

## Güttinger Tagung 2019

---

# Herausforderungen in der Apfelzüchtung und Möglichkeiten moderner Züchtungsmethoden

Die Entwicklung einer neuen Obstsorte ist aufwändig, da diese gleichzeitig die Erwartungen von Produzenten, Händlern und Konsumenten erfüllen soll. So soll beispielsweise eine neue Apfelsorte optisch und geschmacklich höchste Qualität mit guter Lagerfähigkeit kombinieren und zudem mit möglichst geringem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln regelmässigen Ertrag liefern. Technologische Fortschritte in der Züchtung können bei der Entwicklung von neuen Sorten eine wichtige Rolle spielen.

**Giovanni Broggini<sup>1</sup>, Markus Kellerhals<sup>2</sup>, Andrea Patocchi<sup>3</sup> und Bruno Studer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Molekulare Pflanzenzüchtung, Institut für Agrarwissenschaften, ETH Zürich

<sup>2</sup> Forschungsgruppe Züchtung und Genressourcen Obst, Agroscope

<sup>3</sup> Forschungsgruppe Züchtungsforschung, Agroscope

Die qualitativ hochstehenden, ertragreichen und gut lagerbaren Apfelsorten, die man heute auf dem Markt finden kann, sind mehr oder weniger anfällig auf unterschiedliche Krankheiten. Mit steigenden Ansprüchen an die Nachhaltigkeit und dem gesellschaftlichen Druck, den Einsatz von Pflanzenschutzmittel in der landwirtschaftlichen Produktion zu verringern, sind resistente Apfelsorten erforderlich. Dank dem Agroscope-Apfelzüchtungsprogramm, eingebettet in nationale und internationale Zusammenarbeiten, wurden bereits neue Sorten entwickelt, die resistent oder robuster gegen Apfelschorf oder Feuerbrand sind. Beispiele sind die Sorten 'Ariwa', 'CH 101-Galiwa®', 'Ladina' und 'Rustica'. Resistente Apfelsorten werden heutzutage in der Schweiz auf knapp 5% der Produktionsfläche angebaut.

### Herausforderungen in der Apfelzüchtung

Bei der Entwicklung von neuen Apfelsorten sind die Züchter mit mehreren Herausforderungen konfrontiert (Kellerhals et al. 2017). Es dauert mehrere Jahre bis Sämlinge aus einer Kreuzung ihre ersten Früchte tragen. Zudem können sich die Sämlinge einer Kreuzung in ihrer Produktivität und Fruchtqualität stark von ihren Eltern

unterscheiden. Das alles führt zu einem beträchtlichen Aufwand: Dutzende von Kreuzungen werden jährlich durchgeführt und resultieren in Tausenden von Sämlingen. Eine starke Selektion ist nötig, um die wenigen, geeigneten Sämlinge aus diesen Kreuzungen weiter auf Fruchteigenschaften, Produktivität und Lagerfähigkeit prüfen zu können. Züchter müssen dazu im Voraus planen und die Zuchtziele der Zukunft, zum Beispiel die Folgen des Klimawandels oder das Auftreten von neuen Krankheiten, berücksichtigen.

### **Moderne Selektionsmethoden**

Moderne Technologien werden in Zukunft die Selektion und die Prüfung von neu entwickelten Sorten unterstützen und beschleunigen. Digitale Kamerasysteme ermöglichen eine computergestützte Beschreibung von Bäumen und Früchten. Ein Beispiel dafür ist das neue Kamerasystem in der Sortieranlage von Agroscope in Wädenswil. Dieses ermöglicht unter anderem das rasche Erfassen und Quantifizieren von unterschiedlichen Lagerkrankheiten, sowie die Ermittlung der Fruchtgrösse, der Farbe und des Gewichts. Sie ermöglicht die Auswertung von tausenden Früchten am Tag, erfordert jedoch eine Kalibrierung des Systems für jede getestete Sorte. Für die Auswertung von kleineren Fruchtproben, z. B. für die Auswertung einer kleineren Anzahl an Früchten von vielen unterschiedlichen Sorten, hat Agroscope in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich ein System entwickelt, das einzelne Äpfel wiegt und aus fünf Richtungen fotografiert, um Grösse, Gewicht, Form und Farbverteilung zu ermitteln. Diese Technologien sind auch für bereits entwickelte Sorten interessant. Die grosse Menge an automatisch gewonnenen phänotypischen Daten können Züchtern helfen zu verstehen, wie das Erbgut von Sämlingen zu ihren Fruchteigenschaften führt. Damit könnten die Eigenschaften von neuen Sämlingen im Vorhergesagt werden.

Um Informationen über das Erbgut eines Sämlings zu gewinnen, erstellt man ein genetisches Profil mit molekularen Markern. Mit solchen genetischen Profilen können gewissen Eigenschaften bereits an frisch ausgekeimten Sämlingen vorhergesagt werden. Zum Beispiel ermöglichen genetische Profile Prognosen über die Schorfresistenz der einzelnen Sämlinge ohne einen Inokulationstest durchführen zu müssen. Diese Vorhersage funktioniert gut, wenn ein einzelner Ort im Genom für die Resistenz zuständig ist. Solche für einzelne Eigenschaften spezifische Marker werden immer öfter für die Selektion eingesetzt. Komplexere, sog. quantitative Eigenschaften, lassen sich schlechter vorhersagen und es werden komplette genetische Profile über das ganze Genom eingesetzt. Agroscope, zusammen mit der ETH Zürich sowie mit weiteren internationalen Partnern, arbeitet an der Vorhersage von Eigenschaften wie Fruchtgrösse, Festigkeit oder Aroma. Für die Entschlüsselung solch komplexer Zusammenhänge zwischen Genotyp und Phänotyp kann "machine learning" (Maschinelles Lernen) eingesetzt werden. Dazu werden genotypische und phänotypische Daten einer Lernpopulation in eine Computersoftware geladen, die

anschliessend von komplexen Algorithmen verglichen werden, um ein Modell zu entwickeln (Muranty et al 2015). Das Modell wird dann auf genotypische Daten des Züchtungsmaterials angewendet. So vermeidet man die kosten- und zeitaufwändige Phänotypisierung von vielen Pflanzen.

Diesen Prozess nennt man "genomische Selektion". Er soll optimale Kreuzungseltern und deren Nachkommen identifizieren, die gewünschte (neue) Eigenschaftskombinationen aufweisen. Alte Sorten, sowie Wildäpfel (sog. genetische Ressourcen), stellen eine Quelle von Vielfalt dar, die in der Entwicklung von neuen Sorten einbezogen werden sollte. Genetische Ressourcen werden auch dazu beitragen, Zusammenhänge zwischen Genotyp und Phänotyp besser zu entschlüsseln.

### **Neue Züchtungstechnologien**

In den vergangenen Jahren wurde viel über sogenannte «neue Züchtungstechnologien» debattiert. Diese umfassen eine Reihe neuer Pflanzenzuchtverfahren, welche Methoden der Molekularbiologie auf eine Art und Weise nutzen, dass eine klare Trennlinie zwischen gentechnischen Verfahren und herkömmlichen Züchtungstechniken nicht mehr zu ziehen ist.

### **Blühverfrühung**

Die Methode der Blühverfrühung, zum Beispiel, beschleunigt die Züchtung, indem die Züchtungszyklen beim Apfel von 4 Jahren auf wenige Monate reduziert werden (Schlathölter et al 2018). Ein eingebrachtes Birkengen bewirkt, dass die Apfelsämlinge viel schneller Blüten produzieren. Bei jeder neuen Kreuzung erben im Durchschnitt die Hälfte der Nachkommen das Birkengen und blühen früher. Die andere Hälfte besitzt das Birkengen nicht und weist somit keine genetische Veränderung auf. Diese Methode ermöglicht das rasche Einbringen von Resistenzen aus Wildäpfeln und das sukzessive Entfernen von negativen Eigenschaften (z. B. kleine Fruchtgrösse). Agroscope hat diese Methode geprüft und konnte seine Effizienz verifizieren. Agroscope wendet auch eine nicht gentechnische Alternative genannt «Fast track» an und zeigt, dass erste Blüten bei Sämlingen nach gut 2 Jahren gebildet werden.

### **Cisgenetik**

Mit Hilfe der Cisgenetik können einzelne Apfelvegene in bestehende Apfelsorten eingebracht werden. Dieses Verfahren wurde bereits benutzt, um die Sorte 'Gala' resistent gegen Schorf und Feuerbrand zu machen (Vanblaere et al. 2011, Kost et al. 2015). Feuerbrandresistente cisgene Apfelbäume werden zurzeit in einem Feldversuch von Agroscope in Zürich-Reckenholz in der sogenannten Protected Site auf mögliche Nebeneffekte untersucht, die durch die Herstellung der cisgenen Sorte entstanden sein könnten.

Durch den technologischen Fortschritt im Bereich der Genetik und Genomik ist zu erwarten, dass neue Gene und ihre Eigenschaften schneller identifiziert werden können und somit die Anzahl beschriebener, potenziell nutzbringender Gene rasch ansteigt wie zum Beispiel Resistenzgene gegen neu aufgetretene Krankheiten. Resistenzen, aber auch andere interessante Eigenschaften, können dank Cisgenetik rasch in bestehende Sorten eingebracht werden. Solche cisgene Pflanzen ermöglichen nicht nur die Erforschung von Wirt-Pathogen Interaktionen, sondern können längerfristig helfen, dauerhafte Resistenz zu entwickeln.

### **Genom-Editierung durch CRISPR/Cas9**

Seit etwa fünf Jahren besteht die Möglichkeit, direkte und gezielte Eingriffe im Genom durch CRISPR/Cas vorzunehmen. Cas9 ist ein Protein und schneidet die DNA an gezielten Genomorten. Durch diese molekularbiologische Methode, ursprünglich als Teil des bakteriellen Immunsystems isoliert, können Gene gezielt eingefügt, entfernt oder ausgeschaltet werden. In der einfachsten Form von Genom-Editierung wird das Zielgen an einer bestimmten Stelle geschnitten. Solche DNA Schnittstellen werden dann von natürlichen Prozessen der Zelle repariert, die manchmal zu kleinen Mutationen führen. Das Resultat ist vergleichbar mit Mutationen, die spontan entstanden sind oder durch Mutagenese induziert wurden. In einer etablierten Apfelsorte können solche Mutationen verwendet werden, um unerwünschte Eigenschaften wie Oxidationsbräunung oder Mehltauanfälligkeit zu entfernen. Die ETH Zürich arbeitet zurzeit an der Überwindung technischer Hürden, um diese Methode in der Grundlagenforschung einzusetzen und mögliche züchterische Anwendungen beim Apfel und anderen Kulturpflanzen zu prüfen.

### **Fazit**

Eine effizientere Selektion kann die Entwicklung von neuen Sorten beschleunigen und dadurch eine nachhaltigere Produktion von hochwertigen Früchten ermöglichen. Technologische Fortschritte fördern die Aufklärung der Zusammenhänge zwischen dem Erbgut (Genotyp) und den Sorteneigenschaften (Phänotyp). Dadurch können Eigenschaften einer Sorte rascher als bisher vorhergesagt werden.

Die Gentechnologie kann die Züchtung unterstützen, auch wenn Produkte zurzeit nicht direkt für den Obstanbau eingesetzt werden dürfen, indem sie wichtige Erkenntnisse für die Züchtung und das Resistenzmanagement liefert.

## Literatur

Kellerhals, M., Schütz, S., Baumgartner, I.O., Lussi, L., Andreoli, R. und Patocchi, A., Apfelzüchtung von Agroscope: Methoden, Ergebnisse und Chancen für einen nachhaltigen Obstbau. Agrarforschung Schweiz, 8 (3), 80-87. 2017.

Muranty, H., M. Troggio, I. Ben Sadok, M. Al Rifai, A. Auwerkerken, E. Banchi, R. Velasco, P. Stevanato, W. E. van de Weg, M. Di Guardo, S. Kumar, F. Laurens and M. C. A. M. Bink, Accuracy and responses of genomic selection on key traits in apple breeding. Horticulture Research 2. 2015.

Schlathölter, I., M. Jänsch, H. Flachowsky, G.A.L Broggin, M. V. Hanke and A. Patocchi. Generation of advanced fire blight-resistant apple (*Malus x domestica*) selections of the fifth generation within 7 years of applying the early flowering approach. Planta, 247(6): 1475-1488. 2018.

Vanblaere, T., I. Szankowski, J. Schaart, H. Schouten, H. Flachowsky, G.A.L Broggin and C. Gessler. The development of a cisgenic apple plant. Journal of Biotechnology, 154(4): 304-311, 2011.

Kost, T. D., C. Gessler, M. Jänsch, H. Flachowsky, A. Patocchi and G.A.L Broggin. Development of the First Cisgenic Apple with Increased Resistance to Fire Blight. Plos One, 10(12), 2015.