärleistung, erhöhte Farb- und Aromastabilität und eine Verkürzung der Flaschengärung beim Champagner. Transgene Weinhefen werden vorläufig nicht zur Weinherstellung eingesetzt⁵. In jüngster Zeit werden in der Weinherstellung zunehmend Enzyme zugesetzt (z.B. Pektinasen, um eine bessere Filtrierbarkeit des jungen Weins zu erreichen), die auch durch gentechnisch veränderte Mikroorganismen hergestellt werden können. Wein, der solche Zusätze enthält, unterliegt bislang nicht der Kennzeichnungspflicht.

Bakterienresistenz

Der Hauptschadorganismus im Weinbau in den USA ist das Bakterium *Xylella fastidiosa*, der Erreger der sogenannten Pierce-Krankheit. Die Krankheit wird durch eine Zikadenart (*Homalodisca coagulata*) übertragen und ist bisher nur präventiv oder über eine Kontrolle der Insekten mit Insektiziden zu bekämpfen. Forscher an der Universität von Florida transformierten Reben der Sorten Thompson Seedless (Scorza et al., 1996), Merlot und Chardonnay (Gianessi et al., 2002) mit der synthetischen Version des bereits erwähnten Cecropin-Gens aus der Seidenraupe⁶. Bei den transgenen Reben wird Cecropin nicht nur in den Zellen der Wasserleitbahnen, in denen sich die Bakterien aufhalten, sondern in allen Pflanzenteilen exprimiert. Wie beim Apfel bestehen auch bei Cecropin-haltigen Trauben gesundheitliche Bedenken (http://www.checkbiotech.org/blocks/dsp_document.cfm?doc_id=1132). Einige Forschungsansätze versuchen, die Expression des Transgens auf die Wasserleitbahnen zu beschränken (Gianessi et al., 2002).

Es wird noch Jahre dauern, um die Resistenz der Reben zu testen und eventuelle Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und geschmackliche Eigenschaften des Weins zu prüfen, bis Wein von transgenen Reben in den Handel gelangen kann.

Pilzresistenz

Vor allem in Europa sind Pilzkrankheiten die größte Bedrohung der Reben. Die pilzlichen Erreger Echter und Falscher Mehltau und Grauschimmel wurden erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts aus Nordamerika eingeschleppt, sodass die europäischen Rebsorten noch keine große Anpassung durchlaufen konnten und leicht befallen werden. Zur Bekämpfung der Pilzerkrankungen werden vielfach synthetische Spritzmittel eingesetzt. Im ökologischen Anbau werden dagegen hauptsächlich Präparate aus Kupfer verwendet, die aber aufgrund der Anhäufung dieses Schwermetalls im Boden ebenfalls umweltbelastend sind. Mit konventionellen Züchtungsmethoden wird versucht, durch Kreuzung von pilzresistenten amerikanischen und traditionellen europäischen Rebsorten resistente Nachkommen zu erzielen. Dabei werden häufig unerwünschte Eigenschaften der amerikanischen Reben mit eingekreuzt, worunter die Geschmacksqualität der Weine leidet. Bei den traditionellen

⁵ Eine Zulassung existiert bereits für eine transgene Bier- und eine Bäckerhefe in Großbritannien.

⁶ Eine Reihe von für den Weinbau wichtigen Resistenzgenen wurde bereits patentiert (Meadows, 2001).

Sorten Riesling, Merlot und Chardonnay sind solche Kreuzungen wenig erfolgreich geblieben. Es gab aber auch Erfolge mit der Züchtung von neuen, pilzresistenten Sorten wie "Regent" und "Phoenix" zu verzeichnen (Rebholz, 2000).

In Deutschland werden seit 1999 Freisetzungen mit transgenen pilzresistenten Reben durchgeführt. An zwei Standorten in Bayern und Rheinland-Pfalz wurden die Versuche für 10 Jahre genehmigt. Die transgenen Reben tragen Pathogen-Gene aus der Gerste, die für eine Chitinase, eine Glucanase und Ribosomen-inhibierende Proteine (RIBs) kodieren. Chitinasen und Glucanasen sind Zellwand-abbauende Enzyme. RIBs blockieren die pilzlichen Ribosomen, die für die Eiweißproduktion einer Zelle zuständig sind und verhindern das Pilzwachstum. Ergebnisse zur Prüfung der Resistenzeigenschaften liegen bisher nicht vor, da die Rebpfänzchen erst nach 3-5 Jahren die notwendige Größe erreichen. Die Aussichten, mittels Gentechnik eine Resistenz zu erzeugen sind relativ gering. Alle bekannten Resistenzen der Rebe sind polygen, wirken also durch die Beteiligung vieler Genprodukte anstelle eines einzelnen. Schätzungen besagen, dass es bis zu einer Marktreife der pilzresistenten Reben noch mindestens 20 Jahre dauern wird (<http://www.biosicherheit.de/gehoelze/56.doku.html>).

Transgene Hefen in der Weinbereitung

Bei 2/3 des weltweit produzierten Weins werden zur Fermentation eigene Hefen zugesetzt, die sogenannten Starterkulturen, um den Verlauf der Gärung besser kontrollieren zu können. Von der hauptsächlich eingesetzten Art *Saccharomyces cerevisiae* gibt es mittlerweile schon viele Hundert Reinzuchtstämme, die jeweils aus einer einzelnen Hefezelle hervorgegangen sind und spezifische Eigenschaften besitzen, die bei der Weinbereitung genutzt werden. Diese Stämme wurden durch gezielte Kreuzung von Hefen oder durch Mutagenese erzeugt. Neuere Ansätze setzen die direkte Genübertragung ein, um nun auch Eigenschaften zwischen verschiedenen Arten austauschen zu können. An der Universität von British Columbia wurden Hefen konstruiert, welche die im Traubensaft enthaltene Säure Malat zu Ethanol bzw. zur milderen Milchsäure umwandeln und somit einen süßeren Wein produzieren sollen (Husnik et al., 1997). Die übertragenen Gene stammen aus einer anderen Hefeart, *Schizosaccharomyces pombe*. Die beim Gentransfer benötigten Antibiotika-Resistenzgene wurden hinterher wieder aus der manipulierten Hefe entfernt.

Das Institut für Wein-Biotechnologie der Stellenbosch Universität in Südafrika hat nach eigenen Angaben mehrere Hefestämme mit gentechnisch veränderten Eigenschaften erzeugt, unter anderem solche, die Filter-blockierende Polysaccharide abbauen, antimikrobielle Substanzen produzieren, geschmacksverstärkende Ester oder aroma-freisetzende Enzyme bilden, oder die Farbstoffe aus roten Trauben besser freisetzen (http://www.sun.ac.za/wine_biotechnology/research_programmes.htm). Bei solchen Ansätzen werden häufig ein oder mehrere Enzyme im Stoffwechsel der Hefe überexprimiert, was aber auch unerwünschte Nebeneffekte haben kann (Dequin 2001). Bei der Überexpression des *ATF1*-Gens, das für ein Ester-produzierendes Enzym kodiert, entstanden größere Mengen an geschmacksverbessernden Estern, aber auch an Ethylacetat, das einen unerwünschten Beigeschmack erzeugt (off-flavour) (Lilly et al., 2000).

Betriebe, die auf Qualität statt auf Masse setzen, verzichten ganz auf zugesetzte Hefen und ziehen die spontane Fermentation vor, bei der die Umwandlung von Zucker zu Alkohol durch die natürlich auf den Weintrauben vorkommenden Mikroorganismen vollzogen wird. Der Prozess ist zwar schlechter kontrollierbar, hat aber vorteilhafte Auswirkungen auf den Geschmack und die Farbstabilität des Weins (Pretorius 2000).

RISIKEN

Bei der Freisetzung von transgenen Gehölzen müssen deren besondere Eigenschaften mit in Betracht gezogen werden. Die meisten Bäume und Büsche haben eine sehr lange Lebensdauer. Pollen und Samen können zum Teil über sehr große Distanzen verfrachtet werden. Außerdem tendieren sie stark

Die Gentechnik-Nachrichten sind im Internet zu finden: <http://www.oeko-institut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html> oder www.biogene.org/index.html. Sie können auch per e-mail abonniert werden (mail an listserv@oeko.de, OHNE Betreff, Text: subscribe_gen-news@oeko.de).

dazu, mit verwandten Wild- oder Kulturarten zu hybridisieren. Deshalb ist die Gefahr eines Transfers von stabilen Transgenen höher einzuschätzen als im Ackerbau. Ein weiteres Problem bei Pflanzen mit langer Juvenilphase ist, dass Nebenwirkungen wie etwa Positionseffekte oder das Abschalten des Transgens in der Pflanze auch noch nach sehr langer Zeit auftreten bzw. erst spät sichtbar werden können. Alle Versuche mit mehrjährigen transgenen Pflanzen sind noch relativ jung. Daher wird es noch Jahre dauern, bis Aussagen hierüber gemacht werden können.

Heterologe Enkapsidierung

Bei der Transformation von Pflanzen mit viralen Hüllprotein-Genen tritt das Risiko einer Neuzusammensetzung von Virenpartikeln auf (Weber et al., 1998). Besonders bei Hüllproteinen von Viren, die eine geringe Spezifität aufweisen, kann das Erbmateriale eines natürlich auf derselben Pflanze auftretenden Virus durch die in der Pflanze exprimierten Hüllproteine "verpackt" werden. Dieser Vorgang wird als heterologe Enkapsidierung bezeichnet. Die Hüllproteine sind wichtig für die Übertragung des Virus und für die Auswahl der Wirtspflanze. So kann es vorkommen, dass plötzlich ein neues Virus auf einer Pflanzenart auftaucht, die davon vorher nie betroffen war. Die auf Reben vorkommenden sogenannten Nepoviren zeigen eine besonders geringe Spezifität für die zu verpackende DNA (Cooper et al., 1994, Maiss et al., 1994, zitiert aus Weber et al., 1998). Über heterologe Enkapsidierung wurde auch schon im Gentechnik-Nachrichten Spezial Nr.7 berichtet.

Resistenzdurchbrechung

Pathogen-Resistenzen sind bei Pflanzen häufig polygen bedingt, das heißt, sie bauen bei Abwehrmechanismen auf das Zusammenwirken mehrerer Gene. Beim Gentransfer werden aber in der Regel nur ein oder wenige Gene übertragen und überexprimiert, deren Wirkstoff die Pflanze resistent machen soll. Dabei besteht die Gefahr, dass sich der Erreger sehr schnell anpasst und die Resistenz bald schon wieder gebrochen wird. Dies wurde schon bei einigen transgenen Pflanzen beobachtet. Ein Beispiel ist die bereits erwähnte Virus-resistente Pflaume, die im Experiment mit dem Viruserreger infiziert wurde und wieder Symptome der Krankheit aufwies, obwohl Pflanzen der vorangegangenen Generation Resistenz gezeigt hatten.

Vertikaler Gentransfer

Um das Auskreuzungsrisiko einer Art abzuschätzen, stützt man sich vor allem auf bekannte Basisdaten zum Fortpflanzungs- und Ausbreitungsverhalten (Art der Pollenverbreitung, Pollenreichweite, Vorhandensein von Wildarten, etc.) und zur Stellung im Ökosystem. Problematisch ist dabei, dass zum Teil nicht genügend Daten vorliegen und generell ein sehr komplexes Zusammenspiel von Faktoren gegeben ist, wodurch Voraussagen, gerade über die langen Zeiträume der Generationszeiten hinweg, schwierig sind.

Aufgrund der vorhandenen Kenntnisse zur Ökologie von Apfel, Pflaume, Wein und Erdbeere wird die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers hier als mittel bis hoch eingeschätzt (Eastham & Sweet, 2002). Das gleiche gilt im Prinzip für die Himbeere, die Brombeere und die Johannisbeere. Daher ist die Gefahr einer Auskreuzung von Transgenen bei diesen Arten relativ groß. Apfelbäume werden wie viele andere Obstsorten sowohl wind- als auch insektenbestäubt. Von Bienen ist bekannt, dass sie auf ihren Sammelflügen große Strecken zurücklegen, einigen Ergebnissen zufolge bis zu 14 km (Saure et al., 1999). In einem Feldversuch wurde bereits nachgewiesen, dass Apfelpollen noch 150 m von der Ausgangsquelle entfernte Apfelbäume befruchten konnte (Kato & Soejima, 2001).

Um eine Auskreuzung zu verhindern, können sterile Pflanzen erzeugt werden, wie bereits am Beispiel des Apfels beschrieben wurde. Die Methode hat den Nachteil, dass die Expression des Transgens während der gesamten Lebensspanne des Baumes oder Strauches stabil sein muss, damit nicht doch wieder fruchtbarer Pollen gebildet werden kann. Die Stabilität der Genexpression ist aber immer noch ein ungelöstes Problem in der Gentechnik.

Auswirkung auf Nicht-Zielorganismen

Zur Wirkung der Chitin-abbauenden Enzyme Chitinase und Glucanase auf Insekten liegen bisher keine Informationen vor. Es ist jedoch bekannt, dass sie Insekten-Chitin angreifen können. Im Rahmen der Sicherheitsforschung werden am Institut für Rebenzüchtung Geilweilerhof die Auswirkungen der pilzresistenten, transgenen Reben auf den Traubenwickler (ein bekannter Rebenschädling) und auf andere, Nicht-Zielorganismen untersucht (<http://www.biosicherheit.de/projekte/30.proj.html>). In Fütterungsexperimenten wird unter anderem die Wechselwirkung der Enzyme mit Bt-Präparaten getestet, die als Pflanzenschutzmittel im Rebbau eingesetzt werden. Untersuchungen deuten darauf hin, dass Chitinasen die Wirkung von Bt-Toxin um ein Vielfaches verstärken, was im Falle der Traubenwickler-Bekämpfung erwünscht ist. Es könnte jedoch gleichfalls negative Auswirkungen auf andere, nützliche Insekten haben, die eventuell von Bt-Präparaten allein unbeschadet bleiben, in der Kombination der Wirkstoffe jedoch geschädigt werden.

Für die Nährstoffversorgung sind mit Bäumen und Reben in Symbiose lebende Mykorrhiza-Pilze von großer Bedeutung. Daher wäre es wichtig zu untersuchen, ob solche nützlichen Pilze ebenfalls durch Chitinasen geschädigt werden können. Zu Auswirkungen von Substanzen aus transgenen Pflanzen auf die Mikroorganismen des Bodens besteht großer Forschungsbedarf.

Weinhefen

Starterhefen werden in der Kellerwirtschaft in der Regel ohne Sicherheitsvorkehrungen gehandhabt und gelangen auch in die Umwelt. Dies könnte jedoch bei gentechnisch veränderten Hefen ein Risiko darstellen. Besonders veränderte Hefen, die einen selektiven Vorteil gegenüber anderen, natürlich in der Umwelt vorkommenden Mikroorganismen besitzen, könnten negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben (Dequin, 2001). Versuchsweise wurden schon Starterstämme mit der Eigenschaft ausgerüstet, sich gegen Zymocin zur Wehr zu setzen, ein Toxin, das natürlich vorkommende Hefen vielfach produzieren. Zymocin tötet Hefen, die keinen entsprechenden Schutzfaktor dagegen besitzen. Geschützte Starterhefen können sich besser im Most etablieren, der immer auch natürliche Hefestämme enthält, hätten aber auch in der Umwelt einen erhöhten Wachstumsvorteil.

Durch das Einschleusen neuer Genen in einen Organismus kann es zu Änderungen im Stoffwechsel und zur Anhäufung schädlicher Stoffe kommen. Dies kommt auch bei der Selbstklonierung vor, also der Übertragung organismuseigener Gene. Bei Versuchen mit Hefe kam es durch die Überexpression der Phosphofruktokinase, eines Enzyms des Glykolyseweges, unerwarteter Weise zu einem gleichzeitigen Anstieg von Methylglyoxal um ein Vielfaches (Inose & Murata, 1995). Methylglyoxal ist toxisch und hatte im Labortest eine mutagenisierende Wirkung auf Mikroorganismen. Mit solchen Nebeneffekten muss auch beim Einschleusen von Fremdgenen gerechnet werden, da durch Positionseffekte die Produktion einer potentiell toxischen Substanz stark erhöht sein kann.

AKZEPTANZ UND ALTERNATIVEN

Trotz zahlreicher Forschungsprojekte zum Einsatz der Gentechnik im Obst- und Weinbau ist ein konkrete Anwendung in größerem Maßstab vorerst nicht absehbar. Der Ansatz stößt gerade im Weinbau auf große Widerstände seitens des Marktes und der Verbraucher. Wein hat eine besondere Bedeutung als traditionelles Kulturgut. Zusätzlich zu gesundheitlichen Bedenken kommt die Furcht der Weinliebhaber, dass die geschmacklichen Eigenschaften der Weine durch gentechnische Eingriffe leiden könnten. Schon jetzt zeichnet sich ab, dass Weine von transgenen Reben, falls sie längerfristig auf den Markt kommen sollten, extreme Absatzschwierigkeiten haben werden. In einer Greenpeace-Umfrage gaben befragte englische Weinhändler einstimmig an, keinen kalifornischen Wein aus bakterienresistenten Reben in ihren Geschäften anbieten zu wollen (http://www.greenpeaceusa.org/media/press_releases/01_06_18.htm). England ist mit 30% der größte Absatzmarkt für kalifornische Weine. In Frankreich forderten Winzer ein Moratorium für GM-Reben. Das französische Institut National des Appellations d'Origine, welches das Zertifikat "Appellation

Die Gentechnik-Nachrichten sind im Internet zu finden: <http://www.oeko-institut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html> oder www.biogene.org/index.html. Sie können auch per e-mail abonniert werden (mail an listserv@oeko.de, OHNE Betreff, Text: subscribe_gen-news@oeko.de).

d'Origine Controlée (AOC)" für französische Weine vergibt, verbietet momentan die Verwendung gentechnisch modifizierter Rebsorten für AOC-Weine. Selbst in den USA stehen viele Winzer gentechnisch veränderten Sorten skeptisch gegenüber, da sie fürchten, Kunden zu verlieren. Eine Suche nach alternativen Lösungen ist dringend notwendig.

Alternativen im Obst- und Weinbau

Im Obst- und Weinbau ist ein vollständiger Verzicht auf Pestizide wegen der hohen Krankheitsanfälligkeit der meisten Sorten nur sehr schwer möglich. Häufig wird behauptet, dass eine Reduzierung des Einsatzes umweltschädlicher Substanzen durch gentechnisch veränderte Pflanzen möglich gemacht würde. Dieses Ziel lässt sich jedoch nachhaltiger und risikoärmer durch umweltschonende Anbaumethoden von konventionell gezüchteten Sorten erreichen. Der ökologische Anbau setzt auf Mosaiklösungen in der Schädlingsbekämpfung. Nach der EU-Ökoverordnung müssen Schädlinge und Krankheiten mittels ganzheitlicher Ansätze bekämpft werden, die eine optimale Sortenwahl und Fruchtfolge, den Schutz von Nützlingen durch Habitatmanagement und den Einsatz natürlicher Gegenspieler (Antagonisten) vorschreiben. Diese Prinzipien werden auch beim ökologischen Weinbau angewandt, der im internationalen Vergleich gesehen in Deutschland relativ stark vertreten ist. Trotzdem wirtschaften nur etwa 1% der deutschen Winzer nach ökologischen Grundsätzen, von denen zwei Drittel im ECOVIN-Verband organisiert sind (<http://www.ecovin.de/ALLG/willk.html>). Problematisch beim Verzicht auf den Einsatz synthetischer Spritzmittel sind das hohe wirtschaftliche Risiko und der hohe Arbeitsaufwand, der durch das Ausbringen von Pflanzennähr- und -schutzmitteln entsteht (Köpfer 1999). Als langfristige Lösung wird dafür nur der Umstieg auf pilzresistente Sorten gesehen. Bisher werden auch im Ökoweinbau aus vermarktungsstrategischen Gründen vielfach die hochanfälligen traditionellen Rebsorten angepflanzt. Im Obstanbau ist eine Vielzahl traditioneller, lokal gut angepasster Sorten vorhanden, die jedoch zum Teil in Vergessenheit geraten sind. Eine größere Akzeptanz seitens der Verbraucher für unbekanntere, aber ökologisch besser angepasste Sorten ist hier nötig. Gegenstand intensiver Forschung muss aber auch die Suche nach wirksameren biologischen Methoden des Pflanzenschutzes sein. Ein vom Forschungsinstitut für Biologische Landbau (FiBL) zusammengestellter Ratgeber informiert unter anderem über die neuesten Forschungsergebnisse zum biologischen Anbau von Strauchbeeren (Schmid, 2002).

Habitatmanagement

Durch den massiven Einsatz von Spritzmitteln werden auch Nützlinge in Mitleidenschaft gezogen, wodurch die Stabilität des Ökosystems gefährdet wird. Viele konventionell bewirtschafteten Weinberge werden völlig frei von Unterwuchs gehalten, um ein besseres Abtrocknen der Reben zu erreichen und so den Pilzbefall zu mindern. Dadurch wird jedoch das Problem des Schädlingsbefalls, z.B. massenhaftes Auftreten von Spinnmilben, verschärft. Das Ziel, Schädlinge ohne Pestizideinsatz in Schach zu halten, kann durch vorbeugende und begleitende Maßnahmen erreicht werden, die darauf abzielen, die ökologischen Bedingungen im Anbau zu verbessern. Beispielsweise können für die jeweilige Region, die Lage und das Klima geeignete Begrünungsmaßnahmen durchgeführt werden. Durch dieses sogenannte Habitatmanagement kann ein ökologisches Gleichgewicht hergestellt werden, das Nützlinge fördert, die wiederum Schädlinge auf ein für den Anbau unschädliches Maß reduzieren. Eine der häufigsten Maßnahmen im Weinberg ist die gezielte Ansiedelung und die Schaffung von Lebensräumen für Raubmilben, die Jagd auf Spinnmilben und andere Schädlinge machen.

Kürzlich wurde vom Freiburger Weinbauinstitut ein Versuch zum biologischen Weinbau gestartet, mit dem Ziel eines in sich stabilen, wirtschaftlich tragfähigen Systems (BZ, 17.9.02). Es werden ausschließlich pilzresistente Reben angepflanzt und Nützlinge wie z.B. die Schlupfwespe durch entsprechende Begrünungsmaßnahmen angesiedelt, was der Bekämpfung des Traubenwicklers dienen soll. Zur Rebengesundheit trägt die Bodenqualität als weiterer wichtiger Faktor bei, der vorbeugend gegen Krankheiten wirkt (Hofmann et al., 1999).

Antagonisten

Antagonisten sind Organismen, die gezielt gegen Pathogene eingesetzt werden können und diese schädigen oder töten. Gegen den falschen Mehltau (*Peronospora*) wurde der Einsatz von mikrobiellen Antagonisten untersucht. *Erwinia herbicola* wirkt durch eine Art Verwirrung des Pathogens⁷, während *Fusarium proliferatum* das Pilzgewebe parasitiert und den Mehltau dadurch schädigt (Tilcher 1996, Falk et al., 1996, zitiert in Koechlin 1999). Bei der in den USA auftretenden Bakterienkrankung des Weins wird der Ansatz getestet, die krankheitsübertragende Zikadenart durch parasitierende Wespen (*Gonatocerus triguttatus*) in Schach zu halten (Meadows, 2001).

Zur Bekämpfung der Graufäule (*Botrytis cinerea*) an Erdbeeren werden Antagonistenpräparate aus dem Pilz *Trichoderma harzianum* eingesetzt (Moch & Tappeser, 2002). Aufgespritzt entfaltet das Mittel nur wenig Wirkung, wie übrigens synthetische Fungizide auch, da es nicht durch das Blätterdach bis zu den Früchten bzw. Blüten dringt. Zur Lösung des Problems haben sich Hummeln als "Flying Doctors" bewährt. Forscher des Forschungsinstituts für biologischen Landbau in der Schweiz und der Universität von Ohio State plazierten ein "Fußbad" mit *Trichoderma* vor dem Hummelstock. Die Hummeln versorgten auf diese Weise alle angeflogenen Erdbeerblüten mit dem Präparat, was zu einer besseren Kontrolle der Graufäule führte.

Biologische Fungizide

Im biologischen Anbau von Obst und Wein werden Kupferpräparate zur Bekämpfung des falschen Mehltaus eingesetzt. Durch den langjährigen Einsatz großer Mengen an Kupfer kam es schon zu einer erheblichen Anreicherung des Schwermetalls in den Böden. Das führt u.a. zur Schädigung von Regenwürmern und zur Hemmung der mikrobiellen Stoffkreisläufe. Vorerst ist Kupfer weiterhin zugelassen, der Einsatz soll jedoch laut EG-Öko-Verordnung ab 2006 reduziert werden (<http://www.verbraucherministerium.de/landwirtschaft/eg-oeko-vo/>). Bisher gibt es kaum Alternativen, weshalb die Suche verstärkt vorangetrieben werden muss. Im Test hat sich unter anderem Phosphorige Säure als wirksam gegen Pilzbefall erwiesen, jedoch nur bis zu einem bestimmten Wachstumsstadium der Trauben (<http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/1vwo/Veroeff/kupferersatz.htm>). Auch verschiedene Kräuterextrakte, z.B. aus Schlüsselblumen oder Weidenrinde, hatten eine gewisse Wirksamkeit, die jedoch weiter geprüft werden muss. Australische Forscher fanden kürzlich heraus, dass das Aufsprühen verdünnter Kuhmilch ebenso wirkungsvoll sei wie synthetische Fungizide (FR 10.09.02).

Präventive Maßnahmen wie das Ausdünnen von Beeren und Blättern sind recht effektiv, da Feuchtigkeitsstau vermieden wird, der das Pilzwachstum fördert.

Induzierte Resistenz

Bei Befall durch ein Pathogen baut die Pflanze eine umfassende Abwehrreaktion auf, die sogenannte induzierte Resistenz, die lokal an der infizierten Stelle beginnt und sich bald auf die gesamte Pflanze ausbreitet. Diese setzt verschiedene Abwehrstrategien zur Bekämpfung des Pathogens ein, u.a. die Produktion von Abwehrstoffen, das gezielte Absterben von befallenen Pflanzenteilen, um eine systemische Ausbreitung zu verhindern sowie die Verstärkung der Zellwände in der gesamten Pflanze. Die systemische Reaktion wird durch bestimmte Signalstoffe vermittelt, die die geschädigte Pflanze selbst produziert, die jedoch zum größten Teil noch nicht identifiziert sind. Solche Signalstoffe können gezielt eingesetzt werden, um Pflanzen weniger anfällig gegen Krankheitserreger zu machen. Das Konzept ist relativ neu, trägt aber ein großes Potential, da es sich ganz auf die natürlichen Abwehrmechanismen der Pflanze stützt, die einen Schutz gegen ein sehr breites Spektrum an Erregern

⁷ Die Pilzsporen können offenbar die Spaltöffnungen auf der Blattunterseite schlechter auffinden, durch die sie ins Pflanzengewebe eindringen.

verleihen. Als erster Signalstoff wurde die Acetylsalicylsäure (der Wirkstoff von Aspirin) entdeckt und zur Resistenzinduktion eingesetzt. Die Verbindung wird aber von außen schlecht aufgenommen und ist für viele Pflanzen in höheren Konzentrationen toxisch. Das Weinbauinstitut Freiburg testete bereits erfolgreich Präparate aus Pilzen und anderen Mikroorganismen sowie synthetische Verbindungen auf die Fähigkeit, bei der Rebe Resistenzmechanismen gegen Pilzbefall zu induzieren (Ökologie & Landbau, 3/1999). Die Suche nach weiteren Substanzen und ihre Erprobung ist ein wichtiges Forschungsziel im alternativen Landbau.

Züchtung

Langfristig kann nur der Einsatz krankheitsresistenter Sorten zu einer Verringerung des Aufwands an Schädlingsbekämpfungsmitteln und zu größerer ökonomischer Sicherheit im ökologischen Anbau führen. Im Weinbau gibt es relativ viele Neuzüchtungen, wie z.B. die Rotweinsorte Regent, die gegen Mehltauerreger tolerant ist. Solche Sorten können im Bezug auf die Weinqualität durchaus mit den herkömmlichen Sorten konkurrieren. Beim Apfelanbau werden vermehrt Neuzüchtungen angepflanzt, die gegen den Apfelschorf resistent sind (<http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/AbwehrmechanismenKernobst.htm>). Im Obstbau gibt es außerdem ein Vielzahl von traditionellen, lokal gut angepassten Sorten, die aber wenig populär sind. Daher ist eine Änderung des Markt- und Verbraucherverhaltens notwendig. Seit einigen Jahren läuft in der Schweiz ein vom FiBL und dem Großverteiler Coop mit großem Erfolg durchgeführtes Vermarktungskonzept für Bio-Äpfel. Dem Kunden wird eine große Vielfalt von zum Teil wenig bekannten Sorten angeboten, deren Akzeptanz durch zusätzliche Informationen gesteigert wird (Weibl, 1999).

Zur Unterstützung der traditionellen Pflanzenzüchtung können auch molekularbiologische Methoden wie die Marker-gestützte Selektion eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren werden Pflanzen miteinander gekreuzt und die DNA ihrer Nachkommen analysiert um zu prüfen, ob diese die erwünschte Eigenschaft aufweisen. Dazu muss ein sogenannter molekularer Marker bekannt sein, der aus einem DNA-Abschnitt besteht, welcher in der Nähe des gewünschten Gens liegt. Wird dieser Marker in der Pflanzen-DNA gefunden, so heißt das, dass auch das Gen für die Eigenschaft vorhanden ist. Dadurch kann die Auslese von zur Weiterzüchtung geeigneten Sämlingen wesentlich früher erfolgen. Mit dieser Methode kann die Züchtung neuer Sorten beschleunigt werden, ohne dass Gene übertragen werden.

Frühwarnsysteme

Frühwarnsysteme für bestimmte Schaderreger werden schon angewandt bzw. weiterentwickelt und basieren auf mathematischen Simulationsmodellen. Diese stützen sich auf die Kenntnis der Biologie des Erregers und benutzen klimatische Parameter wie Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit zur Berechnung des jeweiligen Infektionsrisikos. So ist es möglich, bei drohendem Befall rechtzeitig einzugreifen und die Applikationszeitpunkte von Spritzmitteln optimal zu wählen. Dadurch werden unnötige und umweltbelastende Anwendungen vermieden.

LITERATUR

Dequin, S. (2001): The potential of genetic engineering for improving brewing, wine-making and baking yeasts. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56, 577-588.

Eastham, K. & Sweet, J. (2002): Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. *Environmental Issue Report* 28: 1-14, 50-55, 58-75.

Florianne Koechlin (Blauen Institut) (Hrsg.) (1999): Rebbau in der Schweiz. In: *Zukunftsmodell Schweiz – Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik?*

Gianessi, L.P., Silvers, C.S., Sankula, S., Carpenter, J.E. (2002): Virus resistant papaya. Bacterial resistant grape. Herbicide tolerant strawberry. Zusammen in: Plant Biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. agriculture – an analysis of 40 case studies. (www.ncfap.org/40casestudies.htm)

Gittins, J.R., Pellny, T.K., Hiles, E.R., Rosa, C., Biricolti, S., James, D.J. (2000): Transgene expression driven by heterologous ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase small-subunit gene promoters in the vegetative tissues of apple (*Malus pumila* Mill.). *Planta* 210, 232-240.

Gonsalves D., Ferreira, S., Manshardt, R., Fitch, M., Slightom, J. (1998): Transgenic virus resistant papaya. APSnet Feature, September 1 – September 30, 1998. (www.aspnnet.org/education/feature/papaya/Top.htm)

Greenpeace Report (2001): Wine growing regions trial genetically modified wine grapes - Market place will reject GM wine. (http://www.greenpeaceusa.org/media/press_releases/01_06_18.htm)

Gutierrez-Pesce, P., Taylor, K., Muleo, R. und Rugini, E. (1998): Somatic embryogenesis and shoot regeneration from transgenic roots of the cherry rootstock Colt (*Prunus avium* x *P. pseudocerasus*) mediated by pRi 1855 t-DNA of *Agrobacterium rhizogenes*. *Plant Cell Reports*, 17 (6/7), 574-580.

Hanke, V. (2000): Erstellung transgener Pflanzen bei ausgewählten Apfelsorten und –unterlagen unter Nutzung von Genkonstrukten zur Induktion von Resistenz gegenüber Phytopathogenen. Jahresbericht 2000, Bundesanstalt für Züchtungsforschung, Institut für Obstzüchtung.

Hofmann, W., Hampl, U., Walg, O. (1999): Die Umstellung auf ökologischen Weinbau beginnt beim Boden. *Ökologie & Landbau* 109, 40-43.

Husnik, J., Volschenk, H., Subden, R.E., van Vuuren, H.J.J (1997): The development of a commercial wine yeast capable of malolactic fermentation. (<http://www.brocku.ca/ccovi/res/subden-dev.html>)

Inose, T. & Murata, K. (1995): Enhanced accumulation of toxic compound in yeast cells having high glycolytic activity: a case study on the safety of genetically engineered yeast. *International Journal of Food Science and Technology* 30, 141-146.

Jiménez-Bermúdez, S., Redondo-Nevado, J., Muñoz-Blanco, J., Caballero, J. L., López-Aranda, J. M., Valpuesta, V., Pliego-Alfaro, F., Quesada, M. A., Mercado, J. A. (2002). Manipulation of strawberry fruit softening by antisense expression of a pectate lyase gene. *Plant Physiology*, 128, 751-759.

Kato, H. & Soejima, J. (2001): Environmental safety considerations for field test of genetically modified apple. Report of the workshop on the environmental considerations for genetically modified trees. OECD Environmental Health and Safety Publications, Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology 19, 79-83.

Kempken, F. & Kempken, R. (2000): Neue Eigenschaften transgener Pflanzen. In: *Gentechnik bei Pflanzen*, 160-163.

Köpfer, P. (1999): Der ökologische Weinbau – ökologische und ökonomische Chancen für die europäischen Weinbauregionen. (<http://www.infodienst-mlr.bwl.de/la/lvwo/kongress/KOEPFER.html>)

Lilly, M., Lambrechts, M.G., Pretorius, I.S. (2000): Effect of increased yeast alcohol acetyltransferase activity on flavor profiles of wine and distillates. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 744-753.

Liu, Q., Ingersoll, J., Owens, L., Salih, S., Meng, R. and Hammerschlag, F. 2001. Increased resistance to *Erwinia amylovora* exhibited by transgenic 'Royal Gala' apple (*Malus x Domestica* Borkh.) shoots, carrying a modified cecropin MB39 gene. *Acta Hort. (ISHS)* 560: 95-99.
(http://www.actahort.org/books/560/560_11.htm)

Malinowski, T., Zawadzka, M., Ravelonandro, R. und Scorza, R. (1998): Preliminary report on the apparent breaking of resistance of a transgenic plum by chip bud inoculation of plum pox virus PPV-S. *Acta Virologica*, 42, 241-243.

Meadows, R. (2001): Scientists, state aggressively pursue Pierce's disease. *California Agriculture*, July/August 2001. (<http://danr.ucop.edu/calag/JA01/resupd.html>)

Milch macht Weinreben gegen Mehltau fit. *Frankfurter Rundschau* vom 10.09.02.

Moch, K. & Tappeser, B. (2002): Hummeln als "Flying doctors" und andere Tricks gegen die Graufäule an Erdbeeren. In: *Forschungsvielfalt für die Agrarwende*. Öko-Institut e.V. (Hrsg.)

OECD (2001): Biotrack database of field trials: <http://www.olis.oecd.org/biotrack.nsf>

Pane, J.H. (1996): USDA/APHIS Petition 96-051-01P for the determination of nonregulated status for transgenic 'Sunset' papaya, lines 55-1 and 63-1.
(www.aphis.usda.gov/biotech/dec_docs/9605101p_ea.HTM)

Pena, L., Martin-Trillo, M., Juárez, J., Pina, J.A., Navarro, L., Martínez-Zapater, J.M. (2001): Constitutive expression of *Arabidopsis* *LEAFY* or *APETALA1* genes in citrus reduces their generation time. *Nature Biotechnology* 19, 263-267.

Perl, A. & Eshdat, Y. (1998): DNA transfer and gene expression in transgenic grapes. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, Vol. 15, 365-386.

Plant Breeding News - Edition 129, Sept 30, 2001. III.13. Development: Jamaica pins its hopes on the transgenic papaya. september 17, 2001 Inter Press Service Zadio Neufville Brompton, Jamaica.

Pretorius, I.S. (2000): Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast* 16, 675-729.

Rebholz, F. (SLFA Neustadt) (2000): Pilzresistente Rebsorten - Bühne frei für Newcomer? (http://www.bafz.de/baz99_d/baz_orte/sdg/irz/aktuell/magazin1.htm)

Reisch, B.I., Striem, M.J., Howell-Martens, M. (1996): Genetic engineering of elite grape cultivars: A progress report. *Am. J. Enol. Vitic.* 47(2), Abstract p. 229.

Saure, C., Kühne, S. & Hommel, B. (1999): Untersuchungen zum Pollentransfer von transgenem Raps auf verwandte Kreuzblütler durch Wind und Insekten. *Proceedings of the BMBF-Statusseminar*, 29.-30. Juni 1999, Braunschweig: 111-119.

Schmidt, A. (2002): Biologischer Anbau von Strauchbeeren. *Forschungsinstitut für Biologischen Landbau* (Hrsg.).

Scorza R., Cordts, J.M., Gray, D.J., Gonsalves, D., Emershad, R.L., Ramming, D.W. (1996): Producing transgenic 'Thompson Seedless' Grape (*Vitis vinifera* L.) plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(4), 616-619.

Systemisch induzierte Resistenz gegen Pilzkrankheiten (1999): *Ökologie & Landbau* 111, 52.

Vivier, M.A. & Pretorius, I.S. (2000): Genetic improvement of grapevine: tailoring grape varieties for the third millennium – A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, Vol. 21, Special Issue, 5-26.

Weber, B.E.G., Jäger, M., Eckelkamp, C. (1998): Ökologische Risiken gentechnisch veränderter virusresistenter Pflanzen. In: *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 28, 345-354.

Weibl, F. (1999): Obstbau: Schweizer Biobauern setzen auf resistente Sorten. *Ökologie & Landbau* 109, 44-45.

Welander, M., Pawlicki, N.; Holefors, A. und Wilson, F. (1998): Genetic transformation of the apple rootstock M26 with the *RoIB* gene and its influence on rooting. *Journal of Plant Physiology*, 153, 371-380.

Hinweise: Wenn Sie ein besonderes Interesse an Informationen zu speziellen Themen im Bereich der Gentechnik haben, die wir im Rahmen eines Spezial-Newsletters bearbeiten können, dann schicken Sie doch Ihre Anfrage an per mail oder Post folgende Adresse:

- via email an: j.teufel@oeko.de
- via Post: Dr. Jennifer Teufel; Öko-Institut e.V.; Postfach 6226; 79038 Freiburg.

Diese Ausgabe wurde ausgearbeitet von: Claudia Hoffmann

Die AGNET mails sind im Internet unter folgender Adresse archiviert:

“<http://www.plant.uoguelph.ca/safefood/>” klicken Sie auf Aagnet, um zu den Aagnet Archiven zu gelangen.

Die GENET mails sind im Internet unter folgender Adresse recherchierbar: <http://www.gene.ch/genet.html>