



SCHNELLER ANS ZIEL DANK «FAST-TRACK»

Der Einsatz von Methoden zur Verkürzung der Generationszeit durch gezielte Kulturführung (Speed Breeding), auch ohne den Einsatz von Gentechnik, ist in der Pflanzenzüchtung seit vielen Jahrzehnten weit verbreitet. Beim Apfel beträgt die natürliche Generationszeit vier bis sechs Jahre. Seit 2008 setzt Agroscope die Methode «Fast-Track» zur Einkreuzung von bekannten Resistenzen aus Wildäpfeln und exotischem Material ein. Die Methode erlaubt eine Halbierung der Generationszeit im Gegensatz zur herkömmlichen Züchtung im Feld.

Im Jahr 2008 wurde bei Agroscope in Wädenswil nach dem neuseeländischen Vorbild («high Input Fast-Breeding», Volz et al. 2009) die «low input Fast-Track»-Methode (möglichst zeit- und kosteneffizient) eingeführt. Mit der Absicht, durch gezielte Kulturführung im Gewächshaus die Generationszyklen (von der Blüte des Elternbaums bis zur Blüte der Nachkommen in der nächsten Generation) zu verkürzen und damit den Züchtungsprozess zu beschleunigen. Bei der Ein-

kreuzung von Wildäpfeln und weit entfernt verwandtes Material mit schlechter Fruchtqualität und anderen unerwünschten Eigenschaften sind ca. fünf Rückkreuzungen (pBC = «pseudo back cross») mit verschiedenen Qualitätssorten zwingend notwendig. Nur so können Fruchtqualität und agronomische Eigenschaften auf das Niveau einer modernen Sorte gebracht werden. Zu Beginn wurde die Methode hauptsächlich zur Einkreuzung von bekannten Feuerbrandresistenzen aus den

Resistenzquellen *Malus x robusta* 5 (FB_MR5), «Evereste» (Fb_E) (Abb.1) und *Malus fusca* (FB_Mfu10) verwendet. Die letzten 15 Jahre haben gezeigt, dass sich der Generationszyklus des Apfels von vier bis sechs Jahren bei der klassischen Züchtung im Feld mittels «Fast-Track» auf rund zweieinhalb Jahre verkürzen lässt. Das Protokoll wurde in den vergangenen Jahren ständig verbessert und die Anwendung der Methode dank verschiedener Drittmittelprojekte weiter ausgebaut.

DIE «FAST-TRACK»-METHODE

Wenige Wochen nach der Aussaat werden die jungen Apfelsämlinge einer Kreuzungspopulation mit molekularen Markern für spezifische Resistenzen im Labor analysiert. Sämlinge, die die gewünschten Resistenzen tragen, werden selektiert. Die ausgewählten, ca. drei Monate alten Sämlinge werden nachfolgend auf ihrer eigenen Wurzel in 4.5-Liter-Töpfen in einem beheizbaren Gewächshaus unter gezielter Kulturführung angezogen. Die Bäume werden über eine Tröpfchenbewässerung mit Wasser und Nährstoffen versorgt, ausreichend belichtet und mit den nötigen Pflanzenschutzmitteln gegen Insekten und Krankheiten behandelt. Zusätzlich werden die Bäume während der Vegetationsperiode zur Hemmung der Gibberellin-Biosynthese und damit verbunden Verkürzung der Internodien monatlich mit dem Produkt Regalis® Plus von Stähler Suisse SA behandelt. Am Ende der vier- bis sechsmonatigen Vegetationsperiode wird der natürliche Blattfall mit einer dreimaligen Applikation des Reifehormons Ethephon von Sintagro AG eingeleitet. Darauf folgt eine künstliche Winterruhe von durchschnittlich neun Wochen in einem 3 bis 4 °C kalten Kühlraum. Im Anschluss wiederholt sich der Ablauf im Gewächshaus. Die ersten Bäume einer neuen Generation blühen in der Regel nach der zweiten oder dritten Winterruhe (ca. 2–3 Jahre nach Aussaat). Die noch verschlossenen Blütenbüschel werden im Gewächshaus mit feinmaschigen Netzsäcken eingepackt, wie im Einstiegsbild bei den Kreuzungen im Februar 2024 ersichtlich. Falls Pollen der offenen Blüten für Kreuzungen im Feld benötigt werden, werden die Staubbeutel der Blüten entnommen, getrocknet und eingefroren. Nachfolgend werden die auf diese Art kastrierten Blüten mit Pollen von ausgewählten Qualitätssorten oder interessantem Zuchtmaterial bestäubt und die Bäume bis zur Fruchtreife im Gewächshaus weitergepflegt. Etwas sechs Monate nach der Bestäubung werden die Früchte geerntet und die Samen der nächsten Generation aus den Früchten entnommen. Die Früchte werden ein erstes Mal grob bezüglich ihrer Fruchtqualität (Aroma, Textur) beschrieben, wobei die Fruchtqualität im Gewächshaus aufgrund der unvorteilhaften Bedingungen für die Fruchtreife deutlich schlechter ausfällt. Nun folgt eine Veredelung der Elternbäume auf eine Unterlage, M9 oder M27 ZV Schneiderapfel, die Anzucht in der Baumschule und die Pflanzung im Feld. Dort werden die Früchte der «Fast-Track»-Bäume hinsichtlich ihrer Fruchtqualität (Aroma, Textur, Grösse, Ausfärbung) beschrieben. Je nach



Abb. 1: Äpfel des als *Fb_E*-Resistenzquelle genutzten Zierapfels «Evereste». (© Agroscope)

eingekreuzter Resistenz werden die Elternbäume zusätzlich auf ihre Resistenz gegen Feuerbrand (*Erwinia amylovora*) in der künstlichen Triebtestung im Quarantänegewächshaus und teilweise mit der künstlichen Blüteninfektion in der Biosicherheitsparzelle am Steinobstzentrum Breitenhof getestet (Bühlmann-Schütz et al. 2023).

FRUCHTQUALITÄT

Die Fruchtqualität der Resistenzquellen in Abbildung 1 gezeigt für die *Fb_E* Feuerbrandresistenz aus dem Zierapfel «Evereste») ist nicht mit der Qualität der heutigen modernen Tafelapfelsorten zu vergleichen. Die sehr kleinen Äpfel von «Evereste» mit einem durchschnittlichen Fruchtgewicht von rund 4 g schmecken sehr sauer, bitter und trocken. Deshalb müssen die Nachkommen aus solchen Kreuzungen mit «Evereste» oder anderen Zier- oder Wildäpfeln über mehrere

Generationen mit wechselnden modernen Sorten oder Zuchtklonen (Pseudo-Rückkreuzungen pBC) mit guter Fruchtqualität weitergekreuzt werden. Dank der Anwendung der «Fast-Track»-Methode konnte die Generationszeit zwischen den Kreuzungen halbiert werden. Schon nach der ersten Kreuzung (F1) ist eine deutliche Zunahme der Fruchtgrösse im Vergleich zur 2008 verwendeten Resistenzquellen «Evereste» zu erkennen (Abb. 2). Die Auswertungen haben gezeigt, dass erste Nachkommen mit Fruchtgrössen, vergleichbar mit denen von modernen Sorten, bereits in der zweiten Pseudo-Rückkreuzung entstehen können.

FEUERBRANDROBUSTHEIT

Alle im «Fast-Track» weitergekreuzten Nachkommen tragen gemäss den an die Resistenzen gekoppelten molekularen Markern mindestens eines der bekannten Resistenzgene

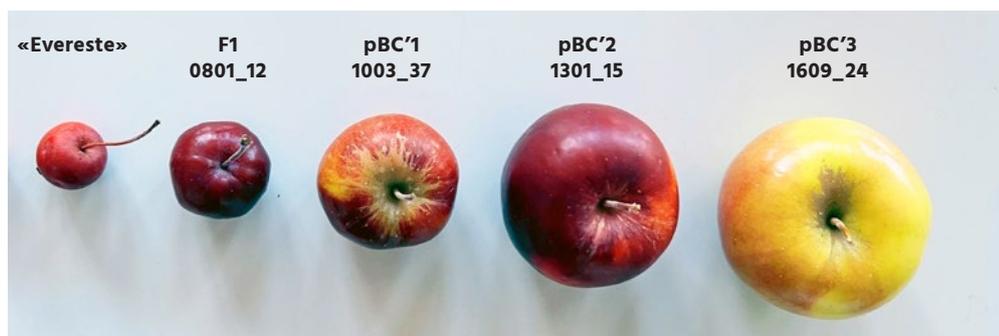


Abb. 2: Beispiel einer Abstammungslinie aus dem «Fast-Track» der Feuerbrandresistenz *Fb_E* des Zierapfels «Evereste» der im Feld geernteten Früchte. Von links nach rechts: als Resistenzquelle genutzter Zierapfel «Evereste», F1 '0801_12' (gekreuzt 2008), pBC'1 '1003_37' (gekreuzt 2010), pBC'2 '1301_15' (gekreuzt 2013), pBC'3 '1609_24' (gekreuzt 2016). (© Agroscope)

(*FB_MR5*, *Fb_E*, *FB_Mfu10*). Die Abwehrreaktion der Pflanzen, die sogenannte phänotypische Resistenz gegen das Feuerbrandbakterium, wird jeweils durch die künstliche Triebinokulation im Quarantänegewächshaus nach Khan et al. (2006) geprüft. Dabei werden die Genotypen mit der anfälligen Sorte «Gala Galaxy» verglichen. Abbildung 3 zeigt, dass die phänotypische Resistenz über die Generationen für die Resistenzgene *FB_MR5* aus *Malus x robusta 5* (MR5) und *Fb_E* aus «Evereste» auf einem sehr hohen Niveau bis hin zur vierten respektive fünften Pseudo-Rückkreuzungsgeneration erhalten bleibt. Zudem konnte 2018 zum ersten Mal ein Nachkomme in der dritten Generation von MR5 in der Blüteninokulation unter Feldbedingungen getestet werden (s. Resultate in Bühlmann-Schütz et al. 2023). Die Selektion 1124_26 (pBC'2 MR5) erwies sich als sehr resistent und zeigte kaum sichtbare Symptome eines Befalls. Weitere Versuche für die Erhebung der Blütenresistenz unter Feldbedingungen sind für das Frühjahr 2026 geplant. Dabei werden Nachkommen mit kombinierter Feuerbrandresistenz (*FB_MR5*, *Fb_E* und *FB_F7*) geprüft, die mit der «Fast-Track»-Methode gezüchtet worden sind.

KOMBINIERTE RESISTENZ

Über die Jahre wurden mit der «Fast-Track»-Methode nicht nur die drei Feuerbrandresistenzen (*FB_MR5*, *Fb_E* und *FB_Mfu10*) ein- und weitergekreuzt, sondern auch eine Vielzahl weiterer Resistenzen gegen Schorf (*Venturia inaequalis*, Resistenzgene *Rvi2*, *Rvi4* und *Rvi6*) und Mehltau (*Podosphaera leucotricha*, Resistenzgene *Pl1* und *Pl2*). Dadurch tragen Nachkommen der am weitesten fortgeschrittensten, sechsten Pseudo-Rückkreuzungsgeneration bereits kombinierte Resistenzgene gegen alle drei Krankheiten. Bezüglich der Feuerbrandresistenz des Wildapfels *Malus fusca* (*FB_Mfu10*) befinden wir uns zurzeit in der dritten Rückkreuzungsgeneration. Erste Blüten der vierten Rückkreuzungsgeneration sind frühestens 2026 zu erwarten. In den Nachkommen der fünften Rückkreuzungsgeneration werden wir dann die Resistenz *FB_Mfu10* mit den beiden anderen Feuerbrandresistenzgenen (*FB_MR5*, *Fb_E*) kombinieren.

FAZIT

Seit der Einführung der «Fast-Track»-Methode im Jahr 2008 wurden sechs Generationszyklen in 15 Jahren erreicht. Dies führt zu

einer ungefähren Halbierung der Generationszeit im Vergleich zu den klassischen Kreuzungen im Feld. Zusätzlich wurde durch die gezielte Auswahl der Eltern mit molekularen Markern die Kombination von bis zu sechs Resistenzgenen gegen die Krankheiten Apfelschorf, Mehltau und Feuerbrand in einem Genotyp erreicht. Auch wurde die Fruchtqualität, d.h. Fruchtgewicht und Aroma, über die Generationen hinweg stetig verbessert. In Zukunft wird auch die neu entwickelte genomische Selektion in die Apfelzüchtung einfließen. Dabei handelt es sich um eine Zuchtwertschätzung, bei der neben der phänotypischen Bewertung des Zuchtmaterials auch die Abstammung und eine genetische Untersuchung des Zuchtmaterials miteinbezogen wird. Es wird sich zeigen, ob beim Apfel eine Kombination der «Fast-Track»-Methode mit der genomischen Selektion für mehrere Merkmale einen noch schnelleren Züchtungsfortschritt ermöglichen wird.

DANK

Die Forschungsgruppe «Obstzüchtung» bedankt sich bei allen ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, dem Obst- und Gemüsebau-Team von Agroscope Wädenswil sowie allen nationalen und internationalen Partnern, die zum Erfolg dieser Methode bei-

getragen haben. Ein zusätzlicher Dank geht ans Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) für die finanzielle Unterstützung der Drittmittelprojekte rund um die Entwicklung und Nutzung der «Fast-Track»-Methode. 



Simone Bühlmann-Schütz

Agroscope Wädenswil

simone.buehlmann-schuetz@agroscope.admin.ch

Marius Hodel, Luzia Lussi, Andrea Patocchi,
Agroscope, Wädenswil

Literatur

- Bühlmann-Schütz S., Hodel M., Dorfmann E., Vonmetz L., Lussi L. and Patocchi A., 2023: Comparison between artificial fire blight shoot and flower inoculations in apple. *Journal of Plant Pathology*, 105, (4), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01550-7>
- Khan M. A., Duffy B., Gessler C. and Patocchi A., 2006: QTL mapping of fire blight resistance in apple. *Molecular Breeding*, 17(4), 299–306. <https://doi.org/10.1007/s11032-006-9000-y>
- Volz R. K., Rikkerink E., Austin P., Lawrence T. and Bus V. G. M., 2009: «Fast-Breeding» in Apple: A Strategy to Accelerate Introgression of New Traits into Elite Germplasm. 6.

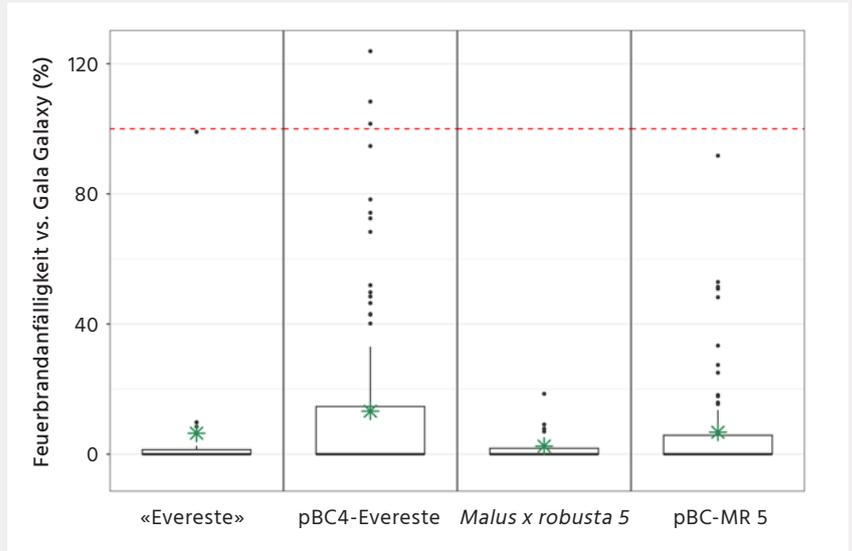


Abb. 3: Vergleich der Feuerbrandanfälligkeit in der Triebtestung zwischen den Resistenzquellen «Evereste» und *Malus x robusta 5* und der jeweils letzten Generation des «Fast-Tracks» (vierte resp. fünfte Pseudo-Rückkreuzung pBC). Die Werte sind relativ zur Anfälligkeit von «Gala Galaxy» dargestellt (100 %, rote gestrichelte Linie). Die Boxplots zeigen die Verteilung der Daten, wobei sich jeweils 75 % der gemessenen Werte im Bereich der Box befinden. Die Punkte zeigen Ausreisser und der horizontale Strich zeigt den Median. Zusätzlich ist mit dem grünen Sternchen der Mittelwert pro Genotyp respektive Generation dargestellt. Der Median ist auch in den letzten Generationen bei 0, was bedeutet, dass die Feuerbrandresistenz über die Generationen unverändert hoch geblieben ist.