



## Züchtung feuerbrandrobuster Obstsorten

Ausgelöst durch das Feuerbrandjahr 2007 und dank politischer Vorstösse hat das Bundesamt für Landwirtschaft verschiedene Projekte zur Obstforschung finanziert. Eines davon ist «ZUEFOS» (Züchtung feuerbrandrobuster Obstsorten). Ziel des von 2008 bis 2011 dauernden Projekts war, die Entwicklung und praktische Nutzung feuerbrandrobuster Kernobstsorten rasch voranzutreiben. Die Züchtung feuerbrandrobuster Apfel- und Birnensorten mit hoher Fruchtqualität und guter Produktivität ist ein aussichtsreicher und nachhaltiger Weg zur Eindämmung der wirtschaftlichen Schäden, die durch die Bakterienkrankheit Feuerbrand verursacht werden.

MARKUS KELLERHALS, ISABELLE BAUMGARTNER, LUCIE LEUMANN,  
LUZIA LUSSI, DANILO CHRISTEN, ANDREA PATOCCHI, PIERRE-MARIE  
LE ROUX UND RETO LEUMANN, AGROSCOPE CHANGINS-WÄDENSWIL ACW  
MARKUS KOBELT, LUBERA AG, BUCHS SG  
MICHAEL WEBER, VARI-COM GMBH, WÄDENSWIL  
JOHANNES FAHRENTTRAPP, GIOVANNI BROGGINI UND CESARE  
GESSLER, ETH ZÜRICH, INSTITUT FÜR INTEGRATIVE BIOLOGIE  
[markus.kellerhals@acw.admin.ch](mailto:markus.kellerhals@acw.admin.ch)

ZUEFOS ist zum Inbegriff eines Projekts geworden, das zielgerichtet und gemeinsam durch die Partner ACW, ETH Zürich, Lubera und Fruture sowie VariCom den Bogen von der Wissenschaft zur Praxis gespannt hat. Das Projekt pflegte in der Schweiz und international Interaktionen mit anderen Projekten und Aktivitäten in der Forschung zum Management des Feuerbrands. Es wurde auch unter

dem Dach des ACW-Forschungsprogramms «ProfiCrops» im integrierten Projekt «Feuerbrand» realisiert.

Grundlage für die Züchtung feuerbrandrobuster Sorten bilden Genotypen (Pflanzen, Sorten) mit den gewünschten Eigenschaften – in unserem Fall Robustheit gegenüber Feuerbrand. Dank internationaler Forschung waren zu Beginn des Projekts ZUEFOS verschiedene Quellen für Robustheit bekannt, die sich grob in zwei Klassen einteilen lassen:

- Sorten mit Robustheit gegenüber Feuerbrand: Rewena, Resi, Enterprise, Florina, Free Redstar etc.
  - Wildherkünfte wie *Malus × robusta* 5 oder Evereste
- Die Herausforderung für die Züchter besteht darin, diese Resistenzquellen möglichst effizient, das heisst rasch und kostengünstig in Sorten zu integrieren, die einen hohen Marktwert haben.

Das Projekt gliederte sich in vier Module mit einer starken Interaktion:

- Modul 1: Züchtung
- Modul 2: Marker und markergestützte Selektion
- Modul 3: Beschleunigung des Generationszyklus
- Modul 4: Sorten

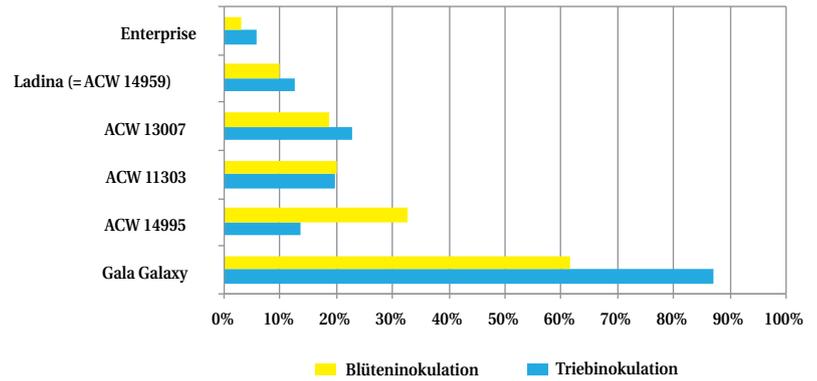
### Dank ZUEFOS intensivere Züchtung bei ACW und Lubera

Der klassischen Kreuzungszüchtung und der phänotypischen (von Auge sichtbaren) Selektion war das Modul 1 gewidmet. ACW hatte bereits seit 1984 den Aspekt Krankheitsresistenz in das Züchtungsprogramm integriert. Im ZUEFOS-Projekt nutzten die Züchtungsprogramme von ACW und Lubera Synergien und führten eigene, aber auch gemeinsame Kreuzungen durch. Insgesamt wurden im Rahmen von ZUEFOS über 20 000 Nachkommen aus Kreuzungen erzeugt, die speziell auf die Ziele Feuerbrandrobustheit und Fruchtqualität ausgerichtet waren. Diese Nachkommen sind inzwischen bereits auf Schorf- und Mehltauanfälligkeit, Merkmale der Jugendphase wie sehr kleine Blätter und Dornen sowie weitere Eigenschaften vorselektiert worden. 600 davon sind nun in der Fruchtprüfung, 600 weitere werden in den nächsten zwei Jahren gepflanzt.

Aus Sicht der privaten Züchtungsfirma Lubera war die Beteiligung an ZUEFOS ein voller Erfolg. Mit dieser Beteiligung war es nicht nur möglich, den Kontakt mit der Forschung zu pflegen, sondern das Züchtungsprogramm wurde um die Dimension «Feuerbrandresistenz» erweitert. Das Feuerbrand-Screening von Lubera-Züchtungen förderte den Resistenzcluster Resi × Julia zutage. Nachkommen dieser Kreuzung wiesen eine sehr gute Feuerbrandrobustheit auf. Bei den rotfleischigen Sorten konnte sichergestellt werden, dass die meisten kommerziell ausgewählten Sorten weniger anfällig sind als «Weirouge». Mit der Zucht Nummer 93/05 konnte eine rotfleischige Sorte mit guter Robustheit selektiert werden, die nicht nur als Elter dient, sondern auch als Saft- beziehungsweise Verarbeitungssorte speziell für den extensiveren Anbau weiter geprüft wird.

### Wie robust ist Sorte X, Nachkomme Y?

Die phänotypische Bewertung der Triebanfälligkeit ausichtsreicher Zucht Nummern, potenzieller Elternsorten und von Kreuzungsnachkommen hat die Informationen zum Zuchtmaterial in den vier Jahren des ZUEFOS-Projekts markant ansteigen lassen. Die sehr aufwendigen Triebtestungen waren ein wichtiger Bestandteil des Projekts. Seit 2010 stand ACW ein neues, gut eingerichtetes Sicherheitsgewächshaus für diese Tests zur Verfügung. Die Triebinfektionen in diesem Gewächshaus zeigten eine deutliche Variabilität in der optisch messbaren Ausbreitung der Bakterien zwischen unterschiedlichen Sorten und Züchtungen. Positiv war, dass trotz gewisser Schwankungen bei den Symptomen zwischen Wiederholungen der gleichen Sorte eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse möglich war. Die robuste Standard-sorte «Enterprise» war durchwegs sehr wenig befallen und die anfällige Vergleichssorte «Gala» stark. Wir konn-



ten verschiedene Neuzüchtungen mit guter Feuerbrandrobustheit im Triebtest ermitteln (Abb. 4).

Unter Feldbedingungen stellt jedoch die Blüte den wichtigsten Infektionsweg für das Bakterium dar. Im Jahr 2011 wurden im Rahmen des Projekts die ersten Blüten-tests im Sicherheitsgewächshaus durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten eine vergleichbare Anfälligkeit wie im Triebtest (Abb. 1). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass aufgrund der gemessenen Trieb- oder Blütenanfälligkeit im Gewächshaus nicht in jedem Fall direkt auf die Anfälligkeit im Feld geschlossen werden kann. Die Anwendung verschiedener Test-Methoden wie molekulare Marker, Trieb- und Blüteninfektionen im Gewächshaus, Freilandversuche sowie Labor-Analysen der Bakterienkonzentration im optisch gesunden Gewebe erhöhen die Aussagekraft im Hinblick auf die komplexe Situation im Feld.

Die Blütentestung im Freiland erfordert eine mehrjährige Vorlaufzeit, um das Baumaterial in genügender Entwicklung (Blüten) zur Verfügung zu haben. Die Freilandprüfung erfolgt im Nachfolgeprojekt ZUEFOS II ab 2012. Erfreulich ist in diesem Zusammenhang die Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Obstbau, Bavendorf (KOB, Christian Scheer), da bisher in der Schweiz keine Freilandtestungen möglich sind.

Das Zuchtmaterial von Lubera konnte am Julius Kühn Institut (JKI) in Quedlinburg von Klaus Richter auf Triebanfälligkeit untersucht werden. Dabei wurde deutlich, dass von den Elternsorten «Resi» und «Julia» interessante Resistenzeigenschaften gegen Feuerbrand ausgehen. Verschiedene Nachkommen aus der Kreuzung Resi × Julia erwiesen sich als ausgesprochen feuerbrandrobust.

### Resistent, tolerant, robust?

Im Rahmen des Projekts stellte sich die Frage: Welche Sorte und Neuzüchtung ist robust, tolerant oder resistent gegen Feuerbrand? Eine klare Abgrenzung und Begriffsdefinition ist schwierig. Der Kreis der Fachpersonen einigte sich darauf, dass bei Wildapfel-Resistenzquellen wie *Malus × robusta* 5 von Resistenz gesprochen werden kann. Viele Sorten und Neuzüchtungen weisen aber eine Teilresistenz auf; bei ihnen kann bei starkem Infektionsdruck Befall auftreten. Im Zusammenhang mit einer solchen Feuerbrandabwehr sollte der Begriff «robust» verwendet werden, da auch phytopathologisch die Bezeichnung «tolerant» nicht ganz korrekt ist.

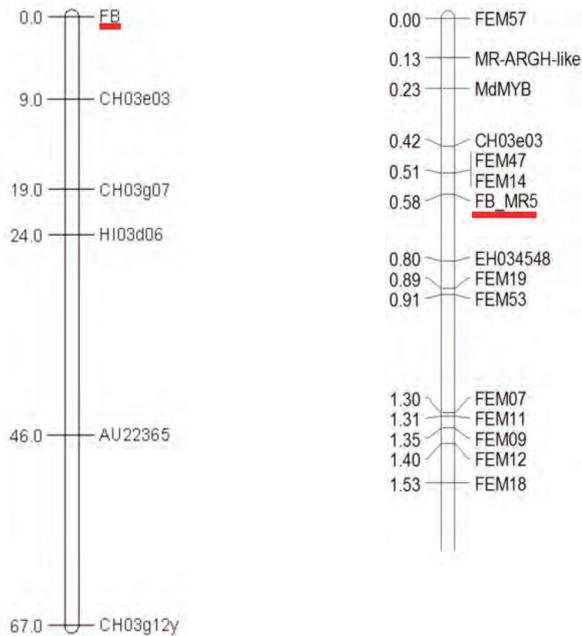
**Abb. 1: Blüten- und Triebinfektion bei ausgewählten fortgeschrittenen Zucht Nummern im Vergleich zu den Kontrollen «Enterprise» und «Gala Galaxy».**

Oben sind die prozentual infizierten Blütenstandstiele oder Triebe vier Wochen nach der Infektion der Blüte gezeigt (2011), unten die Läsion in Prozent der Trieblänge drei Wochen nach Infektion der Triebe (2010).

**Abb. 2: Genetische Karte der LG3 von *Malus × robusta* 5.**

Links: Karte aus Peil et al. 2007, Grundlage für die vorliegenden Arbeiten. Rechts: Feinkartierung der Spitze der Kopplungsgruppe 3 mit 13 zusätzlichen molekularen Markern. Der Abstand zwischen FEM18 und FEM57 wird durch 33 Individuen mit insgesamt acht unterschiedlichen crossing-overs definiert.

FB = Feuerbrand Resistenzlokus (rot).



**Molekulare Analysen**

Im Rahmen des Projekts wurden bereits bekannte Gene für Feuerbrandresistenz auf der Erbsubstanz des Apfels genauer molekular kartiert und neue Resistenzorte erstmals kartiert. Im Modul 2 wurden an der ETH Zürich und an der ACW basierend auf internationalen Vorarbeiten wesentliche Fortschritte erzielt:

- exakte molekulare Kartierung des *Malus × robusta* 5-Resistenzorts (Fahrentrapp et al. 2011, siehe Abb. 2)
- für die Züchtung nutzbare molekulare Marker, mit denen das Vorhandensein der Resistenz in einem Sämling festgestellt werden kann
- Kartierung des Resistenzorts bei «Florina» und «Rena» (Le Roux et al. 2010, Le Roux 2011)

Mit den molekularen Markern konnten in der Züchtung verwendete Elternsorten sowie ausgewählte Nachkommenschaften untersucht werden.

**Abb. 3: Pilotversuch mit feuerbrandrobusten Sorten im Freiland.**



**Unmögliches möglich machen: Generationsbeschleunigung**

Mit dem Modul 3 wurden Resistenzquellen von Wildäpfeln mit zwei verschiedenen Ansätzen für die Züchtung nutzbar gemacht:

- Blühverfrühungs-Methode «Early Flowering»: Mit einem vom Julius Kühn Institut (JKI) in Dresden angewendeten und durch ACW weiter entwickelten Verfahren wurde ein Birken-Gen zur Blühinduktion verwendet, um die Resistenz von Wildäpfeln möglichst rasch in eine kommerziell nutzbare Qualität zu bringen. Mit dem experimentellen Verfahren konnte innerhalb von vier Jahren die dritte Generation (BC'2, d.h. F3) erreicht werden (Le Roux et al. 2012). Um ohne dieses Verfahren gleich weit voran zu kommen, wären 15 Jahre notwendig gewesen.
- Blühverfrühungs-Methode «Fast Track»: Mit optimalen Wuchsbedingungen im Gewächshaus und «Wintersimulation» in Kühlräumen soll ohne gentechnisches Verfahren das gleiche Ziel erreicht werden. Bereits ist die zweite Generation (F2) mit Feuerbrandresistenz aus «Evereste» erreicht worden. Ein kommerziell nutzbares Produkt sollte mit diesem Verfahren in gut zehn Jahren verfügbar sein und damit rund zehn Jahre früher als beim klassischen Züchtungsverfahren.

Bei der «Early Flowering»-Technik ist noch unklar, welchen Status die gezüchteten Sorten aufweisen werden, da ein gentechnisches Verfahren zu Hilfe genommen wird, am Schluss aber Nachkommen ausgelesen werden, die kein gentechnisch eingeschleustes Erbgut enthalten.

**Von der Züchtung in die Praxis**

Das Fenster zur Praxis bildete das Modul 4. Bei Projektbeginn zeichneten sich bereits einige feuerbrandrobuste Züchtungen und/oder Sorten ab. Einige wurden ausgewählt und für Pilotversuche an vier Standorten angezogen (Abb. 3): Wädenswil (ZH), Güttingen (TG), Conthey (VS) und Morges (VD). Wegen der begrenzten Verfügbarkeit des Vermehrungsmaterials war ein gestaffeltes Vorgehen nötig. Sechs Apfelsorten beziehungsweise zuchtnummern inklusive der Standardsorte «Ariane» wurden auf Grund von Fruchtqualität und Feuerbrandtoleranz für die Prüfung im Freiland ausgewählt. Damit aus dem Versuch eine möglichst praxisnahe Aussage gemacht werden kann, wurden an den vier Standorten jeweils 15 bis 50 Bäume pro Sorte gepflanzt.

In Wädenswil und Conthey werden zusätzlich drei ACW-Birnenzüchtungen und zwei Birnensorten inklusive der Standardsorte Conférence geprüft. In Conthey ergänzte man mit einer weiteren ACW-Züchtung und der Standardsorte «Harrow Sweet».

In Zusammenarbeit mit VariCom konnte unter den favorisierten feuerbrandrobusten Apfel-Züchtungen die Nummer «ACW 14959» herauskristallisiert und unter dem Namen «Ladina» zum Sortenschutz angemeldet werden. Sie wird jetzt noch weiter in Pilotanlagen in der Praxis geprüft. Erfreulich ist in diesem Zusammenhang die Kooperation mit Vertretern der kantonalen Fachstellen der am stärksten vom Feuerbrand betroffenen Kantone und mit dem Schweizer Obstverband.

### Wo stehen wir heute?

ZUEFOS hat in vier Jahren unser Wissen zur Feuerbrandresistenz und zum Zuchtmaterial entscheidend weitergebracht. Doch die Züchtung ist ein langfristiger Prozess. Mit ZUEFOS ist die Basis für interessante Weiterentwicklungen gelegt worden. Sowohl für den Tafelanbau als auch für den Hochstamm-Anbau entstehen kurz-, mittel- und langfristig hoffnungsvolle Perspektiven. Mit dem Projekt ZUEFOS II (2012-13) werden die begonnenen Arbeiten weitergeführt zum Wohle der Obstbranche, der Schweizer Bevölkerung und darüber hinaus.

### Dank

Wir danken allen, die das Projekt ZUEFOS finanziell und ideell unterstützt haben, insbesondere dem Bundesamt für Landwirtschaft und dem Schweizer Obstverband. Für die Herstellung der Versuchsbäume für die Feuerbrandtests danken wir besonders Rolf Blapp. Ein spezieller Dank auch an Klaus Richter von JKI in Quedlinburg (D) ■

### Literatur

Baumgartner I. O., Leumann L. R., Frey J. E., Joos M., Voegelé R. T. und Kellerhals M.: Breeding apples to withstand infection pressure by fire blight and other diseases. Proceedings of the Ecofruit, 15th International Conference on Organic Fruit-Growing, 20.-22.2.2012, University Hohenheim, Stuttgart, 14–21, 2012.

Baumgartner I. O., Patocchi A., Franck L. R., Kellerhals M. und Broggin, G. A. L.: Fire Blight Resistance from «Evereste» and *Malus sieversii* Used in Breeding for New High Quality Apple Cultivars: Strategies and Results. Acta Hort. 896, 391–397, 2011.

Fahrentrapp J., Broggin G.A.L., Gessler C., Peil A., Malnoy M., Kellerhals M. und Richter K.: Fine Mapping of Fire Blight Resistance Locus in *Malus x robusta* 5 on Linkage Group 3. Acta Hort. 896, 243–244, 2011.

Le Roux P.-M.F., Khan M. A., Broggin G. A. L., Duffy B., Gessler C. und Patocchi A.: Quantitative trait loci mapping of fire blight resistance in the apple cultivars «Florina» and «Nova Easygro». Genome, 53: 710–722, 2010.

Le Roux P.-M. F.: Molecular breeding for fire blight resistance in apple (*Malus* spp.). ETHZ Dissertation N° 20055, 2011.

Le Roux P.-M. F., Flachowsky H., Hanke M.-V., Gessler C. und Patocchi A.: Use of a transgenic early flowering approach in apple (*Malus x domestica* Borkh.) to introgress fire blight resistance from «Evereste», Molecular breeding: in press, 2012.



Abb. 4: Triebbefall drei Wochen nach künstlicher Feuerbrandinokulation im Gewächshaus. Oben: Gala (anfällig), unten: ACW-Züchtung (robust).

Peil, A.; Garcia-Libreros T., Richter K., Trognitz F.C., Trognitz, B., Hanke M.V. und Flachowsky H.: Strong evidence for a fire blight resistance gene of *Malus robusta* located on linkage group 3. Plant Breeding 126 (5): 470–475, 2007.

### Sélection de variétés de fruits tolérantes au feu bactérien

Des progrès remarquables ont été accomplis dans la sélection de variétés de fruits résistantes au feu bactérien. Le projet ZUEFOS (sélection de variétés de fruits tolérantes au feu bactérien) est le fruit d'une collaboration entre la station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, ETH Zurich, Lubera et Fruture, ainsi que VariCom. La contribution d'ACW a consisté à étudier la sensibilité des pousses de 160 variétés et nouvelles lignées. Les variétés et les lignées les plus robustes ont servi de base à de nouveaux croisements.

Au total, ces croisements ont permis d'obtenir environ 20 000 jeunes plantes. Les pommiers sauvages *Malus x robusta* 5 et «Evereste», deux variétés robustes mais à petits fruits, ont été utilisées pour des croisements avec des variétés de bonne qualité à l'aide de procédés d'accélération des générations. Les aptitudes culturales et la valeur commerciale des premières variétés tolérantes au feu bactérien sont actuellement testées dans des vergers pilotes.

## R É S U M É