

# 1. Einleitung

## 1.1 Resistenzzüchtung beim Apfel

Die Gattung *Malus* gehört zur Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*). Der Apfel mit einer Chromosomenzahl von  $2n$  gleich 34 hat seinen Ursprung nach heutigen Erkenntnissen in den tropischen und subtropischen Gebirgsgebieten Südostasiens, im Bereich des heutigen Südchinas [SILBEREISEN 1989]. Die Zahl der ursprünglichen Wildarten des Apfels wird auf 25 bis 35 Arten geschätzt, die ausschließlich auf der nördlichen Halbkugel vorkommen. Diese echten Wildarten kommen in Europa, Asien und Nordamerika vor.

Erste Übergänge zu den Kultursorten gehen auf die frühe Apfelkultur der Griechen und Römer zurück, die bereits Methoden der Vermehrung, wie das Pfropfen sowie anbautechnisches und pomologisches Wissen in Hinsicht auf die Kultur des Apfels erworben haben.

Das eigentliche Zentrum der heutigen Kultursorten liegt in Mittel- und Westeuropa. In dieses spätere Kerngebiet der Apfelzüchtung wurden die ersten Wildformen durch die Völkerwanderungen aus dem Orient und Mittelasien sowie dem Mittelmeerraum eingetragen [SILBEREISEN 1989]. Erste Selektionen gingen hierbei auf zufällige Kreuzungen von selbstinkompatiblen Elternsorten hervor. Die Mischerbigkeit der Eltern sowie das Auftreten spontaner Mutationen führte zu einer Vielzahl von erblich unterschiedlichen Nachkommen. Das Ergebnis dieser Vielzahl an Kreuzungen innerhalb und zwischen den Arten mit der anschließenden Auslese führte schließlich zu der Entstehung von wertvollen Apfelformen, die ständig weiter kultiviert wurden. Mit dem Auftreten der Apfelkultur tritt der europäische Kultur- oder Gartenapfel auf, der den botanischen Namen *Malus x domestica* [KORBAN und SKIRVIN 1984] erhalten hat. Im Mittelalter lag die Kultur der Äpfel zunächst in der Hand der Kirche mit ihren Klöstern, bevor später zunehmend Gärtner und Gartenliebhaber die Kultur übernahmen.

Die systematische Züchtung beim Apfel setzte nach 1900 hauptsächlich in den USA und England ein, während die Apfelzüchtung in Deutschland erst ab 1929 mit der Gründung einer Obstbauabteilung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung in Müncheberg/Mark bei Frankfurt a. d. Oder einsetzte.

In der Kombinationszüchtung kann der Züchter nur durch die Auswahl geeigneter Kreuzungseltern auf das Ergebnis einwirken. Aus diesem Grund arbeiten moderne Zuchtverfahren mit sogenannten Mehrfachkreuzungen. Hierbei werden Zuchtstämme eingesetzt, von denen bekannt ist, daß sie bestimmte Eigenschaften dominant vererben. Die Selektion in der Kreuzungsnachkommenschaft ist dann stark vereinfacht, da etwa die Hälfte der Nachkommenschaft die Erbanlage besitzt, während die andere Hälfte die entsprechende Eigenschaft nicht aufweist.

Für die Selektion auf polygen vererbte Merkmale wird die Rückkreuzung eingesetzt. Bei dieser Methode kommt es durch die Rückkreuzung des heterozygoten Nachkommens mit einem der beiden Eltern zu einer Verminderung der Genotypenzahl, was das Auffinden der erwünschten Genotypen erleichtert [HOFFMAN et al. 1971].

Um erbgleiche Individuen der Apfelsorten zu erhalten, ist es zwingend notwendig, die Sorten vegetativ zu vermehren. In der Praxis geschieht dies durch zwei verschiedene Methoden. Die Vermehrung im Sommer wird durch Okulation von Knospen oder Augen auf Wurzelunterlagen durchgeführt. Bei der zweiten Methode werden im Frühjahr Triebe (Reiser) durch Pfropfen auf die Unterlagen veredelt.

Bei den verwendeten Unterlagen werden aufgrund ihrer Herkunft zwei Gruppen unterschieden. Die Typenunterlagen stammen in der Regel von Wildarten ab und werden durch vegetative Vermehrung vervielfältigt. Die Typenunterlagen lassen sich in drei Wuchsgruppen untergliedern, die schwach-, mittelstark- und starkwüchsigen Typen. Somit besteht der pflanzfertige Apfelbaum in der Regel aus zwei erblich verschiedenen Pflanzen. Die Unterlage übernimmt dabei die Funktion der Nährstoffaufnahme aus dem Boden sowie die Verankerung des Baumes. Die Aufgabe der veredelten Sorte besteht in der Assimilation sowie dem Aufbau der Früchte. Hierzu ist es entscheidend, daß beide Sorten an der

Veredlungsstelle gut miteinander verwachsen sind, um den erforderlichen Stoffaustausch zu ermöglichen und darüber hinaus einen mechanisch stabilen Baum zu garantieren.

Die zweite Gruppe bilden die Sämlingsunterlagen, bei denen es sich um F<sub>1</sub>-Hybriden von Kultursorten handelt. Dies bedeutet, daß sie die Nachkommen zweier mischerbiger Sorten sind. Da Sämlinge aufgrund ihres Jugendformcharakters häufig Seitensprosse oder krumme Stämme bilden, verwendet man für die Anzucht hochstämmiger Bäume sogenannte Stammbildner als Zwischenstück zwischen der Unterlage und der Edelsorte (wie im Fall der C3-Population). In diesem Fall besteht der fertige Baum somit aus drei verschiedenen Genotypen, der Unterlage, dem Stammbildner sowie der Edelsorte.

Der Schwerpunkt der Resistenzzüchtung beim Apfel liegt auf der Züchtung resistenter Sorten gegen Schorf- und Mehltaubefall. Apfelschorf, verursacht durch den biotrophen Ascomyceten *Venturia inaequalis* ([COOKE.] WINT), stellt die wichtigste pilzliche Infektionserkrankung im modernen Erwerbsapfelanbau dar. Zur Bekämpfung der Schorfinfektion sind regelmäßige Fungizidspritzungen (alle ein bis zwei Wochen) während der gesamten Kulturdauer nötig. In den heute weltweit hauptsächlich kultivierten Tafelapfelsorten sind so gut wie keine Resistenzen gegen den Schorf enthalten, obwohl Apfelsorten mit Schorfresistenz gezüchtet wurden (s.u.).

Mit Ausnahme von Standorten mit hohen Temperaturen und geringer Feuchtigkeit ist der Pilz weltweit in allen gemäßigten Zonen verbreitet. Der Pilz überwintert in Form von Wintersporen (Ascosporen) im abgefallenen Laub und in Knospenspitzen, so daß die Infektion sehr schnell im Frühjahr beginnen kann. Acht bis fünfzehn Tage nach der Infektion sind bereits Symptome sichtbar und nach 15 bis 18 Tagen haben sich bereits die Konidien (asexuelle Generation) gebildet, die für den Start des nächsten Infektionszyklus nötig sind. Der Pilz ist in der Lage, alle oberirdischen Teile der Apfelpflanze zu befallen, wobei die Sporen durch den Wind verbreitet werden. *Venturia inaequalis* durchläuft während des Sommers mehrere Generationen. Während des Herbstes und Winters kommt es im toten Blattgewebe zur Ausbildung der Ascosporen, die den neuen Infektionszyklus im folgenden Frühjahr initiieren (Abb. 1.1) [KOTTE, 1958].

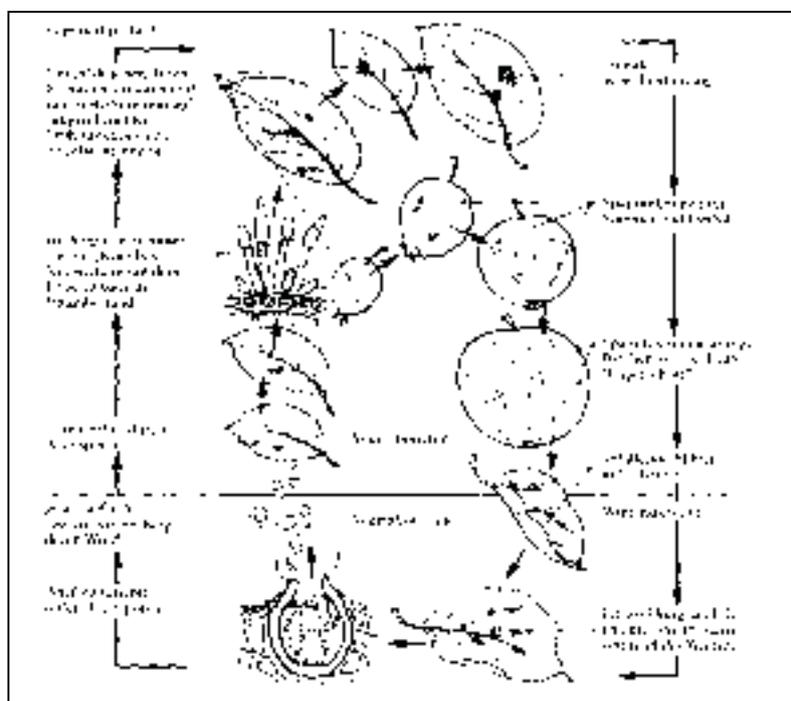


Abb. 1.1: Entwicklungszyklus des Apfelschorferregers *Venturia inaequalis*; (nach Friedrich et al. 1987), FRIEDRICH, G. & RODE, H. Pflanzenschutz im integrierten Obstbau, Verlag Eugen Ulmer, 1996

Befallene Pflanzen zeigen auf den Blättern mattolivgrüne, später braun oder schwarz werdende Flecken von 0,5 bis 1,0 cm<sup>2</sup> Größe (Abb. 1.2). Die Früchte können in jedem Entwicklungsstadium geschädigt werden, wobei die jungen Früchte jedoch besonders anfällig sind. Schorfbefallene Früchte weisen zunächst rundliche, mattschwarze Flecken auf. Diese können im späteren Verlauf der Infektion zusammenfließen, so daß großflächige tiefschwarze, im Inneren bräunlich gefärbte Flecken entstehen.



Abb. 1.2: Schorfbefall beim Apfel

Bisher basierte die weltweite Resistenzzüchtung beim Apfel fast ausschließlich auf der monogenen, dominanten Resistenz *Vf* aus *Malus floribunda* Klon 821. Dieses Gen ist in ca. 70 schorfbesistenten Sorten enthalten [FISCHER et al. 2000]. Im Jahr 2000 besaßen nur etwa zehn Sorten eine nicht auf dem *Vf*-Gen basierende Resistenz. Spätestens mit dem Auftreten der Schorffrasse 6, die die durch das *Vf*-Gen hervorgerufene Resistenz brechen kann, ist ein Umdenken in der Apfelmzüchtung notwendig geworden [PARISI et al. 1993]. Neben dem *Vf*-Gen werden derzeit eine Reihe von weiteren Majorresistenzgenen untersucht, wie *Vr*, *Va*, oder *Vb*. Als charakterisierte polygene Resistenzquelle ist zur Zeit nur die russische Apfelsorte 'Antonovka' zu nennen (Tab. 1.1), während die in den Kreuzungen des EU-Projektes vermuteten polygenen Resistenzen noch nicht charakterisiert sind.

Resistenzgen	Typ	Resistenzquelle
<b>Vf</b>	monogen	<i>Malus floribunda</i> Klon 821
<b>Vr</b>	monogen	<i>Malus pumila</i> R12740-7A
<b>Vm</b>	monogen	<i>Malus micromalus</i>
<b>Vb</b>	monogen	Hansen's <i>baccata</i> Klon 2
<b>Vbj</b>	monogen	<i>Malus baccata jackii</i>
<b>Vg</b>	monogen	Golden Delicious
<b>VA</b>	polygen	Antonovka

Tab. 1.1: Resistenzquellen für die Schorfbesistenz;  
nach CROSBY et al. 1992; KELLERHALS und FURRER 1994

Derzeit werden bei *Venturia inaequalis* aufgrund ihres Virulenzverhaltens sieben

verschiedene Rassen unterschieden. Virulenten Rassen sind in der Lage eine Pflanze zu befallen, während die avirulenten Rassen aufgrund der vorhandenen Resistenzgene nicht in der Lage sind die Pflanze zu befallen. Die Rassen 1 bis 5 sind seit vielen Jahren bekannt und können aufgrund ihrer Pathogenität unterschieden werden (Tab. 1.2). Die Rasse 6 wurde erstmals im Jahre 1993 in Ahrensburg [PARISI et al. 1993] beschrieben, während die Rasse 7 erst im Jahre 1997 beschrieben wurde [BÉNAOUF und PARISI 2000].

Rasse	Eigenschaften
1	avirulent für Vf
2	avirulent für Vf
3	avirulent für Vf
4	avirulent für Vf
5	avirulent für Vf; virulent für Vm
6	virulent für Vf in Vf-Trägern wie 'Florina' oder 'Prima' avirulent für <i>Malus floribunda</i> Klon 821
7	avirulent für Vg; virulent für sämtliche Vf-Träger einschließlich <i>Malus floribunda</i> Klon 821

Tab. 1.2: Derzeit charakterisierte Rassen des Erregers *Venturia inaequalis*; LESPINASSE 1994; PARISI et al. 1993; BÉNAOUF und PARISI 2000

Nach dem Schorf ist der Apfelmehltau die zweitwichtigste pilzliche Infektionskrankheit beim Apfel. In Regionen mit warmem Klima stellt der Apfelmehltau die wichtigste Erkrankung des Apfels dar. Apfelmehltau wird durch den obligat biotrophen Pilz *Podosphaera leucotricha* ([ELL. et Ev.] SALM.) verursacht und zählt vor allem in den trockenen Lagen zu den wichtigsten Schaderregern (Abb. 1.3). Neben dem Apfel befällt der Pilz auch die Birne und Quitte. Durch den Befall mit Mehltau kann es zu Ertragseinbußen von bis zu 70% kommen [Merkblätter Apfelmehltau; www.fh-weihenstephan.de].

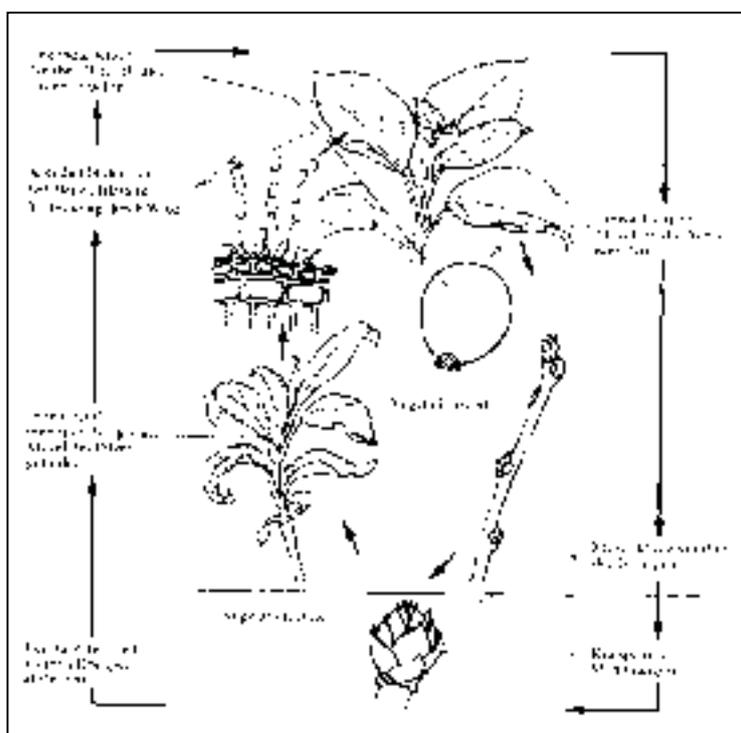


Abb. 1.3: Entwicklungszyklus des Apfelmehltaus; (nach Bömeke 1978), FRIEDRICH, G. & RODE, H. Pflanzenschutz im integrierten Obstbau, Verlag Eugen Ulmer, 1996

Der Pilz überwintert als Mycel in den Achselknospen der Apfelbäume. Die Konidienbildung im Frühjahr kann bereits in den geschlossenen Knospen einsetzen, so daß zum Beginn des

Knospenaufbruchs bereits ein hoher Infektionsdruck vorliegen kann. Wenn die Knospen durch den Befall nicht schon während des Winters absterben, weisen die befallenen Knospen einen verspäteten Austrieb auf. Die austreibenden Blätter sind deformiert und beidseitig mit einem weißen, mehligen Belag überzogen. Während der Primärinfektion im Frühjahr kommt es zur Bildung weiterer Konidien, die für die folgenden Infektionen im Sommer nötig sind (Sekundärbefall). Befallene Pflanzen weisen einen deutlichen mehligen Belag auf Blättern und Blütenknospen auf. In späteren Stadien der Infektion rollen sich die Blätter auf und werden hart und brüchig, bevor es zum Blattabwurf kommt (Abb. 1.4).



Abb. 1.4: Mehltaubefall beim Apfel

Die Resistenzzüchtung beim Apfelmehltau basiert ebenfalls hauptsächlich auf dominanten Resistenzgenen. Bei den Resistenzdonoren gegen Apfelmehltau handelt es sich um verschiedene Gene aus unterschiedlichen genetischen Hintergründen (Tab. 1.3).

Resistenzgen	Typ	Resistenzquelle
<i>PI<sub>1</sub></i>	monogen	<i>Malus robusta</i>
<i>PI<sub>2</sub></i>	monogen	<i>Malus zumi</i>
<i>PI<sub>w</sub></i>	monogen	White Angel
<i>PI<sub>d</sub></i>	monogen	D12

Tab. 1.3: Resistenzquellen gegen Apfelmehltau  
nach FISCHER 1994, PHILLIPS 2000

Die Untersuchungen im Rahmen des D.A.R.E.-Projektes ("Durable Apple Resistance in Europe") haben gezeigt, daß es bei dem Verursacher des Apfelmehltau, *Podosphaera leucotricha*, ebenfalls verschiedene Rassen gibt [URBANIETZ 2002]. Somit besteht für den Mehltau die Gefahr, daß sich hochvirulente Rassen ausbilden, wie es beim Schorf mit den Rassen 6 und 7 bereits geschehen ist [PARISI 1993].

Um dieser Problematik zu begegnen, wurde die Charakterisierung polygener Resistenzquellen gegen Schorf und Mehltau als ein Schwerpunkt des D.A.R.E. Projektes aufgenommen (siehe Kap. 1.6).